



KALIÈS
Étude & conseil
en environnement,
énergie & risques industriels

DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE D'UNE USINE DE PRODUCTION D'HYDROGENE PAR ELECTROLYSE DE L'EAU

- ETUDE DE DANGERS -



H2VNormandy
SAINT-JEAN-DE-FOLLEVILLE (76)

Fait à Bihorel,

Numéro d'affaire : KAR18.05		
Agence : Ouest		
Date	Version	Objet de la version
18 mai 2020	1	Dépôt pour instruction
16 décembre 2020	2	Intégration des réponses aux demandes de compléments de la DREAL formulées les 31 juillet et 29 octobre 2020

SIÈGE SOCIAL

16, rue Louis Neel - 59260 LEZENNES - Tél : 03 20 19 17 17 - Fax : 03 20 19 17 41 - www.kalies.com

SAS au capital de 119 900 euros - APE 7022 Z - SIRET 420 116 253 000 48 - RCS Lille B 420 116 253 - TVA FR 29420116253

LISTE DES SIGLES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AM	Accident Majeur
APR	Analyse Préliminaire des Risques
APSAD	Assemblée Plénière de Sociétés d'Assurances Dommages
ARIA	Analyse, Recherche et Information sur les Accidents
ATEX	ATmosphère Explosive
BARPI	Bureau d'Analyse des Risques et Pollution Industriels
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CACES	Certificat d'Aptitude à la Conduite en Sécurité
CLP	Classification, Labelling, Packaging
CSE	Comité Social Economique
DDAE	Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale
DN	Diamètre Nominal
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EDD	Etude Des Dangers
EI	Evènement Initiateur
EPI	Equipement de Protection Individuelle
ERC	Evènement Redouté Central
ERP	Etablissement Recevant du Public
FDS	Fiche de Données de Sécurité
GES	Gaz à Effet de Serre
GNR	Gasoil Non Routier
HAZOP	HAZard and OPerability analysis
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IED	Industrial Emissions Directive
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
ISO	Organisation internationale de normalisation
IT	Instruction Technique
LIE	Limite Inférieure d'Explosivité
MMR	Mesure de Maitrise du Risques

PDA	Paratonnerre à Dispositif d'Amorçage
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PPR	Plan de Prévention des Risques
REI	Résistance Etanchéité Isolation
RTE	Réseau de Transport d'Electricité
SDIS	Service Départemental d'Incendie et de Secours
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuil des Effets Létaux
SELS	Seuil des Effets Létaux Significatifs
SST	Sauveteur Secouriste du Travail
TAR	Tour Aéro-Réfrigérante
UVCE	Unconfined Vapour Cloud Explosion

PREAMBULE

Les points abordés dans cette étude de dangers répondront aux attentes de l'article D.181-15-2,III du Code de l'environnement définissant le contenu des études de dangers pour les sites soumis à Autorisation.

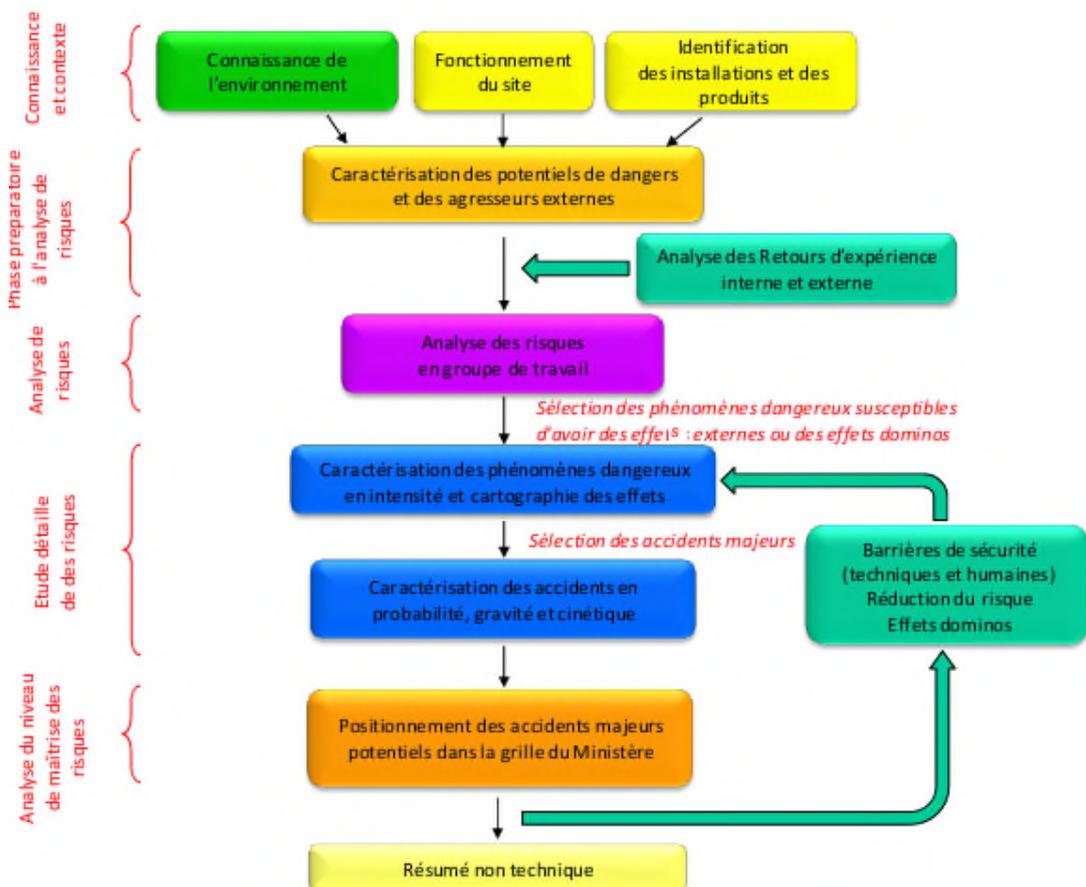
La finalité de cette étude est de préciser les risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts mentionnés à l'article L.511-1 du Code de l'Environnement, en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'établissement ou l'installation. Elle définira et justifiera les différentes mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents.

Le contenu de l'étude de dangers est en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation et justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Afin de ne pas surcharger le corps de texte de la présente notice de dangers (EDD), les informations relatives à l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) et celles relatives à la modélisation des scénarios sont placées, chacune, dans une annexe spécifique.

Enfin, cette étude est réalisée conformément aux recommandations de l'Oméga 9 de l'INERIS (Étude de dangers d'une installation classée – Version de 2015).

Le logigramme ci-après illustre le processus de réalisation d'une Etude de dangers pour les ICPE (*Source : Oméga 9 - Version de 2015*).



Pour ce faire, cette étude sera composée des parties suivantes :

- ↪ une partie descriptive de l'installation étudiée et de son environnement,
- ↪ une partie présentant les potentiels de dangers (produits et installations),
- ↪ une partie sur l'étude de l'accidentologie et sur l'analyse des risques,
- ↪ une partie sur l'évaluation des risques par la caractérisation de l'intensité et de la cinétique des phénomènes dangereux et par l'estimation de la probabilité d'occurrence annuelle et de la gravité des conséquences des accidents majeurs,
- ↪ une partie sur la justification des mesures organisationnelles et techniques.

Enfin, il est rappelé que ce projet relève des installations mentionnées à l'article L.515-28 du Code de l'Environnement (installations dites IED) mais n'entre pas dans le champ de l'article L.515-32 du Code de l'Environnement (installations dites SEVESO)

SOMMAIRE DETAILLE

1	JUSTIFICATION DES MESURES ORGANISATIONNELLES ET TECHNIQUES	8
1.1	ORGANISATION DE LA SECURITE.....	8
1.1.1	<i>Formation et qualification du personnel</i>	<i>8</i>
1.1.2	<i>Procédures d'exploitation.....</i>	<i>9</i>
1.1.3	<i>Consignes générales de sécurité.....</i>	<i>10</i>
1.1.4	<i>Comité social et économique.....</i>	<i>10</i>
1.2	MOYENS DE PROTECTION ET DE PREVENTION	11
1.2.1	<i>Dispositions constructives</i>	<i>11</i>
1.2.2	<i>Mesures de prévention et de protection</i>	<i>18</i>
1.2.3	<i>Systèmes de détection et d'alarme</i>	<i>22</i>
1.2.4	<i>Vérifications réglementaires</i>	<i>39</i>
1.2.5	<i>Equipements de protection individuelle</i>	<i>41</i>
1.2.6	<i>Performance attendue des mesures de prévention et de protection</i>	<i>41</i>
1.3	MOYENS D'INTERVENTION	48
1.3.1	<i>Moyens humains</i>	<i>48</i>
1.3.2	<i>Moyens fixes d'intervention</i>	<i>48</i>
1.3.3	<i>Moyens externes</i>	<i>53</i>
2	IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS	54
2.1	RISQUES LIES AUX PRODUITS.....	54
2.1.1	<i>Hydroxyde de potassium</i>	<i>55</i>
2.1.2	<i>Hydrogène</i>	<i>56</i>
2.1.3	<i>Oxygène.....</i>	<i>58</i>
2.1.4	<i>Azote</i>	<i>59</i>
2.1.5	<i>Méthane</i>	<i>60</i>
2.1.6	<i>Autres</i>	<i>61</i>
2.1.7	<i>Synthèse des risques liés aux produits.....</i>	<i>63</i>
2.2	RISQUE LIES AUX INSTALLATIONS ET REDUCTION DU RISQUE A LA SOURCE.....	63
2.2.1	<i>Unité de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau.....</i>	<i>64</i>
2.2.2	<i>Compresseurs d'hydrogène</i>	<i>68</i>
2.2.3	<i>Torchère d'hydrogène</i>	<i>69</i>
2.2.4	<i>Atmosphère enrichie en oxygène</i>	<i>69</i>
2.2.5	<i>Réseau de canalisation.....</i>	<i>70</i>
2.2.6	<i>Réseau d'évents ou de décharge.....</i>	<i>73</i>
2.2.7	<i>Station de mobilité.....</i>	<i>77</i>
2.2.8	<i>Transformateurs électriques</i>	<i>78</i>

2.3	DANGERS LIES A LA PERTE DES UTILITES	79
2.4	ZONES ATEX.....	80
2.5	INTERVENTION DES ENTREPRISES EXTERIEURES	83
2.6	CIRCULATION SUR LE SITE	83
2.7	RISQUES EXTERNES	84
2.7.1	<i>Dangers liés aux activités extérieures à l'établissement</i>	84
2.7.2	<i>Dangers liés aux éléments naturels</i>	91
2.8	ANALYSE DES INCIDENTS ET ACCIDENTS PASSES	97
2.8.1	<i>Description des incidents et accidents survenus sur le site</i>	97
2.8.2	<i>Description des incidents et accidents survenus sur des installations comparables</i>	97
2.8.3	<i>Enseignements tirés</i>	109
2.8.4	<i>Positionnement vis-à-vis du retour d'expérience</i>	110
2.9	ANALYSE DES RISQUES	112
2.9.1	<i>Définition des accidents majeurs</i>	112
2.9.2	<i>Présentation de la démarche</i>	112
2.9.3	<i>Cotation des scénarios étudiés</i>	113
2.9.4	<i>Synthèse de l'analyse préliminaire des risques</i>	115
2.10	SYNTHESE DES DANGERS ET DES RISQUES SUR LE SITE	120
3	EXAMEN DETAILLE DES ACCIDENTS LIES A L'HYDROGENE ET MAJEURS POTENTIELS	122
3.1	METHODOLOGIE	122
3.1.1	<i>Fréquence d'occurrence considérée des événements initiateurs</i>	124
3.1.2	<i>Probabilité de défaillance considérée des barrières de sécurité</i>	127
3.1.3	<i>Probabilité d'inflammation considérée</i>	129
3.1.4	<i>Cinétique</i>	131
3.1.5	<i>Gravité</i>	131
3.2	EXAMEN DETAILLE DES EVENEMENTS ETUDIES	132
3.2.1	<i>AM1 : Explosion de l'unité de production d'hydrogène</i>	132
3.2.2	<i>AM2 : UVCE suite à une Rupture franche sur le réseau amont à la compression</i>	137
3.2.3	<i>AM3 : Eclatement d'une cuve d'huile d'un transformateur 225 kv</i>	144
3.3	SYNTHESE DES ACCIDENTS MAJEURS POTENTIELS.....	147
3.3.1	<i>Bilan</i>	147
3.3.2	<i>Positionnement des accidents majeurs</i>	148
3.3.3	<i>Périmètres des servitudes et règles associées</i>	149
3.3.4	<i>Cas du fonctionnement des barrières de sécurité</i>	152
4	INVESTISSEMENTS POUR LA SECURITE	153

1 JUSTIFICATION DES MESURES ORGANISATIONNELLES ET TECHNIQUES

1.1 ORGANISATION DE LA SECURITE

1.1.1 FORMATION ET QUALIFICATION DU PERSONNEL

L'exploitant veillera à la qualification professionnelle et à la formation sécurité de son personnel. Il s'attachera à la mise en place d'une culture élevée du risque compte tenu de la présence d'hydrogène et que le risque d'ignition sera permanent.

Une formation particulière sera assurée pour le personnel affecté à la conduite ou à la surveillance des unités. Cette formation devra notamment comporter :

- ↳ toutes les informations utiles sur les produits manipulés, les réactions chimiques et opérations de fabrication mises en œuvre,
- ↳ les explications nécessaires pour la bonne compréhension des consignes,
- ↳ des exercices périodiques de simulation d'application des consignes de sécurité prévues par le présent arrêté ainsi qu'un entraînement régulier au maniement des moyens d'intervention affectés à leur unité (notamment des matériels de lutte contre l'incendie),
- ↳ un entraînement périodique à la conduite des unités en situation dégradée vis—à—vis de la sécurité et à l'intervention sur celles—ci.

Il est également à noter que plus de 70 % des accidents impliquant de l'hydrogène et dont les causes sont connues ont une origine organisationnelle ou humaine, seule ou associée à une défaillance matérielle. Les principales causes sont des opérations de maintenance et un défaut de maîtrise des procédés. Sur cette base, H2VNORMANDY mettra en place des procédures d'exploitation, de maintenance et d'intervention adaptées, comprises et appliquées par les opérateurs (des vérifications quotidiennes seront réalisées).

L'exploitant travaille avec plusieurs partenaires à la création de « H2 Académie » pour former non seulement les futurs salariés H2VNORMANDY mais aussi tous les futurs emplois de la filière hydrogène. En attendant la création de « H2 Académie », l'exploitant s'appuiera sur l'expertise de la branche professionnelle France-Chimie. Les modules de formation (assurés par des experts) seront déclinés en fonction des compléments à apporter aux personnes recrutées selon leur formation initiale. Ces modules porteront sur différentes thématiques et seront complétés au besoin :

- ↳ Théorie sur l'hydrogène,
- ↳ Montage et maintenance,
- ↳ Contrôle industriel,
- ↳ Certifications sécurité,
- ↳ Exploitation des différents systèmes.

1.1.2 PROCEDURES D'EXPLOITATION

Les consignes d'exploitation de l'ensemble des installations décriront explicitement les contrôles à effectuer, en marche normale et à la suite d'un arrêt pour travaux de modification ou d'entretien, de façon à permettre, en toutes circonstances, le respect des dispositions de l'arrêté d'exploiter du site.

Les consignes décrivant les conditions dans lesquelles seront délivrés les produits chimiques et les précautions à prendre à leur réception et utilisation, seront affichées en permanence dans les zones concernées. La conduite des installations (démarrage et arrêt, fonctionnement normal, entretien, ...) fera l'objet de consignes d'exploitation écrites. Elles seront à la disposition du personnel.

Les procédures générales prévoient notamment :

- ↳ les différents modes opératoires, dont le contrôle de la qualité de l'eau brute ;
- ↳ les modalités de mise en œuvre des dispositifs d'isolement du réseau de collecte des eaux pluviales en cas de sinistre ;
- ↳ les modalités d'intervention en cas de situations anormales et accidentelles ;
- ↳ la nature et la fréquence des contrôles des dispositifs de sécurité et de traitement des pollutions et nuisances générées ;
- ↳ les opérations nécessaires à l'entretien et à la maintenance, notamment des vérifications des systèmes automatiques de détection.

Des consignes plus spécifiques seront établies :

<p>Eviter les fuites Eviter la formation d'ATEX</p>	<p>Procédure de montage et de démontage des raccords avec mesure de la pression de vissage et test d'étanchéité.</p> <p>Procédure de vérification périodique du couple de vissage des raccords vissés exposés à des vibrations mécaniques.</p> <p>Procédure de maintenance préventive, de vérifications périodiques et programme d'inspections pour contrôler l'état d'usure des équipements.</p> <p>Procédure de maintenance préventive, de vérifications périodiques et programme d'inspections pour contrôler l'état d'encrassement des filtres au niveau des analyseurs.</p> <p>Procédure de maintenance préventive, de vérifications périodiques et programme d'inspections pour contrôler l'état de bon fonctionnement de la ventilation mécanique.</p>
<p>Eviter les agressions mécaniques externes</p>	<p>Procédures de sécurité sur la circulation.</p> <p>Procédure pour encadrer les opérations de maintenance et travaux.</p>
<p>Eviter les mélanges H₂-O₂ Eviter les mélanges H₂-air</p>	<p>Procédures de contrôle de la fiabilité de la boucle de pilotage (étalonnage des capteurs et fonctionnement dans les limites de leur plage respective).</p> <p>Procédure de contrôle (check list) des positions des vannes.</p> <p>Procédures de contrôle du bon état et de nettoyage des événements.</p> <p>Procédure de remplacement périodique des membranes selon le calendrier prévisionnel d'usure du fournisseur.</p> <p>Procédure de démarrage, de dépressurisation (purge de l'installation), d'inertage et d'isolement d'un équipement.</p>

1.1.3 CONSIGNES GENERALES DE SECURITE

Des consignes générales de sécurité seront établies, tenues à jour et affichées dans les lieux fréquentés par le personnel. Leur bonne application fera l'objet d'audits internes réguliers.

Le personnel sera averti des dangers présentés par les procédés de fabrication ou les matières mises en œuvre, les précautions à observer et les mesures à prendre en cas d'accident.

L'exploitant établira des consignes de sécurité pour la mise en œuvre des moyens d'intervention, l'évacuation du personnel et l'appel aux moyens de secours extérieurs. Ces consignes indiqueront notamment :

- ↳ la conduite à tenir en cas de déclenchement d'une alarme de la centrale de détection gaz,
- ↳ la conduite à tenir en cas de défaut sur le système de ventilation des bâtiments,
- ↳ la conduite à tenir en cas de déclenchement d'une alarme de défaut sur les unités de production (instrumentation des unités de production et de compression),
- ↳ la conduite à tenir en cas de déclenchement d'une alarme de la centrale de détection incendie,
- ↳ la conduite à tenir en cas de départ de feu,
- ↳ la conduite à tenir en cas de feu d'origine électrique,
- ↳ la conduite à tenir en cas de pollution accidentelle,
- ↳ la conduite à tenir en cas d'explosion,
- ↳ l'interdiction de fumer.

1.1.4 COMITE SOCIAL ET ECONOMIQUE

La société H2VNormandy possèdera un Comité Social et Économique (CSE) conformément à l'article L2311-2 du Code du travail. Ce comité se réunira tous les trimestres.

1.2 MOYENS DE PROTECTION ET DE PREVENTION

1.2.1 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

A) GROS ŒUVRE

Les caractéristiques des différents bâtiments sont les suivantes :

Local	Surface (m ²)	Hauteur au faitage (m)	Nature des parois	Nature du sol	Nature de la charpente	Nature de la couverture
Bâtiment de la sous station électrique de 30 kV	Surface totale de 751,2 m ²	+5,84	Béton REI 120	Béton	Béton	Plancher haut Béton REI 120 Etanchéité végétalisée
Local transformateurs	Surface d'une alvéole : 49,94 m ²	+5,59	Béton REI 120	Béton	Béton	Plancher haut Béton REI 120 Etanchéité végétalisée
Local groupe électrogène	32 m ²	+5,59	Béton REI 120 au niveau des murs séparatifs. Bardage métallique avec grilles d'aération en façade.	Béton	Béton	Plancher haut Béton REI 120 Etanchéité végétalisée
Local rectifieurs	Local 1 : 649,05 m ² Local 2 : 756,33 m ²	+5,59	Béton REI 120	Béton	Béton	Plancher haut Béton REI 120
Unité de production	Unité 1 : 1 820,90 m ² Unité 2 : 2 121,87 m ²	+14,22	Béton REI 120	Béton	Béton	Couverture chaude isolée métallique
Unité de traitement de l'eau UP1	346,89 m ²	+7,73	Béton REI 120	Béton	Béton	Plancher haut Béton REI 120 Etanchéité végétalisée
Unité de traitement de l'eau UP2	348,8 m ²	+7,73	Béton REI 120	Béton	Béton	Plancher haut Béton REI 120 Etanchéité végétalisée
Local air comprimé	68,09 m ²	+7,73	Béton REI 120	Béton	Béton	Plancher haut Béton REI 120 Etanchéité végétalisée
Bâtiment compression 100 bar	Bâtiment 1 et 2 : 212,19 m ²	+10,30	Béton REI 120 (pression rupture 150 mbar) et porte EI 120 (pression rupture 150 mbar)	Béton	Béton	Soufflable (pression rupture 100 mbar) Support bac acier, isolant

Bâtiment compression 500 bar pour l'unité de mobilité	122,60m ²	+10,30	Béton REI 120 (pression rupture 150 mbar) et porte EI 120 (pression rupture 150 mbar)	Béton	Béton	Soufflable (pression rupture 100 mbar) Support bac acier, isolant
Locaux sociaux	424,78 m ²	+8,80	Béton REI 60 Avec portes et murs rideaux en aluminium	Béton	Béton	Couverture chaude isolée métallique

Equipements	Hauteur au faîtage (m)	Nature des parois	Nature du sol
Cylindre de l'unité mobile (aucun bâtiment mais 3 murs côté nord, est et sud)	+ 4,5	Mur de protection REI120 résistant à une pression de 100 mbar	Béton
Poste de comptage (aucun bâtiment mais 4 murs)	+ 3 m	Mur de protection REI120 résistant à une pression de 200 mbar	Béton
Sous-station électrique	+ 2m	Mur de protection REI 120 sur le périmètre de la sous-station résistant à une pression de 100 mbar Murs REI240 de 8 m de hauteur entre chaque transformateur	Béton

Les études de dimensionnement des parois soufflables sont disponibles en annexe EDD.10.

B) VENTILATION DES BATIMENTS ELECTROLYSEURS ET COMPRESSION

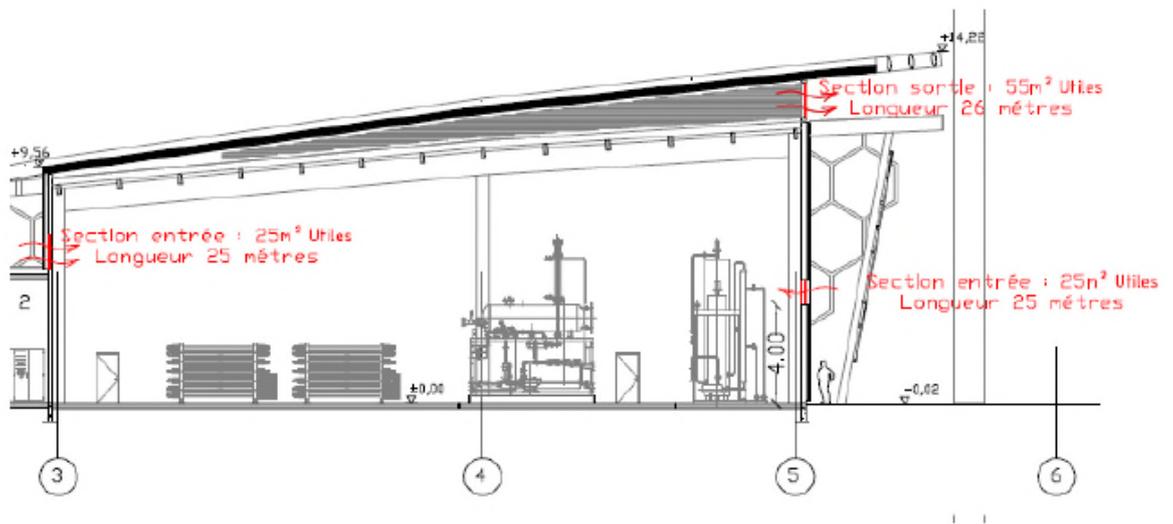
Dans le cadre du projet, la ventilation aura pour objectif d'empêcher la formation d'une ATEX dans les unités de production et dans les bâtiments compression.

La ventilation étant considérée comme un organe de sécurité dans le cadre de ce projet, son bon fonctionnement fera l'objet d'une attention particulière et elle sera doublement secourue électriquement.

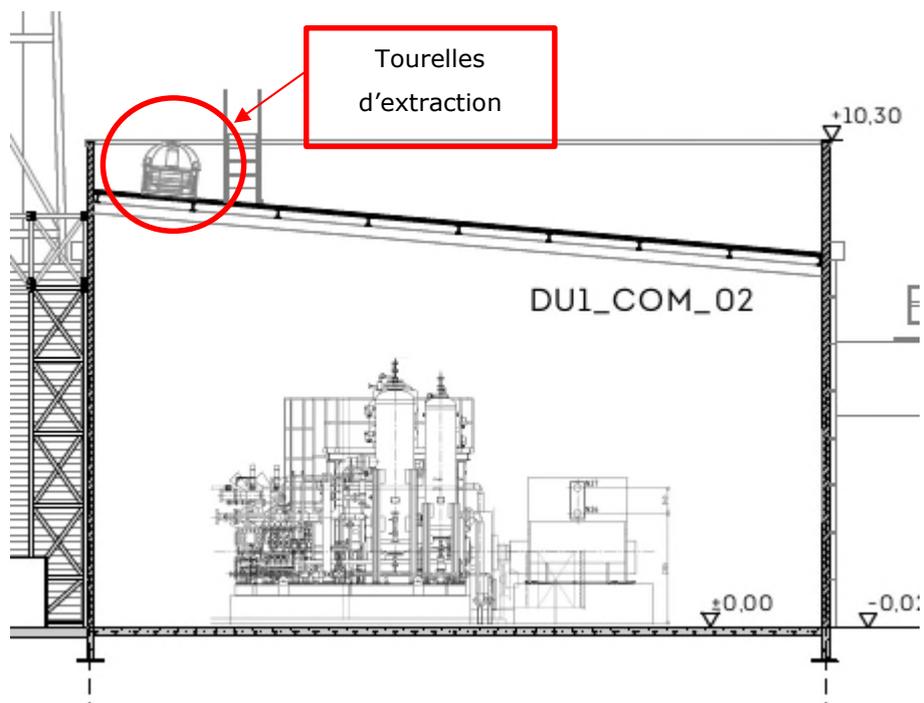
Son fonctionnement sera le suivant :

- ↻ La ventilation sera continue, mécanique, redondante et secourue électriquement.
- ↻ Son dimensionnement est basé sur la norme NFPA2 « Hydrogen Technologies Code », utilisée comme référence par les assureurs et imposant un débit de 1scf/m²/min en permanence dans le bâtiment où de l'hydrogène est présent dans les équipements. Celui-ci correspond à un équivalent de 6 vol/h, en considérant les surfaces et les hauteurs des bâtiments où l'hydrogène circule. Sur le projet H2VNormandy, la ventilation sera de 10 vol/h en fonctionnement normal, et de 12 vol/h en régime forcé.
- ↻ Dans le cadre du projet H2VNormandy, ce débit de base permettra de maintenir le taux d'hydrogène sous les 1% en volume dans l'air en cas de fuite.

- ↳ Dans le bâtiment électrolyseurs, la ventilation se fera grâce à des équipements situés en partie haute de la toiture (cf illustration ci-dessous) :



- ↳ Dans les bâtiments compression, l'extraction sera assurée par une tourelle située en toiture du bâtiment (cf illustration ci-dessous) :



- ↳ Les différents organes mécaniques d'extraction seront utilisables en zones ATEX et ne sont par conséquent pas considérés comme des sources d'inflammation potentielles en cas de détection H₂.

Les mesures de suivi prévues sur le système de ventilation seront les suivantes :

- ↳ En cas de défaut de ventilation (débit trop faible par rapport à l'attendu), une alarme sera générée et la ventilation sera mise en position « régime forcé » ;

- ↳ En cas de détection d'hydrogène (seuil à 1% H₂ soit 25 % de la LIE), la ventilation passera automatiquement en position « régime forcé » ;
- ↳ En cas de manque de force électromotrice, la ventilation s'arrêtera et entrainera la mise en sécurité de l'installation (coupure énergie, inertage et purge vers le réseau de torche).

L'exploitant sera informé immédiatement de la moindre dérive sur le système de ventilation grâce au report de l'instrumentation sur le poste de conduite du site.

C) PROTECTION CONTRE LES POLLUTIONS ACCIDENTELLES

Conformément à la section IV « Dispositions relatives à la limitation des conséquences de pertes de confinement » de l'arrêté du 4 octobre 2010 modifié relatif à la prévention des risques accidentels au sein des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement soumises à autorisation, les stockages de liquides susceptibles de créer une pollution des eaux ou des sols accidentelle devront disposer de rétentions dont le volume sera au moins égal à la plus grande des 2 valeurs suivantes :

- ↳ 100% de la capacité du plus grand réservoir,
- ↳ 50% de la capacité totale des réservoirs associés.

Pour les stockages de récipients de capacité unitaire inférieure ou égale à 250 litres, la capacité de rétention sera au moins égale à :

- ↳ 50% de la capacité totale des fûts dans le cas de liquides inflammables, à l'exception des lubrifiants,
- ↳ 20% dans les autres cas,
- ↳ 800 litres au minimum ou égale à la capacité totale lorsque celle-ci est inférieure à 800 litres.

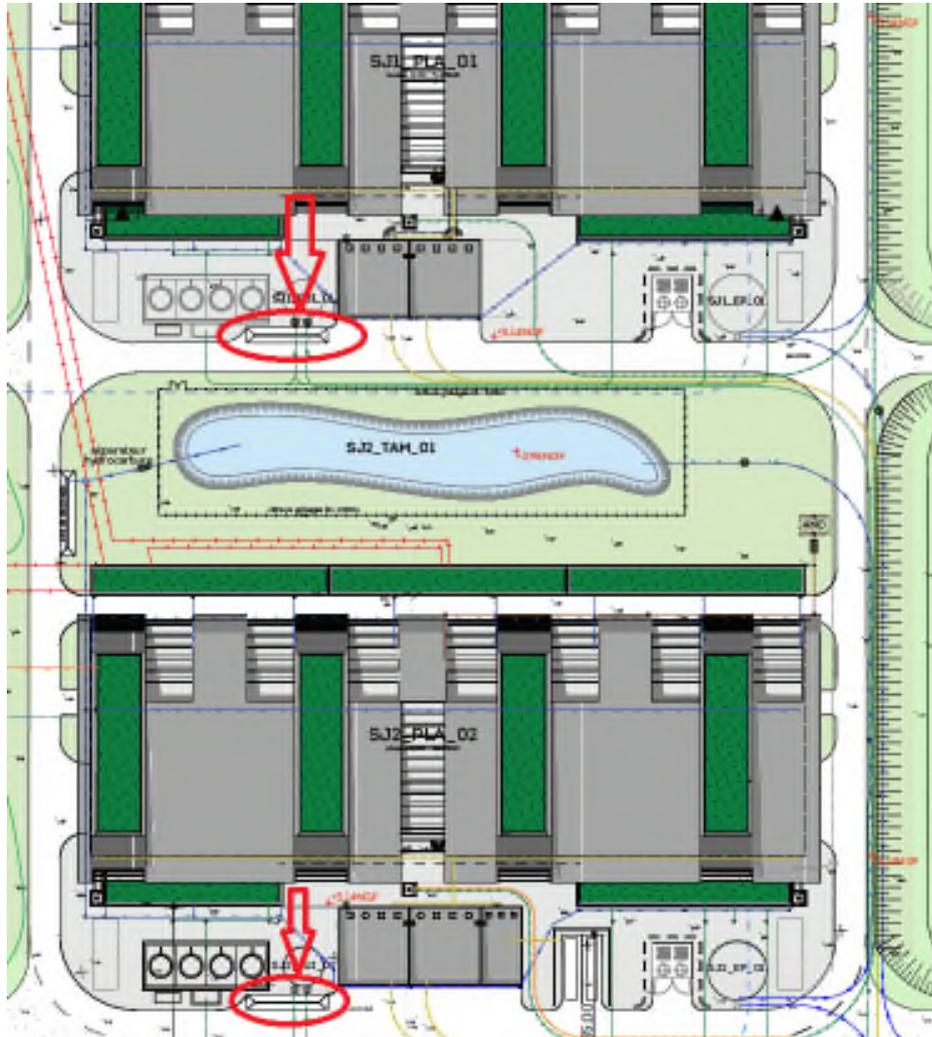
Chaque unité de production sera équipée de 2 cuves enterrées extérieures permettant la collecte de l'électrolyte en cas de fuite d'équipement sous bâtiment. La quantité d'électrolyte dans chaque module (électrolyseurs-séparateurs) sera de 17,7 m³, soit 460,2 m³ par unité de production. Pour le dimensionnement de la rétention, le volume correspondant à 50% de la capacité totale des réservoirs associés a été considérée, soit 123,9 m³ pour une demi-usine de 14 électrolyseurs et 106,2 m³ pour une demi-usine de 12 électrolyseurs.

En situation normale de fonctionnement du site, un détecteur de niveau haut avec alarme permettra de signaler tout risque de débordement des cuves.

En situation accidentelle (extinction d'un incendie), un trop-plein permettra de relier les cuves au bassin de confinement des eaux d'extinction.

En cas de collecte d'électrolyte celui-ci sera évacué en tant que déchet, via une zone de chargement, qui sera la même que la zone de dépotage située entre le bâtiment compresseur et les tours de refroidissement (cf. plan ci-dessous). Cette zone sera étanche et reliée aux bassins de rétentions, pour capter les fuites en cas d'incident.

Chaque unité de production sera équipée d'une telle zone.



Plan de localisation des zones de dépotage (extrait de l'annexe 1 de la Présentation Générale)

Au niveau de la sous-station électrique, une rétention raccordée aux fosses transformateurs sera mise en œuvre. Le volume disponible pour l'huile est égal à 50% du volume d'huile contenu dans les 3 transformateurs. A la mise en service de la rétention, celle-ci doit être remplie d'eau pour que l'huile ou le mélange huile-eau surnage. Le volume d'huile ou mélange eau-huile déversée dans cette rétention chasse à travers une canalisation d'évacuation un volume d'eau équivalent vers le bassin de rétention des eaux pluviales du site. La récupération de l'huile s'effectue par pompage à l'aide d'une pompe mobile.

Les cuves de gasoil non routier destiné à l'alimentation des groupes électrogènes de secours seront sur rétention et l'aire de dépotage sera imperméabilisée et reliée au bassin de confinement.

Le stockage d'azote liquide ne nécessitera pas de rétention, l'azote passant à l'état gazeux à température et pression atmosphérique. Une aire de dépotage imperméabilisée sera associée aux cuves de stockage.

Par ailleurs, l'ensemble des surfaces du site servant au transit, au stockage ou à la manipulation de produits susceptibles de générer des pollutions accidentelles, ainsi que les voiries seront imperméabilisées.

A noter que sur l'ensemble du site d'exploitation, le sol sera en béton étanche. De plus, le site sera équipé de matériels et de produits absorbants permettant de contenir rapidement tout déversement accidentel.

Le circuit de collecte des eaux pluviales sera équipé de vannes d'isolement permettant de retenir les eaux polluées dans les bassins étanches en cas de déversement accidentel. Ces bassins de confinement seront réalisés en géomembrane étanche. La société H2VNormandy affichera les consignes nécessaires à leur bonne utilisation.

D) DISPOSITIFS DE DESENFUMAGE

Les bâtiments électrolyseurs et compresseurs ne relèvent pas d'arrêtés ministériels de prescriptions générales imposant des prescriptions particulières en matière de désenfumage. Le document de référence retenu est par conséquent l'IT 246.

Le désenfumage des locaux électrolyseurs et compresseurs sera assuré par l'extraction mécanique comme le permet l'IT 246.

En ce qui concerne les écrans de cantonnement demandés par l'IT 246, l'exploitant demande une dérogation à leur mise en place puisque ces derniers constitueraient des zones où l'H₂ pourrait s'accumuler en cas de fuite, ce qui est contraire à l'approche retenue dans le cadre de ce projet. Cette demande de dérogation se base sur les points suivants :

- ↪ Les ventilateurs sont résistants au feu en cas d'incendie,
- ↪ La ventilation est secourue électriquement (double secours électrique),
- ↪ Le taux de renouvellement de l'IT 246 est respecté.

Les dispositifs de désenfumage pourront être couplés à ceux assurant la ventilation des bâtiments. Dans le cas contraire, les systèmes seront totalement dissociés : alimentation et commandes différenciées.

E) ISSUES DE SECOURS

Le Code du travail impose une distance maximale à parcourir pour gagner un escalier en étage ou en sous-sol de 40 m, avec un débouché au niveau du rez-de-chaussée à moins de 20 m d'une sortie sur l'extérieur. Les itinéraires de dégagements ne doivent pas comporter de cul de sac supérieur à 10 m (art. R.4216-11 du Code du travail).

Au rez-de-chaussée, il demande une évacuation sûre et rapide sans préciser de distance (art. R.4216-2 du Code du travail).

La référence prise en compte pour la mise en place des blocs de secours est le code du Travail avec un équipement tous les 15 m, à chaque changement de direction, et au-dessus de chaque issue de secours. Des déclencheurs manuels d'alarme seront positionnés à chaque issue de secours et paliers d'escaliers intérieurs.

F) ACCES POMPIERS

Les pompiers pourront accéder au site par deux accès :

- ↪ Le premier à l'ouest : accès principal du site,
- ↪ Le second au sud : accès de secours.

Les voiries d'accès répondront aux critères suivants :

- ↪ la largeur utile est au minimum de 6 mètres, la hauteur libre au minimum de 4,5 mètres et la pente inférieure à 15 % ;
- ↪ dans les virages, le rayon intérieur R minimal est de 13 mètres. Une surlargeur de $S = 15/R$ mètres est ajoutée dans les virages de rayon intérieur R compris entre 13 et 50 mètres ;
- ↪ la voie résiste à la force portante calculée pour un véhicule de 320 kN avec un maximum de 130 kN par essieu, ceux-ci étant distants de 3,6 mètres au minimum ;
- ↪ chaque point du périmètre du bâtiment est à une distance maximale de 60 mètres de cette voie ;
- ↪ aucun obstacle n'est disposé entre la voie « engins » et les accès au bâtiment, les aires de mise en station des moyens aériens et les aires de stationnement des engins.

G) MATERIELS ELECTRIQUES

L'ensemble des installations électriques sera réalisé et vérifié par des personnes compétentes conformément aux dispositions du décret n°88-1056 du 14 novembre 1988 relatif à protection des travailleurs dans les établissements mettant en œuvre des courants électriques.

Les installations électriques seront susceptibles de faire l'objet de défaillances et par conséquent être une source d'inflammation potentielle dans le cadre d'un départ de feu.

Les matériels électriques feront l'objet de contrôles périodiques annuels par un organisme agréé. Les comptes rendus sont archivés et les non-conformités sont levées.

Les installations électriques feront l'objet d'une maintenance préventive afin d'éviter les points de chauds. Le détail des opérations à réaliser pour les matériels électriques sera détaillé au niveau des procédures d'exploitation.

Les différentes zones ATEX du projet ont été identifiées et le matériel électrique sera en adéquation avec le plan de zonage ATEX.

1.2.2 MESURES DE PREVENTION ET DE PROTECTION

A) RISQUE DE FUITE

Les mesures mises en œuvre pour éviter ou réduire le risque de fuite sont :

- ↳ Les différentes mesures intrinsèques aux installations étudiées sont présentées au chapitre relatif à la réduction du risque à la source.
- ↳ Mise en place de procédures spécifiques.
- ↳ Les unités de production ainsi que les bâtiments de compression seront équipées d'une détection H₂ dont le dimensionnement et le positionnement des détecteurs a fait l'objet d'une étude spécifique (annexe EDD.5).
- ↳ Mise en place d'une redondance au niveau des centrales de traitement et de transmission de l'information sur l'instrumentation de la détection gaz (voir note technique en annexe EDD.8).
- ↳ Toute détection de fuite (soit par le dispositif de détection gaz, soit par le système instrumenté de suivi de la production H₂, par exemple suivi de pression, etc...) entrainera une mise en sécurité des installations (isolement de l'équipement ou de l'unité de production, arrêt de la production, inertage et purge).
- ↳ Les unités de production et les bâtiments compression seront équipés d'un système de ventilation mécanique, adapté au risque et permettant de rester à moins de 1 % de H₂ dans les bâtiments. Cette ventilation est dimensionnée pour éviter l'accumulation d'H₂ et la formation de « zones mortes ».
- ↳ Les soupapes et évènements des équipements H₂ seront collectés dans un réseau spécifique inerté à l'azote et raccordé à une torchère.
- ↳ Les soupapes des équipements O₂ seront collectées dans un réseau spécifique inerté à l'azote et raccordé à des évènements.
- ↳ L'ensemble des équipements seront équipés d'une instrumentation des paramètres de suivi importants pour la sécurité. Chaque paramètre de suivi sera associé à un ou plusieurs seuils et à une chaîne complète de traitement et de transmission de l'information. Ces informations seront reportées sur une centrale de traitement située au niveau du bâtiment commande.

B) SOURCES D'INFLAMMATION

La norme NF EN 1127 définit plusieurs sources d'inflammation et les répartit en fonction de leur vraisemblance, comme présenté dans le tableau ci-dessous :

Sources « probables »	Sources « peu vraisemblables »
Surfaces chaudes	Courants vagabonds
Flammes et gaz chauds	Ondes électromagnétiques
Etincelles mécaniques	Rayonnement ionisant
Matériel électrique	Ultrasons
Electricité statique	Compression adiabatique et ondes de choc
Réaction exothermique	
Foudre	

Les différentes mesures de prévention des sources d'inflammation les plus courantes (celles considérées comme probables dans le tableau précédent) seront les suivantes :

Sources « probables »	Nature de la mesure
Surfaces chaudes	Limitation de la température de surface des équipements (70°C). Absence de poste de travail dans les unités de production. Les matériaux utilisés pour l'éclairage naturel ne provoqueront pas d'effet lentille.
Flammes et gaz chauds	Interdiction stricte de fumer. Mise en place d'une procédure de permis de feu pour les travaux introduisant une source d'inflammation, connue du personnel. Mise en place d'une procédure spécifique pour les opérations de maintenance. Interdiction de toute intervention tant que l'installation n'a pas été dégazée.
Etincelles mécaniques	Maintenance préventive des machines tournantes (ventilateurs d'extraction mécanique des bâtiments électrolyseur et compression).
Matériel électrique	Mode de protection en adéquation avec le type de zones ATEX dans lesquelles le matériel est installé. Les sorties de secours seront identifiées par des blocs autonomes de sécurité adaptés.
Electricité statique	Liaisons équipotentielles. Mise à la terre. Limitation des vitesses des fluides dans les canalisations. Equipements et tenues « anti statiques ».
Réactions exothermiques	Sécurité sur température haute.
Foudre	Se reporter au chapitre dédié.

C) SPECIFICITES SUR LES UNITES DE PRODUCTION D'HYDROGENE

Les mesures spécifiques aux unités de production sont :

- ↳ Les différentes mesures intrinsèques aux installations étudiées sont présentées au chapitre relatif à la réduction du risque à la source.

- ↳ Mise en place de procédures spécifiques.
- ↳ Lors du démarrage des unités de production et après chaque intervention, les réseaux seront purgés à l'azote et les gaz envoyés dans le réseau de torche. Les unités d'électrolyse ne pourront démarrer que si la concentration de N₂ est suffisante dans le réseau d'inertage.
- ↳ En cas d'arrêt complet, l'H₂ et l'O₂ seront évacués par leur réseau respectif jusqu'à ce que le système soit proche de la pression atmosphérique. S'en suivra ensuite le déclenchement d'une purge à l'azote du système complet.
- ↳ Les réseaux de collecte H₂ et O₂ seront séparés. Le réseau de collecte H₂ sera extérieur et isolé du réseau de collecte O₂ (allant vers les événements) par les parois REI 120 du bâtiment de production. De plus, ces réseaux sont inertés à l'azote.
- ↳ Les différents paramètres de suivi au niveau des équipements feront l'objet d'un report des informations vers la centrale de traitement située au niveau du bâtiment commande. En cas de besoin, les consignes de mise en sécurité des installations ou équipements seront activées.
- ↳ La mesure du niveau d'électrolyte dans un séparateur sera réalisée par différentiel (mesure de niveau dans le séparateur O₂ et déduction du niveau dans le séparateur H₂ et inversement). Cette mesure de niveau permettra de démarrer le remplissage automatique des électrolyseurs jusqu'à atteindre le point consigne de niveau d'électrolyte.
- ↳ En cas d'arrêt de l'alimentation en eau brute, le niveau de liquide dans les séparateurs (les électrolyseurs et les séparateurs seront connectés par un tube en « U » ayant une hauteur suffisante pour avoir un niveau de liquide constant et ainsi éviter le mélange de gaz) empêchera le mélange des deux gaz (barrière liquide).
- ↳ Une baisse du niveau d'électrolyte dans les électrolyseurs entraînera une augmentation de la résistance dans l'électrolyte (paramètre faisant l'objet d'un suivi) et par conséquent un arrêt de la ligne.
- ↳ Afin de suivre la qualité des gaz, mise en place d'une double sécurité : suivi de la teneur en H₂ dans l'O₂ et de la teneur en O₂ dans l'H₂. En cas de dérive, cela sera immédiatement détecté par les analyseurs de gaz en continu et la ligne sera arrêtée. Une mesure régulière de la tension de la cellule d'électrolyse permettra de surveiller leur état (notamment la membrane).
- ↳ Après une phase de redémarrage, l'H₂ ne sera orienté dans le processus de purification qu'une fois les spécifications de pureté du gaz requise atteintes (cf point précédent sur l'analyse en continu de la qualité des gaz).
- ↳ Une augmentation de la teneur en O₂ dans l'H₂ aura pour conséquence une augmentation de la température au niveau de l'unité de purification qui sera immédiatement détectée et la ligne sera arrêtée.

- ↳ Les installations seront protégées contre le risque de gel.

D) SPECIFICITES SUR LES CANALISATIONS

Les mesures spécifiques aux canalisations sont :

- ↳ Les différentes mesures intrinsèques aux canalisations sont présentées au chapitre relatif à la réduction du risque à la source.
- ↳ Mise en place de procédures spécifiques.
- ↳ Le réseau de canalisations sera inerté à l'azote.
- ↳ Les matériaux seront parfaitement adaptés aux gaz / fluides transportés.
- ↳ Les canalisations enterrées seront traitées contre le risque de corrosion.

E) ATMOSPHERE ENRICHIE EN OXYGENE

Les mesures techniques et organisationnelles prévues par l'exploitant afin de maîtriser les risques en atmosphère enrichie en oxygène seront les suivantes :

- ↳ Utiliser des vêtements propres appropriés, sans présence de matière grasseuse ou contaminants facilement combustibles ;
- ↳ Interdire l'usage d'huile ou de graisse pour lubrifier les matériels ;
- ↳ Lors d'un travail dans des espaces confinés où l'oxygène peut être présent, isoler l'équipement, apporter une ventilation appropriée et utiliser un analyseur d'oxygène. Il ne faudra pénétrer qu'après obtention d'un permis d'entrée signé par un responsable agréé.
- ↳ Interdiction de fumer,
- ↳ Les personnes ayant été exposées à des atmosphères enrichies en oxygène ne devront pas être autorisées à approcher des flammes nues, réaliser une opération de maintenance nécessitant un point chaud, etc. tant qu'une ventilation adéquate de leurs vêtements n'a pas été effectuée,
- ↳ Mise en place de procédure de nettoyage du réseau de collecte O₂ et de vérification de l'état d'usure des vannes et brides.

A noter que les procédures spécifiques à l'hydrogène pourront être transposées à la gestion du risque O₂.

1.2.3 SYSTEMES DE DETECTION ET D'ALARME

A) DETECTIONS

Les différentes détections prévues dans le cadre du projet sont présentées dans le tableau ci-dessous :

	Détection	Action associée si détection
Transformateurs 225 kV	<p>Suivi des différents gaz susceptibles d'être produits en cas de défaillance</p> <p>Suivi de la température d'opération (-40 °C à +55 °C)</p> <p>Suivi de la température de l'huile (-20 °C à +120 °C)</p> <p>Suivi du taux d'humidité (0 à 95 %)</p> <p>Détection des points chauds par un suivi de la température par infrarouge ou laser</p>	<p>Coupure des énergies</p> <p>Isolement de l'équipement</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H₂ par la torchère</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p>
Transformateur 30 kV	<p>Détection fumée</p> <p>Capteur de température installé au niveau des enroulements</p>	<p>Coupure des énergies</p> <p>Isolement de l'équipement</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H₂ par la torchère</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p>
Electrolyseur	<p>Suivi de la qualité de l'eau brute (conductivité en particulier)</p> <p>Suivi du niveau en électrolyte</p> <p>Suivi du débit en électrolyte</p> <p>Suivi de la température en électrolyte</p> <p>Suivi du débit d'alimentation en eau</p> <p>Suivi de la température et de la puissance électrique des empilements</p> <p>Suivi de la pression dans le compartiment H₂</p> <p>Suivi pression sur le réseau O₂</p> <p>Mesure de la pression différentielle entre les compartiments H₂ et O₂</p> <p>Suivi de la tension pour vérifier l'état de la cellule</p> <p>Mesure de la teneur en H₂ dans le compartiment O₂</p> <p>Mesure de pression N₂ dans le réseau d'inertage pour le démarrage et en fonctionnement</p>	<p>Coupure des énergies</p> <p>Isolement de l'équipement</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H₂ par la torchère</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p>
Séparateurs	<p>Suivi du niveau en électrolyte</p> <p>Suivi du débit en électrolyte</p> <p>Suivi de la température</p> <p>Suivi de la pression</p> <p>Analyse en continu de la qualité des gaz : suivi teneur H₂ dans l'O₂ et teneur en O₂ dans l'H₂</p> <p>Mesure de pression N₂ dans le réseau d'inertage pour le démarrage et en fonctionnement</p>	<p>Coupure des énergies</p> <p>Isolement de l'équipement</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H₂ par la torchère</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p>

	Détection	Action associée si détection
Purificateurs	<p>Suivi température</p> <p>Suivi de la teneur en O₂ dans H₂ → si augmentation de la teneur en O₂ dans H₂ → augmentation de la température</p> <p>Suivi débit</p> <p>Suivi niveau</p> <p>Suivi du taux d'humidité</p> <p>Mesure de pression N₂ dans le réseau d'inertage pour le démarrage et en fonctionnement</p>	<p>Coupure des énergies</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H₂ par la torchère</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p>
Réseau O ₂	<p>Suivi de la conductivité (l'hydrogène étant 7 fois plus conducteur que l'oxygène)</p> <p>Seuil 1= 1,2 % → alarme</p> <p>Seuil 2= 2,5 % → mise à l'arrêt automatique des séparateurs concernés</p>	<p>Coupure des énergies</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau d'évent O₂</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p>
Réseau H ₂	<p>Suivi de la teneur en O₂ dans le réseau H₂ directement en sortie des séparateurs et en sortie des purificateurs</p> <p>Suivi de pression</p>	<p>Coupure des énergies</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H₂ par la torchère</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p>
Unité de production	<p>Détection H₂</p> <p>Détection incendie : Fumées</p> <p>Détection des points chauds par caméra infrarouge.</p>	<p>Coupure des énergies</p> <p>Isolement de l'équipement et arrêt de la production H₂</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H₂ par la torchère</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p> <p>Ventilation forcée</p>
Bâtiments compression	<p>Détection H₂</p> <p>Détection incendie : Fumées</p>	<p>Coupure des énergies</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H₂ par la torchère</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p> <p>Ventilation forcée</p>
Bâtiment électrique	Détection incendie	<p>Coupure des énergies</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H₂ par la torchère</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p>
Compresseurs	<p>Suivi pression à l'aspiration</p> <p>Suivi de la teneur en O₂ en entrée de compresseur</p> <p>Suivi température</p>	<p>Coupure des énergies</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H₂ par la torchère</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p>
Station mobilité	Détection incendie	<p>Coupure des énergies</p> <p>Arrêt de la production H₂</p> <p>Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H₂ par la torchère</p> <p>Purge et inertage de l'unité</p>

	Détection	Action associée si détection
Nez de torche	Détection optique de flamme	Coupure des énergies Arrêt de la production H ₂ Purge et inertage de l'unité
Réseau N ₂	Suivi pression Suivi température Mesure du niveau d'azote dans le réservoir	Coupure des énergies Arrêt de la production H ₂ Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H ₂ par la torchère Purge et inertage de l'unité Fonctionnement des électrolyseurs uniquement si le niveau d'azote dans le réseau d'inertage est suffisant
Réseau de transfert H ₂	Suivi pression	Fermeture vanne en entrée de la ligne de transfert H ₂ Isolement de l'équipement Arrêt de la production H ₂ Dépressurisation vers le réseau de torche et combustion contrôlée de l'H ₂ par la torchère Purge et inertage de l'unité
Réseau de transfert CH ₄	Suivi pression	Fermeture vanne en entrée de la ligne de transfert CH ₄ Isolement de l'équipement Arrêt de la production H ₂
Groupe diesel de secours	Détection incendie Mesure du niveau de diesel dans le bac de rétention (détection d'une fuite)	Arrêt de la production H ₂

Pour la détection gaz et la détection incendie, les capteurs seront reliés à des centrales d'acquisition. Chaque centrale traitera les informations venant de chaque 1/2 unité et des bâtiments compresseur. De cette manière une redondance pour la détection sera assurée. Chaque centrale sera par liaison câblée reliée avec le poste de sécurité du site qui ordonnera l'arrêt de la production de manière automatisée. A noter la mise en place d'une alimentation de secours électrique permettant de supprimer le risque de perte totale du système de détection (**voir note technique en annexe EDD.7**).

➤ **Focus sur la détection d'hydrogène sous bâtiment**

La localisation des détecteurs H₂ au sein des bâtiments d'électrolyse et de compression a fait l'objet d'une étude spécifique (*INERIS 181601-659689-v1.0 du 23/09/2019*) disponible en annexe EDD.5.

Également, une note technique sur la fiabilité de la chaîne de détection hydrogène est disponible en annexe EDD.8.

La détection d'hydrogène sur le site sera redondante, secourue et conforme au niveau SIL 2.

Le SIL (Safety Integrity Level) correspond à un niveau de fiabilité attendu par le système, ou la sous-fonction concernée, déterminé par l'analyse de sécurité. En fonction du SIL et du niveau de sollicitation du système (faible ou forte), les probabilités de défaillance sont plus contraignantes, SIL 1 étant le plus faible niveau quand SIL 4 est le plus élevé.

Les probabilités associées au niveau SIL 2 sont les suivantes :

SIL	Faible sollicitation Probabilité moyenne de défaillance de la fonction (sur demande)	Forte sollicitation ¹ Probabilité de défaillance dangereuse (par heure)
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$ (Evènement peu probable dans la vie d'une installation)	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$ (Evènement improbable dans la vie d'une installation)

Le respect du SIL garantit ainsi un « niveau de confiance » du système développé car le risque zéro n'existe pas, la norme donnant les activités à effectuer pour atteindre le niveau de SIL visé notamment la mise en place d'une gestion de la qualité et de la configuration. En termes de qualité, la mise en place d'une norme type ISO 9000 est un prérequis dès le SIL 1. La mise en place d'activités démontrant la sécurité est également requise et doit être démontrée à travers un dossier de preuve, *safety case*, qui établit de manière indépendante de l'équipe de développement que le système livré atteint le SIL requis.

En cas de défaillance de la détection, la production d'hydrogène sera arrêtée via le système de sécurité (transmission de l'information + fermeture de vanne). Le principe retenu par H2V est d'avoir un maximum de redondance pour assurer la fiabilité du système de détection. Ces capteurs seront reliés à deux centrales d'acquisition différentes, qui seront à leur tour reliées au Système de Sécurité. Si le premier capteur ne détecte pas une éventuelle fuite, ou l'information n'est pas transmise à la centrale d'acquisition numéro 1, le capteur 2, qui est situé à proximité, va transmettre l'information à la centrale d'acquisition numéro 2 et ensuite à l'automate de sécurité qui enclenche un arrêt d'urgence de l'installation.

Bâtiment électrolyse

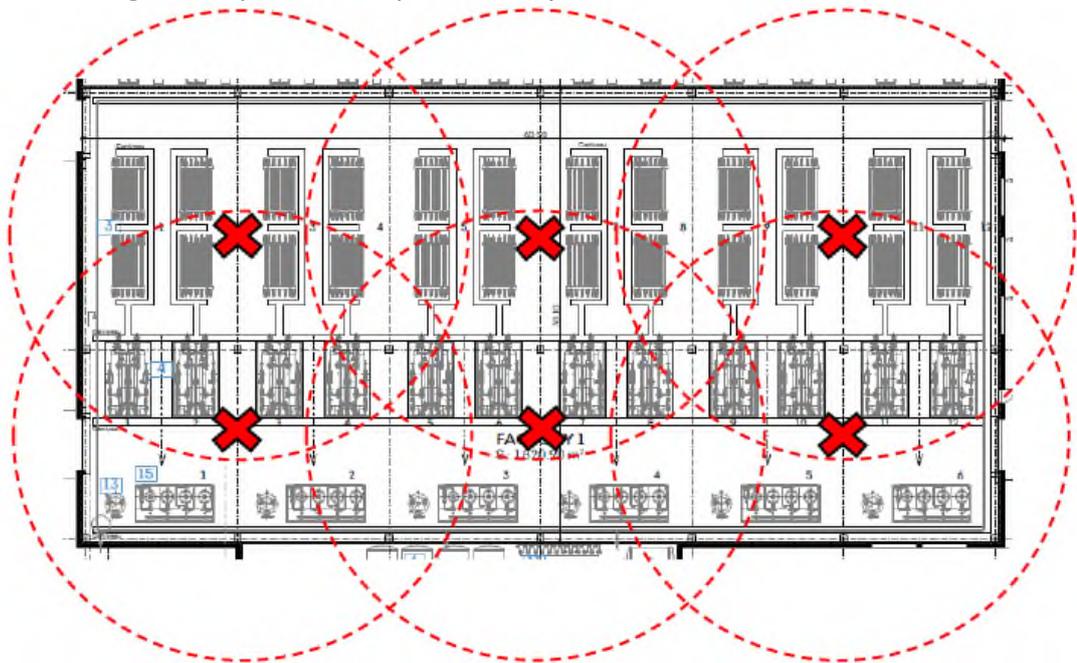
L'hypothèse est prise d'une ventilation permanente de 10 vol/h (débit en situation normale). En cas de fuite dans le bâtiment, la ventilation permettra d'évacuer une partie de l'hydrogène accumulé. Sur base des calculs menés dans l'étude disponible en annexe EDD.5, le débit de fuite maximal pour lequel la concentration d'équilibre reste inférieure à la LIE est de 0,195 kg/s (pression de 30 bar). L'objectif de la détection est donc d'être capable de détecter les débits de fuite supérieurs à cette valeur. Différentes simulations de fuites d'H₂ ont été réalisées en plusieurs points de fuite au sein du bâtiment (centre haut, centre bas et dans un coin).

¹ Fréquence de sollicitation d'un système de sécurité supérieure à une fois par an ou supérieure à deux fois la fréquence du test de fonctionnement.

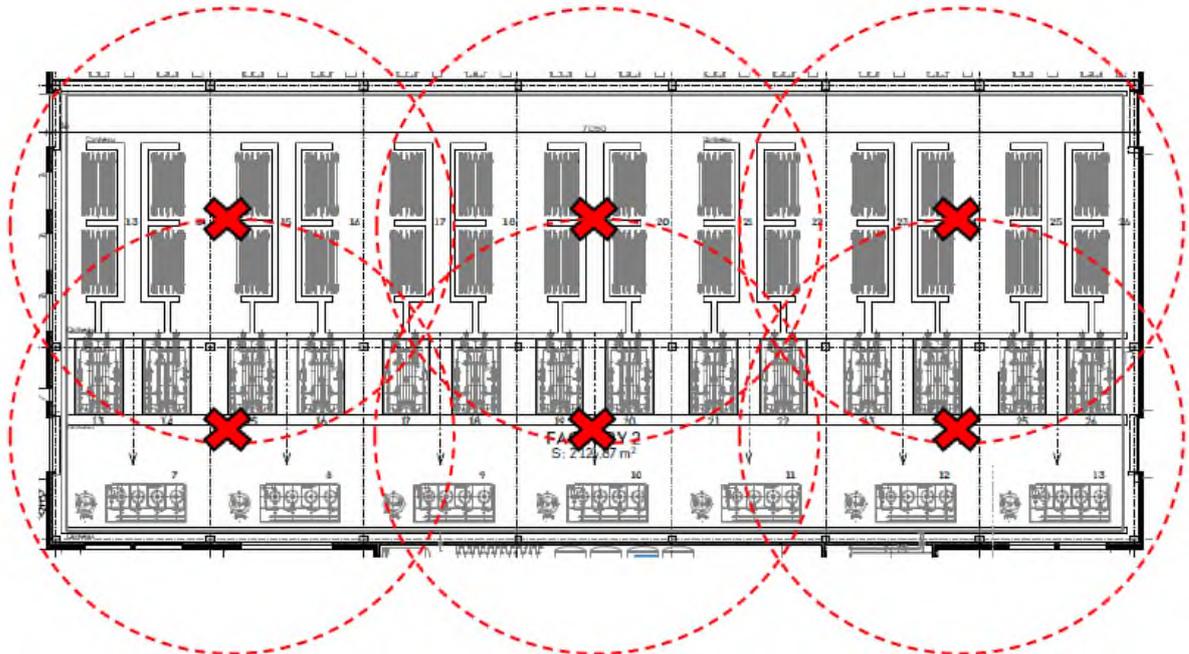
Cela a permis de mettre en évidence les enseignements suivants :

- Pour les scénarios étudiés, une couche d'hydrogène se forme sous toiture et couvre l'ensemble du bâtiment au maximum après 80 s. Les détecteurs doivent être placés en hauteur, sous la toiture.
- L'enjeu pour la détection est de couvrir suffisamment la zone sous toiture pour qu'un détecteur se retrouve rapidement dans la zone 1% d'H₂ dans le volume d'air. Pour un objectif de présence d'un détecteur dans la zone 1% après 10 s de rejet, le maillage de détecteurs doit être défini de telle sorte que la distance entre un point sous toiture et un détecteur soit de 15 m au maximum.
- La zone sous toiture, à proximité de l'extraction, est à privilégier pour le placement des détecteurs. En effet, la hauteur de la couche d'hydrogène est plus importante du côté du mur où se situe l'extraction. Par ailleurs, cette zone se situe naturellement sur le chemin de l'hydrogène rejeté du fait de la pente de la toiture et de la ventilation mécanique.

La localisation des détecteurs pour les bâtiments d'électrolyse est illustrée ci-dessous (chaque rond rouge correspond à un rayon de 15 m) :



Position des détecteurs H₂ dans la première ½ usine de l'unité de production



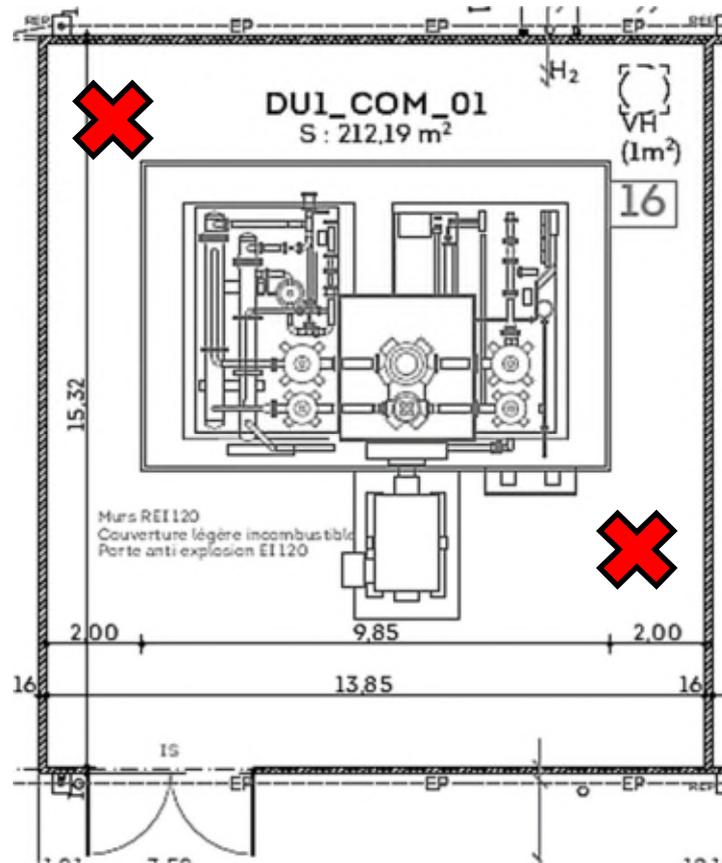
Position des détecteurs H₂ dans la seconde ½ usine de l'unité de production

Bâtiments compresseur (100 bar et 500 bar)

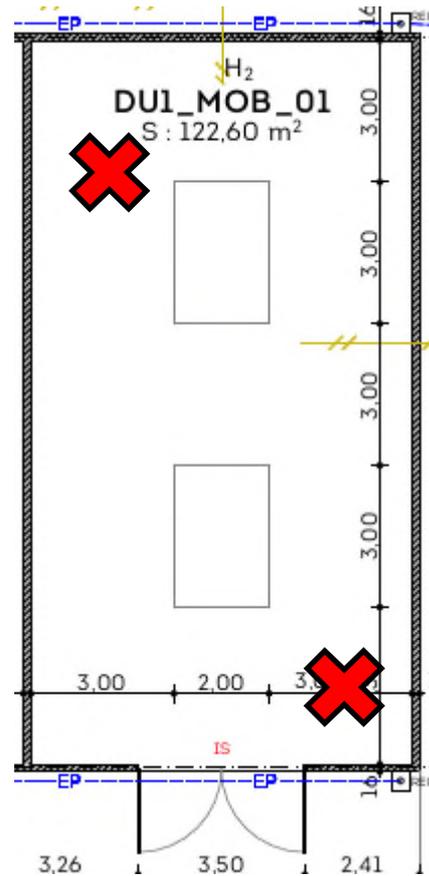
L'hypothèse est prise d'une ventilation permanente de 10 vol/h (débit en situation normale). En cas de fuite dans le bâtiment, la ventilation permettra d'évacuer une partie de l'hydrogène accumulé. Sur base des calculs menés dans cette étude, le débit de fuite maximale pour lequel la concentration d'équilibre reste inférieure à la LIE est de 0,01682 kg/s. L'objectif de la détection est donc d'être capable de détecter les débits de fuite supérieurs à cette valeur. Différentes simulations de fuites d'H₂ ont été réalisées en plusieurs points de fuite au sein du bâtiment (centre haut, centre bas et dans un coin).

Le remplissage se faisant par couche homogène en partie haute il est conseillé de placer les détecteurs sous plafond. La répartition étant uniforme horizontalement, un seul détecteur serait nécessaire.

Pour assurer une redondance, deux détecteurs seront placés symétriquement l'un par rapport à l'autre sous plafond.



Position des détecteurs H₂ dans le bâtiment compression 100 bar



Position des détecteurs H₂ dans le bâtiment compression 500 bar

Choix de la technologie des détecteurs

Sur la base de l'état de l'art des technologies de détecteurs, et tenant compte des spécificités des installations du projet H2VNormandy, les recommandations à prendre en compte sont les suivantes :

- ↳ Il est tout d'abord conseillé d'utiliser des technologies éprouvées. Celles-ci sont les technologies catalytiques, catharométriques, électrochimiques et à résistance semi-conductrice.
- ↳ Les détecteurs doivent être capables de mesurer une plage de concentration de 25% de la LIE jusqu'à la LIE ce qui exclut a priori les détecteurs de technologie catharométrique.
- ↳ Les résultats de modélisation ont montré la nécessité pour les détecteurs d'avoir un temps de réponse rapide ce qui exclut les détecteurs de technologie électrochimique.
- ↳ Les conditions ambiantes ont une forte influence sur les détecteurs de technologie à résistance semi-conductrice qui sont par ailleurs peu stables sur le long terme.

- ↳ Finalement, la technologie restante répondant aux critères fixés est celle du détecteur catalytique.

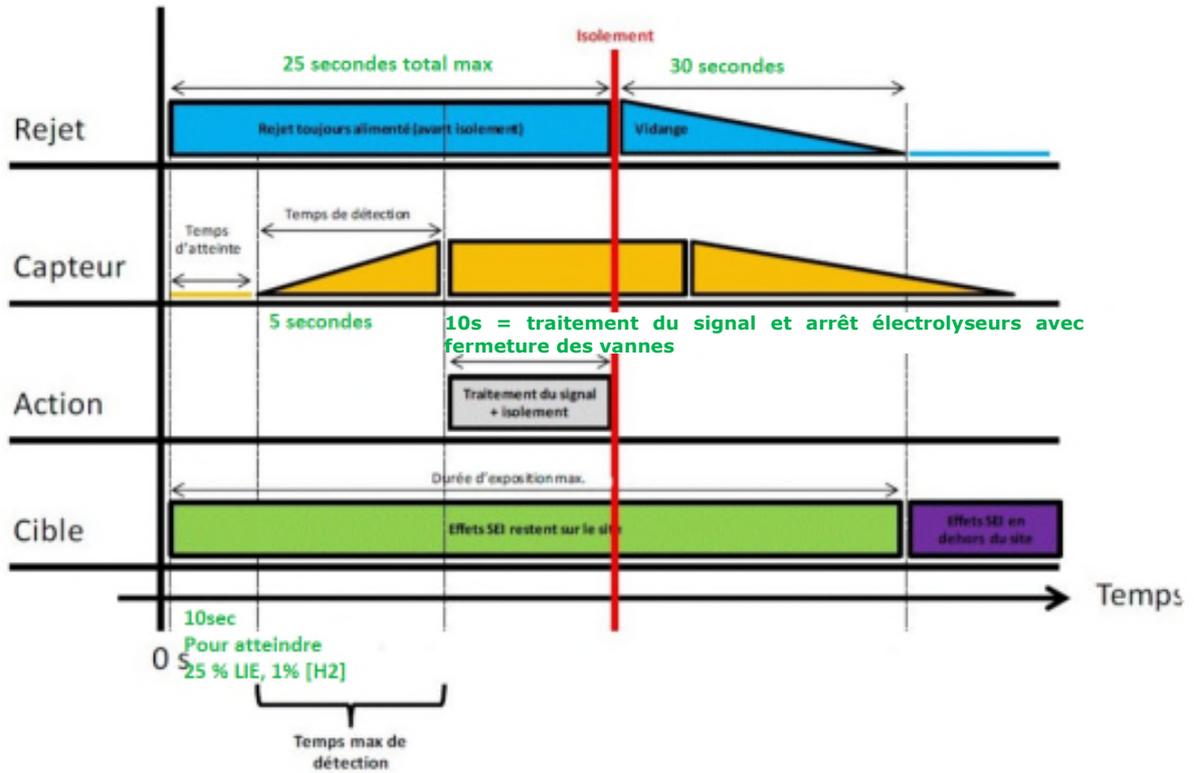
En tout état de cause, le bon fonctionnement des détecteurs fera l'objet d'un entretien régulier avec étalonnage et d'une maintenance préventive.

Seuils et actions associées en cas de détection dans les bâtiments

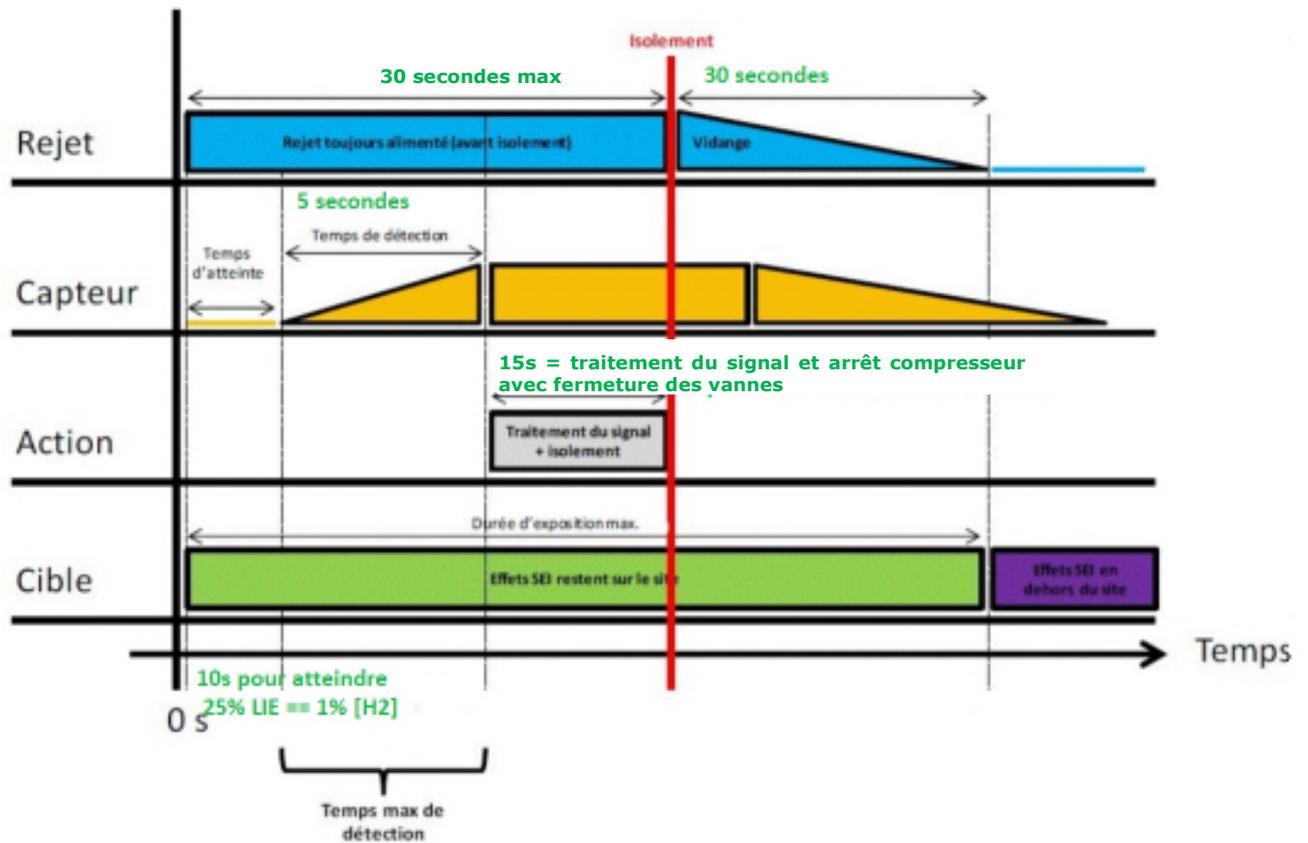
Le principe de détection mis en place sera constitué par plusieurs niveaux d'alarmes qui déclencheront différentes actions en fonction de la gravité de la fuite.

<p>1^{er} seuil : 10 % de la LIE soit 0,4 % de concentration en H₂ dans l'air</p>	<p>Alarme en salle de contrôle et alarme visuelle et sonore dans les bâtiments.</p> <p>Mise en œuvre de tous les moyens de ventilation possibles (y compris les moyens de ventilation de secours et potentiellement les moyens de désenfumage).</p> <p>Evacuation du personnel des bâtiments concernés par la détection H₂ vers le bâtiment de supervision.</p> <p>Action spécifique par les opérateurs en salle de contrôle (arrêt standard d'une unité si elle est identifiée par les pertes de pression, variation du niveau de potasse dans les séparateurs, etc.)</p>
<p>2^{ème} seuil : 25 % de la LIE soit 1 % de concentration en H₂ dans l'air</p>	<p>Alarme en salle de contrôle et alarme visuelle et sonore dans les bâtiments</p> <p>Evacuation de tout le personnel, y compris le personnel qui aurait été sur zone de fuite pour détecter la fuite de niveau bas, vers des aires sécurisées ou en salle de contrôle.</p> <p>Arrêt automatique des installations avec coupure de l'alimentation électrique principale et mise en sécurité de l'usine.</p> <p>Maintien des équipement critiques (ventilation, système et organes de contrôle et sécurité, supervision, instrumentation) qui sont alimentés par une alimentation secourue</p>
<p>3^{ème} seuil : 90 % de la LIE soit 3,6 % de concentration en H₂ dans l'air</p>	<p>Niveau critique : mise en action du plan d'intervention d'urgence</p>

La cinétique est présentée sur les graphiques ci-après.



Temps de réaction de la chaîne de détection au niveau d'une unité de production



Temps de réaction de la chaîne de détection au niveau d'un bâtiment de compression

➤ **Focus sur la détection d'hydrogène en extérieur**

A noter que la littérature et les standards industriels actuels ne recommandent pas spécifiquement de détection de fuite en extérieur, car l'hydrogène étant particulièrement volatil, il aura tendance à fuir en altitude très rapidement. D'autre part, étant donné les conditions extérieures changeantes, une analyse sera faite par H2VNormandy en phase d'étude détaillée afin de sélectionner les meilleurs détecteurs d'hydrogène pour cette utilisation.

Si l'on se réfère aux recommandations de l'ADEME et de l'INERIS : "si une petite fuite a lieu en milieu extérieur, l'hydrogène peut se disperser à l'infini sans accumulation importante".
Source : Guide d'information sur les risques et les mesures de sécurité liées à la production décentralisée d'hydrogène, ADEME, INERIS, juin 2015 (Chapitre 4.1.1 page 25).

La norme NF-M58-003 indique que "un système de détection doit être mise en œuvre lorsque le volume libre de l'enceinte et/ou la ventilation permanente ne permet pas d'exclure la formation d'une atmosphère inflammable potentiellement dangereuse".

Les mesures sur les tuyauteries pourront se faire par des détecteurs portables ou fixes.

Les technologies utilisées seront soit :

- Catalytique,
- Catharométrie,
- Electrochimique,
- Résistance semi-conductrice (oxyde métallique semi-conducteur, résistance métallique),
- Avec fonction de travail (condensateur, transistor),
- Optique (optrode, fibre de Bragg, fibre optique avec onde évanescente),
- Acoustique (microbalance à cristal de quartz, onde acoustique de surface, ultrasonique).

Les types de détecteurs et technologies seront déterminés pendant les études de détails, en fonction de leur emplacement et de la criticité des signaux.

Les procédures définiront des rondes régulières journalières pour la vérification des canalisations extérieures et intérieures, à l'intérieur des limites de propriété du site, et plus spécifiquement autour des brides accessibles.

Enfin tous les opérateurs seront amenés à utiliser des dispositifs portatifs pour la détection d'hydrogène, détectant des hautes concentrations de gaz H₂.

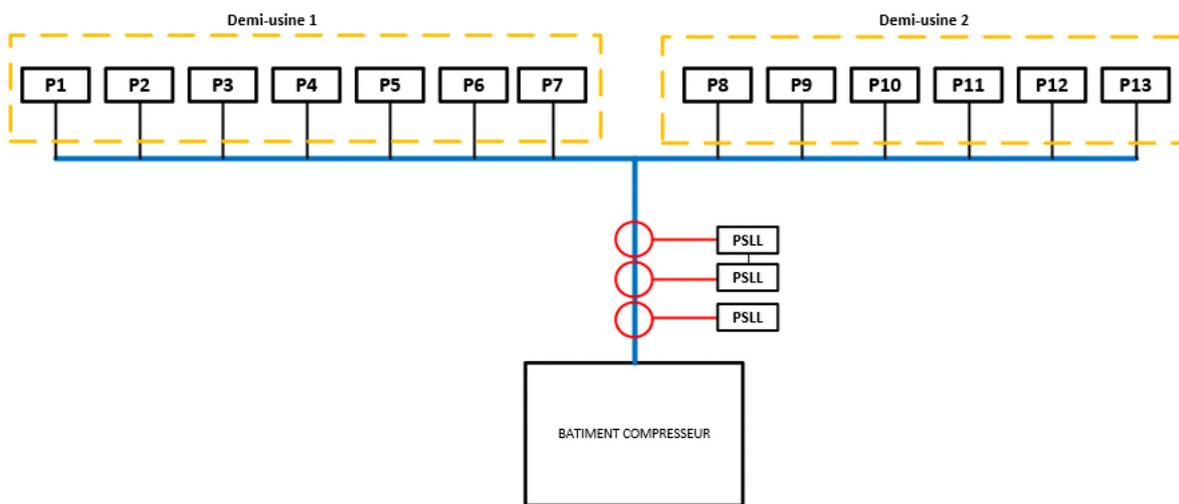
➤ **Focus sur la mesure de pression « niveau bas » sur les réseaux d'hydrogène en extérieur**

Une note technique est fournie en annexe EDD.11.

En cas de fuites d'hydrogène gazeux sur les systèmes de production, les transmetteurs de pressions associés à des interrupteurs de pression, peuvent être considérés comme des moyens de maîtrise des risques dans les conditions décrites ci-après.

En cas de fuite en extérieur sur le collecteur commun qui amène l'hydrogène aux compresseurs, une chute de pression aura lieu (surtout en cas de fuite importante). Pour cela H2V souhaite installer trois capteurs redondants.

La localisation des capteurs est présentée ci-dessous :



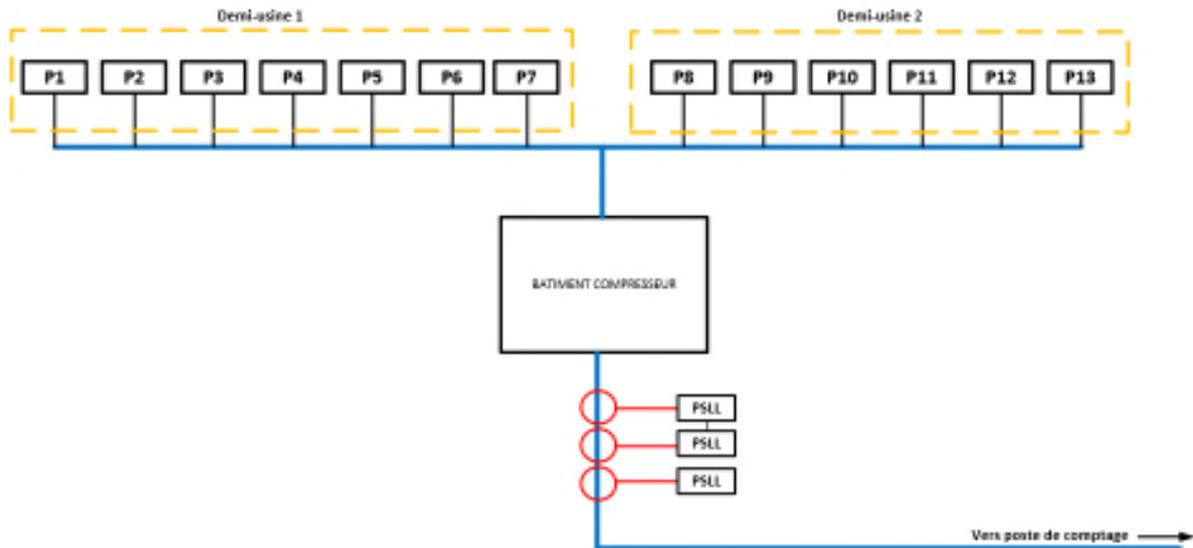
Un minimum de deux capteurs détectant une pression basse est nécessaire pour enclencher la chaîne de sécurité qui comprendra les actions suivantes :

- Les électrolyseurs seront arrêtés (l'alimentation électrique aux bornes des stacks sera coupée).
- Les vannes d'isolation en aval des électrolyseurs ainsi que sur les collecteurs communs seront fermées.
- Le compresseur sera arrêté et les vannes d'isolation seront également fermées.
- L'inventaire présent dans l'unité de production sera envoyé à la torchère pour être brûlé.
- L'inventaire restant dans le collecteur commun après isolation continuera à être libéré à l'atmosphère jusqu'à atteindre une dépressurisation naturelle complète.
- Les inventaires dans la canalisation d'export et des compresseurs seront aussi envoyés à la torchère pour éviter les effet dominos.

De la même manière trois capteurs redondants avec transmetteurs seront installés en aval de compresseur.

En cas de fuite en extérieur sur la canalisation qui exporte l'hydrogène comprimé en aval des compresseurs, une chute de pression sera détectée.

La localisation des capteurs est présentée ci-dessous :



Les transmetteurs de pressions pourront indiquer cette perte de pression aux opérateurs via le Système SCADA (si la pression mesurée est inférieure au seuil fixé de limite basse) et les interrupteurs de pression seront associés à la chaîne de sécurité et entraîneront un arrêt complet de l'installation. Un minimum de deux capteurs détectant une pression basse est nécessaire pour enclencher la chaîne de sécurité :

- Les électrolyseurs seront arrêtés (l'électricité aux bornes des stacks sera coupée) ;
- Les vannes d'isolation en aval des électrolyseurs ainsi que sur les collecteurs communs seront fermées ;
- Les vannes d'isolation sur le collecteur seront fermées ;
- Le compresseur sera arrêté et les vannes d'isolation seront également fermées ;
- L'inventaire présent dans l'unité de production sera envoyé à la torchère pour être brûlé ;
- L'inventaire restant dans la canalisation après isolation continuera à être libéré à l'atmosphère jusqu'à atteindre une dépressurisation naturelle complète.

La chaîne de sécurité est redondante et conçue SIL2.

Le système permet de réagir en 60 secondes à une fuite équivalente à 10% du DN nominal.

La cinétique de la fuite est la suivante :

- Temps de détection de la fuite par le capteur : 40s

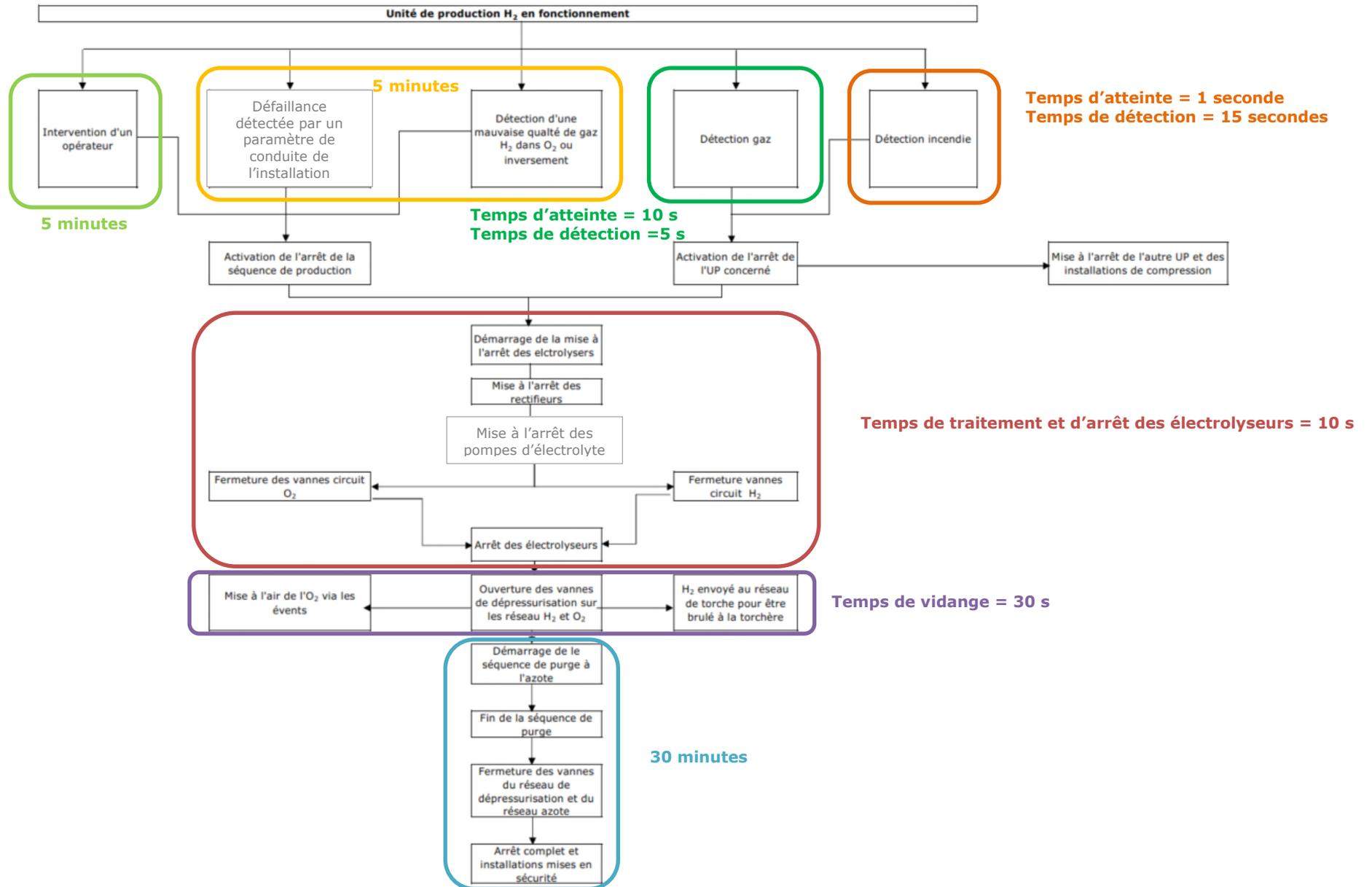
- Traitement du signal : 5s
- Arrêt de la production et isolement du collecteur principal : 15s

B) TRANSMISSION D'ALERTE

Le déclenchement d'un des dispositifs de détection mis en place dans le cadre des différentes installations composant le projet donnera lieu :

- ↳ à la mise en sécurité des installations,
- ↳ à une alarme et un report d'alarme vers la centrale d'alarme située en salle de conduite,
- ↳ à un déclenchement du plan de secours.

Les schémas ci-dessous illustrent les séquences de mise à l'arrêt des installations de production d'H₂ et de compression en cas de détection d'une défaillance.



Séquence d'arrêt des installations de production d'hydrogène

Temps d'atteinte = 1 seconde
 Temps de détection = 15 secondes

5 minutes

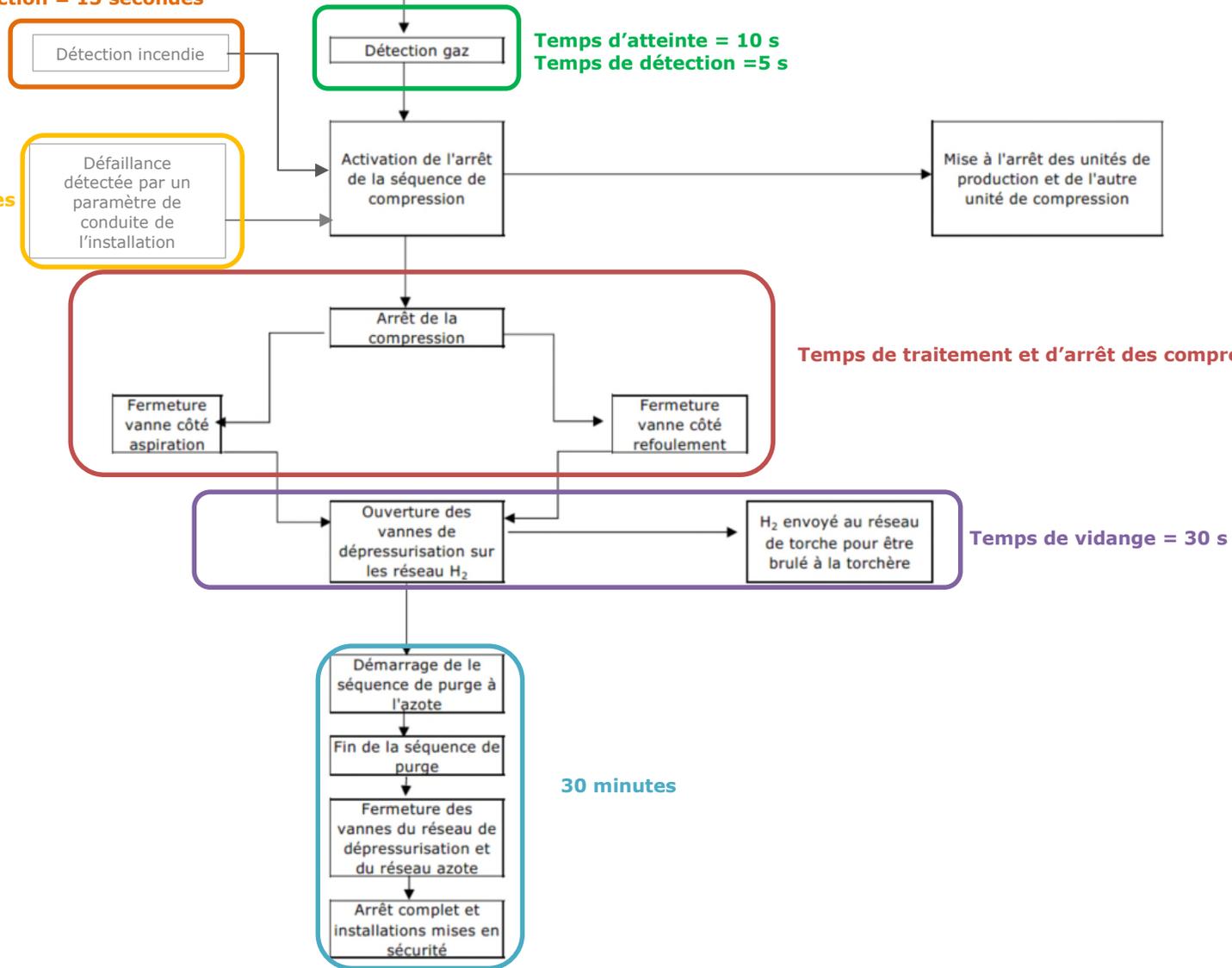
Unité de compression H₂ en fonctionnement

Temps d'atteinte = 10 s
 Temps de détection = 5 s

Temps de traitement et d'arrêt des compresseurs = 15 s

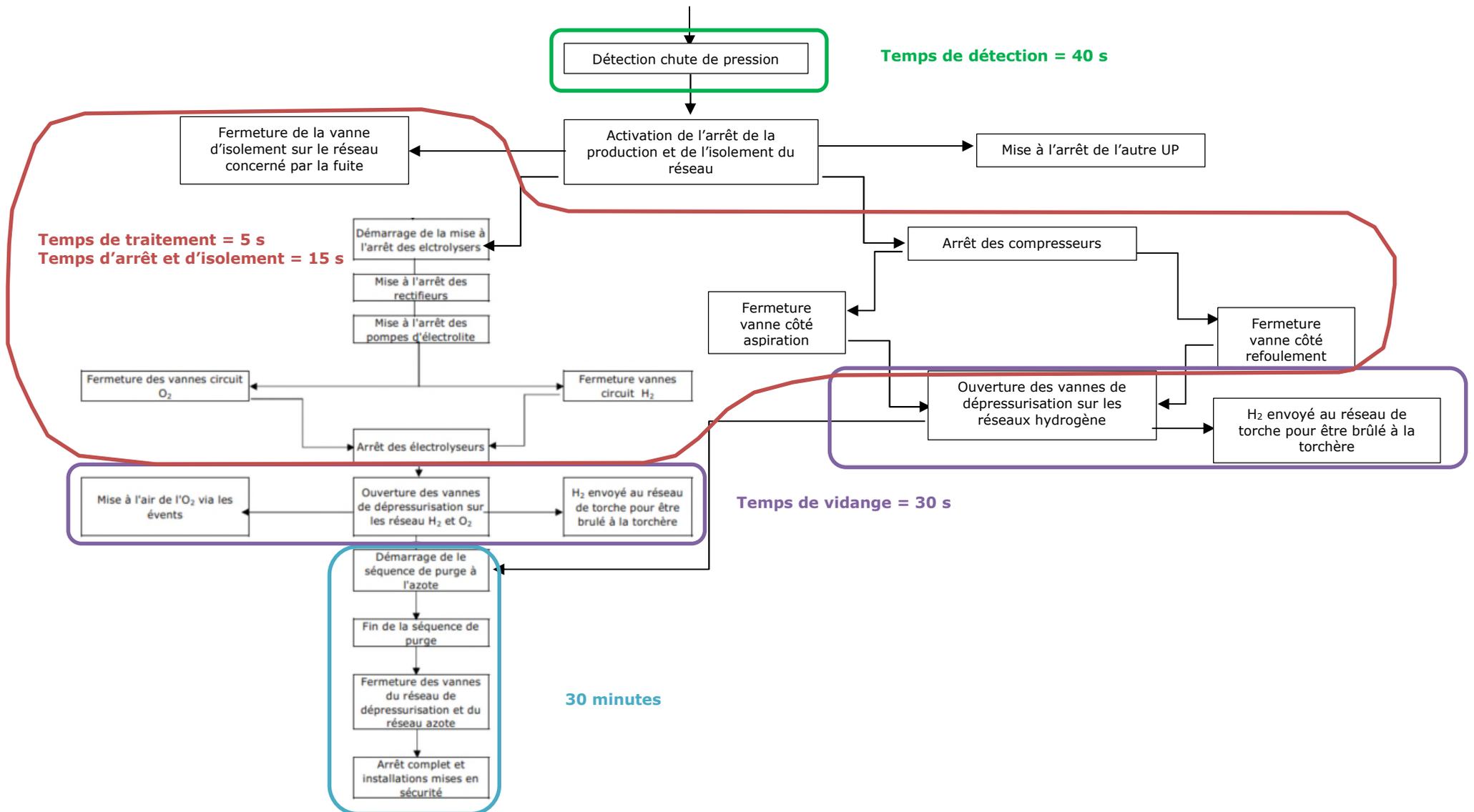
Temps de vidange = 30 s

30 minutes



Séquence d'arrêt des installations de compression d'hydrogène

Réseaux aériens d'hydrogène amont et/ou aval compression



Séquence d'isolement des réseaux aériens d'hydrogène en extérieur (non enterrés)

1.2.4 VERIFICATIONS REGLEMENTAIRES

L'exploitant sera tenu de :

- ↳ réaliser un autocontrôle et une maintenance préventive de ses installations, afin de valider leur bon fonctionnement et celui de leurs organes de sécurité,
- ↳ faire réaliser l'ensemble des contrôles périodiques prescrits par la réglementation par un organisme agréé ou habilité par le Ministère ou le préfet du département concerné. Les procédures d'autocontrôle seront réalisées en complément de ces vérifications obligatoires.

Le tableau ci-dessous présente les différents contrôles périodiques et vérifications réalisés au niveau des nouvelles installations ainsi que leur fréquence de réalisation.

Equipement/Installation/Système	Périodicité du contrôle ou de la vérification
Installations électriques	Annuelle
Tous les matériels d'extinction et de secours	Essai et contrôle visuel tous les semestres par une personne compétente
Extincteur portatif/manuel	Exercice de maniement : semestriel Accessibilité, présence : inspection mensuelle Vérification de l'aptitude des extincteurs à remplir leur fonction : annuelle
Installation de désenfumage	Vérification : Annuelle
Système de détection gaz	Essai de fonctionnement : semestriel Inspection visuelle (détecteur, batterie) : semestrielle Par l'installateur ou un vérificateur agréé
Système de détection incendie	Essai de fonctionnement : semestriel Inspection visuelle (détecteur, batterie) : semestrielle Par l'installateur ou un vérificateur agréé
Système de suivi de la pression	Essai de fonctionnement : semestriel Inspection visuelle : semestrielle Par l'installateur ou un vérificateur agréé
Equipements sous pression et équipements associés	Contrôle de mise en service ayant pour objet de constater que l'équipement un fois installé satisfait aux règles d'installation applicables et que ses conditions d'exploitation en permettent une utilisation sûre. Inspection périodique : vérification extérieure et intérieure et des accessoires de sécurité.

Également, un planning prévisionnel de maintenance des équipements de production est présenté dans le tableau ci-dessous, en version préliminaire et non définitive :

Module	Composante	Opération de maintenance	Fréquence	Commentaire
Electrolyseurs	/	Mesure du voltage	Quotidienne Hebdomadaire	/
	/	Inspection système électrolyte (visuelle et mesure de la concentration)	Quotidienne Tous les 3 mois	/
	/	Remplacement de l'électrolyte	Tous les 5 ans	Réalisé par le fournisseur

Module	Composante	Opération de maintenance	Fréquence	Commentaire
	/	Remplacement des électrolyseurs	Tous les 10 ans	Réalisé par le fournisseur si nécessaire, la durée de vie peut être plus longue
Séparateurs de gaz	Pompe d'électrolyte	Vérification fuite et vibration	Quotidienne Hebdomadaire	/
	Filtre d'électrolyte	Nettoyage	Annuelle	/
	Capteur de pression	Calibrage	Annuelle	Prestataire extérieur
	Vannes pneumatiques	Inspection visuelle	Quotidienne Hebdomadaire	/
	Instrument de mesure du débit d'électrolyte	Vérification de la lecture	Tous les 3 mois	/
	Analyseur oxygène	Calibrage	Tous les 3 mois	Prestataire extérieur
		Vérification du débit	Quotidienne Hebdomadaire	/
	Analyseur hydrogène	Calibrage	Tous les 3 mois	Prestataire extérieur
		Remplacement de la cellule de mesure	Annuelle	/
Vérification du débit		Quotidienne Hebdomadaire	/	
Purificateur	Vanne pneumatique	Inspection visuelle	Tous les 3 mois	/
	Electrovanne	Inspection visuelle	Tous les 3 mois	/
	Désoxydeur	Lecture de la température	Tous les 3 mois	/
	Sécheur	Remplacement de l'absorbant d'humidité	Tous les 5 ans	Réalisé par le fournisseur
	Brûleur électrique	Remplacement	Tous les 5 ans	Réalisé par le fournisseur
	Instruments	Calibrage	Tous les 6 mois	Prestataire extérieur
Traitement de l'eau	Filtre	Remplacement	Tous les 6 mois	/
	Pompe d'alimentation	Remplacement de l'huile	Tous les 6 mois	Réalisé par le fournisseur
Transformateurs et redresseur	/	Inspection visuelle	Quotidienne Tous les 6 mois	/
Usine	/	Inspection visuelle (détection fuite)	Quotidienne Hebdomadaire	/
	/	Inspection émissions sonores anormales	Quotidienne Hebdomadaire	/
	/	Certification	Tous les 5 ans	Prestataire extérieur

1.2.5 EQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE

Le personnel du site disposera des équipements de protection individuelle suivants :

- ↪ vêtements de travail adaptés à une atmosphère enrichie en O₂,
- ↪ chaussures de sécurité,
- ↪ bouchons d'oreilles,
- ↪ gants,
- ↪ casques,
- ↪ lunettes de protection,
- ↪

1.2.6 PERFORMANCE ATTENDUE DES MESURES DE PREVENTION ET DE PROTECTION

L'article 4 de l'arrêté du 29 septembre 2005 précise que « pour être prises en compte dans l'évaluation de la probabilité, les mesures de sécurité doivent être efficaces, avoir une cinétique de mise en œuvre en adéquation avec celle des événements à maîtriser, être testées et maintenues de façon à garantir la pérennité de positionnement précité ».

Les tableaux suivants présentent la liste des mesures de sécurité retenues selon les fonctions importantes pour la sécurité associées (mesures de prévention et mesures de protection/mitigation).

La cinétique de mise en œuvre, lorsqu'elle est disponible, provient des différentes fiches relatives aux barrières mises en œuvre et disponibles sur le site BADORIS de l'INERIS.

Mesure de prévention / protection	Nature	Fonction de sécurité et description	Indépendance	Cinétique de mise en œuvre	Efficacité Actions associées	Justifier la performance Maintenance dans le temps
Moyens humains internes et externes de mise en œuvre et moyens de lutte incendie fixes répartis sur la totalité du site	Mesure organisationnelle	L'objectif de la fonction est de : <ul style="list-style-type: none"> Maîtriser un incendie, Limiter les effets thermiques et l'étendue d'un incendie, Protéger les installations voisines (internes et externes au site) 	Oui	Dans les 10 minutes qui suivent l'apparition du sinistre	<ul style="list-style-type: none"> Extincteurs, poteaux incendie Procédure d'alerte/Fiches reflexes/Fiches de liaison avec les services extérieurs de secours Plan d'urgence – POI Stratégie incendie vue avec les pompiers 	Niveau de performance établi pour une mise en œuvre dans les 10 minutes qui suivent l'apparition d'un incendie, en considérant : <ul style="list-style-type: none"> le fait que l'alerte soit reportée sur la centrale de détection de l'usine le fait que le site soit sous télésurveillance en période non ouvrée, le fait que les services extérieurs de secours connaissent le site.
Transmission de l'alerte	Mesure organisationnelle	L'objectif de la fonction est de transmettre l'alerte en cas de départ de feu ou de fuite de gaz.	Oui	Sans objet	<ul style="list-style-type: none"> Détection incendie, système d'alarme et report sur la centrale de détection puis en salle de conduite. Détection gaz, système d'alarme et report sur la centrale de détection puis en salle de conduite. Présence humaine permanente sur le site. 	Niveau de performance établi en considérant : <ul style="list-style-type: none"> la présence humaine permanente sur le site, la formation du personnel aux risques liés aux activités du site et aux procédures d'alerte. Procédure d'alerte connue par le service de gardiennage.
Plan et règles de circulation sur le site	Mesure organisationnelle	La fonction de sécurité est associée à la maîtrise des risques de collision de véhicules (ou d'engins) contre un véhicule (camion ou chariot motorisé) ou une canalisation.	Oui	Sans objet	<ul style="list-style-type: none"> Formation et habilitation du personnel, Formation et habilitation des entreprises extérieures, Consignes de sécurité aux transporteurs, Protocole de sécurité. 	<ul style="list-style-type: none"> Plan de circulation, Vitesse limitée à 30 km/h. Mis en place d'une zone « sanctuaire » entre les unités de production H₂ et les unités de compression empêchant le passage de tout véhicule. Mise en place de plots en béton au pied des événements et des torchères.
Plan de prévention (Entreprises extérieures), Permis de feu	Mesure organisationnelle	L'objectif de la fonction est d'éviter les incidents potentiels associés aux travaux de maintenance réalisés dans les zones de stockage.	Oui Réception de chantier par une personne différente de celle qui assure les travaux	Sans objet	<ul style="list-style-type: none"> Mesure appliquée pour tout type de travaux, Analyse des risques préalable avant toute intervention. 	Application de la mesure et contrôle lors des interventions du respect des règles de sécurité en vigueur par le personnel des installations. Procédures d'exploitation regroupant les consignes de sécurité spécifique présentées dans le détail au chapitre dédié.
Contrôles périodiques des installations électriques	Mesure organisationnelle	L'objectif de la mesure est de valider le bon état du matériel électrique et son adéquation avec sa zone d'implantation	Oui si la personne réalisant l'installation électrique est différente de celle qui vérifie	Sans objet	<ul style="list-style-type: none"> Contrôle par un organisme agréé, Plans d'inspection annuels. 	<ul style="list-style-type: none"> Programme de maintenance préventive, Remplacement immédiat du matériel défectueux. Adéquation entre matériel électrique et zonage ATEX.
Mise à la terre des équipements métalliques et liaisons équipotentielles	Mesure passive	L'objectif est de protéger les installations contre le risque d'électricité statique	Oui	Immédiate	<ul style="list-style-type: none"> Contrôle par un organisme agréé avec test, Plans d'inspection annuels. 	<ul style="list-style-type: none"> Programme de maintenance préventive, Remplacement immédiat du matériel défectueux.
Procédures d'exploitation	Mesure organisationnelle	L'objectif est de lister les opérations à mener lors du déroulement de la tâche à réaliser	/	Sans objet	<ul style="list-style-type: none"> Mises à jour régulières, Validation des connaissances du personnel. 	Procédures d'exploitation regroupant les consignes de sécurité spécifiques présentées dans le détail au chapitre dédié.
Habilitation du personnel	Mesure organisationnelle	L'objectif de la mesure est de sensibiliser et d'informer les opérateurs sur les dangers liés aux installations	/	Sans objet	<ul style="list-style-type: none"> Formation faisant l'objet de renouvellements réguliers, Plan de formation. 	/

Mesure de prévention / protection	Nature	Fonction de sécurité et description	Indépendance	Cinétique de mise en œuvre	Efficacité Actions associées	Justifier la performance Maintenance dans le temps
Protocole de sécurité Procédure de remplissage des cylindres de l'unité mobile	Mesure organisationnelle	L'objectif de la mesure est de sensibiliser et d'informer les transporteurs et les opérateurs H2VNORMANDY aux règles de sécurité à mettre en œuvre lors des opérations de remplissage des cylindres	/	Sans objet	<ul style="list-style-type: none"> Formation faisant l'objet de renouvellements réguliers, Plan de formation. 	/
Unité de production H₂ et unités de compression Détection incendie et maîtrise du sinistre	Mesure active	La fonction de sécurité recherchée est de détecter la présence d'un incendie et de le maîtriser.	Oui	<p>Les temps de réaction figurent sur le synoptique ci-avant et sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> Temps d'atteinte d'un détecteur = 1 s Temps de détection = 15s Temps de traitement du signal et d'isolement = 10 s pour les électrolyseurs et 15 s pour les compresseurs. Temps de vidange = 30 s Temps d'inertage = 30 minutes. 	<p>Fonction de sécurité recherchée : détection le plus précocement possible un départ de feu</p> <p>Action composant la chaîne :</p> <ul style="list-style-type: none"> Détection de la fumée ou de la chaleur (infrarouge), Transmission du signal, Fermeture des vannes et arrêt de la production, Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'H₂ vers le réseau de torche. Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'O₂ vers le réseau d'évents. Démarrage de la séquence de purge à l'azote. Augmentation du débit de la ventilation mécanique forcée du bâtiment et évacuation des fumées et de l'H₂. 	<ul style="list-style-type: none"> Programme de maintenance préventive, Remplacement préventif des détecteurs, Calibrage de détection des capteurs, Entretien des capteurs, <p>Nota : En fonction du temps de réponse et de la correction de la calibration, le détecteur est changé.</p>
Unité de production H₂ et unités de compression Ventilation mécanique à 10 vol/h en situation normale et 12 vol/h en situation accidentelle	Mesure active	La fonction de sécurité recherchée est d'atteindre un taux de renouvellement permettant de maintenir le taux d'hydrogène sous les 25 % en volume dans l'air en cas de fuite	Oui	<p>Ventilation permanente</p> <p>Marche forcée : Temps de mise en service des ventilateurs supplémentaires = 10s après détection (temps d'atteinte et temps de traitement du signal, cf ligne ci-après)</p>	<p>Efficacité : ventilation dimensionnée à 10 vol/h pour maintenir le taux d'hydrogène à 25% de la LIE permettant d'éviter une explosion suite à une fuite sous bâtiment.</p>	<p>Les mesures de suivi prévues sur le système de ventilation seront les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> En cas de défaut de ventilation (débit trop faible par rapport à l'attendu), une alarme sera générée et la ventilation sera mise en position « régime forcé » ; En cas de détection d'hydrogène (seuil à 1% H₂ soit 25 % de la LIE), la ventilation passera automatiquement en position « régime forcé » ; En cas de manque de force électromotrice, la ventilation s'arrêtera et entrainera la mise en sécurité de l'installation (coupure énergie, inertage et purge vers le réseau de torche). <p>Son dimensionnement est basé sur la norme NFPA2 « Hydrogen Technologies Code », utilisée comme référence par les assureurs et imposant un débit de 1 scf/m²/min en permanence dans le bâtiment où de l'hydrogène est présent dans les équipements. Celui-ci correspond à un équivalent de 6 vol/h, en considérant les surfaces et les hauteurs des bâtiments où l'hydrogène circule.</p>

Mesure de prévention / protection	Nature	Fonction de sécurité et description	Indépendance	Cinétique de mise en œuvre	Efficacité Actions associées	Justifier la performance Maintenance dans le temps
						<p>Les différents organes mécaniques d'extraction seront utilisables en zones ATEX et ne sont par conséquent pas considérés comme des sources d'inflammation potentielle en cas de détection H₂.</p> <p>Les ventilateurs seront secourus électriquement (double secours).</p> <p>Voir note technique en annexe EDD.9</p>
<p>Unité de production H₂ et unités de compression</p> <p>Détection H₂</p> <p>Seuil de détection à 25 % de la LIE soit 1% de H₂ dans l'air.</p>	Mesure active	La fonction de sécurité recherchée est de détecter le plus prématurément possible une fuite de gaz afin d'éviter que le nuage émis ne puisse atteindre la LIE et s'enflammer.	Oui	<p>Sur base du rapport de l'INERIS sur l'état de l'art des détecteurs H₂ : Rapide mais absence de données chiffrées</p> <p>Les temps de réaction figurent sur le synoptique ci-avant et sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temps d'atteinte d'un détecteur = 10 s (cf. étude INERIS : maillage des détecteurs pour que le seuil de 1% d'H₂, soit 25% de la LIE, soit détecté en 10 s) • Temps de détection = 5s • Temps de traitement du signal et d'isolement = 10 s pour les électrolyseurs et 15 s pour les compresseurs. • Temps de vidange = 30 s • Temps d'inertage = 30 minutes. 	<p>Efficacité : détection le plus précocement possible du dépassement du seuil de 25 % de la LIE au sein d'un bâtiment.</p> <p>Actions composant la chaîne :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Détection de la fuite, ▪ Transmission du signal, ▪ Fermeture des vannes et arrêt de la production, ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'H₂ vers le réseau de torche. ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'O₂ vers le réseau d'événements. ▪ Démarrage de la séquence de purge à l'azote. ▪ Augmentation du débit de la ventilation mécanique forcée du bâtiment et évacuation de l'H₂. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'emplacement des détecteurs a fait l'objet d'une étude spécifique. ▪ Fiabilité : stable à long terme et large plage de détection, SIL 2. ▪ Efficacité : sensibilité moyenne, absence de sélectivité et temps de réponse rapide. ▪ Programme de maintenance préventive ▪ Tests réguliers ▪ Remplacement immédiat du matériel défectueux ▪ Equipement faisant l'objet d'un double secours électrique. ▪ Voir note technique en annexe EDD.8
<p>Station électrique transformateurs 30 kVA</p> <p>Détection incendie et maîtrise du sinistre</p>	Mesure active	La fonction de sécurité recherchée est de détecter la présence d'un incendie et de le maîtriser.	Oui	Moins de 20 s	<p>Fonction de sécurité recherchée : détection le plus précocement possible un départ de feu</p> <p>Action composant la chaîne :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Détection du départ de feu, ▪ Transmission du signal, ▪ Isolement du transformateur concerné, ▪ Démarrage de l'extraction d'air. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programme de maintenance préventive, ▪ Remplacement préventif des détecteurs, ▪ Calibrage de détection des capteurs, ▪ Entretien des capteurs, <p>Nota : En fonction du temps de réponse et de la correction de la calibration, le détecteur est changé.</p>

Mesure de prévention / protection	Nature	Fonction de sécurité et description	Indépendance	Cinétique de mise en œuvre	Efficacité Actions associées	Justifier la performance Maintenance dans le temps
<p>Suivi pression sur le réseau de H₂ intérieur</p> <p>Mesure de protection retenue pour les cas de fuite massive et de rupture guillotine.</p> <p>En cas de fuite cette mesure est considérée comme non efficiente.</p>	Mesure active	La fonction de sécurité recherchée dans ce cas est la détection d'une chute de pression.	Oui	<p>Données constructeur : Temps de réaction de la chaîne complète moins de 60 secondes.</p> <p>La cinétique de la fuite est la suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temps de détection de la fuite par le capteur : 40 s - Traitement du signal : 5 s - Arrêt de la production et isolement du collecteur principal : 15 s - Temps de démarrage de la dépressurisation du réseau H₂ vers le réseau de torche moins de 30 secondes. 	<p>Fonction de sécurité recherchée : détection le plus précocement possible d'une chute de pression.</p> <p>Action composant la chaîne :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Détection de la fuite, ▪ Transmission du signal, ▪ Fermeture des vannes et arrêt de la production, ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'H₂ vers le réseau de torche. ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'O₂ vers le réseau d'événements. ▪ Démarrage de la séquence de purge à l'azote. ▪ Ventilation forcée 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrôles réglementaires périodiques complets de la chaîne de détection, ▪ Réalisation par un organisme de contrôle agréé, ▪ Programme de maintenance préventive, ▪ Remplacement préventif des détecteurs, ▪ Calibrage de détection des capteurs, ▪ Entretien des capteurs, ▪ Equipement faisant l'objet d'un double secours électrique. <p>Nota : En fonction du temps de réponse et de la correction de la calibration, le détecteur est changé.</p> <p>La pression sera mesurée en sortie de chaque purificateur et en entrée du compresseur. Le delta P associé à la détection sera déterminé à partir de ces valeurs pour le réseau 30 bar. De la même manière, une mesure de pression est disponible en sortie de compresseur et au niveau du poste de comptage gaz. Le delta P associé à la détection sera déterminé à partir de ces valeurs pour le réseau 100 bar.</p> <p>Ces informations rentreront en direct dans la chaîne de sécurité et seront remontées au SCADA.</p>
<p>Suivi pression sur le réseau de H₂ extérieur</p> <p>10% de chute de pression</p> <p>Mesure de protection retenue pour les cas de fuite massive et de rupture guillotine.</p> <p>En cas de fuite cette mesure est considérée comme non efficiente.</p>	Mesure active	La fonction de sécurité recherchée est de détecter le plus prématurément possible une fuite de gaz	Oui	<p>Le système permet de réagir en 60 secondes à une fuite équivalente à 10% du DN nominal.</p> <p>La cinétique de la fuite est la suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temps de détection de la fuite par le capteur : 40s - Traitement du signal : 5s - Arrêt de la production et isolement du collecteur principal : 15s 	<p>Efficacité : détection le plus précocement possible avant d'atteindre la LIE au niveau de la fuite.</p> <p>Actions composant la chaîne :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Détection de la fuite, ▪ Transmission du signal, ▪ Fermeture des vannes et arrêt de la production, ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'H₂ vers le réseau de torche. ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'O₂ vers le réseau d'événements. ▪ Démarrage de la séquence de purge à l'azote. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fiabilité : SIL 2 ▪ Programme de maintenance préventive ▪ Tests réguliers ▪ Remplacement immédiat du matériel défectueux ▪ Equipement faisant l'objet d'un double secours électrique. ▪ Voir note technique en annexe EDD.11
<p>Soupapes</p> <p>Ensemble des installations sous pression : réseaux de transport / transfert leur étant associés</p>	Mesure active	La fonction de sécurité recherchée est d'évacuer un débit gazeux lorsque la pression est supérieure à la pression de tarage de la soupape. La soupape commence à s'ouvrir à sa pression de tarage et se referme quand la pression interne redescend en dessous du seuil de tarage. Une soupape est composée d'un dispositif mécanique (levier, ressort), d'un obturateur (clapet) et d'une buse.	Oui	<p>Temps de réponse quasi instantané dès lors que la pression de l'enceinte protégée dépasse la pression d'ouverture de la soupape</p>	<p>Respect des standards / normes et paramètres suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Température opératoire, ▪ Pression opératoire, ▪ Compatibilité avec le produit, ▪ Débit de gaz à évacuer, ▪ La pression de tarage est compatible avec la pression de service et la pression maximale de calcul de l'enceinte protégée, ▪ Prise en compte des équipements sur la ligne pouvant occasionner une perte de charge. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si la soupape est raccordée à une vanne, il faut s'assurer de l'ouverture permanente de celle-ci. ▪ La protection contre les intempéries. ▪ L'absence d'eau ou d'encrassement dans le conduit d'évacuation de la soupape. ▪ L'absence de corps étrangers dans la soupape. ▪ L'absence de corrosion et de détérioration de la soupape et du ressort. ▪ La manœuvrabilité. ▪ Le retarage éventuel sur un blanc.

Mesure de prévention / protection	Nature	Fonction de sécurité et description	Indépendance	Cinétique de mise en œuvre	Efficacité Actions associées	Justifier la performance Maintenance dans le temps
Electrolyseurs et séparateurs : suivi du niveau en électrolyte Détecteur de niveau	Mesure active	Ces dispositifs sont utilisés pour contrôler les opérations de transfert de produit et sont généralement directement reliés à d'autres équipements (pompes, ...). La chaîne de mesure comprend classiquement un capteur, un transmetteur (les deux pouvant être compactés en un seul appareil). Le transmetteur assure le traitement des signaux reçus en provenance du capteur ou de la salle des contrôles.	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Temps d'atteinte = 10 min • Temps de détection = 5s • Temps de traitement de signal et arrêt du train électrolyseur = 10s 	Lecture du niveau avec seuil d'alerte haut : en cas de déclenchement de l'alerte, arrêt de la séquence de production sur l'électrolyseur. Chaîne de sécurité : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sonde de niveau ▪ Transmission du signal. ▪ Fermeture des vannes et arrêt de la production, ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'H₂ vers le réseau de torche. ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'O₂ vers le réseau d'événements. ▪ Démarrage de la séquence de purge à l'azote. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programme de maintenance préventive, ▪ Remplacement préventif des détecteurs, ▪ Calibrage de détection des capteurs, ▪ Entretien des capteurs, Nota : En fonction du temps de réponse et de la correction de la calibration, le détecteur est changé.
Unités de production H₂ et unité de compression Vannes pilotées asservies à la détection gaz (électrovannes)	Mesure active	Elles peuvent assurer jusqu'à 4 fonctions : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fonction d'isolement, ▪ Fonction de sécurité pour protéger le réservoir contre des sur- ou sous-pressions, ▪ Fonction de réglage de débit en fonction du degré d'ouverture du système, ▪ Fonction de non-retour assurée par les clapets. 	Oui	Les vannes dans le bâtiment procès sont fermés en 5 secondes, les vannes dans le local compresseur sont fermées en 10s.	Respect des paramètres suivants pour déterminer le type de vanne : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nature du fluide, ▪ Conditions de service (pression, température, etc...), ▪ Taille de la vanne, ▪ Perte de charge engendrée lors de son ouverture, ▪ Vitesse maximale du fluide dans la canalisation. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programme de maintenance préventive, ▪ Remplacement préventif des détecteurs, ▪ Calibrage de détection des capteurs, ▪ Entretien des capteurs, ▪ Essai d'ouverture et de fermeture, ▪ Position ouverte ou fermée clairement identifiée, Nota : En fonction du temps de réponse et de la correction de la calibration, le détecteur est changé.
Réseau de torche et torchère associée	Mesure active et passive	La fonction de sécurité recherchée est une combustion de l'H ₂ maîtrisée au niveau de la torchère en cas de nécessité de dépressurisation du réseau H ₂ .	Oui	Moins de 5s	Chaîne de sécurité : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Détection gaz dans les locaux H₂ et compression, ▪ Transmission du signal. ▪ Fermeture des vannes et arrêt de la production, ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'H₂ vers le réseau de torche. ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'O₂ vers le réseau d'événements. ▪ Démarrage de la séquence de purge à l'azote. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programme de maintenance préventive, ▪ Remplacement préventif des détecteurs, ▪ Calibrage de détection des capteurs, ▪ Entretien des capteurs, ▪ Détection optique de flamme au niveau des pilotes de la torchère. Nota : En fonction du temps de réponse et de la correction de la calibration, le détecteur est changé.
Station mobilité Détection incendie	Mesure active	L'objectif de la fonction est de protéger le personnel	Oui	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de détection incendie par le capteur : 35s • Traitement du signal : 5s • Temps d'arrêt du compresseur avec l'isolement du bâtiment sans arrêt de la production d'hydrogène dans l'unité principale de production : 15s 	Efficacité : détection le plus précocement possible d'un incendie Actions composant la chaîne : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Détection de l'incendie, ▪ Transmission du signal, ▪ Fermeture des vannes et arrêt de la production, ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'H₂ vers le réseau de torche. ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'O₂ vers le réseau d'événements. ▪ Démarrage de la séquence de purge à l'azote. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programme de maintenance préventive ▪ Tests réguliers ▪ Remplacement immédiat du matériel défectueux ▪ Equipement faisant l'objet d'un double secours électrique.

Mesure de prévention / protection	Nature	Fonction de sécurité et description	Indépendance	Cinétique de mise en œuvre	Efficacité Actions associées	Justifier la performance Maintenance dans le temps
Moyens de confinement des eaux potentiellement polluées en cas de sinistre ou d'épandage de produits susceptibles de causer une pollution	Mesure active : isolement du réseau d'eaux pluviales	La fonction de sécurité est de protéger le milieu naturel en confinant les eaux potentiellement polluées en cas de sinistre ou les épandages de produits liquides. Composition de la chaîne : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Détection incendie, ▪ Transmission du signal, ▪ Arrêt de la pompe de relevage. 	Oui	Temps de réponse : temps d'arrêt de la pompe (sera fonction de sa typologie)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Confinement dans le bassin étanche. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Programme de maintenance préventive, ▪ Tests réguliers, ▪ Entretien de la pompe.
Mur REI 120 et REI 240	Mesure passive	La fonction de sécurité rechercher est maîtriser les effets thermiques pour éviter la propagation du sinistre.	Oui	Critère non pertinent pour les dispositifs passifs.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionnement adapté. • Résistance aux contraintes spécifiques. • Implantation en adéquation avec la source de risque. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrôles réglementaires périodiques complets ▪ Réalisation par un organisme de contrôle agréé.

1.3 MOYENS D'INTERVENTION

1.3.1 MOYENS HUMAINS

En application du décret n°2008-244 du 7 mars 2008 (art V), un membre du personnel reçoit la formation de secouriste nécessaire pour donner les premiers secours en cas d'urgence dans :

- ↪ chaque atelier où sont accomplis des travaux dangereux,
- ↪ chaque chantier employant vingt travailleurs au moins pendant plus de quinze jours où sont réalisés des travaux dangereux.

Les travailleurs ainsi formés ne peuvent remplacer les infirmiers. Le niveau de connaissance de ce personnel est régulièrement actualisé au travers de formations internes ou externes.

Des exercices seront organisés en interne et avec les services extérieurs de secours.

1.3.2 MOYENS FIXES D'INTERVENTION

A) EXTINCTEURS

Conformément à l'article R4227-29 du Code du travail, le premier secours contre l'incendie sera assuré par des extincteurs en nombre suffisant et maintenus en bon état de fonctionnement.

Des extincteurs seront répartis à l'intérieur du site et dans les lieux présentant des risques spécifiques, à proximité des dégagements, bien visibles et facilement accessibles.

La localisation des extincteurs sera signalée par des panneaux d'identification.

Le personnel sera formé au maniement des moyens de lutte contre l'incendie.

L'implantation des extincteurs au sein des bâtiments d'électrolyse et de compression a fait l'objet d'une étude spécifique (*INERIS 181601-659689-v1.0 du 23/09/2019*), disponible en annexe EDD.5.

Choix du type d'extincteur

Peu de combustibles seront présents au sein des bâtiments étudiés. Le risque incendie sera donc lié aux éléments suivants :

- ↪ Installations électriques ;
- ↪ Hydrogène ;
- ↪ Composants combustibles des appareils présents ;
- ↪ Compresseur.

Les combustibles présents sont donc de classe A (solides), B (liquides et solides liquéfiables) et C (gaz).

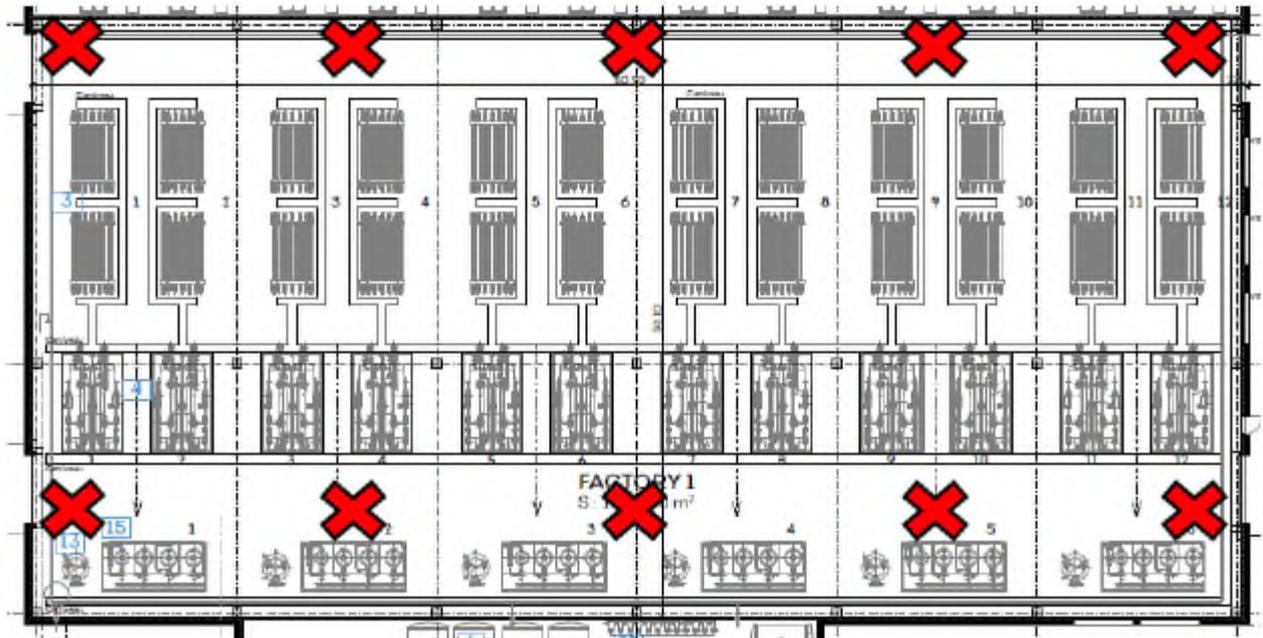
L'extinction incendie d'hydrogène passe tout d'abord par l'arrêt de l'alimentation en hydrogène. L'eau peut être utilisée pour refroidir les équipements adjacents à un incendie pour prévenir la propagation de la flamme. Il est déconseillé d'utiliser un extincteur CO₂ car les particules de CO₂ glacé peuvent être source d'ignition du fait de la formation d'électricité statique.

Finalement, pour couvrir l'ensemble des risques, il est conseillé d'utiliser des extincteurs à poudre de classe de feu ABC.

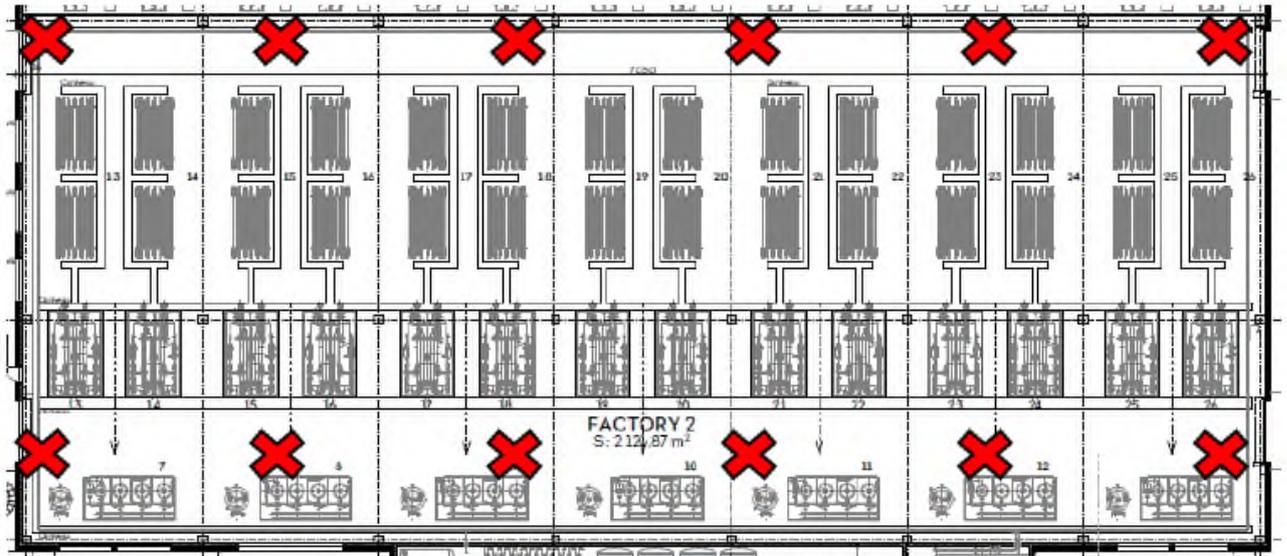
Détermination du nombre d'extincteurs

En application du référentiel APSAD R4 2016, il convient d'installer dans le cadre de la protection générale 1 extincteur 9 kg de poudre ABC pour 200 m² de surface.

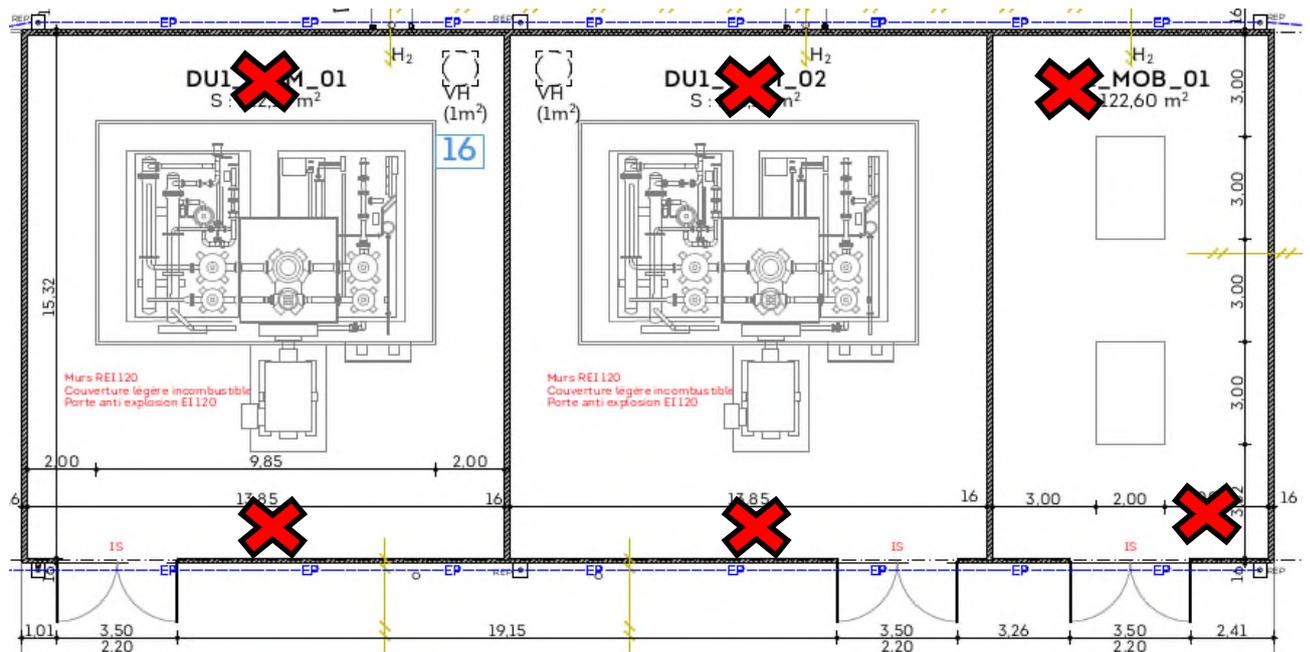
Bâtiment		Surface (m ²)	Nombre minimal d'extincteurs
Bâtiment électrolyse	1/2 usine 1	1 820	10
	1/2 usine 2	2 121	11
Bâtiment compression 100 bar (1)		212	2
Bâtiment compression 100 bar (2)		212	2
Bâtiment compression 500 bar		122	2



Bâtiment électrolyse : Localisation des extincteurs dans la 1/2 usine (Factory 1)



Bâtiment électrolyse : Localisation des extincteurs dans 1/2 usine (Factory 2)



Bâtiment compression 100 bar et 500 bar : Localisation des extincteurs

B) BESOINS EN EAUX D'EXTINCTION D'INCENDIE

Une rencontre avec le SDIS de Yvetot en date du 29/04/2019 a permis de recueillir les exigences des services extérieurs de secours dans le cadre de ce projet. Il est demandé la mise en place d'un minimum de 4 poteaux incendie présentant un débit en simultané de 60 m³/h unitaire sur 2 poteaux soit 240 m³ pour une durée de 2 heures. La pression minimale exigée sera de 1 bar.

Pour ce faire, l'exploitant prévoit de raccorder le réseau incendie sur le réseau d'alimentation en eau brute du site. En cas de déclenchement de la détection incendie, le site sera mis en sécurité et le volume d'eau utilisé normalement pour les eaux de refroidissement sera automatiquement basculé vers le réseau alimentant les 6 poteaux incendie situés en périphérie de chacune des unités de production. Au vu des données transmises par le gestionnaire du réseau d'eau brute, la pression minimale de 1 bar sera respectée. L'approvisionnement en eau industrielle globale site sera de 230 m³/h. Le débit d'eau normalement utilisé par le procédé de refroidissement étant de 160 m³/h, les 120 m³/h exigés sur deux poteaux seront largement couverts (**mise en place de 6 poteaux incendie et conformément à la demande du SDIS, 2 au minimum pourront assurer un débit de 60 m³/h à 1 bar de pression en simultané**).

Enfin le réseau d'alimentation des poteaux sera bouclé afin d'éviter la formation de bras morts et d'assurer une continuité d'alimentation en eau d'extinction au cas de problème sur un des poteaux.

Le circuit de refroidissement sera une boucle fermée, connectée au réseau d'alimentation en eau industrielle pour les appoints nécessaires pour compenser l'évaporation et les purges de déconcentration. En cas de déclenchement de la détection incendie, c'est le réseau d'alimentation en eau industrielle qui sera basculé sur le réseau incendie et non toute l'eau du circuit de refroidissement, qui continuera à fonctionner en boucle fermée.

En cas d'incendie déclaré, la production sera arrêtée ainsi que la compression. La production sera arrêtée en 15 secondes et la compression en 20 s. Ces deux séquences se dérouleront de façon simultanée. L'eau de refroidissement des compresseurs continuera à circuler pendant ces 20 secondes. Il ne sera pas nécessaire de refroidir les systèmes de production d'hydrogène une fois la production arrêtée. La boucle de refroidissement continuera de fonctionner le temps nécessaire pour la mise en sécurité de l'usine, sans appoint supplémentaire par le réseau d'alimentation en eau industrielle.

D'autre part, en cas d'incendie, l'inventaire du site en hydrogène sera mis à la torche pour éviter toutes conséquences néfastes d'un gaz inflammable à haute pression. Enfin, le site sera mis sous gaz inerte. Cet inertage durera environ 30 minutes. Suite à cet inertage, il n'y aura plus d'hydrogène dans le système.

Des détecteurs sont prévus dans tous les bâtiments, qu'ils soient de process ou ceux recevant du personnel.

La mise en sécurité des systèmes sera assurée sur détection incendie.

Le basculement du réseau d'approvisionnement en eau industrielle sur le réseau incendie sera automatique et asservi à la détection incendie.

Le réseau incendie sera bouclé et toujours en eau : les poteaux seront remplis et prêts à fonctionner immédiatement, dès le déclenchement de l'alerte. Le basculement de réseau se fera en quelques secondes et permettra de continuer à alimenter les poteaux pendant les deux heures préconisées par le SDIS.

Le basculement étant asservi à la détection incendie, qui est elle-même un organe de sécurité, il sera opérationnel même en cas de perte de l'alimentation électrique. Ces équipements et les vannes de basculement seront reliés au réseau électrique de secours.

Chaque poteau incendie sera associé à une aire de stationnement respectant les caractéristiques suivantes :

- ↪ la largeur utile est au minimum de 4 mètres, la longueur au minimum de 8 mètres, la pente est comprise entre 2 et 7 % ;
- ↪ elle comporte une matérialisation au sol ;
- ↪ elle est située à 5 mètres maximum du point d'eau incendie ;
- ↪ elle est maintenue en permanence entretenue, dégagée et accessible aux services d'incendie et de secours ; si les conditions d'exploitation ne permettent pas de maintenir ces aires dégagées en permanence (présence de véhicules liés à l'exploitation), l'exploitant fixe les mesures organisationnelles permettant de libérer ces aires en cas de sinistre avant l'arrivée des services d'incendie et de secours.
- ↪ l'aire résiste à la force portante calculée pour un véhicule de 320 kN avec un maximum de 130 kN par essieu, ceux-ci étant distants de 3,6 mètres au minimum.

Les équipements sont visibles sur le plan disponible en annexe PG.1.

C) CONFINEMENT DES EAUX D'EXTINCTION D'INCENDIE

Les volumes d'eau à confiner sont estimés selon la règle D9A « Guide pratique pour le dimensionnement des rétentions des eaux d'extinction ».

	Unité 1	Unité 2	Locaux sociaux
Volume d'eau d'extinction incendie durée de 2 heures	120 m ³ /h → 240 m ³	120 m ³ /h → 240 m ³	60 m ³ /h → 120 m ³
Volume maximal lié à l'extinction automatique	/	/	/
20 % du volume contenu dans le local contenant le plus grand volume	460,2 m ³ d'électrolyte → 92 m ³	460,2 m ³ d'électrolyte → 92 m ³	/
Volume d'eau lié aux intempéries	Surface de référence : 20 757,58 m ² à raison de 10 l/m ² → 207,6 m ³	Surface de référence : 16 061,17 m ² à raison de 10 l/m ² → 160,61 m ³	Surface de référence : 7036,71 m ² à raison de 10 l/m ² → 70,36 m ³
Total	540 m³	493 m³	191 m³

En cas de déclenchement de la détection incendie, la pompe de relevage du bassin de tamponnement se fermera automatiquement pour chaque unité de production.

Pour l'unité 1 le volume du bassin de confinement sera de 900 m³, pour l'unité 2 de 1 500 m³ et pour les locaux sociaux de 630 m³. Le volume d'eau nécessaire au confinement des eaux potentiellement polluées en cas de sinistre pour chacune des unités sera constamment disponible.

1.3.3 MOYENS EXTERNES

Les centres de secours de Lillebonne et de Notre-Dame-de-Gravenchon sont les plus proches et seront les premiers à intervenir.

En fonction des secours disponibles et des moyens requis par la situation, d'autres centres de secours pourront intervenir.

2 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS

2.1 RISQUES LIES AUX PRODUITS

Dans le cadre du projet les produits présents sur le site seront les suivants :

Installation	Produit	Commentaire
Unité de production	Hydroxyde de potassium (KOH)	Electrolyte
	Hydrogène (H ₂)	Issu de l'électrolyse de l'eau. Injection dans un réseau hydrogène spécifique alimentant des industriels
	Oxygène (O ₂)	Issu de l'électrolyse de l'eau. Rejeté à l'atmosphère via le réseau d'évent dédié.
	Azote (N ₂)	Balayage des équipements composant l'unité de production avant remise en fonctionnement afin de chasser l'O ₂ et d'éviter l'apparition d'un mélange explosif en présence de H ₂ . Utilisation comme gaz barrière au niveau de la torçère pour éviter la formation de mélange explosif dans le fût.
Installations annexes	Méthane (CH ₄)	Pilote pour flamme torçère
	Biocide	Traitement de l'eau au niveau des tour de refroidissement
	Anti tartre	
	Floculant	Traitement de l'eau d'alimentation des TAR.
	Acide (HCl)	Neutralisation des eaux usées industrielles.
	Nettoyants pour les membranes d'osmose inverse	/
	Gasoil Non Routier	Fonctionnement des deux groupes électrogènes de secours.
	Hexafluorure de soufre (SF ₆)	Gaz isolant au niveau des transformateurs 30 KV et du poste électrique 225 kV.
	Huile	Isolant pour les transformateurs électriques 225 kV.

Les FDS de ces différents produits sont données en annexe PG.4.

Les produits décrits plus en détail sont ceux présentant les caractéristiques dangereuses les plus importantes.

2.1.1 HYDROXYDE DE POTASSIUM

L'hydroxyde de potassium, plus usuellement appelé potasse caustique ou simplement potasse, a pour formule KOH. C'est un composé chimique corrosif et basique. Ses propriétés physico-chimiques sont les suivantes :

Propriété physico-chimiques	Valeur
Dénomination	Hydroxyde de potassium
N° CAS	1310-58-3
Etat physique	Solide
Masse molaire	56,11 g/mol
Point de fusion	De 360 à 406 °C selon les sources
Densité	2,04
Pression de vapeur	1,3 hPa à 719 °C
Mention de dangers	H302 : Nocif en cas d'ingestion H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves
Pictogramme	
Produits incompatibles	Acides, nombreux composés organiques ou minéraux
Risque principale	Déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel
Matériaux conseillés	Acier ordinaire, acier inoxydable.
Matériaux déconseillés	Aluminium, zinc et leurs alliages.

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte pour caractériser les risques liés à l'hydroxyde de potassium :

- ↪ sa forte solubilité dans l'eau dégageant de la chaleur,
- ↪ sa réactivité avec certains agents chimiques,
- ↪ sa réactivité avec les métaux.

L'hydroxyde de potassium est très soluble dans l'eau. Sa dissolution s'accompagne d'un important dégagement de chaleur. Celle-ci doit être effectuée progressivement, par petites quantités, en agitant pour limiter le dégagement de chaleur qui peut entraîner une vaporisation de l'eau accompagnée de violentes projections.

L'hydroxyde de potassium est une base forte qui réagit vigoureusement en solution aqueuse avec les acides et de nombreux composés organiques ou minéraux, comme les alcools de faible masse moléculaire, les acides forts, les anhydrides, les cétones, les dérivés nitrés, les peroxydes organiques. Les réactions peuvent être violentes, voire explosives.

Les solutions aqueuses d'hydroxydes de potassium attaquent certains métaux tels que l'aluminium, le zinc, l'étain, le plomb et leurs alliages, provoquant un dégagement d'hydrogène. En revanche, elles ne seront pas corrosives à température ambiante pour les aciers inoxydables, les aciers de carbone, la fonte ductile et quelques alliages spéciaux au nickel.

2.1.2 HYDROGENE

Comme tout autre gaz ou liquide combustible, l'hydrogène présente des risques liés à ses propriétés physico-chimiques qui sont les suivantes :

Propriété physico-chimiques	Valeur
Formule chimique	H ₂
N°CAS	1333-74-0
Etat physique	Incolore, inodore, gaz comprimé ou liquéfié
Feu	Extrêmement inflammable
Explosion	Mélange air-gaz explosif
Pictogramme	
Mention de danger	H280 : Contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur H220 : Gaz extrêmement inflammable
Masse moléculaire	2,016 g/mol
Composition stœchiométrique dans l'air, en fraction volumique	29,53
Densité (air = 1)	0,07
Masse volumique du gaz	0,08342 kg/Nm ³ (20°C, 1 atm)
Solubilité dans l'eau	0,019 (vol/col à 15,6°C)
Energie minimale d'inflammation	17 µJ dans l'air 1,2 µJ dans l'oxygène
Plage d'inflammabilité ²	4 à 75% dans l'air à température et pression atmosphérique 4 à 94% dans l'oxygène à température et pression atmosphérique
Plage de détonation théorique	13 à 65% dans l'air à température et pression atmosphérique
Température d'auto-inflammabilité	585°C / 858°K
Vitesse fondamentale de combustion dans l'air	2,65 à 3,25 m/s à température et pression atmosphérique
Température de flamme dans l'air	2 045°C
Energie théorique d'explosion	2,02 kg TNT/m ³ gaz
Coefficient de diffusion dans l'air	0,61 cm ² /s
Produits incompatibles	Agent comburant, air, oxydants

² Un gaz ou un liquide peut s'enflammer au contact d'un comburant (oxygène pur, air enrichi ou air naturel) dans la limite de proportions de mélange appelées limite inférieure d'explosivité (LIE) et limite supérieure d'explosivité (LSE) et en présence d'un apport d'énergie. En dessous de la LIE, le mélange ne contient pas assez de combustible pour s'enflammer et au-dessus de la LSE, il ne contient pas suffisamment de comburant pour s'enflammer.

L'hydrogène se distingue des autres gaz ou liquides combustibles comme le gaz naturel, le propane ou l'essence, par plusieurs aspects, facilitant ou complexifiant la maîtrise des risques :

- ↪ Une propension à fuir plus importante : la molécule d'hydrogène est de très petite taille et de faible viscosité, et sa grande perméation à travers les matériaux facilitent les fuites ;
- ↪ Une probabilité d'inflammation plus élevée : l'énergie d'inflammation de l'hydrogène dans l'air est plus de 10 fois inférieure à celle du propane ou du gaz naturel. La probabilité d'inflammation de l'hydrogène dans l'air est très élevée, même sans présence de flamme ou d'étincelle ;
- ↪ Une probabilité d'explosion à l'air libre plus faible : la forte diffusivité de l'hydrogène dans l'air ambiant réduit le risque de formation d'un nuage explosif, et donc l'explosion en cas de fuite en milieu non confiné ;
- ↪ Une combustion plus rapide : l'hydrogène brûle environ 7 fois plus rapidement que le méthane, ce qui favorise la transition d'une déflagration vers une détonation ;
- ↪ Une flamme très peu visible : le rayonnement d'une flamme d'hydrogène se situe essentiellement dans le domaine ultraviolet. Le rayonnement le plus visible (de couleur orangée) est celui de la vapeur d'eau générée lors de la combustion de l'hydrogène. Le cœur de la flamme, d'une température supérieure à 2 000°C est pratiquement invisible en plein jour. Elle est bien visible dans l'obscurité. Cette caractéristique constitue un danger supplémentaire, en particulier pour les équipes d'intervention en cas d'incendie ;
- ↪ Une flamme très peu radiative : malgré sa haute température, la flamme d'hydrogène transmet peu d'énergie aux corps étrangers par rayonnement, ce qui limite le risque de propagation du feu par effet thermique.

La plage d'explosivité de l'hydrogène se situe entre 4 et 75% en volume d'hydrogène dans l'air, dans les conditions normales de pression et de température. Selon le retour d'expérience de l'INERIS (*Guide d'information sur les risques et les mesures de sécurité liés à la production décentralisée d'hydrogène*, ADEME, INERIS, ENEA, Juin 2015), un mélange entre 4 et 8% volumique en hydrogène en milieu non confiné peut créer un feu de nuage. A partir de 8% volumique, le mélange est susceptible de produire une explosion³ de type déflagration. Au-delà de 11% la probabilité d'explosion de type détonation⁴ est importante, même si celle-ci n'est pas systématique. Elle dépend de l'encombrement environnant et de la chaleur au voisinage du mélange.

³ Explosion dite thermique issue de l'inflammation d'un nuage de gaz combustible mélangé à un comburant en proportions suffisantes pour créer une surpression. A la suite de l'inflammation, une flamme se propage dans le nuage et engendre une combustion des vapeurs ainsi qu'une onde de surpression aérienne qui sont susceptibles de produire respectivement des effets de rayonnement thermique et des effets mécaniques. L'explosion engendre une déflagration lorsque la vitesse du front de flamme est subsonique : les gaz alentours sont comprimés par l'expansion du volume enflammé, et l'augmentation de la surpression est continue.

⁴ L'explosion engendre une détonation lorsque la vitesse du front de flamme est supersonique : les gaz alentours sont comprimés de façon quasi adiabatique, ce qui génère une onde de choc.

Par ailleurs, l'hydrogène peut fragiliser certains matériaux métalliques. Ses atomes ont tendance à pénétrer dans certains alliages métalliques : ils endommagent leur structure cristalline, accélérant la propagation des microfissures, notamment sous contrainte. Ce phénomène peut provoquer des ruptures brutales d'un matériau bien en dessous de sa limite de rupture en l'absence d'hydrogène. Selon l'ISOTR 15916 « Considérations fondamentales pour la sécurité des systèmes d'hydrogène », les alliages d'aluminium sont en général assez peu sensibles à la fragilisation par l'hydrogène, de même que les aciers inoxydables du type 316L. A l'inverse, les aciers ferriques sont souvent sensibles.

2.1.3 OXYGENE

L'oxygène est un coproduit de l'électrolyse de l'eau. Il est sans odeur et incolore à l'état gazeux, légèrement bleuté à l'état liquide. L'oxygène est un comburant : il ne brûle pas, mais entraîne la combustion d'autres substances. Il réagit également avec la plupart des métaux et matériaux organiques. Les valeurs de ses principales propriétés physico-chimiques sont fournies dans le tableau suivant :

Propriété physico-chimiques	Valeur
Formule chimique	O ₂
N°CAS	7782-44-7
Etat physique	Incolore, inodore, gaz comprimé ou liquéfié
Pictogramme	
Mention de danger	H270 : Peut provoquer ou aggraver un incendie - Comburant
Masse moléculaire	32,0 g/mol
Densité (air = 1)	1,1
Solubilité dans l'eau	3,1 ml/100ml
Point d'ébullition	-183°C
Produits incompatibles	Matière combustibles / organiques et réducteurs

Les risques liés à l'utilisation de l'oxygène sont dus à :

- ↪ la réactivité de l'oxygène avec les matériaux,
- ↪ l'influence de l'oxygène sur l'énergie minimale d'inflammation d'un combustible,
- ↪ l'influence de l'oxygène sur la vitesse laminaire de flamme,
- ↪ l'influence de l'oxygène sur la température adiabatique de flamme.

Les limites d'explosivité d'un gaz ou d'une vapeur combustible dans l'oxygène ainsi que les énergies minimales d'inflammation peuvent varier de façon significative par rapport aux valeurs dans l'air :

- ↪ la limite inférieure d'explosivité dans l'oxygène pur diffère très peu de celle dans l'air,

- ↪ la limite supérieure d'explosivité dans l'oxygène pur est bien plus élevée que celle dans l'air,
- ↪ l'énergie minimale d'inflammation dans l'oxygène pur est diminuée dans des rapports compris entre 50 et 200 par rapport à sa valeur dans l'air,
- ↪ la vitesse laminaire de flamme et la température adiabatique de flamme sont plus élevées dans une atmosphère enrichie en oxygène.

Les étincelles qui en temps normal seraient sans danger peuvent être à l'origine d'incendies dans des atmosphères enrichies en oxygène, et les matériaux ou substances qui en temps normal ne brûleraient pas dans l'air y compris les matériaux ignifugés peuvent brûler vigoureusement voire spontanément.

2.1.4 AZOTE

L'azote est un gaz inerte utilisé pour purger les équipements et tuyauteries sur les installations manipulant de l'hydrogène. Ses propriétés physico-chimiques sont les suivantes :

Propriété physico-chimiques	Valeur
Formule chimique	N ₂
N°CAS	231-783-9
Etat physique	Incolore, inodore, gaz comprimé ou liquéfié
Pictogramme	
Mention de danger	H280 : Contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur.
Risque principal	Anoxie en concentration élevée lors d'une fuite dans un local clos
Feu	Gaz inerte
Masse moléculaire	28 g/mol
Densité (air = 1)	0,97
Produits incompatibles	/

L'azote est un gaz très répandu sur terre. Il est présent dans l'air que l'on respire et n'est ni toxique ni inflammable.

L'azote liquide est fabriqué à partir d'air comprimé épuré. Une fois extrait, il est liquéfié. L'azote liquide est sans couleur, incolore et sans saveur. A pression atmosphérique normale, l'azote liquide se vaporise à -196 °C.

Les principaux dangers associés à son utilisation sont les suivants :

① Niveau de pression important

L'évaporation de l'azote liquide dans une enceinte confinée génère une augmentation de pression importante. Si cette pression ne peut être évacuée, la partie concernée de l'installation risque d'exploser.

② Manque d'oxygène



En espace confiné, l'enrichissement de la concentration en azote dans l'air par évaporation significative d'azote liquide provoque une diminution de la concentration en oxygène (1 litre d'azote liquide produit par évaporation 700 litres d'azote gazeux).

L'hypoxie (dont la conséquence est l'asphyxie) est liée à la capacité de l'azote liquide à générer rapidement, par évaporation, un important volume d'azote gazeux, provoquant ainsi une réduction du taux d'oxygène de l'air par déplacement et dilution de l'oxygène. Ce risque est d'autant plus pernicieux que l'azote est un gaz incolore et inodore.

Aggravé dans les espaces confinés, ce risque apparaît rarement à l'air libre.

2.1.5 METHANE

Ses caractéristiques sont les suivantes :

Propriété physico-chimiques	Valeur
Dénomination	Méthane
Formule	CH ₄
Numéro CAS	74-82-8
Masse volumique	du gaz : 0,65 kg/m ³
Masse moléculaire	16,04 g/mol
Etat	Gazeux
Couleur	Incolore
Température auto - inflammation	535 °C
Domaine d'explosibilité	5-15,4 %
Pictogramme	
Risque principal	Fuite pouvant être suivi d'une inflammation immédiate ou différée Explosion
Mention de danger	H220 : Gaz extrêmement inflammable H280 : Contient un gaz sous pression; peut exploser sous l'effet de la chaleur

Le méthane est un gaz hautement inflammable. Il brûle en produisant une flamme pâle, faiblement lumineuse. Il s'enflamme rapidement dans l'air en présence d'une source d'électricité statique, d'une étincelle, d'une flamme nue ou d'une autre source d'ignition ou d'inflammation.

Le méthane forme un mélange explosif avec l'air lorsqu'il s'y trouve à une concentration se situant entre 5,0 et 15,4 %.

2.1.6 AUTRES

Les caractéristiques des autres produits employés sur le site sont les suivantes :

Typologie de produit	Mention de danger	Pictogramme	Risque principal
Biocide pour TAR	/	/	Déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel
Anticorrosion pour TAR	H302 : Nocif en cas d'ingestion H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves H335 : Peut irriter les voies respiratoires H400 : Très toxique pour les organismes aquatiques H410 : Très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme		Déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel
Antitartre pour TAR	/	/	Déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel
Floculant traitement eaux du Canal de Bourbourg	H302 : Nocif en cas d'ingestion H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves		Déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel
Floculant eaux usées industrielles	/	/	Déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel
Nettoyant pour les membranes d'osmose inverse	H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves H318 : Provoque des lésions oculaires graves catégorie 1		Déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel
Acide chlorhydrique à 30%	H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves H335 : Peut irriter les voies respiratoires		Déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel

Typologie de produit	Mention de danger	Pictogramme	Risque principal
Gasoil Non Routier GNR	<p>H226 : Liquide et vapeur inflammable catégorie 3</p> <p>H304 : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires</p> <p>H315 : Provoque une irritation cutanée</p> <p>H332 : Nocif par inhalation</p> <p>H351 : Susceptible de provoquer un cancer</p> <p>H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée</p> <p>H411 : Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme</p>		<p>Déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel ET dans des cas bien précis un feu de nappe (risque inflammation du GNR limité)</p>
Hexafluorure de soufre SF ₆	<p>H280 : Contient un gaz sous pression ; peut exploser sous l'effet de la chaleur</p>		<p>Gaz liquéfié, non inflammable et non toxique qui ne présente aucun danger pour l'homme lorsqu'il est utilisé de manière conforme.</p> <p>L'hexafluorure de soufre présente une stabilité thermique et chimique remarquable. Il ne se décompose qu'à température très élevée (supérieure à 800 °C) ou sous l'action de fortes décharges électriques (arc électrique), avec formation de produits nocifs (fluorure d'hydrogène et dioxyde de soufre).</p> <p>A température ordinaire, le produit lui-même n'est corrosif avec aucun des métaux courants.</p> <p>En raison de sa forte densité (5 fois plus lourd que l'air), en cas de dégagement à l'air libre de grandes quantités de gaz, il y a un risque d'étouffement en raison de la création d'un manque d'oxygène dans les zones basses.</p>
Huile pour les transformateurs 225 kV	<p>H304 : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires</p>		<p>Déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel</p>

2.1.7 SYNTHÈSE DES RISQUES LIÉS AUX PRODUITS

Au vu des différents produits mis en œuvre et stockés dans le cadre du projet, les principaux risques seront :

- ↳ Pour l'ensemble des produits liquides : déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel,
- ↳ Pour les gaz inflammables (H_2 et CH_4) : fuite pouvant être suivie d'une inflammation immédiate (feu torche) ou d'une inflammation différée (UVCE) et / ou d'une explosion,
- ↳ Pour l'oxygène : fuite pouvant occasionner un incendie ou en aggraver un,
- ↳ Pour l'azote : fuite pouvant occasionner une anoxie (probabilité plus importante en milieu confiné)
- ↳ Pour le gasoil non routier : déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel et dans des cas bien précis un feu de nappe (risque inflammation du GNR limité).

2.2 RISQUE LIÉS AUX INSTALLATIONS ET RÉDUCTION DU RISQUE À LA SOURCE

L'hydrogène peut, lorsqu'il est mélangé à l'air dans certaines proportions, induire un mélange potentiellement explosif, avec des conséquences non négligeables pour la sécurité du personnel et des équipements.

Pour éviter ce phénomène, plusieurs moyens sont mis en œuvre :

- ↳ Le système sera construit et testé pour éviter tout dégagement d'hydrogène dans l'air à l'intérieur des bâtiments, et de manière minimale et contrôlée en extérieur.
- ↳ Une ventilation sera installée pour ramener le risque à un niveau le plus faible possible de manière raisonnable.
- ↳ Une détection de fuite de gaz, à l'intérieur des bâtiments et en certains points critiques des installations extérieures, sera installée pour permettre en cas de fuite d'hydrogène, l'évacuation des personnels, ainsi que l'arrêt et la mise en sécurité des installations.
- ↳ En cas d'explosion, les bâtiments sont conçus pour limiter l'impact potentiel d'explosions.

Dans ce contexte ; les différents paragraphes ci-dessous présentent les mesures de réduction du risque à la source prévues dans le cadre du projet H2VNormandy.

2.2.1 UNITE DE PRODUCTION D'HYDROGENE PAR ELECTROLYSE DE L'EAU

Réduction du risque à la source		Cas du projet H2VNORMANDY
Mesures concernant l'implantation et l'aménagement	Les systèmes sous pression sont implantés à l'air libre dans des zones non confinées dans la mesure du possible.	<p>Les équipements de production d'H₂ ne seront pas situés à l'air libre afin de les préserver des intempéries et d'augmenter leur pérennité dans le temps.</p> <p>Les électrolyseurs et les équipements associés seront implantés dans des bâtiments ventilés.</p> <p>La ventilation des unités de production est dimensionnée conformément aux normes et standards applicables (NF M58-003 et ISO 22734-1). Ce dispositif permet de prévenir l'accumulation d'hydrogène en cas de fuite. Cette ventilation sera assurée en continue par une extraction mécanique. Les ventilateurs seront situés en partie haute du bâtiment. Toute défaillance de la ventilation entrainera une mise en sécurité des unités de production avec un report sur la conduite de l'installation.</p> <p>En fonctionnement normal, la ventilation est dimensionnée afin que la concentration en H₂ reste inférieure à la LIE. La ventilation permet également d'assurer un brassage et entraînement des éventuelles fuite d'H₂. Une simulation aéraulique sera réalisée en phase de détail pour s'assurer du bon positionnement de entrées et sorties d'air, et des capteurs d'H₂.</p> <p>Le positionnement des différents détecteur H₂ dans le bâtiment a été étudié afin de suffisamment couvrir la zone sous toiture pour qu'un détecteur soit rapidement dans la zone des 1%. Une redondance de la ventilation sera mise en place.</p> <p>L'ensemble des équipements présents en zones ATEX sera en adéquation avec le classement des zones (ne seront par conséquent pas des sources d'inflammation potentielles puisque adaptés à leur environnement).</p> <p>Les locaux abritant les installations électriques seront également ventilés et seront maintenus à une pression supérieure à celle abritant les générateurs de gaz.</p>
Mesures concernant l'implantation et l'aménagement	Distances de sécurité	<p>Les unités de production seront implantées à environ 70 m des limites d'exploitation. Une distance de 70 m sera également prévue entre les deux unités de production et avec la station d'alimentation électrique (poste 225 kV).</p> <p>Le procédé de fabrication ne requiert pas de produits présentant des caractéristiques dangereuses. A noter la présence de GNR pour l'alimentation des groupes électrogène de secours. Ce stockage sera situé dans un conteneur clos et isolé des unités de production par des parois REI 120.</p> <p>Les voisins industriels les plus proches sont situés à environ 200 mètres à l'est et les installations étudiées ne sont pas susceptibles d'être impactées par leurs effets en cas de sinistre.</p> <p>Enfin, aucun ERP n'est recensé dans un rayon de 500 m autour du projet</p>

Réduction du risque à la source		Cas du projet H2VNORMANDY
Conception de l'installation	Eviter les fuites	<p>Pour éviter les risques de fuites, l'exploitant prévoit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'utilisation de matériaux adaptés aux caractéristiques de l'H₂ (à minima Norme NF M58-003). • De privilégier les raccords soudés aux raccords vissés. En cas d'utilisation de raccords à bride, le montage respectera les recommandations du fournisseur (procédure d'assemblage) et un matériau adapté assurera l'étanchéité. • Les tuyauteries enterrées ne comporteront aucun raccord soudé. • Mise en place de revêtements polymères anti perméation pour les enceintes contenant de l'H₂. • A chaque fois que cela est possible, les canalisations seront enterrées. • La mise en place d'une zone « sanctuaire » protégée par des gabarits empêchant physiquement les véhicules de passer entre l'unité de production et les bâtiments de compression. • La mise en place d'une distance suffisante entre les voies de circulation et les canalisations aériennes de gaz. <p>Les tuyauteries d'H₂ et leurs raccords seront installées conformément aux normes NF EN 13480-5 et NF EN 13480-6 et utiliseront de l'acier 316 L.</p> <p>Les tubes constituant les tuyauteries d'H₂, les robinets et soupapes répondent aux normes en vigueur.</p> <p>Enfin, les équipements sous pression respecteront la réglementation et les exigences leur étant applicable.</p> <p>Prise en compte des cycles de contraintes et des vibrations.</p> <p>Présence de soupapes et d'évent reliés au réseau de torche (réseau H₂). Présence de soupapes reliées sur un réseau d'évent pour le réseau O₂.</p> <p>Les tuyauteries seront protégées mécaniquement en sortie du sol jusqu'à une hauteur de deux mètres et dans les parcours où elles risquent d'être soumises à des chocs ou écrasements.</p>
Conception de l'installation	Eviter les risques de mélange H ₂ et O ₂	<p>La gestion de ce risque est intégrée dans la conception des électrolyseurs. Les compartiments H₂ et O₂ sont cloisonnés et isolés. Les électrolyseurs sont indépendants les uns des autres et pourront par conséquent être isolé en cas de besoin (meilleure flexibilité).</p> <p>Les lignes d'inertage et d'alimentation sont indépendantes pour les deux compartiments. Les rejets en O₂ (évents) sont suffisamment éloignés de la torchère assurant la combustion des rejets en H₂.</p> <p>Les électrolyseurs et les séparateurs seront connectés par un tube en « U » ayant une hauteur suffisante pour avoir un niveau de liquide constant et ainsi éviter le mélange de gaz. Ce dispositif assure une barrière liquide permettant d'éviter les transferts de gaz d'un séparateur à l'autre. En cas d'augmentation du volume de gaz, le liquide sera poussé dans le séparateur et non le gaz. De plus il est à noter que l'électrolyseur générateur ne peut pas contenir plus de la moitié de son volume en gaz. Mise en place d'une mesure différentielle de la pression entre les deux compartiments.</p> <p>Pour qu'un transfert de gaz puisse se faire, cela signifie la simultanéité de 4 défaillances :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Défaut sur la vanne de régulation de pression et de niveau, - Défaut sur le pressostat dans le séparateur O₂, - Défaut sur le suivi de niveau dans le séparateur O₂, - Défaut sur le suivi de niveau dans le séparateur H₂.

Réduction du risque à la source	Cas du projet H2VNORMANDY
	<p>A noter que la totalité de l'instrumentation des électrolyseurs H₂ est de type SIL (Safety Integrate Level). Le choix des capteurs sera adapté à leur taux de sollicitation afin d'assurer des taux de défaillance les plus bas possible. A titre d'exemple, l'instrumentation pour le suivi de niveau, pression et température est du type SIL 2 avec une estimation des taux de défaillance à 10⁻¹².</p> <p>Une rupture de la membrane au sein des électrolyseurs pourrait conduire à un mélange de gaz. La principale mesure de protection vient de la qualité même des matériaux composant ces membranes. Le risque d'encrassement sera évité grâce au suivi de la qualité de l'eau alimentant les électrolyseurs. Enfin, la mesure en continue de la qualité des gaz sortant des séparateurs permettra de détecter la moindre dérive.</p> <p>De manière générale, il y a peu d'historique de défaut violent de membrane : les membranes s'abiment de manière progressive, ce qui laisse le temps à l'opérateur d'observer une déviation de la pureté d'hydrogène, de la pureté d'oxygène, et des niveaux de pression, et ce qui laisse le temps à l'opérateur d'arrêter et d'isoler l'électrolyseur avant d'avoir un mélange problématique de H₂ et O₂. Si l'opérateur ne le détecte pas, alors le système est conçu de telle sorte à ce que les instruments détectent une déviation anormale, et mettent en défaut l'équipement, pour l'arrêter et l'isoler automatiquement.</p> <p>Si d'aventure le système instrumenté ne fonctionnait pas (probabilité 1/100 par an facteur 4, puisque 4 instruments donc 1/1 00 00 00 00 ou le taux de défaut du système ESD), alors le design intrinsèque de l'électrolyseur réduira le risque d'explosion. En effet, chaque électrolyseur est constitué de 2 stacks d'électrolyse (association de plaques et membranes). Chaque stack est composé de 266 cellules. Chaque cellule est associée à une membrane (<u>soit 532 membranes indépendantes par électrolyseurs</u>). Comme indiqué, la probabilité de rupture brusque d'une membrane est très faible.</p> <p>Le « volume libre » dans un stack d'électrolyseur est de 1,7 m³ (environ) (= 1700 litres), cet espace libre est occupé à 99% par de l'électrolyte (solution de KOH à 25%).</p> <p>Le mélange des gaz dans un électrolyseur submergé n'est pas explosif puisque ces gaz sont dissouts dans l'électrolyte. Les stacks sont totalement submergés, et les gaz ne peuvent s'échapper que côté séparateur. Si l'hydrogène s'échappe côté oxygène, il ne sera libre que dans le séparateur oxygène. Si l'oxygène s'échappe côté hydrogène, il ne sera libre que dans le séparateur hydrogène.</p> <p>Le débit d'hydrogène dans un stack d'électrolyse est de 400 Nm³/h, c'est-à-dire 6,66 Nm³/minute. Le débit d'oxygène par stack est de 200 Nm³/h, c'est-à-dire 0,046 Nm³/minute.</p> <p>En considérant que ces débits sont également répartis dans les 266 cellules par stack, et qu'une rupture franche d'une membrane peut permettre un mélange de H₂ et O₂, cela donne :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0,025 Nm³/minute d'hydrogène potentiellement fuyant vers le séparateur oxygène, • 0,0125 Nm³/minute d'oxygène potentiellement fuyant vers le séparateur hydrogène. <p>Or, chaque séparateur a un volume libre de gaz de 3,1 m³, à 30 bar et 90°C, ce qui représente 16 Nm³.</p> <p>Si on considère le temps de séjour de l'hydrogène dans le séparateur d'oxygène égal à 3 minutes (conservatif compte-tenu de la légèreté de l'hydrogène) : on a un ratio 0,025x3/16 c'est-à-dire 0,45% de concentration d'H₂ dans l'oxygène, très clairement sous la LIE (4 % à 1 bar et 5,4 % à 20 bar). <u>Le mélange ne produit pas de mélange explosif.</u></p> <p>Si on considère le temps de séjour de l'oxygène dans le séparateur d'hydrogène égal à 30 minutes (oxygène plus lourd, conservatif) : on a un ratio 0,0125x30/16, c'est-à-dire 2,34% de concentration</p>

Réduction du risque à la source		Cas du projet H2VNORMANDY
		<p>d'O₂ dans l'hydrogène (ou encore une concentration d'hydrogène 97,66%). Or la LSE de l'hydrogène dans l'oxygène est de 94,6% à 20 bar (94% à 1 bar). Donc dans ce cas, <u>le mélange ne produit pas de mélange explosif.</u></p> <p>Ainsi, si une membrane est défailante, le mélange en résultant ne sera pas explosif. Il sera cependant détecté par les instruments en aval, et mettra en défaut l'export de gaz (gaz dont la qualité est aussi vérifiée à l'export par un système d'analyse dédié et certifié).</p> <p>La probabilité d'avoir 2 ruptures franches de membranes est quant à elle encore plus faible.</p> <p>Les différentes détections en place ainsi que les chaînes associées sont présentées au § 3 de la présente étude.</p>

2.2.2 COMPRESSEURS D’HYDROGENE

Les spécificités des compresseurs sont les suivantes :

Réduction du risque à la source	Cas du projet H2VNORMANDY
Conception / instrumentation	<p>Mise en place d’une analyse en continue de la teneur en O₂ dans l’H₂ alimentant les compresseurs. En cas de dépassement de la valeur seuil de 1% le compresseur sera automatiquement mis à l’arrêt. L’analyseur sera situé en amont de l’aspiration.</p> <p>Mise en place d’un suivi de la pression afin de prévenir la formation de vide dans la tuyauterie et la pénétration d’air qui en découlerait. En cas de baisse de pression, le compresseur sera mis automatiquement à l’arrêt (valeur seuil supérieure à la pression atmosphérique).</p> <p><u>Pression et température de conception</u></p> <p>Du côté aspiration, les équipements sont conçus pour résister à une pression supérieure à celle admissible dans le compresseur. Sur le côté refoulement, les équipements répondent aux normes et standards industriels. Idem pour la température : côté aspiration conçu pour une température supérieure à celle admissible et côté refoulement prise en compte des normes et standards industriels.</p> <p><u>Instrumentation</u></p> <p>Le système d’instrumentation du compresseur sépare le système d’instrumentation de la sécurité du processus du système de contrôle. Cela signifie que chaque équipement composant le compresseur possède sa propre chaîne de sécurité (suivi pression et mise en sécurité) indépendante de la chaîne de sécurité du compresseur (redondance). Il est prévu trois transmetteurs de pression sur le côté aspiration et trois également sur le côté refoulement dédiés à l’arrêt d’urgence : fonctionnement similaire pour le suivi de la pression et de la température.</p> <p>Les transmetteurs sont redondants pour assurer un suivi en continu de la pression dans le réseau de compression. En cas de surpression, l’installation sera mise à l’arrêt si deux des trois transmetteurs émettent un signal. Les instruments liés aux fonctions de sécurité sont classés SIL 2. Il en est de même pour le suivi de la température.</p> <p><u>Soupapes de sécurité</u></p> <p>Présence de soupapes en amont et en aval des différents étages de compression. Les soupapes étant mécaniques, elles ne sont pas influencées par la perte d’alimentation en énergie et sont disponibles à 100 %. Ces soupapes sont reliées au réseau de torche.</p> <p><u>Ventilation du local</u></p> <p>Comme pour les bâtiments électrolyseurs, les bâtiments abritant les installations de compression seront également équipés d’une ventilation mécanique continue. A noter toutefois que pour éviter la formation d’une ATEX l’extraction d’air en continu sera assurée par des tourelles situées en toiture des bâtiments compression. Une redondance de la ventilation sera mise en place.</p>
Isolement	Présence de vannes manuelles et automatiques permettant d’isoler les compresseurs en cas de dérives.
Risque de fuite	<p>Les raccords seront soudés. Lorsque les brides ne peuvent être évitées, des matériaux spécifiques permettant d’éviter les fuites (dues à la fragilisation par l’H₂) seront utilisés.</p> <p>Les risques de fuites sont plus probables au niveau du moteur. La conception même de compresseur choisi dans le cadre du projet réduit ce risque au minimum en utilisant une technologie comprimant l’H₂ alternativement aux deux extrémités du piston. Ainsi en cas de fuite lors de la compression dans la partie supérieure, le gaz se retrouvera en partie basse et inversement.</p> <p>Afin de connecter le piston au moteur, un trou est prévu à l’extrémité inférieure du cylindre pour la tige du piston. Il est associé à une chambre permettant de collecter l’H₂ en cas de fuite sans le confiner puisqu’elle est constamment purgée à l’azote.</p>

2.2.3 TORCHERE D'HYDROGENE

Les spécificités de la torchère sont les suivantes :

Réduction du risque à la source	Cas du projet H2VNORMANDY
Fonction de l'installation	Le système de torchère est très couramment utilisé dans l'industrie pour évacuer sans danger d'importantes quantités de vapeurs inflammables en excès. Les torchères sont en général des feux torche contrôlés par l'industriel et qui, par conséquent, représentent peu de dangers pour l'environnement. Ainsi, le rejet à la torchère est dans ce cas est une action volontaire de sécurité. Dès lors, les risques présentés par le feu peuvent être qualifiés de risques résiduels au sens où il s'agit d'un phénomène dangereux admis pour éviter le pire.
Conception	<p>Le dispositif d'allumage (pilote) sera disponible en permanence : alimentation en gaz naturel et présence d'une détection optique de flamme sur les pilotes. Leur nombre sera suffisant pour éviter toute extinction quel que soit le régime des vents. Ils seront montés au sommet du nez de torche, à l'extérieur de celui-ci, mais orientés et inclinés de manière à conduire les flammes dans le flux de gaz sortant du nez de torche.</p> <p>Un système d'allumage à distance depuis le sol et en zone non dangereuse permettra de rallumer les pilotes en cas de besoin.</p> <p>Pour éviter l'entrée d'air atmosphérique dans le tube de la torchère et le risque de formation d'un mélange explosif, présence d'un gaz de balayage neutre (N₂ avec une alimentation au pied de la torchère).</p> <p>Le réseau de collecte de torche sera inerté par de l'azote.</p> <p>Les torchères auront une hauteur suffisante afin que leur rayonnement soit sans incidence sur les opérateurs du site ainsi que sur les équipements environnants. Elles sont également suffisamment éloignées des événements O₂ (se reporter à l'annexe modélisation, annexe EDD.4).</p> <p>Le réseau de la torche sera correctement dimensionné (conformément à l'API 521) pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - éviter sa mise en dépression, - éviter qu'un liquide ne puisse être entraîné vers le nez de la torche.
Risque de fuite	Les pilotes de la torchère seront alimentés en CH ₄ . Les mesures de prévention permettant de maîtriser les risques de fuite seront identiques à celles pour le H ₂ .

2.2.4 ATMOSPHERE ENRICHIE EN OXYGENE

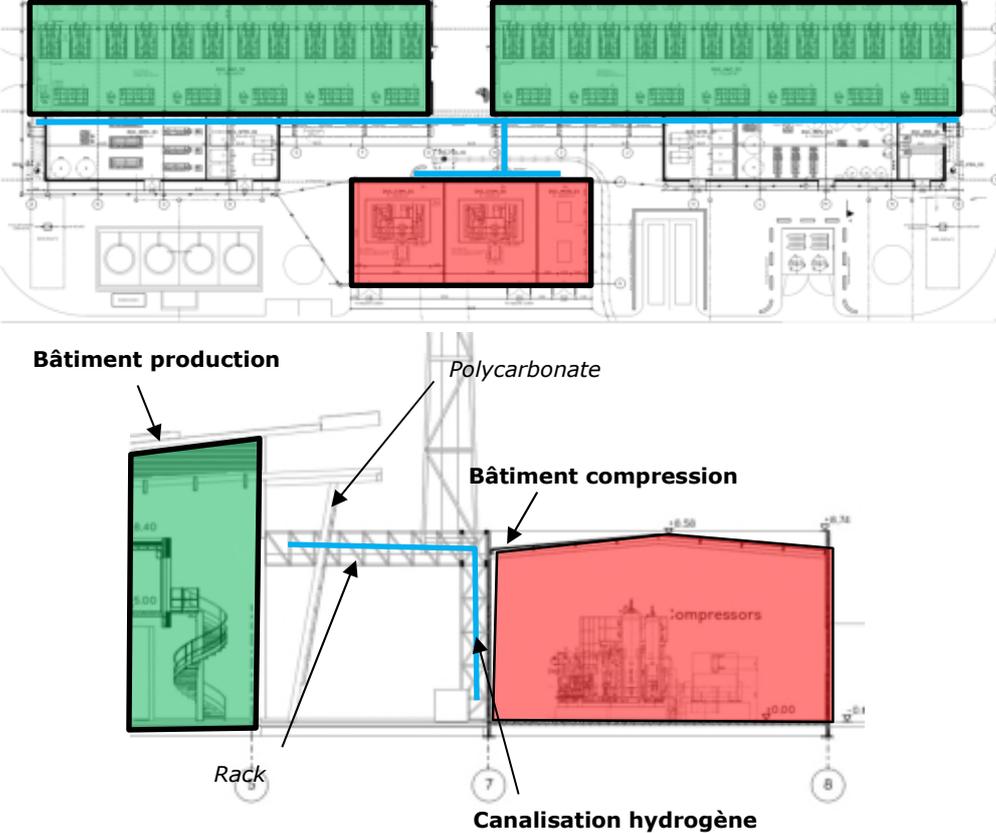
Les spécificités pour les atmosphères enrichies en oxygène sont les suivantes :

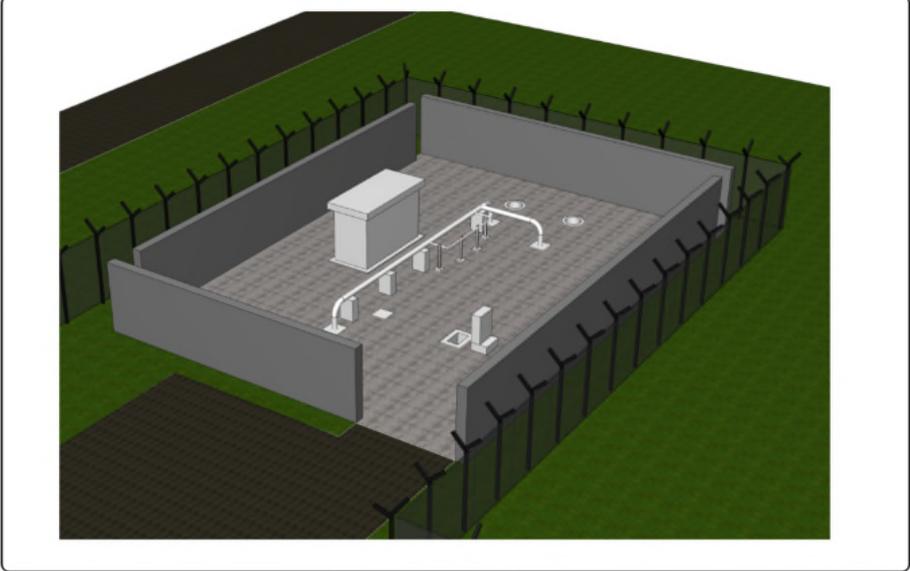
Réduction du risque à la source	Cas du projet H2VNORMANDY
Conception	Utilisation de matériaux adaptés et approuvés par les fournisseurs. Distances de sécurité suffisantes entre les événements O ₂ et la torchère H ₂ . Les réseaux de collecte H ₂ et O ₂ seront séparés par un mur REI 120.
Risque de fuite	Les mesures de prévention permettant de maîtriser les risques de fuite seront identiques à celles pour le H ₂ .

2.2.5 RESEAU DE CANALISATION

Les spécificités pour les canalisations sont les suivantes :

Réduction du risque à la source	Cas du projet H2VNORMANDY
Généralités	<ul style="list-style-type: none"> • Canalisations aériennes protégées dans des racks métalliques. • Traitement anti corrosion. • Utilisation de matériaux adaptés aux gaz et fluides à transporter. • Respect des procédures de montage des fournisseurs. • Utilisation de tube sans soudure. • Utilisation de raccord soudés et limitation au strict nécessaire les raccords vissés. • En cas de raccords non soudés, utilisation de matériaux d'isolation adaptés à l'H₂ pour éviter les risques de fuite (matériaux adaptés au risque de perméation). • Les différentes sources de dangers possibles ont été prises en compte lors de la définition des tracés. • Prise en compte des facteurs de risques extérieur dans la définition des matériaux à retenir (taux d'humidité important dans le sous-sol). • Mise en place d'un planning de suivi et d'inspections réglementaires en cohérence avec l'arrêté ministériel du 20 novembre 2017 relatif au suivi en service des équipements sous pression et des récipients à pression simples. • Le trajet des tuyauteries et des conduites souterraines et aériennes, quels que soient la pression maximale de service et le diamètre, est repris sur un plan à jour disponible dans l'établissement afin de faciliter l'entretien, le contrôle et la réparation en toute sécurité. Ce plan fait mention des pressions de service, des diamètres et du fluide en transit ainsi que de tous les équipements de sécurité et accessoires. • Un contrôle périodique sera mis en place. Il a pour objet de vérifier que l'état des tuyauteries leur permet d'être maintenues en service avec un niveau de sécurité compatible avec les conditions d'exploitation prévisibles. Les tuyauteries feront l'objet d'inspections dont la nature et la périodicité seront précisées dans un programme de contrôle établi par l'exploitant et qui concernera l'ensemble des tuyauteries quels que soient la pression maximale de service et le diamètre. • Les tuyauteries et leurs supports seront conçus pour résister à un séisme de référence tel que défini par la réglementation en vigueur. • Les tuyauteries d'un diamètre strictement supérieur à DN 150 et leurs supports seront physiquement protégés contre un choc avec un véhicule habituellement présent dans l'établissement et se déplaçant à la vitesse autorisée.
Tuyauterie contenant de l'Hydrogène	<p>La conception des tuyauteries contenant de l'hydrogène s'appuie sur les normes et règles suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • NF M58-003 Installation des systèmes mettant en œuvre l'hydrogène, qui fait elle-même référence à : <ul style="list-style-type: none"> ○ NF EN 13480-5/6 Tuyauterie Industrielles Métalliques ; ○ NF EN ISO 15614-1 Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques ; ○ NF EN 10216-1 Tubes sans soudures pour tubes sous pression ; ○ NF EN 12266-1 Robinetterie Industrielle ; ○ NF EN ISO 4126-1 Soupapes. • NASA Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems: Guidelines for Hydrogen System Design, Materials Selection, Operations, Storage and Transportation • IGC Doc 121/14/E (EIGA) Hydrogen Pipeline Systems • CGA G-5.4-2018 Standard for Hydrogen Piping at User Locations. <p>Les tuyauteries seront en acier inox 316 L.</p>
Tuyauterie contenant de l'Hydrogène située en extérieur	<p>Les seules canalisations d'hydrogène localisées en extérieur se situeront entre le bâtiment de production et le local compresseur d'hydrogène (pour chaque unité de production), et au niveau du poste gaz. Autrement, toutes les canalisations seront enterrées.</p>

Réduction du risque à la source	Cas du projet H2VNORMANDY
	<p>Au niveau de la connexion 30 bar entre le bâtiment de production et le local compresseur d'hydrogène. Ce collecteur se trouvera à 7 m de hauteur. Sur la partie longeant le bâtiment, le collecteur sera protégé par une paroi en polycarbonate. Sur la partie traversant l'espace vide entre le bâtiment de production et le local compresseur d'hydrogène, la canalisation sera placée dans un rack. (voir vue en plan et vue de profil ci-dessous).</p>  <p>Des vannes seront situées à 1 m de hauteur. Une zone sanctuaire sera mise en œuvre autour de cette canalisation aérienne afin que les camions n'y aient pas accès.</p>
Poste de comptage gaz	<p>Au niveau du poste de comptage gaz où les canalisations d'hydrogène à 100 bar seront aériennes, une réduction du diamètre des canalisations sera mise en œuvre (DN100). Un mur béton sera mis en œuvre pour protéger le poste de comptage des agressions extérieures.</p>

Réduction du risque à la source	Cas du projet H2VNORMANDY
	 <p data-bbox="783 875 1158 904">Vue 3D du poste de comptage gaz</p>
Tuyauterie contenant de l'oxygène	<p data-bbox="475 920 1273 949">La conception de ces tuyauteries reposera sur les exigences des normes :</p> <ul data-bbox="523 954 1469 1077" style="list-style-type: none"> • NF EN 13480-5/6 Tuyauterie Industrielles Métalliques ; • NF EN ISO 15614-1 Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques ; • NF EN 12266-1 Robinetterie Industrielle. <p data-bbox="475 1081 938 1111">Les tuyauteries seront en acier inox 316 L.</p>
Tuyauterie contenant de la potasse	<p data-bbox="475 1126 1433 1178">La conception des tuyauteries contenant de la potasse s'appuie sur les normes et règles suivantes :</p> <ul data-bbox="523 1182 1469 1373" style="list-style-type: none"> • NF EN 13480-5/6 Tuyauterie Industrielles Métalliques ; • NF EN ISO 15614-1 Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques ; • NF EN 10216-1 Tubes sans soudures pour tubes sous pression ; • NF EN 12266-1 Robinetterie Industrielle ; • NF EN ISO 4126-1 Soupapes. <p data-bbox="475 1377 1361 1429">Utilisation d'acier inox 316 L comme pour l'hydrogène afin d'être cohérent lors de l'approvisionnement du matériel et du montage des tuyauteries.</p>
Tuyauterie contenant de l'eau déminéralisée	<p data-bbox="475 1451 1449 1525">Au sein de la station de traitement d'eau déminéralisée, les tuyauteries seront en PVC ou Polyéthylène ou en matériaux équivalent permettant de respecter la réglementation en vigueur.</p> <p data-bbox="475 1529 1417 1581">A l'extérieur, il est fort probable que le choix se porte sur de l'acier inox 316 L pour les mêmes raisons que pour les tuyauteries transportant de la potasse.</p>
Tuyauterie contenant de l'azote et de l'air comprimé	<p data-bbox="475 1603 1273 1632">La conception de ces tuyauteries reposera sur les exigences des normes :</p> <ul data-bbox="523 1637 1469 1760" style="list-style-type: none"> • NF EN 13480-5/6 Tuyauterie Industrielles Métalliques ; • NF EN ISO 15614-1 Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques ; • NF EN 12266-1 Robinetterie Industrielle. <p data-bbox="475 1765 938 1794">Les tuyauteries seront en acier inox 316 L.</p>

Comme le permet la circulaire du 10 mai 2010, la rupture guillotine du réseau aval à la compression est considéré comme physiquement impossible pour les raisons suivantes :

- Absence d'effets dominos,

- Les tuyauteries composant ces réseaux sont protégées de toutes agressions thermiques ou mécaniques :
 - Le réseau aval sera enterré sur la totalité de son tracé et ne deviendra aérien qu'à proximité immédiate du poste de comptage où il sera protégé physiquement par des murs en voile béton.
 - Aucune circulation n'est possible à proximité.
 - Les travaux de maintenance nécessitant l'utilisation d'engins de chantier ne pourront se faire qu'une fois les réseaux totalement purgés de l'H₂ qu'ils transportent.
 - Les tuyauteries seront traitées contre le risque de corrosion.
- Le dimensionnement et la conception de ces réseaux sont encadrés par des normes. L'exploitant impose le respect de ces dernières dans ces différents cahiers des charges à destination des fournisseurs.
- L'exploitant mettra en œuvre un plan d'inspection très strict de ces réseaux. Ce plan permettra de démontrer que la conception des tuyauteries est approuvée et précisera les actions et fréquences de surveillance en adéquation avec la réglementation des équipements sous pression.
- L'ensemble des justificatifs relatif à la conception de ces réseaux sera tenu à la disposition du service des installations classées.

2.2.6 RESEAU D'EVENTS OU DE DECHARGE

Les équipements d'éventage, décharge et purge permettront de mettre en sécurité l'usine de production d'hydrogène vert et ont pour objectif :

- ↳ Lors de l'exploitation des unités en fonctionnement normal, de permettre la décharge des soupapes et des événements du réseau de collecte H₂ et de mettre une partie ou l'intégralité de l'installation en sécurité afin de pouvoir réaliser des opérations de maintenance. Par exemple, pour mener une visite de capacité sous pression, une dépressurisation de l'équipement en envoyant le fluide vers une destination appropriée (réseau de torche avec combustion contrôlée sur la torchère). L'équipement sera ensuite purgé avec un gaz inerte pour s'assurer que l'atmosphère à l'intérieur de la capacité ne soit pas explosive. L'équipement pourra ensuite être ouvert et les opérations de maintenance pourront être menées sur l'équipement ou autour.
- ↳ Lors d'un fonctionnement dégradé d'un équipement, d'arrêter une partie du système et d'évacuer le fluide non conforme vers une destination appropriée (réseau de torche avec combustion contrôlée sur la torchère) afin de permettre les opérations de maintenance en toute sécurité.

- ↪ Lors du démarrage des unités, d'évacuer les fluides non conformes vers une destination appropriée (réseau de torche avec combustion contrôlée sur la torchère). Au démarrage, l'air est purgé des installations à l'aide d'azote (4 cycles consécutifs). Les lignes seront démarrées une par une. Le temps nécessaire à la montée en température des électrolyseurs est d'1 heure environ. Pendant ce temps, le mélange azote/hydrogène est collecté par le réseau de torche puis brûlé à la torchère en continu et à pression atmosphérique (minute 1 : 100% azote, minute 60 : 99,9% d'hydrogène).
- ↪ Lors d'un incident ou accident, de pouvoir dépressuriser les équipements et les mettre en sécurité afin de prévenir toutes réactions en chaîne.
- ↪ En cas d'incendie, de limiter et/ou empêcher la propagation de l'incendie et les effets dominos.
- ↪ De minimiser les risques d'atteinte aux personnes.
- ↪ De réduire le risque d'atteinte et de détérioration des équipements et installations.

A) RESEAU HYDROGENE

Fonctionnement normal

En fonctionnement normal, l'intégralité de l'hydrogène est récupérée pour être envoyée à l'export.

Lors des phases de démarrage, l'hydrogène produit non conforme aux spécifications sera dirigé vers le réseau de torche d'hydrogène.

En phase de maintenance, l'ensemble des équipements de production pourra être dépressurisé puis inerté afin de les ouvrir en toute sécurité : l'hydrogène sera dirigé vers le réseau de torche.

Chaque unité de production sera divisée en deux « sous-usines » équipées chacune d'un réseau de torche. Les installations de compressions seront également reliées à un réseau de torche. Soit pour une unité de production, 3 réseaux de torches (2 pour la production d'hydrogène et 1 pour les unités de compression), connectés à une torchère d'hydrogène.

Fonctionnement dégradé

A la moindre anomalie, il sera possible de dépressuriser le système en urgence en utilisant le réseau de torche et ensuite de l'inerté. Le système de sécurité intégré aux unités de production d'hydrogène actionnera la vanne de dépressurisation. En cas d'incident ou de sinistre, la totalité des électrolyseurs pourra être dépressurisée et inertée, idem pour les compresseurs. En cas de dépressurisation des électrolyseurs ou des compresseurs, l'H₂ sera envoyé vers le réseau de torche pour être brûlé de façon contrôlée par la torchère. Les soupapes de sécurité équipant l'ensemble des équipements des unités de production et de compression seront associées au réseau de torche. Par conséquent, en cas d'ouverture d'une ou plusieurs soupapes en cas de surpression, l'H₂ sera évacué par le réseau de torche et brûlé de manière contrôlée par la torchère. Le dimensionnement du réseau de torche est basé sur les débits pouvant être émis en phase de dépressurisation d'urgence, étant beaucoup plus important que ceux en fonctionnement normal. C'est pour cette raison qu'il a été décidé de diviser en deux les unités de production H₂ afin de limiter les dimensions du réseau de torche.

La durée de la dépressurisation sera de 60 secondes pour arriver à une pression de 3 bar.

B) RESEAU OXYGENE**Fonctionnement normal**

En fonctionnement normal, l'O₂ produit en continu lors de l'opération d'électrolyse sera envoyé vers le réseau d'évent de chaque ½ usine (2 événements O₂ par unité, soit 4 au total pour le site).

En cas d'opération de maintenance, le système sera isolé puis dépressurisé vers l'évent correspondant. Le système sera ensuite inerté à l'azote. Une fois l'opération de maintenance terminée, le système sera refermé et l'azote utilisé pour l'inertage sera purgé par l'évent du système.

Fonctionnement dégradé

A la moindre anomalie, il sera possible de dépressuriser le système en urgence en utilisant le réseau de torche et ensuite de l'inerté. Le système de sécurité intégré aux unités de production d'hydrogène actionnera la vanne de dépressurisation, le système sera ensuite inerté avec de l'azote.

C) RESEAU D'EAU

Les réservoirs sous pression d'eau seront munis de soupapes de sécurité pour éviter les surpressions qui pourraient endommager les équipements. L'eau qui sortirait des soupapes sera dirigée vers le sol et sera ensuite collectée vers le réseau de caniveaux de collecte reliés au bassin de confinement de l'unité / rétentions enterrées de chaque ½ usine.

D) RESEAU D’AIR COMPRIME

Le réseau d’air comprimé sera limité à 10 bar, le système de dépressurisation sera dimensionné pour 12 bar maximum. En cas de montée en pression sur le réseau d’air comprimé, les soupapes s’ouvriront et l’air sera éjecté de façon à n’avoir aucune incidence sur l’intégrité des opérateurs et des équipements situés à proximité.

E) RESEAU D’AZOTE

L’azote consommé par les démarrages/arrêts et redémarrage d’unités d’électrolyse sera relâché dans les réseaux de torches H₂.

L’azote gazeux consommé par l’inertage continu des systèmes de torche sera également relâché à l’atmosphère au travers du système de torche.

F) RESEAU DE POTASSE

Le réseau sous pression de potasse sera muni de soupapes de sécurité pour éviter les surpressions qui pourraient endommager les équipements. La potasse qui sortirait des soupapes sera dirigée vers le sol et sera ensuite collectée vers le réseau de caniveaux de collecte reliés aux rétentions enterrées de chaque 1/2 usine.

2.2.7 STATION DE MOBILITE

Les spécificités pour la station de mobilité seront les suivantes :

Réduction du risque à la source	Cas du projet H2VNORMANDY
Conception	<p>Les cylindres seront équipés de soupapes de sécurité.</p> <p>Présence de vannes et de clapets sur les cylindres pour éviter que les gaz haute pression une fois le cylindre rempli ne puissent migrer vers des compartiments de moindre pression.</p> <p>Mise en place d'un détrompeur : le remplissage ne pourra démarrer que si la prise mâle adaptée est enclenchée.</p> <p>Le raccord de connexion entre la station de remplissage et le cylindre fera office de soupape ou de clapet de sécurité.</p> <p>Mise en place d'une liaison infrarouge via le raccord entre la station de remplissage et le cylindre permettant une transmission des informations entre le système de sécurité de l'unité de remplissage et le centre de contrôle du site.</p> <p>Le flexible de remplissage sera sécurisé par un « break-away » : un système de sécurité qui permettra qu'en cas d'arrachement du flexible, l'arrivée d'hydrogène soit coupée et de mettre l'installation en sécurité et certifié CE. Ce système est standard sur toutes les stations de rechargement de bus à hydrogène et fait office de clapet anti retour.</p> <p>Mise en place d'une vanne de fermeture automatique sur l'alimentation en hydrogène entre ce break-away et la station de pressurisation de l'usine.</p> <p>Une arrivée d'azote sera disponible pour purger le flexible au début de l'opération de chargement et s'assurer que l'hydrogène ne sera pas mélangé avec de l'oxygène de l'air contenu dans le flexible. Cette arrivée d'azote sera aussi munie d'une vanne d'isolation automatique.</p> <p>Le démarrage du remplissage sera manuel (une fois toutes les actions pré démarrage validées). Par contre toutes anomalies détectées entraineront une mise en sécurité automatique de l'unité, sa dépressurisation et l'envoi de l'H₂ vers le réseau de torche.</p> <p>Un suivi de la température de l'H₂ au sein du cylindre permettra de confirmer que la compression peut être démarrée (démarrage à 100 bar avec une montée progressive à 500 bar afin d'atteindre 300 bar minimum dans les cylindres).</p> <p>La station de compression sera associée à un suivi de la pression et de la température. La moindre dérive entrainera une mise en sécurité automatique de l'installation (fermeture automatique des vannes d'alimentation des cylindre et dépressurisation du système vers le réseau de torche).</p> <p>L'exploitant envisage la possibilité de mettre en place une connexion infrarouge entre la station et les cylindres ce qui permettra de suivre le niveau de chargement de ces derniers.</p>
Gestion des sources d'inflammation	<p>Mise en place de matériels électriques adapté et en adéquation avec les zones identifiées.</p> <p>Les cylindres seront purgés à l'azote avant le démarrage de la phase de remplissage.</p> <p>Mise à la terre des camions.</p> <p>Mise à l'arrêt du moteur du camion.</p>
Risque de fuite	<p>Mise en place d'une mesure de débit et d'une mesure de contrepression dans le flexible.</p>

2.2.8 TRANSFORMATEURS ELECTRIQUES

Les spécificités pour les transformateurs électriques seront les suivantes :

Réduction du risque à la source	Cas du projet H2VNORMANDY
Transformateurs 225 kV	<p>Les transformateurs électriques 225 kV seront implantés dans un poste électrique spécifiquement conçu par GENERAL ELECTRIC. Ils contiendront de l'huile. Chaque transformateur sera isolé des autres des murs REI 240 anti explosion ce qui permettra de maîtriser les effets thermiques et de surpression en cas de sinistre.</p> <p>Les transformateurs seront ventilés (dispositif intrinsèque à l'équipement) et seront implantés à l'air libre.</p> <p>Le design de cette installation doit répondre aux normes et réglementations en vigueur, dont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La norme NFC 13-200 concernant les installations HT ; • La norme NFC 13-100 concernant les installations HT ; • Les recommandations RTE. <p>Un monitoring en continu du bon fonctionnement des installations sera réalisé. Chaque transformateur sera connecté à un système analysant les gaz susceptibles de se trouver à l'intérieur du transformateur en cas de problème :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Méthane CH₄ • Ethane C₂H₆ • Ethylène C₂H₄ • Acétylène C₂H₂ • Monoxyde de Carbone CO • Dioxyde de Carbone CO₂ • Hydrogène H₂ • Oxygène O₂ • Humidité H₂O <p>La fréquence des prélèvements pourra être une fois par heure jusqu'à une fois toutes les 4 semaines. Cette fréquence pourra être changée à tout moment par l'exploitant si besoin.</p> <p>En plus de la mesure de concentration des gaz, un suivi de la pression et de la température des opérations et de l'huile permettra de suivre le bon fonctionnement des transformateurs. La teneur en humidité sera également enregistrée. Toutes ces informations seront remontées vers la supervision en salle de contrôle.</p> <p>En plus de ce suivi automatisé, un prélèvement annuel d'huile sera envoyé pour analyse par un laboratoire spécialisé.</p> <p>Les transformateurs seront associés à une rétention déportée permettant de collecter 50 % de la quantité totale d'huile présente dans les transformateurs.</p> <p>Chaque transformateur sera associé à un détecteur de température (infrarouge ou laser) avec un report sur la supervision en salle de conduite.</p>
Transformateurs 30 kVA	<p>Le bâtiment de production d'hydrogène sera équipé avec 30 transformateurs abaisseurs 30/0,4 kV de type sec. Ces transformateurs seront installés par groupe de deux dans des locaux dédiés. Chaque groupe sera isolé des autres par des murs en voile béton.</p> <p>Chaque transformateur sera associé à un suivi de la température qui sera reporté en supervision.</p> <p>Les locaux abritant les groupes de transformateurs seront ventilés.</p> <p>Une détection fumée sera mise en place dans chaque local. En cas de détection, le groupe de transformateurs concerné sera isolé électriquement (mis à l'arrêt) et l'extraction d'air permettra d'évacuer la fumée.</p>

2.3 DANGERS LIÉS A LA PERTE DES UTILITES

Afin de pallier cette problématique, l'exploitant prévoit une redondance sur le système d'alimentation électrique.

En fonctionnement normal, tous les systèmes seront alimentés électriquement depuis la connexion principale avec RTE.

En cas de perte réseau (défaut réseau RTE ou défaut poste électrique H2VNORMANDY), les systèmes de sécurité seront alimentés depuis le réseau électrique de secours assuré par ENEDIS (alimentation de 1 MW et arrivée au niveau du poste de commande). Un inverseur de source automatique sera utilisé afin que le basculement se fasse depuis le réseau RTE vers le réseau ENEDIS.

Enfin, chaque unité de production sera équipée d'un groupe électrogène. Celui-ci servira uniquement en cas de perte du réseau RTE et du réseau ENEDIS (black-out). Il permettra une mise en sécurité de l'usine et assurera l'approvisionnement en énergie nécessaire pour les équipements critiques jusqu'au rétablissement du réseau. Une note technique est disponible en annexe EDD.7.

Le réseau d'alimentation eau brute sera mis hors gel.

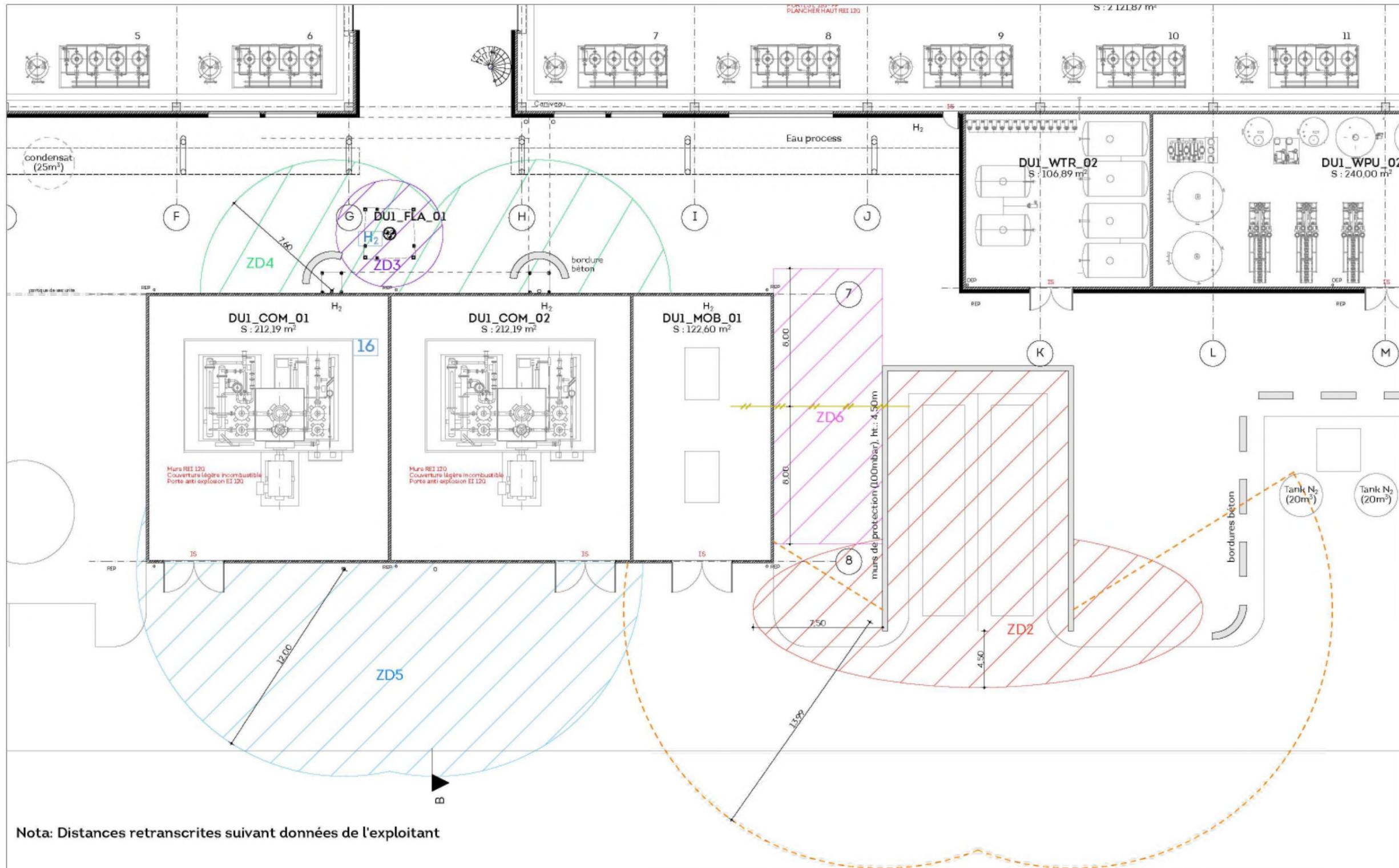
En cas de défaillance sur le réseau d'inertage (N₂) les unités de production seront mises en sécurité (soit partiellement soit en totalité). A noter une redondance sur le réseau azote.

Le système d'air comprimé sera secouru électriquement pour s'assurer de la continuité des fluides et du bon fonctionnement des vannes de procédé.

2.4 ZONES ATEX

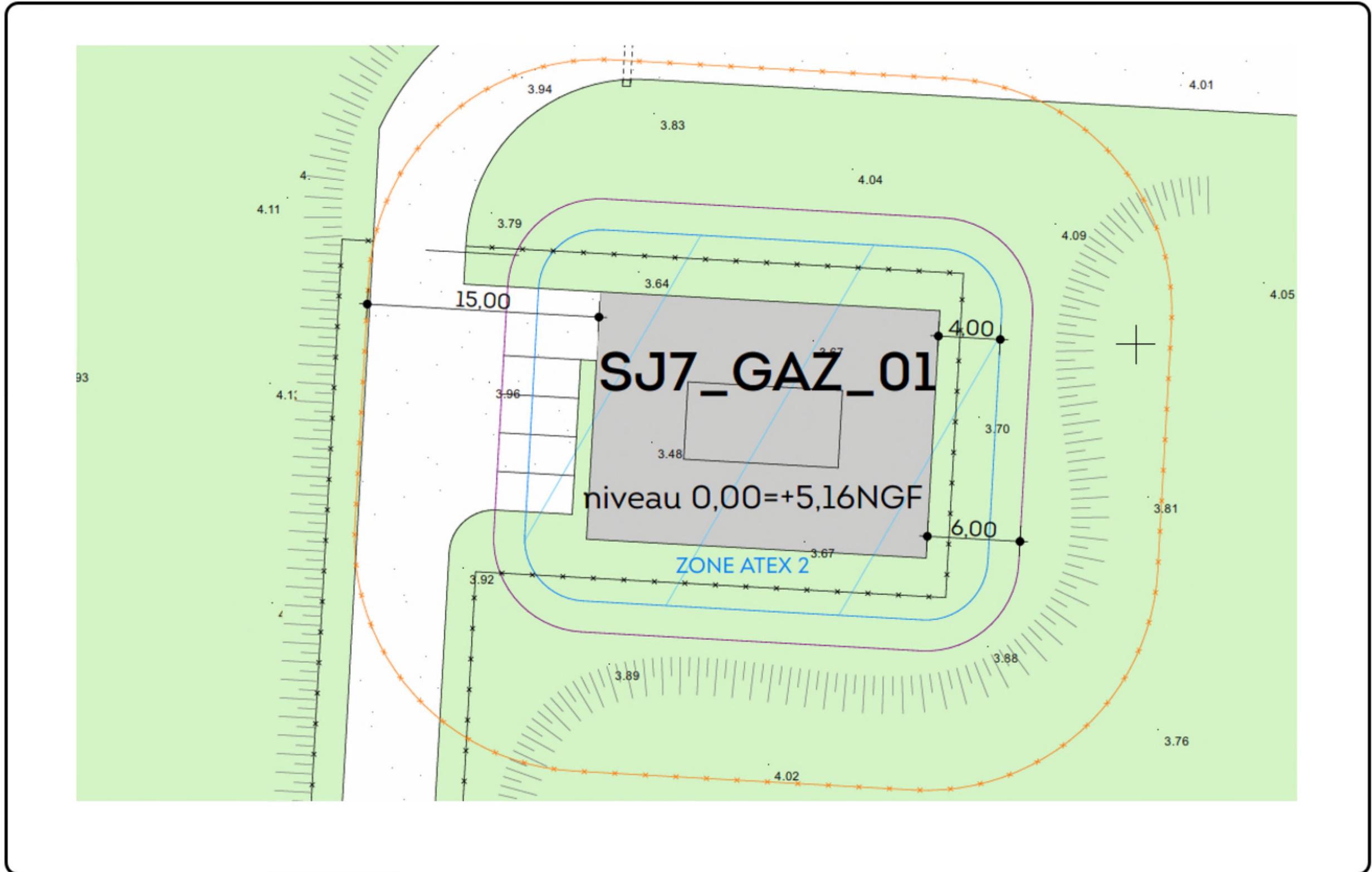
Les différentes zones ATEX identifiées sont les suivantes :

Zone 0	Zone 1	Zone 2
/	<p><u>Sommet des torchères :</u> sphère de 1,5 m de rayon</p>	<p><u>Unité de production H₂</u> Totalité du bâtiment Zone de 2 m de diamètre au niveau des différentes portes donnant vers l'extérieur. Zone de 2 m de diamètre au niveau des différents extracteurs d'air situés en façade.</p> <p><u>Réseau H₂ amont compression</u> Zone de 7,6 m au niveau des vannes de maintenance sur le réseau amont. Zone de 3,5 m englobant le collecteur H₂ situé à 7 m de hauteur.</p> <p><u>Bâtiments compression</u> Totalité du bâtiment Zone de 2 m de diamètre au niveau des différentes portes donnant vers l'extérieur.</p> <p><u>Réseau H₂ aval compression</u> Zone de 12 m autour des vannes d'isolation sur le réseau aval. Zone de 4 m englobant la tuyauterie H₂ située à hauteur d'homme.</p> <p><u>Unité mobilité</u> Zone de 2 m entre les murs. Zone de 7,5 m sur la partie ouverte. Zone de 8 m englobant la canalisation reliant le poste de compression 500 bars et la station de remplissage.</p> <p><u>Réseau de canalisation</u> Sphère de 1 m au niveau des brides et raccords vissés</p> <p><u>Station de comptage export</u> Sphère de 4 m</p> <p><u>Torchère</u> Zone de 3,1 m</p>



Nota: Distances retranscrites suivant données de l'exploitant

APD05	Construction d'usines de production d'hydrogène	16062 Référence dossier	Ind.	Date	Dessin	Chef Pr.	Maître d'ouvrage : H2V INDUSTRY 36, Avenue Hoche 75008 PARIS	Projet :	 <small>SAINT-JEAN-DE-FOLLEVILLE 25 ter, Route de Coulaines 31180 AGENAUX Tel : +33 (0)3 53 57 18 44 CAEN 25 av. Fém de France 14000 CAEN Tel : +33 (0)3 61 33 82 99 PARIS 28-28 rue de Londres 75002 PARIS Tel : +33 (0)1 78 42 39 12 Mail : cleans@duponttricolley.fr</small>
	01		ZONES DE SECURITE - VUE EN PLAN		30/09/2019	OL			



2.5 INTERVENTION DES ENTREPRISES EXTERIEURES

Tout travail de plus de 400 heures par an ou considéré comme dangereux, effectué par une entreprise extérieure sur les installations du site fera l'objet d'un plan de prévention obligatoire par écrit, signé par un responsable, conformément à la réglementation.

Au-dessous de ces seuils, la démarche du plan de prévention (inspection commune préalable, élaboration d'une évaluation commune des risques liés aux interférences et à la co-activité, adoption de mesures de prévention) sera réalisée (article R.4512-2 et suivant de Code de travail).

De plus, des autorisations spécifiques de travail (permis de feu, habilitations électriques, etc.) seront délivrées le cas échéant. Un permis de feu précisant les consignes de sécurité lors de travaux de maintenance nécessitant l'emploi de matériel pouvant créer des points chauds ou étincelles est obligatoire.

2.6 CIRCULATION SUR LE SITE

La circulation sur le site sera uniquement de type routier. A noter la présence de piétons. Un plan de circulation sera mis en place. Ce document intègrera la circulation routière et piétonne.

Les accès au site seront filtrés par un contrôle systématique effectué au niveau du poste de gardiennage du site.

Les règles de circulation sur le site imposeront une vitesse maximale de 30 km/h.

Un parking sera dédié au personnel et aux visiteurs dans l'enceinte à proximité immédiate de la salle de contrôle / conduite du site.

2.7 RISQUES EXTERNES

2.7.1 DANGERS LIES AUX ACTIVITES EXTERIEURES A L'ETABLISSEMENT

A) INSTALLATIONS VOISINES

Sur la commune de SAINT JEAN DE FOLLEVILLE ; la base de données de l'inspection des installations classées (<https://www.georisques.gouv.fr/dossiers/installations/donnees#/>) 9 sites industriels sont recensés et trois établissements sont situés à proximité immédiate du terrain d'implantation du projet. Ils sont présentés ci-dessous :

Dénomination	Activité	Statut SEVESO	Distance par rapport au site	Impact sur le site
SLAUR SARDET (CASLA)	Entreposage et services auxiliaires des transports	Seuil bas	200 m à l'Est	Non
EGNO CHIMIE	Industrie chimique	Non Seveso	200 m à l'Est	Non
Granulats PIGNET STREF	Commerce de gros	Non Seveso	100 m au Sud Est	Non
TEREOS STARCH & SWEETENERS LBN	Industrie chimique	Seuil Haut	450 m à l'Est	Non
SENALIA UNION	Terminal céréalier et pellets	Non Seveso	800 m à l'Est	Non
OREADE	Collecte, traitement et élimination des déchets, récupération	Non Seveso	920 m à l'Ouest	Non
Logistique VAL DE SEINE	Entreposage et services auxiliaires des transport	Non Seveso	1,2 km à l'Ouest	Non
CODAH	Station d'épuration	Non Seveso	1,3 km au Nord-Ouest	Non
FR PC II	Entrepôt de stockage de matières combustibles	Non Précisé	1,3 km au Sud-Ouest	Non

La carte en page suivante illustre les effets irréversibles et les effets létaux associés aux sites EGNO CHIMIE, CODAH et OREADE.

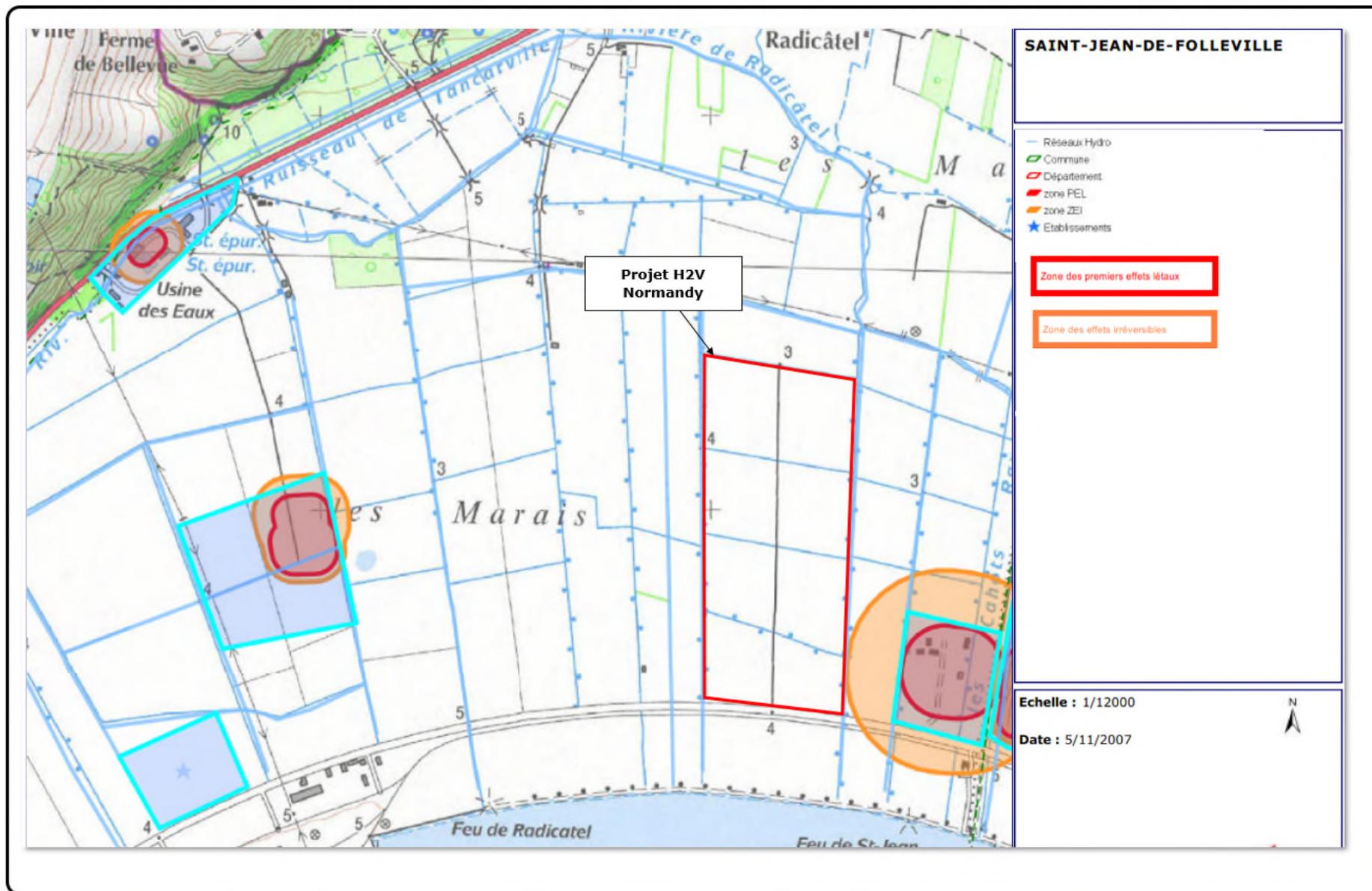
D'autres établissements industriels Seveso ou non sont recensés dans l'environnement du site mais sur des communes différentes. Le plus proche étant le site TEREOS (Seveso seuil haut) localisé à 450 m à l'Est du site.

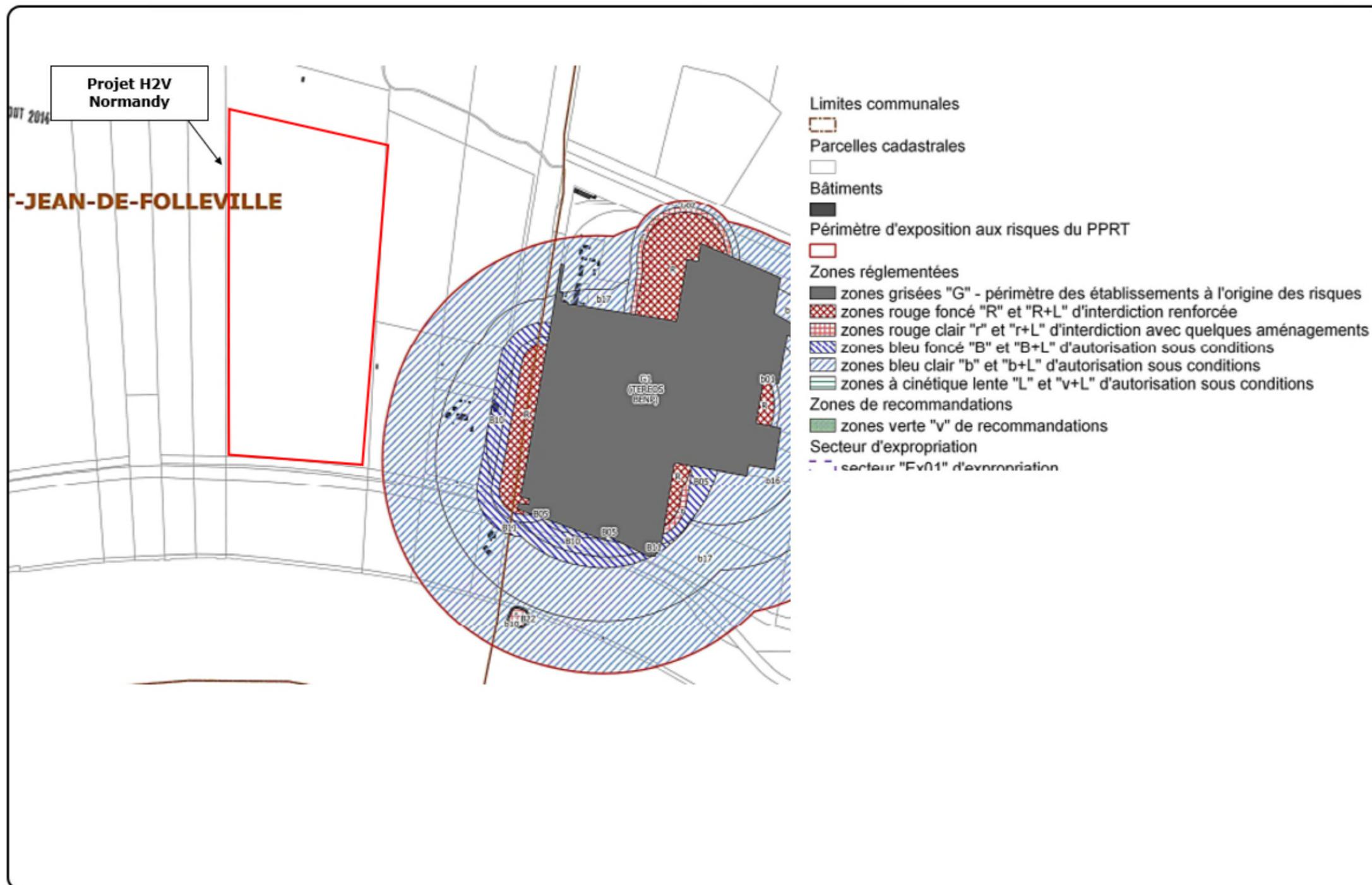
Le site sera implanté au sein de la zone industrielle de Port Jérôme II. Cette zone est concernée par un Plan de Prévention des Risques Technologiques. Ce PPRT approuvé le 07 Aout 2014 couvre les communes de LILLEBONNE, NOTRE DAME DE GRAVENCHON, PETITVILLE, QUILLEBEUF SUR SEINE, SAINT AUBIN SUR QUILLEBEUF Et SAINT JEAN DE FOLLEVILLE. Il est lié aux installations classées suivantes : CABOT CARBONE, ESSO RAFFINAGE, EXXONMOBIL CHEMICAL FRANCE, LANXESS ELASTOMERES, PRIMAGAZ, ET TEREOS-BENP et s'applique aux différentes zones et secteurs situés à l'intérieur du périmètre d'exposition aux risques, cartographié sur le plan de zonage réglementaire en page suivante.

Le terrain d'implantation du projet n'est toutefois pas situé dans une zone d'effet répertoriée. Ainsi, au vu de ces différents éléments, un accident de type industriel ne sera pas retenu comme événement initiateur d'un sinistre au sein des installation H2VNormandy.

A noter :

- Qu'une procédure d'alerte sera mise en place avec les deux industriels les plus proches (EGNO CHIMIE et SLAUR SARDET) et que les salariés H2VNormandy seront formés aux différentes prescriptions du PPRT de la zone industrielle (un extrait de cette procédure est disponible en annexe EDD.12).
- Qu'H2VNormandy a adhéré à l'Association des Entreprises de Port-Jérôme et de sa Région (AEPJR). C'est une association loi 1901 existant depuis les années 70. Elle a pour objet l'étude des questions de sécurité, d'hygiène, de formation et d'environnement dans leur aspect technique, juridique et social afin d'améliorer l'efficacité de ses membres dans ces domaines et de proposer des solutions concrètes aux administrations concernées. Elle regroupe plus d'une vingtaine d'établissements industriels établis à Port-Jérôme ou dans la vallée du Commerce. Leur activité est liée au raffinage, à la pétrochimie, à la chimie sous tous ses aspects.





B) CIRCULATION

i) Routière

Les infrastructures routières situées dans l'environnement du site sont les suivantes :

Voie	Situation par rapport au site
Route industrielle et portuaire de Radicatel	Limite de propriété Sud
Prolongement de la route des herbages, à ce jour cette infrastructure n'a pas de dénomination exacte.	Limite de propriété Nord
D 982	800 m au Nord
D 81	1,8 km au Nord-Est
A 31	3,5 km au Sud-Ouest

Aucune donnée n'est disponible sur le trafic caractérisant la route des Herbages.

La fréquentation est de l'ordre de 2 000 véhicules jours au niveau de la route industrielle et portuaire de Radicatel (sur la totalité de son linéaire) avec une proportion de 35 %.

Au regard de la nature des axes de circulation, de leur éloignement vis-à-vis du terrain d'implantation du projet et des mesures de protection prises par l'exploitant (clôture sur le périmètre complet du site), les dangers liés à la circulation routière peuvent être considérés comme négligeables.

ii) Aérienne

L'aéroport le plus proche est celui du HAVRE – OCTEVILLE situé à 40 km à l'Ouest du terrain.

A noter également l'aéroport de DEAUVILLE situé à 48 km à l'Ouest.

Le danger lié à la circulation aérienne est donc négligeable.

iii) Ferroviaire

Une voie ferrée longe les limites de propriété Nord et Sud du terrain. Au vu des données transmises cette voie n'est plus en service actuellement.

Le danger lié à la circulation ferroviaire peut donc être écarté.

iv) Fluviale / Maritime

La Seine est le fleuve le plus proche. Elle est située à environ 300 m au Sud du projet. La Seine permet le passage de gros gabarit (14 500 à 27 000 tonnes). Pour l'année 2017, 20,7 millions de tonnes de marchandises ont été transportées par voie fluviale sur le bassin de la Seine (Source Bilan du trafic fluvial en 2017 – Voies Navigables de France).

Au vu de la distance entre la Seine et les installations étudiées, le danger lié à la circulation fluviale / maritime peut être écarté.

C) MALVEILLANCE

Le risque de malveillance se manifeste par le vol, la détérioration et l'incendie volontaire. Il est à noter que l'acte de malveillance peut être le fait d'une personne venant de l'extérieur ou d'un employé de l'entreprise.

La prévention des actes de malveillance sera assurée sur le site H2VNORMANDY par :

- ↳ une clôture ceinturant le site, constituée d'une palissade métallique d'une hauteur minimum de 2 mètres surmontée d'un bavolet,
- ↳ un service de gardiennage assurant le contrôle des entrées et sorties des personnes et des véhicules.

Malgré toutes ces précautions, le risque de malveillance ne peut pas être écarté. Cependant, en référence à l'annexe 2 de l'arrêté ministériel du 26 mai 2014, relatif à la prévention des accidents majeurs dans les installations classées mentionnées à la section 9, chapitre V, titre I^{er} du livre V du Code de l'environnement, les actes de malveillance ne seront pas pris en compte dans la présente étude des dangers.

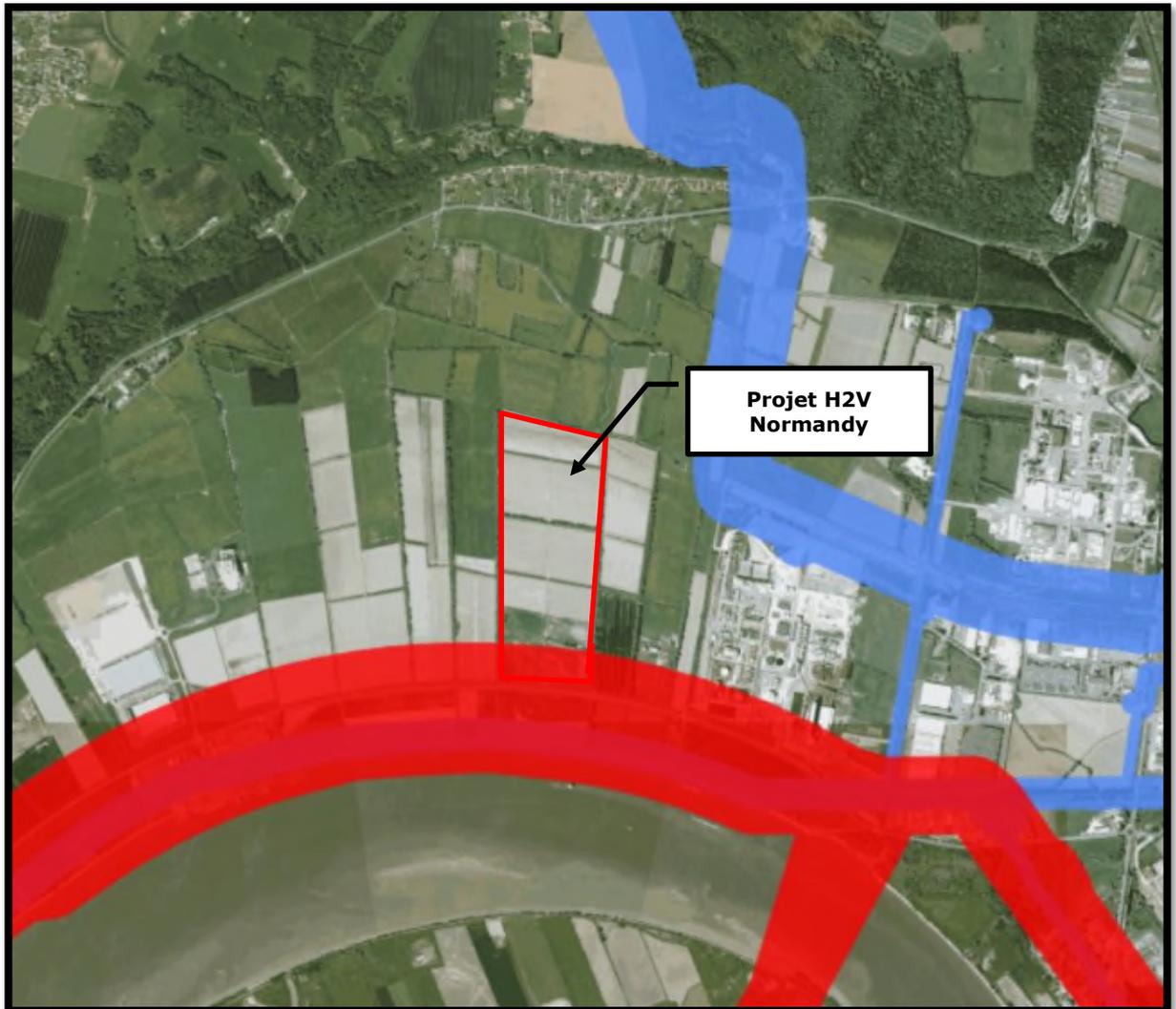
D) TRANSPORT DE MATIERES DANGEREUSES

Ces réseaux passent au sud des installations étudiées en bordure de la Seine. Le terrain est concerné par les servitudes liées à une canalisation d'hydrocarbures.

A noter que ce réseau est enterré ce qui le protège des agressions physiques et thermiques externes.

D'autre part, les travaux prévus à proximité de canalisations et réseaux enterrés doivent être déclarés à leurs exploitants, avant leur exécution, au moyen de la déclaration de projet de travaux (DT) par le maître d'ouvrage, et la déclaration d'intention de commencement de travaux (DICT) par l'exécutant des travaux. Ainsi, dans le cadre de la consultation préliminaire du guichet unique, qui recense la totalité des réseaux présents sur le territoire, l'absence de canalisation de transport de matières dangereuses implantée au droit du terrain d'emprise du projet a été démontrée.

Le danger lié au réseau de transport de matières dangereuses peut ainsi être écarté.



(source : <http://www.georisques.gouv.fr/>).

E) LIGNE ELECTRIQUE

Deux lignes électrique haute tension sont présentes dans l'environnement du terrain. La première de 2 x 225 KV longe la limite de propriété Nord du site. La seconde de 2 x 400 KV passe à 1,2 km à l'ouest du terrain.

Le terrain n'étant pas traversé par une ligne haute tension, le danger associé à ce type d'équipement sera écarté.

2.7.2 DANGERS LIES AUX ELEMENTS NATURELS

A) Foudre

Quelles que soient les saisons et les régions, les orages sont parfois meurtriers et destructeurs. Si la foudre est un phénomène rare sous nos latitudes (à l'échelle d'une infrastructure), elle peut impacter sévèrement les installations industrielles : au-delà du risque pour le personnel, des incendies déclenchés (15 000 par an en France) ou du risque environnemental, 80% des dégâts occasionnés concernent les installations électriques. Le coup de foudre est une décharge électrique très intense (de l'ordre de 20 à 30 kA) et rapide engendrée par l'augmentation de la tension électrique existant entre le sol et la base des nuages.

La meilleure représentation actuelle de l'activité orageuse est la densité de points de contact qui est le nombre de points de contact par km² et par an (Ground Strike-point density). La cartographie mise en ligne par METEORAGE indique que pour le département de Seine-Maritime, la densité de points de contact (2007-2016) se situe est en moyenne de 1,3 contact/km²/an.

La valeur moyenne de la densité de points de contacts (NSG) en France est de 1,12 contact/km²/an.

Conformément à l'arrêté du 4 octobre 2010 modifié relatif à la prévention des risques accidentels au sein des ICPE soumises à Autorisation, les installations projetées ont fait l'objet d'une étude de protection contre la foudre. Cette étude est disponible en annexe EDD.1.

Les conclusions de l'analyse du risque foudre sont les suivantes :

↳ Structures étudiées selon la méthode probabiliste

Structures	Niveau de protection Analyse du risque foudre Effets Directs	Niveau de protection Analyse du risque foudre Effets Indirects
Unités de production	Structure ne nécessitant pas de protection	
Unités annexes	Structure ne nécessitant pas de protection	

↳ Structures étudiées selon la méthode déterministe

Les 6 points hauts représentés par les torchères et les événements oxygène sont des points d'impacts privilégiés par la foudre. Par mesure de sécurité, il sera donc nécessaire de relier ces structures à des prises de terre paratonnerre. Leur structure métallique fera office de capteur et conducteur naturel.

↳ Prévention

Mise en place d'un système de prévention de situation orageuse à intégrer dans les procédures d'exploitation du site (interdire en période orageuse le travail en toiture des unités, la proximité des installations paratonnerres et l'intervention sur le réseau électrique).

Également, une étude technique a été menée. Les recommandations issues de l'étude technique sont les suivantes.

La probabilité de pénétration d'un coup de foudre dans la structure à protéger est considérablement réduite par la présence d'un dispositif de capture convenablement conçu. Un Système de Protection Foudre (SPF) est constitué de 3 principaux éléments :

- Les dispositifs de capture peuvent être constitués par une combinaison quelconque des composants suivants :
 - *tiges simples (compris les mâts séparés),*
 - *fils tendus,*
 - *conducteurs maillés,*
 - *structures naturelles,*
 - *paratonnerres à dispositif d'amorçage.*
- Les conducteurs de descente peuvent être constitués par une combinaison quelconque des composants suivants :
 - *structures naturelles,*
 - *conducteurs normalisés dédiés.*

Les torchères et évènements oxygène représentent des structures métalliques isolées des bâtiments recevant du personnel et sont suffisamment dimensionnés pour recevoir et conduire un courant de foudre. Leur structure métallique sera utilisée comme capteur et conducteur de descente naturels. Selon la norme, toute installation doit être équipée de 2 conducteurs de descente minimum dont de préférence un conducteur normalisé dédié, excepté pour les installations isolées de type pylône ou cheminée métallique, une descente normalisée suffit. Nous partons sur cette solution technique naturelle.

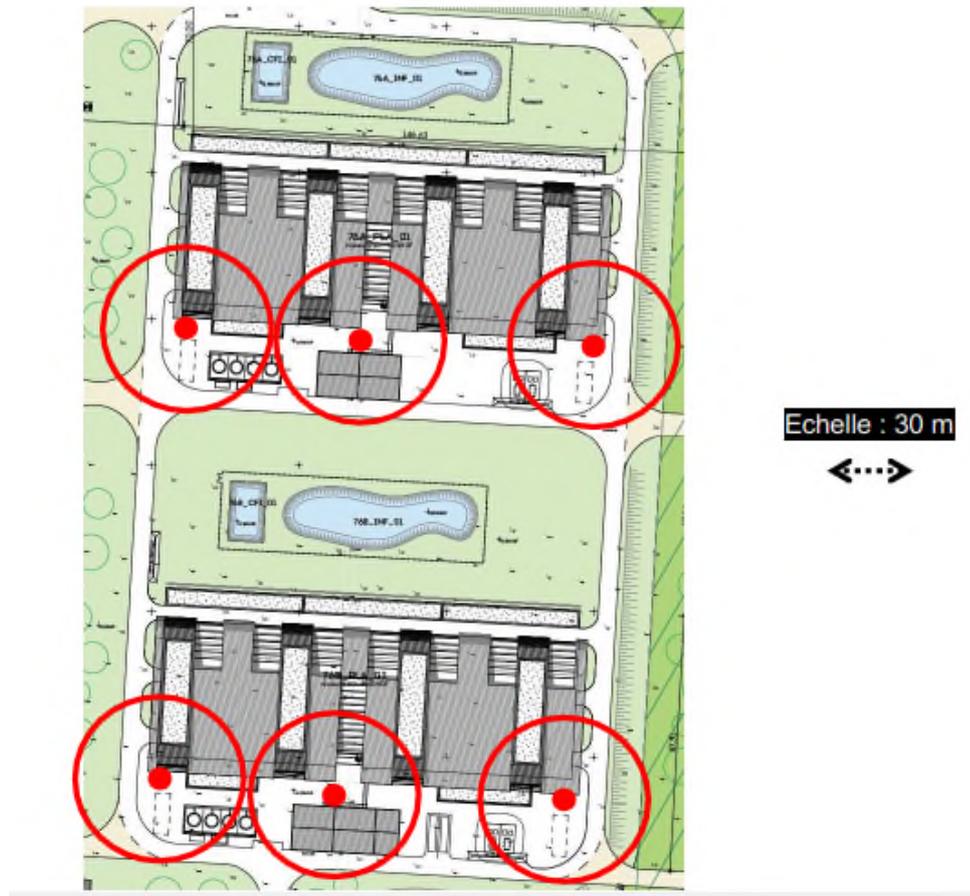
- Les prises de terre peuvent être constituées par une combinaison quelconque des composants suivants :
 - *prise de terre de type A,*
 - *prise de terre de type B,*
 - *structures naturelles.*

La norme NF EN 62305-3 impose une section de 50 mm² pour le cuivre (ou équivalent pour d'autres matériaux) pour qu'un fond de fouille soit utilisable comme élément dissipateur de foudre.

Pour les structures ou équipements équipés de la sorte nous privilégions l'utilisation de ce fond de fouille comme prise de terre paratonnerre de type B. Dans l'autre cas il sera nécessaire d'implanter, au pied des torchères et des évènements oxygène, une prise de terre de type A.

Le plan d'implantation de la protection foudre est le suivant :

Plan d'implantation de la protections foudre



L'installation PDA devra respecter les points suivants :

- ↻ Utilisation de la structure métallique des torchères et des événements oxygène comme capteur naturel.
- ↻ Utilisation de la structure métallique des torchères et des événements oxygène comme conducteur de descente naturel.
- ↻ La distance de séparation pour cette installation est nulle (installation sur surface métallique).
- ↻ En partie basse des descentes, mise en place de :
 - ✓ Un regard de visite ou un étrier au niveau du sol pour l'accès au raccordement.
 - ✓ Un compteur de coups de foudre.
 - ✓ Une affichette d'avertissement de la présence d'une installation paratonnerre.
- ↻ Il sera nécessaire d'implanter au pied de chaque structure une prise de terre de type A ou B.

- Réalisation d'une liaison équipotentielle entre les prises de terre paratonnerres et la terre générale BT du site par un système permettant la déconnexion (si prise de terre de type A).

B) METEOROLOGIE ET PRECIPITATIONS

Selon les règles NV65 définissant les effets du vent sur les constructions et leurs annexes, la commune de SAINT-JEAN-DE-FOLLEVILLE se situe en région 2 pour les vents (vent 2009).

Selon les règles NV65 définissant les effets de la neige sur les constructions et leurs annexes, la commune de SAINT-JEAN-DE-FOLLEVILLE se situe en région A1 pour la neige (Eurocode1 EN1991-1-3), ce qui correspond à une charge normale de 35 daN/m².

La structure des nouvelles installations construites est conforme aux directives de construction en vigueur dans la région (Règles NV 65/99 modifiée (DTU P 06 002) et N84/95 modifiée (DTU P 06 006)).

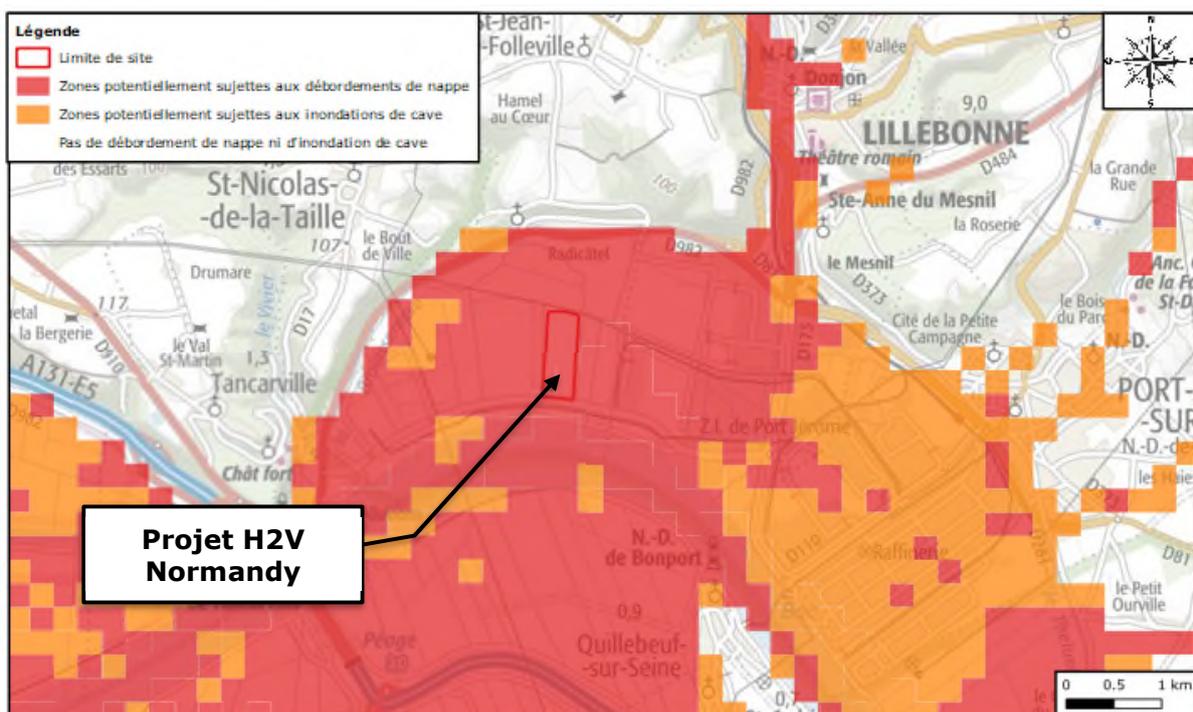
Ce risque ne sera donc pas retenu dans la suite de l'étude.

C) INONDATIONS – RETRAIT GONFLEMENT DES ARGILES

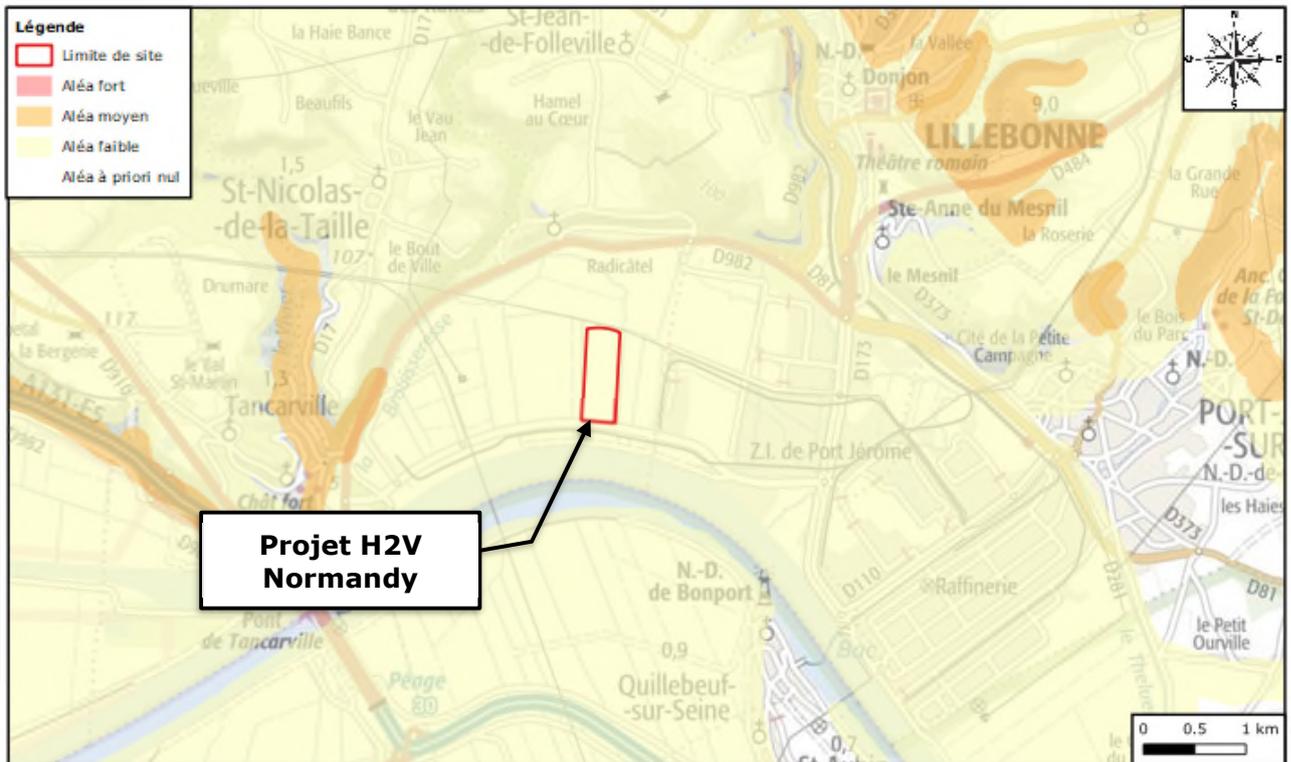
La commune de Saint Jean de Folleville n'est pas soumise à un Plan Prévention du Risque Inondation ni à un Plan Prévention du Risque Naturel.

Le terrain étudié n'est pas implanté sur un territoire à risque important d'inondation.

Il est toutefois à noter qu'au niveau de la zone d'étude, la sensibilité à la remontée de nappe est très élevée du fait d'une nappe affleurante.



Par ailleurs, le projet est situé en zone d'aléa faible pour le risque de retrait/gonflement des argiles



Au regard du risque d'inondation, les aménagements prévus sur le site afin de prévenir et limiter les volumes d'eaux pluviales de ruissellement seront :

- ↪ la mise en œuvre de bassins étanches pour le tamponnement des eaux pluviales de ruissellement sur les voiries imperméabilisées et les toitures des bâtiments. Ces bassins permettront le tamponnement d'une pluie centennale et présenteront un débit de fuite limité à 1 l/sec/ha ;
- ↪ la limitation de l'imperméabilisation aux zones d'activités afin de réduire l'incidence sur l'écoulement naturel des eaux ;
- ↪ les fossés drainant présents sur les bordures Est et Sud du site sont dimensionnés pour absorber un rejet de 10 l/s/ha (valeur respectée par l'exploitant).

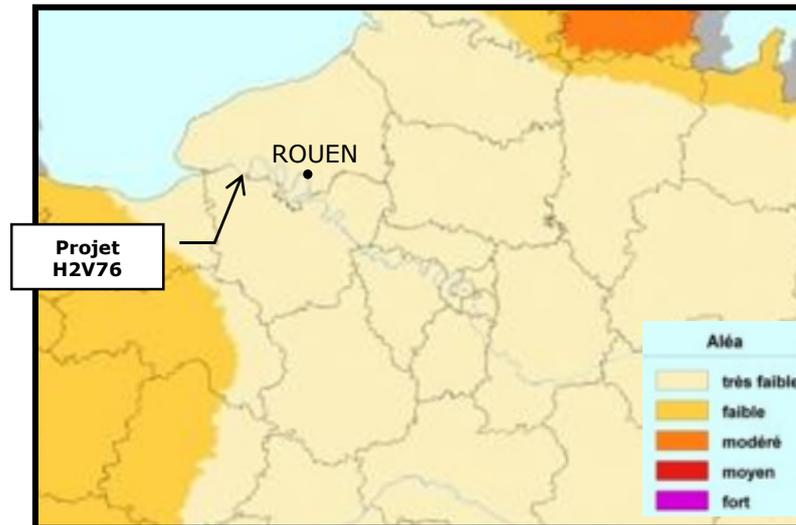
Compte-tenu de la présence d'une nappe affleurante et de sa vulnérabilité, et au regard des pratiques en place sur la zone du projet, le site de l'usine de production d'hydrogène sera réhaussé de 2 m environ afin d'atteindre la cote +5,20 m NGF pour un terrain naturel à +3,80 m NGF environ actuellement. A noter qu'une partie du site ne sera pas remblayé afin de maintenir des zones d'aménagement écologiques (zones d'évitement et de compensation).

Le risque lié aux inondations peut donc être écarté.

D) RISQUE SISMIQUE

Au vu des informations disponibles (*base de données Sisfrance du BRGM*), aucun séisme n'a été ressenti sur la commune de SAINT JEAN DE FOLLEVILLE.

La figure ci-dessous est un extrait du zonage sismique.



D'après l'article D.563-8-1 du Code de l'Environnement relatif à la délimitation des zones de sismicité du territoire français, la commune de SAINT JEAN DE FOLLEVILLE est située en zone de sismicité 1, c'est-à-dire en zone de sismicité très faible. **Cette zone n'est pas soumise à des prescriptions parasismiques particulières.**

2.8 ANALYSE DES INCIDENTS ET ACCIDENTS PASSES

2.8.1 DESCRIPTION DES INCIDENTS ET ACCIDENTS SURVENUS SUR LE SITE

Paragraphe sans objet puisque le site est à ce jour à l'état de projet.

2.8.2 DESCRIPTION DES INCIDENTS ET ACCIDENTS SURVENUS SUR DES INSTALLATIONS COMPARABLES

L'objectif est d'identifier les accidents ou incidents caractérisant **les activités similaires** à celles mises en œuvre au sein du projet H2VNORMANDY ainsi que leurs événements initiateurs et conséquences.

Cette analyse est basée sur

Les sources d'informations sont les suivantes :

- ↳ Synthèse de l'accidentologie de l'hydrogène, base de données ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents), Ministère de l'écologie et de la transition solidaire, 2009,
- ↳ Rapport d'étude n°DRA-15-149420-06399C « Etude comparative des réglementations, guides et normes concernant les électrolyseurs et le stockage d'hydrogène », INERIS, 2016,
- ↳ Fiches d'analyses disponibles sur la base de données tenue à jour par le BARPI (Bureau d'Analyse des Risques et Pollution Industriels). Les différents événements recensés par le BARPI sont donnés en annexe EDD.2.

A) INSTALLATIONS METTANT EN ŒUVRE DE L'HYDROGENE

Source : Accidentologie de l'hydrogène – Base de données ARIA - 2008

Le document « Accidentologie de l'hydrogène », basé sur l'analyse de 215 accidents répertoriés dans la base de données ARIA impliquant l'hydrogène et survenus avant le 1er juillet 2007, permet de tirer des enseignements sur les risques liés à l'hydrogène à partir d'indicateurs chiffrés propres à l'accidentologie.

L'une des spécificités des accidents impliquant de l'hydrogène est la gravité de leurs conséquences comme le montre le tableau ci-après :

Conséquences	Sur échantillon de 213 cas dont les conséquences sont connues	
	Nombre de cas	%
Morts	25	12
Blessés graves	28	13
Bléssés (y compris grave)	70	33
Dommages matériels internes	183	86
Dommages matériels externes	17	8
Pertes d'exploitation internes	89	42
Population évacuée	8	3,8

Ainsi, 25 accidents mortels impliquant de l'hydrogène, dont 5 survenus en France sont répertoriés dans ARIA, soit 12% de l'échantillon étudié. Ces accidents sont à l'origine du décès de 80 personnes, dont 9 en France.

Les accidents avec blessés graves ou non représentent respectivement 13 et 33% de l'échantillon étudié. Notons cependant que les conséquences humaines des accidents impliquant de l'hydrogène concernent essentiellement les employés des sites accidentés, les personnels de secours et le public n'étant que plus rarement atteints. Ainsi, tous les accidents mortels pour lesquels la qualité des personnes décédées est connue concernent des employés.

Ces faits sont liés à la typologie des accidents impliquant l'hydrogène, ainsi qu'à la cinétique rapide des phénomènes en jeu : 84% des événements étudiés sont des incendies et/ou explosions. Les 16% restants concernent des fuites d'hydrogène non enflammées, des emballements de réaction sans explosion ou des phénomènes de corrosion détectés avant accident.

Les principaux secteurs d'activité concernés par les accidents impliquant de l'hydrogène sont :

Activités	Sur échantillon de 215 cas	
	Nombre de cas	%
Chimie	84	39
Raffinage / pétrochimie*	47	22
Transport, conditionnement et stockage	35	16
Métallurgie / travail des métaux	17	7,9
Traitement des déchets / récupération	8	3,7
Industrie nucléaire	5	2,3

* hors transport, conditionnement et stockage

Deux types d'activités sont à distinguer :

- ↳ celles dans lesquelles l'hydrogène est produit ou utilisé : chimie, raffinage, transport, conditionnement, industrie nucléaire,
- ↳ celles où l'hydrogène est généré accidentellement : métallurgie et travail des métaux, assainissement, traitement des déchets, récupération.

Dans 21% des 215 accidents de l'échantillon étudié, soit 46 cas, l'hydrogène en cause est généré accidentellement. Différents phénomènes peuvent générer de l'hydrogène ; l'accidentologie met notamment en évidence :

- ↳ la corrosion des aciers (attaque du fer et des principaux métaux usuels par des acides dilués avec dégagement d'hydrogène),
- ↳ les réactions eau/métal (réaction des métaux alcalins ou alcalino-terreux avec l'eau),
- ↳ la formation de gaz à l'eau (contact de l'eau avec des matières carbonées portées à haute température),
- ↳ d'autres réactions chimiques mettant en jeu des hydrures.

Le projet H2VNORMANDY n'est pas concerné par cette typologie de phénomènes.

Des causes externes sont tout ou partie responsables de 7 accidents de l'échantillon étudié. Il s'agit de :

- ↳ phénomènes météorologiques : foudre entraînant l'ignition de nuage ou le déclenchement d'installations, ou pluies à l'origine de contacts accidentels eau/métal,
- ↳ défaut d'alimentation électrique des unités provoquant une mise en sécurité des installations,
- ↳ effets dominos « externe » par feux de forêt.

Les défaillances matérielles relevées dans l'accidentologie de l'hydrogène résultent principalement de :

- ↳ défaillances de joints, vannes, etc. à l'origine de fuites,
- ↳ problème de corrosion,
- ↳ défaillance d'automatismes ou d'instrumentations.

Plus de 70% des accidents impliquant l'hydrogène et dont les causes sont connues ont une origine organisationnelle ou humaine, seule ou associée à une défaillance matérielle.

Toutes les phases de la vie de l'installation sont concernées : conception, étude de dangers, exploitation, maintenance, modifications, intervention.

L'accidentologie met en évidence deux causes principales d'accidents liées au facteur organisationnel et humain : les interventions pour maintenance ou entretien et les défauts de maîtrise de procédé. Sur les 25 accidents mortels recensés dans ARIA, 48% se sont ainsi produits lors d'intervention de maintenance. Ce chiffre s'élève à 100% si on considère les 5 accidents survenus en France.

Parmi les accidents dont les causes sont liées à la maintenance, on trouve notamment des :

- ↳ interventions par point chaud sans vérification préalable suffisante de l'absence d'atmosphère explosive,
- ↳ défauts ou mauvaises consignes des ouvrages en maintenance,

- ↪ lavages d'équipements sans analyse des risques suffisante,
- ↪ interventions mal menées (défaut de montage de joint ou de serrage de boulonnerie) entraînant des fuites d'hydrogène,
- ↪ défaillances électriques ou d'automatismes faisant suite à des opérations de maintenance.

Les défauts de maîtrise de procédé concernant quant à eux plus particulièrement :

- ↪ les installations d'électrolyse,
- ↪ les emballements de réaction,
- ↪ les mauvaises gestions des déchets qui réagissent et forment de l'hydrogène susceptible d'exploser.

B) PRODUCTION D'HYDROGENE PAR ELECTROLYSE DE L'EAU

Source : Etude comparative des réglementations, guides et normes concernant les électrolyseurs et le stockage d'hydrogène – INERIS – 15/03/2016.

Les étapes de procédé considérées dans le rapport d'étude n°DRA-15-149420-06399C « Etude comparative des réglementations, guides et normes concernant les électrolyseurs et le stockage d'hydrogène » publié par l'INERIS en 2016, et concernant le projet H2VNORMANDY sont :

- ↪ la production d'hydrogène par électrolyse alcaline,
- ↪ la compression et échangeur d'hydrogène en sortie d'électrolyseur,
- ↪ le transfert d'hydrogène comprimé dans les tuyauteries.

L'étude précise qu'aucune base de données internationale ou nationale dédiée à l'accidentologie relative à l'hydrogène énergie de façon exclusive et exhaustive n'a été recensée. L'INERIS a donc utilisé les données publiquement accessibles dans les bases de données suivantes :

- ↪ Hydrogen Lessons Learned,
- ↪ The Hydrogen Incident and Accident Database (HIAD),
- ↪ ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents),
- ↪ le projet BASHYC (Base de connaissance sur l'accidentologie Hydrogène).

Ce retour d'expérience a été complété par des données issues d'un questionnaire posé directement aux fournisseurs et/ou fabricants d'installation.

L'industrie de l'hydrogène étant principalement liée à la production de gaz de synthèse pour la production de l'ammoniac et du chlore, les retours d'expérience disponibles et applicables à l'hydrogène pur (donc hydrogène énergie) sont peu nombreux. Au total 32 accidents ont été identifiés comme applicables aux cas d'études.

→ Retour d'expérience sur la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau

Cinq retours d'expérience ont été recensés concernant les électrolyseurs dont quatre concernent la technologie alcaline. Quatre ont été fournis par les fabricants et un provient des bases de données.

Les principaux phénomènes dangereux rencontrés sont : le rejet de matière dangereuse (inflammable ou toxique), les incendies et les explosions.

Au niveau des électrolyseurs, l'élément du procédé le plus sensible est la membrane du stack (4 incidents sur 5 enregistrés) qui présente le risque principal d'explosion suite à un mélange hydrogène/oxygène par rupture ou perte d'étanchéité de celle-ci.

Les causes principalement identifiées sont :

- ✓ des défauts de matériels tels que la défaillance des systèmes de mesures (pression, analyseurs O₂, etc.) ou un défaut d'étanchéité au niveau de la membrane ou des problèmes de corrosion (présence de produit corrosif KOH) ou fragilisation,
- ✓ la perte de maîtrise du procédé liée par exemple à l'obstruction des tuyauteries d'alimentation qui conduit à un faible niveau d'électrolyte et à un fort taux d'oxygène dans le réservoir d'hydrogène.

→ **Retour d'expérience sur la compression de l'hydrogène**

Pour la compression, il a été choisi de se concentrer sur l'accidentologie de la compression de l'hydrogène en ne se focalisant pas uniquement sur les installations d'électrolyse.

Six accidents ont été identifiés sur la compression d'hydrogène. Parmi ces accidents deux sont dus à une infiltration d'air dans le compresseur, trois sont dus à une fuite d'hydrogène vers l'air ambiant et un n'a pas de cause identifiée.

L'infiltration d'air dans le compresseur a lieu à l'aspiration. Dans l'un des deux cas la raison est non identifiée, dans l'autre cas la raison est une succession d'évènements avec à l'origine la fonte d'un fusible due à des travaux sur le réseau électrique. L'infiltration d'air a mené à une explosion dans les deux cas.

Les fuites d'hydrogène vers le milieu ambiant sont dues à une défaillance matérielle (bride ou clapet anti-retour) dans les deux cas. La cause du troisième cas de fuite est non identifiée.

→ **Retour d'expérience sur le transfert d'hydrogène**

Douze accidents ont été identifiés sur le transfert d'hydrogène en tuyauterie. Ils ont tous conduit à la libération d'hydrogène dans l'environnement.

Parmi ces accidents, un seul est dû à de la corrosion. En revanche cet accident a eu des conséquences majeures car la canalisation était enterrée et l'hydrogène libéré s'est accumulé jusqu'à produire une explosion.

Les autres accidents identifiés ont pour origine une défaillance matérielle ou humaine. Les défaillances matérielles en cause peuvent être localisées sur le métal de la canalisation (fissure voire rupture de la canalisation) ou sur un élément d'assemblage de la tuyauterie (rupture d'un joint ou d'une bride). Les défaillances humaines sont dues à des erreurs d'opération ou de maintenance avec une mauvaise application des procédures de sécurité ou une erreur de choix de matériel lors de la conception de l'installation.

→ Retour d'expérience sur le stockage d'hydrogène sous pression

Huit accidents ont été identifiés sur le stockage d'hydrogène sous pression dont six dus à une fuite d'hydrogène vers l'air ambiant, un dû à un mélange d'hydrogène et d'oxygène dans le système et un dû à une surpression dans le système.

Les accidents liés à une fuite d'hydrogène vers l'air ambiant ont pour origine des causes variées et non spécifiques à la problématique du stockage. Il s'agit de la corrosion des métaux, la rupture mécanique de parois par fatigue, une défaillance humaine ou matérielle, ou encore la foudre.

Il est probable que la plupart des accidents identifiés aurait pu être prévenue par l'application de procédures plus strictes en matière de révision des équipements et de consignes de sécurité aux opérateurs.

Selon les données disponibles, les **causes d'accidents** régulièrement relevées sont : la corrosion, la fatigue mécanique et la défaillance de pièces isolées.

Des analyses de risques ont été réalisées par l'INERIS avec l'ADEME et les industriels français concernant les électrolyseurs alcalins.

Les **événements redoutés** se dégageant de ces analyses de risques sont la perte de confinement et les mélanges hydrogène/oxygène ou hydrogène/air dans l'électrolyseur.

La perte de confinement peut être due :

- ↪ à la corrosion ou fragilisation due aux gaz (molécule de petite taille, propriétés de perméation de l'hydrogène dans certains matériaux et réaction avec certains matériaux) ou attaque des hydroxydes de potassium ou sodium (corrosifs),
- ↪ aux contraintes de température et pression exercées sur les matériaux,
- ↪ à des erreurs de montages,
- ↪ à des agressions mécaniques ou thermiques (effet domino),
- ↪ à des vibrations, fatigue et vieillissement,
- ↪ au choix de matériaux inadaptés (par exemple la fragilisation par l'hydrogène).

Le mélange hydrogène/air a pour causes principales l'infiltration d'air dans les équipements contenant de l'hydrogène :

- ↪ introduction d'air dans les volumes remplis d'hydrogène après une opération de maintenance et l'oubli d'inertage lors du démarrage de l'installation,
- ↪ infiltration d'air à l'aspiration du compresseur par défaut d'alimentation en hydrogène lié à une vanne en position fermée par exemple.

Le mélange hydrogène/oxygène désigne la mise en contact des gaz H₂ et O₂ purs. Il peut principalement avoir lieu sur des équipements tels que les séparateurs, l'électrolyseur (membrane), les tuyauteries communes aux 2 séparateurs, les échangeurs avec circuit de refroidissement commun. Il résulte en général d'un défaut d'étanchéité ou d'un défaut d'approvisionnement en eau ou gaz neutre du système.

Les **phénomènes dangereux** potentiellement envisageables sont :

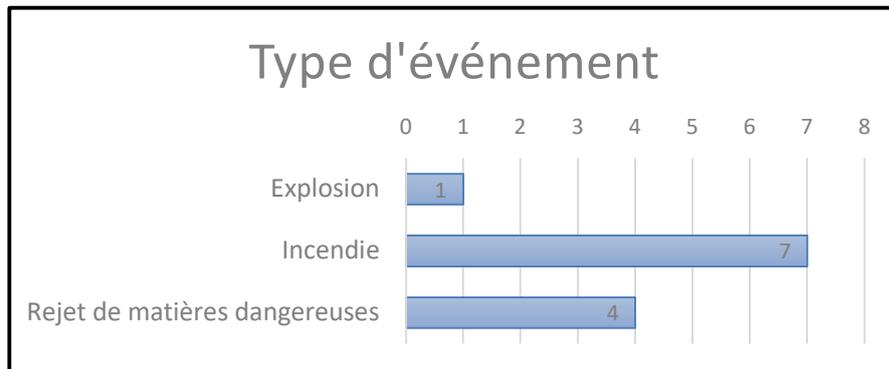
- ↪ pour l'hydrogène :
 - ✓ l'inflammation instantanée de la fuite d'hydrogène en présence d'une source d'inflammation → feu torche,
 - ✓ l'inflammation retardée, sous l'effet d'une source d'inflammation, de l'atmosphère explosive constituée du mélange hydrogène/air (formée dans la zone immédiate et/ou dans un local) → explosion (VCE ou UVCE),
- ↪ pour l'oxygène : la suroxygénation ou l'inflammation instantanée de la fuite d'oxygène en présence de certains matériaux, hydrocarbures et graisse → feu,
- ↪ pour le mélange hydrogène/oxygène ou hydrogène/air → explosion (VCE ou UVCE),
- ↪ pour l'azote → anoxie,
- ↪ pour l'hydroxyde de potassium : la réactivité avec l'eau et la brûlure chimique.

C) CODE NAF 20.13 « FABRICATION D'AUTRES PRODUITS INORGANIQUES DE BASE » ET MOT CLE HYDROGENE

Sur les 20 événements, 9 sont se sont produits au sein d'installations similaires à celles étudiées. Ils sont présentés ci-dessous.

Phénomènes dangereux :

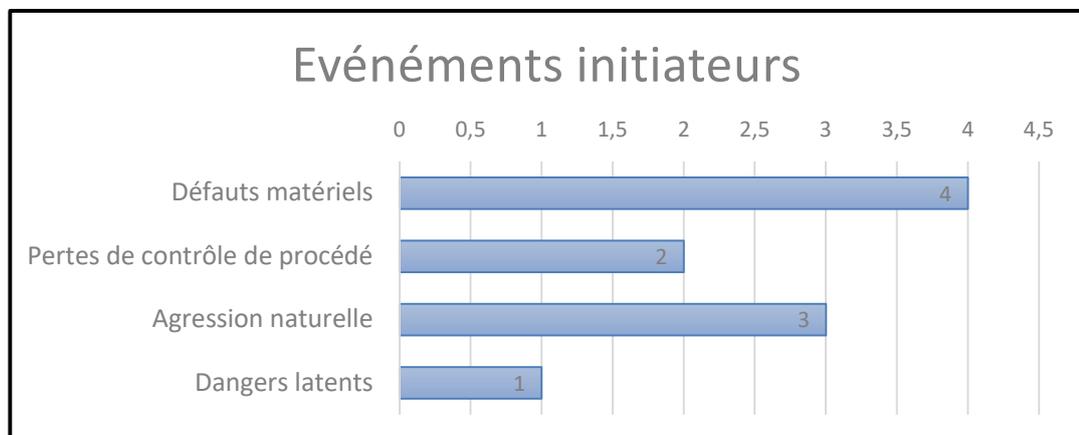
Catégorie	Nombre	Pourcentage
Explosion	1	11%
Incendie	7	78%
Rejet de matières dangereuses	4	44%



L'incendie et le déversement de matières dangereuses sont les phénomènes dangereux les plus courants. Seule une explosion d'un mélange hydrogène/oxygène a été relevée.

Evénements initiateurs

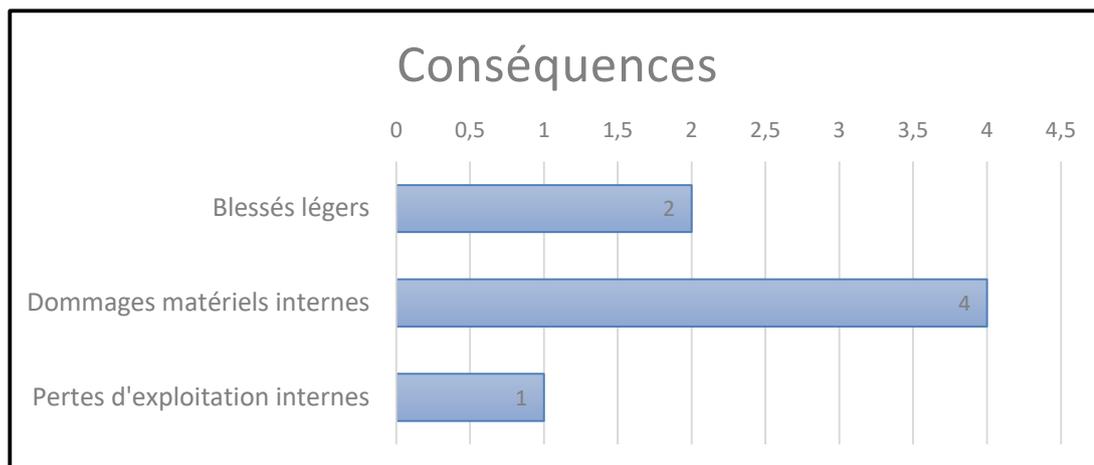
Catégorie	Nombre	Pourcentage
Défaut matériels	4	44%
Perte de contrôle	2	22%
Agressions naturelles	3	33%
Dangers latents	1	11%



Les défaillances matérielles (incluant les pertes de contrôle de procédé) sont les événements initiateurs principaux, suivi des agressions naturelles (notamment la foudre).

Conséquences

Catégorie	Nombre	Pourcentage
Blessés légers	2	22%
Dommages matériels internes	4	44%
Pertes d'exploitation internes	1	11%



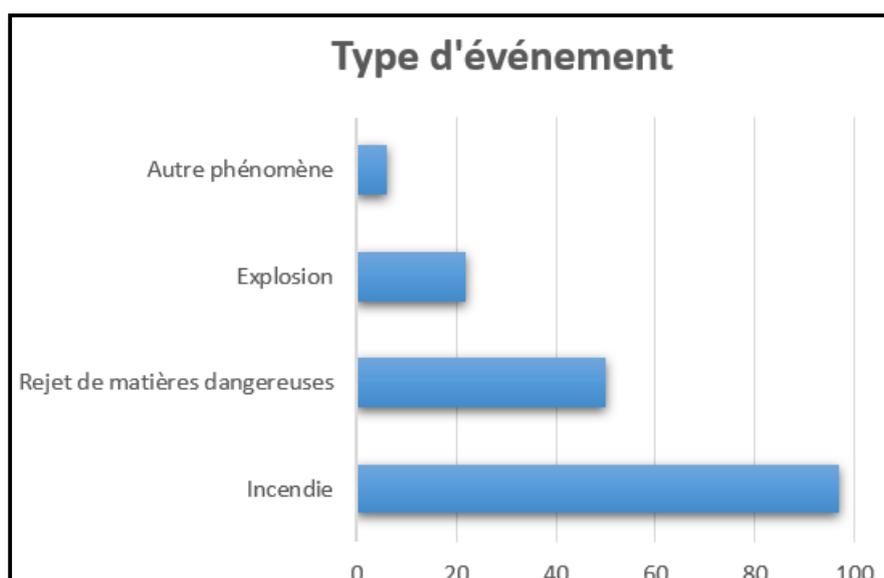
Les conséquences des accidents sont maintenues à l'intérieur des sites et concernent pour l'essentiel des dommages matériels.

D) TRANSFORMATEURS ELECTRIQUES

Sur les 145 événements, 107 sont susceptibles de se produire au niveau des installations étudiées. Ils sont présentés ci-dessous.

Phénomènes dangereux :

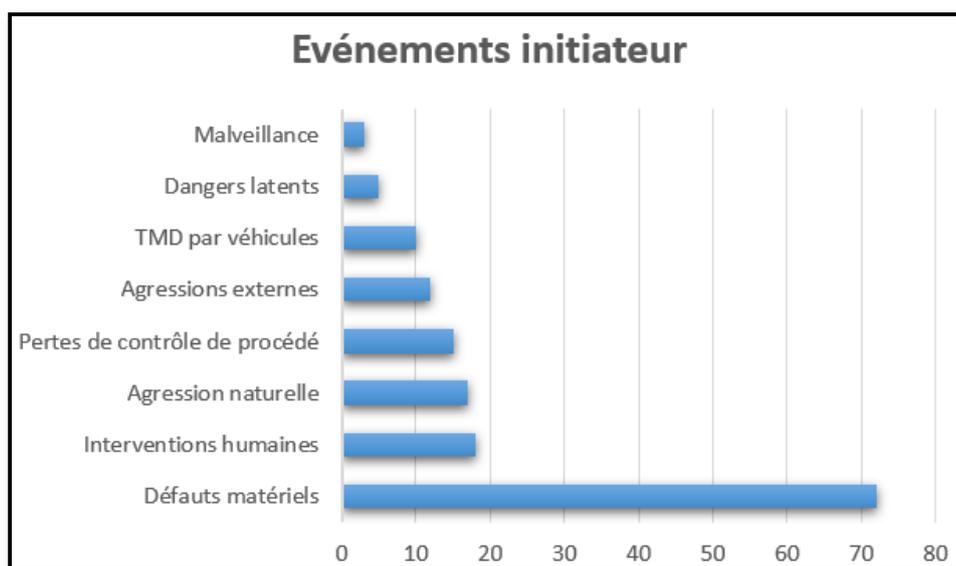
Catégorie	Nombre
Incendie	97
Rejet de matières dangereuses	50
Explosion	22
Autre phénomène	6



Le principal phénomène dangereux est l'incendie et vient ensuite le rejet de matières dangereuses.

Événements initiateurs

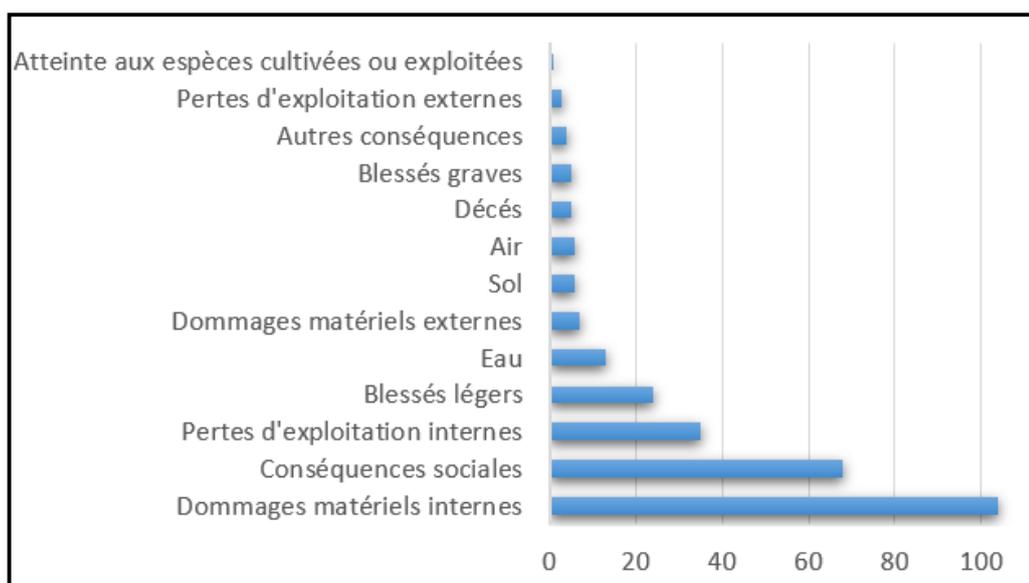
Catégorie	Nombre
Défaut matériels	72
Interventions humaines	18
Agression naturelle	17
Perte de contrôle du procédé	15
Agressions externes	12
TMD par véhicules	10
Dangers latents	5
Malveillance	3



La défaillance matérielle est la cause principale, puis viennent les défaillances humaines, agressions naturelles (foudre en particulier) puis les pertes de contrôle au niveau des installations.

Conséquences

Catégorie	Nombre
Dommages matériels internes	104
Conséquences sociales	68
Pertes d'exploitation internes	35
Blessés légers	24
Eau	13
Dommages matériels externes	7
Sol	6
Air	6
Décès	5
Blessés graves	5
Autres conséquences	4
Pertes d'exploitation externes	3
Atteinte aux espèces cultivées ou exploitées	1



Les principales conséquences sont des dommages matériels ou des conséquences sociales (chômage technique) se limitant à l'enceinte de l'établissement.

2.8.3 ENSEIGNEMENTS TIRES

Sur la base des différents événements recensés au niveau d'installations similaires à celles étudiées les principaux points à retenir sont les suivants :

Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau	Evènements initiateurs principaux	Corrosion, la fatigue mécanique et la défaillance de pièces isolées Perte de confinement Mélange hydrogène / air Mélange H ₂ /O ₂
	Phénomène dangereux principal	Fuite pouvant être suivi d'une inflammation immédiate (feu torche) ou d'une inflammation différée (UVCE) Explosion
	Conséquences principales	Pertes d'exploitation pouvant occasionner des conséquences sociales.
Code NAF 20.13 « Fabrication d'autres produits inorganiques de base » et mot clé hydrogène	Evènements initiateurs principaux	Défaillance matérielle
	Phénomène dangereux principal	Incendie et déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel
	Conséquences principales	Dommmages matériels internes Pertes d'exploitation pouvant occasionner des conséquences sociales.
Transformateur électrique	Evènements initiateurs principaux	Défaillance technique principalement
	Phénomène dangereux principal	Incendie et déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel
	Conséquences principales	Dommmages matériels Pertes d'exploitation pouvant occasionner des conséquences sociales.

Plus spécifiquement, les enseignements à retenir pour les générateurs d'H₂ utilisant le procédé d'électrolyse sont les suivants :

Perte de confinement	<p>La perte de confinement peut être due :</p> <ul style="list-style-type: none"> à la corrosion ou fragilisation due aux gaz ou attaque des hydroxydes potassium ou sodium ; aux contraintes de température et pression exercées sur les matériaux ; à des erreurs de montages ; à des agressions mécaniques ou thermiques (effet domino) ; à des vibrations, fatigue et vieillissement ; au choix de matériaux inadaptés (par exemple la fragilisation par l'hydrogène). <p>La corrosion ou la fragilisation ou l'attaque des métaux et les défauts de montage sont une des principales causes de perte de confinement sur les installations contenant de l'hydrogène. C'est pourquoi il est utile de rappeler les propriétés des produits présents.</p> <p>Les fuites sont facilitées par la taille de la molécule d'hydrogène. La corrosion et la fragilisation sont aussi liées aux propriétés de perméation de l'hydrogène certains matériaux et la réaction avec ceux-ci conduit à leur fragilisation.</p> <p>Enfin, les hydroxydes employés dans les électrolytes alcalins sont aussi corrosifs et attaquent certains métaux (par exemple l'aluminium, le zinc, l'étain, le plomb).</p>
-----------------------------	---

Mélange H₂/air	<p>Les principales causes d'infiltration d'air dans les équipements contenant de l'hydrogène sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'introduction d'air dans des volumes remplis d'hydrogène après une opération de maintenance et l'oubli d'inertage lors du démarrage de l'installation ; • l'infiltration d'air à l'aspiration du compresseur par défaut d'alimentation en hydrogène. <p>L'alimentation des compresseurs est une phase critique qui présente des risques d'infiltration d'air extérieur dans le cas où l'alimentation en hydrogène est bloquée par une vanne en position fermée par exemple. En effet, si un compresseur fonctionne sans alimentation, un vide se crée et de l'air peut s'infiltrer de l'extérieur.</p>
Mélange H₂/O₂	<p>Le mélange H₂/O₂ désigne ici la mise en contact des gaz H₂ et O₂ purs. Le mélange H₂/O₂ peut principalement avoir lieu sur des équipements tels que les séparateurs ou l'électrolyseur (membrane). Des équipements peuvent également être à surveiller :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les tuyauteries communes aux 2 séparateurs, • les échangeurs avec un circuit de refroidissement commun. <p>Le mélange H₂/O₂ résulte en général d'un défaut d'étanchéité ou d'un défaut d'approvisionnement en eau ou gaz neutre du système.</p>

2.8.4 POSITIONNEMENT VIS-A-VIS DU RETOUR D'EXPERIENCE

D'après les événements initiateurs identifiés lors de l'étude du retour d'expérience, il convient de positionner les installations projetées afin d'identifier les mesures de prévention et de protection mises en place pour éviter que de tels événements ne surviennent sur les installations.

Evènements initiateurs issus du retour d'expérience		Moyens de prévention et de protection prévus sur les installations projetées
Spécificité des électrolyseurs	Perte de confinement due à la perméation	Pour les réservoirs et équipements clos : utilisation de revêtement polymères anti-perméation.
	Usure / Corrosion / fatigue mécanique	<p>Choix des matériaux sur base des normes et standards relatifs aux installations mettant en œuvre de l'hydrogène (NF M58-003) et aux générateurs d'hydrogène utilisant le procédé d'électrolyse de l'eau (ISO 22734-1).</p> <p>Maintenance préventive, vérifications périodiques et programme d'inspections pour contrôler l'état d'usure.</p> <p>Prévention des vibrations et des cycles de contraintes.</p>
	Défaut d'étanchéité, raccords vissés, vibrations mécaniques sur raccords vissés	<p>Les raccords soudés sont privilégiés aux raccords vissés.</p> <p>Respect des procédures de montage et des recommandations des fournisseurs.</p> <p>Vérification périodique des raccords vissés.</p> <p>Suivi de la pression et test d'étanchéité.</p> <p>Le nombre de brides est limité au strict nécessaire.</p> <p>Mise en place de caisson équipé de système de détection gaz au niveau des brides situées en extérieur.</p>
	Rupture / surpression / agressions mécaniques externes	<p>Application et respect des normes et directives applicables aux équipements sous pression.</p> <p>Protections physiques des canalisations extérieures : elles seront soit enterrées à chaque fois que cela sera possible ou protégée par des barrières physiques (rack en hauteur). Mise en place d'une « zone sanctuaire » entre l'unité de production H₂ et le bâtiment compression avec des gabarits empêchant les véhicules de pénétrer sur cette zone.</p> <p>Procédure spécifique pour les opérations de maintenance et de travaux.</p>

Evènements initiateurs issus du retour d'expérience		Moyens de prévention et de protection prévus sur les installations projetées
	Mélange H ₂ – O ₂ au niveau des cellules d'électrolyse	<p>Contrôle de la qualité de l'eau et du niveau d'eau alimentant les électrolyseurs.</p> <p>Moyen de prévention de ce risque intégré dès la conception de l'électrolyseur.</p> <p>Dispositif de suivi de l'O₂ dans l'H₂ et de l'H₂ dans l'O₂ en sortie des électrolyseurs.</p> <p>Suivi de la qualité du gaz permettra de détecter une rupture de la membrane.</p> <p>Mesure de la température des empilements.</p> <p>Mesure de la pression différentielle entre les compartiments H₂ et O₂.</p> <p>Suivi de la température au niveau des purificateurs : une augmentation de la teneur en O₂ dans l'H₂ aura pour conséquence une augmentation de la température.</p>
	Compartiments H ₂ et O ₂ de l'électrolyseur (aval des cellules d'électrolyse)	Les compartiments H ₂ et O ₂ sont cloisonnés et isolés.
Défaillance organisationnelle Erreur opératoire		<p>Personnel formé, habilité et audité.</p> <p>Plan de formation.</p> <p>Procédures d'exploitation et fiche de poste.</p> <p>Plan de prévention.</p> <p>Encadrement des entreprises extérieures et des sous-traitants.</p>
Défaillance matérielle		<p>Maintenance préventive systématique : remplacement régulier des matériels en fonction de leur sollicitation.</p> <p>Contrôle et entretien du matériel électrique.</p> <p>Vérifications périodiques assurées par des prestataires agréés.</p> <p>Fiche de vie des équipements.</p> <p>Respect des normes et standards : équipements sous pression et ceux spécifiques à la mise en œuvre et à la génération d'H₂.</p> <p>Détection incendie.</p> <p>Détection gaz.</p> <p>Suivi de pression sur les différents équipements mettant en œuvre du gaz.</p> <p>Détection de niveau sur les différents équipements mettant en œuvre des produits liquides.</p> <p>Suivi de la pression pour le niveau d'inertage (N₂).</p> <p>Détection optique de flamme au niveau de la torche.</p>
Déversements accidentels		<p>Aire de dépotage associée à une rétention déportée.</p> <p>Unité de production équipée de caniveaux reliés à des rétentions déportées (fosses).</p> <p>Chaque unité de production H₂ est associée à un bassin de confinement.</p> <p>Système d'isolement du site en sortie du bassin de tamponnement / confinement. Vannes motorisée dont le fonctionnement est asservi à la détection incendie.</p> <p>Bassin de confinement pour les unités de production et les locaux sociaux.</p>
Malveillance		<p>Site surveillé en permanence.</p> <p>Site clôturé et accès contrôlés.</p> <p>Détection anti-intrusion et vidéo-surveillance.</p>

2.9 ANALYSE DES RISQUES

2.9.1 DEFINITION DES ACCIDENTS MAJEURS

D'après l'arrêté du 26 mai 2014, un accident majeur est « un évènement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion d'importance majeure résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation, entraînant, pour les intérêts visés au L.511-1(*) du Code de l'environnement, des conséquences graves, immédiates ou différées, et faisant intervenir une ou plusieurs substances ou des mélanges dangereux ».

(*) : les intérêts visés définis par cet article sont les suivants : la commodité du voisinage, ou la santé, la sécurité, la salubrité publiques, ou l'agriculture, ou la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, ou l'utilisation rationnelle de l'énergie, ou la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique.

2.9.2 PRESENTATION DE LA DEMARCHE

L'analyse des risques des installations projetées dans le cadre du projet a été réalisée selon la méthode APR ou Analyse Préliminaire des Risques.

L'APR est une méthode couramment utilisée dans le domaine de l'analyse des risques. Il s'agit d'une méthode inductive, systématique et assez simple à mettre en œuvre. Concrètement, l'application de cette méthode réside dans le renseignement d'un tableau en groupe de travail pluridisciplinaire.

La méthode d'analyse préliminaire des risques repose sur deux enchaînements successifs :

Elément dangereux + Agression = Situation dangereuse
Situation dangereuse + Evénement aggravant = Accident

Il s'agit donc, dans un premier temps, d'identifier les éléments dangereux du système. Puis, pour chaque élément dangereux, de déterminer les situations dangereuses possibles. On peut ensuite déterminer les accidents et leurs conséquences et lister les moyens de prévention existants et les évaluer.

La première étape de la démarche consiste en la réalisation d'un découpage fonctionnel des installations étudiées. Les installations ou systèmes étudiés sont les suivants :

Installations étudiées		Produits mis en œuvre	Rubrique ICPE
Unité de production d'hydrogène			
Unité de production d'hydrogène	Module d'électrolyse de l'eau	Electrolyte (KOH) + Eau traitée Hydrogène Oxygène	3420-a 1630
	Module de séparation		4715 4725
	Module de purification	Hydrogène	4715

Installations étudiées		Produits mis en œuvre	Rubrique ICPE
	Module de compression 100 bar	Hydrogène	4715
Réseau de gaz	Réseau amont à la compression	Hydrogène	4715
	Réseau aval à la compression – réseau export	Hydrogène	4715
	Réseau d'évacuation de l'O ₂	Oxygène	4725
Installations annexes			
Réseau d'inertage et de purge	2 cuves de 5 tonnes	Azote liquide	-
Réseau d'alimentation en CH ₄	Torchère	Méthane	4718
Réseau d'alimentation en azote		Azote	-
Traitement de l'eau brute	Unité de traitement de l'eau et produits de traitement associés	Eau brute Produits de traitement	-
Traitement des effluents industriels	Unité de traitement des effluents industriels et produits de traitement associés	Effluents industriels Produits de traitement	-
Unité de refroidissement	Tour de refroidissement	Eau Produits de traitement	2921 4511
Unité mobile	Module de compression 500 bar	Hydrogène	4715
	Station de remplissage et cylindres		
Utilités			
Alimentation en énergie électrique	Transformateurs 225 kV H2V Normandy au niveau de la station électrique partagée avec RTE	Huile Energie électrique SF ₆	1185-3-2
	Transformateurs 30 kV	SF ₆ Energie électrique	1185-3-2
	Groupe électrogène de secours	Energie électrique Fioul domestique	2910-A 4734-2

Une explication plus précise de la méthode d'analyse des risques est présentée en annexe EDD.3.

2.9.3 COTATION DES SCENARIOS ETUDIES

Dans le cadre de cette étude, une démarche d'Analyse Préliminaire des Risques simplifiée a été appliquée.

NOTA : la cotation de la fréquence d'occurrence des événements initiateurs des scénarios sera réalisée pour les scénarios susceptibles de générer un accident majeur potentiel.

La démarche est basée sur les principes de l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.

L'approche retenue reprend les grilles de cotation présentées ci-après, en tenant compte des valeurs usuelles citées par différentes sources.

Grille de cotation en gravité
(Basée sur les conséquences humaines à l'extérieur du site considéré)

Niveau de gravité des conséquences		Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
D	Désastreux	Plus de 10 personnes exposées (1).	Plus de 100 personnes exposées.	Plus de 1 000 personnes exposées.
C	Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.	Entre 100 et 1 000 personnes exposées.
I	Important	Au plus 1 personne exposée.	Entre 1 et 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.
S	Sérieux	Aucune personne exposée.	Au plus 1 personne exposée.	Moins de 10 personnes exposées.
M	Modéré	Pas de zone de létalité hors de l'établissement.		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure ou égale à « une personne ».
(1) Personne exposée : en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent.				

Pour coter la gravité des scénarios étudiés, des critères simples ont permis d'estimer si les effets du phénomène dangereux pouvaient potentiellement atteindre des enjeux situés à l'extérieur de la limite d'exploitation :

- ↳ la nature et la qualité de produit concerné,
- ↳ les caractéristiques des équipements mis en jeu,
- ↳ la localisation de l'installation par rapport à la limite d'exploitation.

Toutefois, au cours de l'APR, il a été nécessaire pour le groupe de travail d'estimer si les effets de certains phénomènes dangereux sont susceptibles de sortir de la limite d'exploitation ou non. Pour ces cas, une modélisation a été réalisée dès ce stade afin de lever l'incertitude et pouvoir effectuer la cotation en gravité. Les résultats de ces modélisations sont présentés en annexe EDD.4.

NOTA : l'absence d'effet en dehors du site est indiqué par un « / ».

En ce qui concerne la cinétique, l'article 8 de l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 indique que « la cinétique de déroulement d'un accident est qualifiée de lente, dans son contexte, si elle permet la mise en œuvre de mesures de sécurité suffisantes, dans le cadre d'un plan d'urgence externe, pour protéger les personnes exposées à l'extérieur des installations objet du plan d'urgence avant qu'elles ne soient atteintes par les effets du phénomène dangereux ».

En l'absence de Plan d'urgence externe sur le site H2VNORMANDY, la cinétique est considérée comme rapide pour l'ensemble des scénarios étudiés.

2.9.4 SYNTHÈSE DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

Les différents événements situés en zone rouge sont considérés comme non acceptables et feront l'objet d'une modélisation.

Niveau de criticité des événements étudiés				
Niveaux de gravité	Niveaux de probabilité			
	1	2	3	4
1	/	17, 27, 44, 45	/	/
2	/	1, 2, 3, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 24, 25, 26, 29, 31, 32, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 43, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 55, 67, 68, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 95, 99, 102, 103	/	/
3	/	7, 8, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 28, 30, 33, 37, 69, 70, 71, 80, 93, 100, 101	65, 66, 72, 73, 79, 96, 97, 98, 104	/
4	/	5, 42, 54, 56, 74	58, 59, 62, 63, 75, 76, 77, 90, 91, 92	/

L'annexe relative aux modélisations des phénomènes dangereux étudiée dans le détail les événements suivants :

Installations / Equipements	Evènements étudiés
Unité de production d'H ₂	Fuite sur bride / raccord au sein du bâtiment
Bâtiment compression à 100 bar	Fuite sur bride / raccord au sein du bâtiment
Bâtiment compression à 500 bar	Fuite sur bride / raccord au sein du bâtiment
Réseau H ₂ amont à la compression	Inflammation immédiate et différée faisant suite à une fuite ou une rupture guillotiné
Réseau H ₂ aval à la compression	Inflammation immédiate et différée faisant suite à une fuite
Station de mobilité	Inflammation immédiate et différée faisant suite à une rupture guillotiné
Torchère	Défaillance sur les pilotes
Events O ₂	Risque d'hyperoxie et de formation d'une atmosphère enrichie en O ₂
Réseau azote	Risque d'anoxie faisant suite à une rupture guillotiné
Réseau d'alimentation en CH ₄ de la torchère	Inflammation immédiate et différée faisant suite à une rupture guillotiné
Transformateurs 225 KV	Incendie d'un transformateur et éclatement de la cuve de stockage d'huile

Installations / Equipements	Evènements étudiés
Groupe électrogène	Feu de nappe au niveau du stockage de GNR

Pour certains scénarios, des modélisations ont été réalisées afin d'estimer les effets des phénomènes dangereux. Les différents événements modélisés sont regroupés dans le tableau ci-après.

N° AM	Phénomène dangereux	Effets	Intensité*				Cinétique	Impact à l'extérieur du site	Gravité
			Effets indirects Bris de vitres	Effets Irréversibles	Effets Létaux	Effets Létaux significatifs			
AM1	Eclatement du bâtiment électrolyseurs	Surpression	226 m	113 m	51 m	33 m	Rapide	OUI	Modéré
/	Eclatement bâtiment compression 100 bar	Surpression	94 m	47 m	21 m	14 m	Rapide	NON	/
/	Eclatement bâtiment compression 500 bar	Surpression	79 m	39 m	18 m	11 m	Rapide	NON	/
/	Feu torche suite à une fuite sur le réseau amont à la compression	Thermique	/	13,8 m	13,0 m	12,4 m	Rapide	NON	/
/	Feu torche suite à une rupture franche sur le réseau amont à la compression	Thermique – avec et sans MMR	/	101,2 m	90,1 m	82,2 m	Rapide	NON	/
/	UVCE suite à une fuite sur le réseau amont à la compression	Surpression	24,2 m	11,8 m	6,5 m	5,6 m	Rapide	NON	/
/		Thermiques	/	23,4 m	21,5 m	21,5 m	Rapide	NON	/
AM2	UVCE suite à une rupture franche sur le réseau amont à la compression	Surpression – sans MMR	199,5 m	95,3 m	51,78 m	43,9 m	Rapide	OUI	Modéré
/		Surpression – avec MMR	151,4	70,1	36,1	30,0	Rapide	NON	/
/		Thermiques – avec et sans MMR	/	99 m	90 m	90 m	Rapide	NON	/
/	Feu torche suite à une fuite sur le réseau aval à la compression	Thermique	/	11,8 m	11,2 m	10,8 m	Rapide	NON	/

N° AM	Phénomène dangereux	Effets	Intensité*				Cinétique	Impact à l'extérieur du site	Gravité
			Effets indirects Bris de vitres	Effets Irréversibles	Effets Létaux	Effets Létaux significatifs			
/	UVCE suite à fuite sur le réseau aval à la compression	Surpression	20,8 m	10,2 m	5,6 m	4,8 m	Rapide	NON	/
		Thermiques	/	20,1 m	18,25 m	18,25 m	Rapide	NON	/
/	Feu torche suite à une rupture franche sur la station de mobilité	Thermique	/	51,0 m	46,1 m	42,6 m	Rapide	NON	/
/	UVCE suite à une rupture franche sur la station de mobilité	Surpression	96,2 m	48,1 m	27,5 m	23,8 m	Rapide	NON	/
		Thermiques	/	85,8 m	78 m	78 m	Rapide	NON	/
/	Feu torche lié à la défaillance des pilotes de la torchère	Thermiques	/	/	/	/	Rapide	NON	/
/	UVCE lié à la défaillance des pilotes de la torchère	Surpression	/	/	/	/	Rapide	NON	/
		Thermiques	/	/	/	/	Rapide	NON	
/	Rejet aux événements O ₂	Hyperoxie	/	/	/	/	Rapide	NON	/
/	Rupture guillotine sur le réseau azote	Anoxie	/	64 m	13 m	13 m	Rapide	NON	/
/	Feu torche suite à une rupture guillotine sur le réseau CH ₄	Thermiques	/	6,0 m	5,7 m	5,2 m	Rapide	NON	/
/	UVCE suite à une rupture guillotine sur le réseau CH ₄	Surpression	9,8 m	4,7 m	2,5 m	2,1 m	Rapide	NON	/
		Thermique	/	2,2 m	2,2 m	2,42 m	Rapide	NON	
/	Incendie transformateurs électriques 225 kVA	Thermiques	/	19 m	/	/	Rapide	NON	/

N° AM	Phénomène dangereux	Effets	Intensité*				Cinétique	Impact à l'extérieur du site	Gravité
			Effets indirects Bris de vitres	Effets Irréversibles	Effets Létaux	Effets Létaux significatifs			
AM3	Eclatement de la cuve d'huile d'un transformateur 225 kVA	Surpression	62 m	31 m	14 m	11 m	Rapide	OUI	Modéré
/	Feu de nappe du GNR au niveau du groupe électrogène	Thermiques	/	20 m	16 m	13 m	Rapide	NON	/

* Les distances reportées sont celles étant les plus importantes

Les accidents susceptibles d'avoir des effets à l'extérieur du site sont considérés comme accidents majeurs potentiels et sont retenus dans la suite de l'Etude des Dangers.

2.10 SYNTHÈSE DES DANGERS ET DES RISQUES SUR LE SITE

Au vu des différents produits mis en œuvre et stockés dans le cadre du projet, les principaux risques seront :

- ↳ Pour l'ensemble des produits liquides : déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel,
- ↳ Pour les gaz inflammables (H₂ et CH₄) : fuite pouvant être suivie d'une inflammation immédiate (feu torche) ou d'une inflammation différée (UVCE) et / ou d'une explosion,
- ↳ Pour l'oxygène : fuite pouvant occasionner un incendie ou en aggraver un,
- ↳ Pour l'azote : fuite pouvant occasionner une anoxie (probabilité plus importante en milieu confiné)
- ↳ Pour le gasoil non routier : déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel et dans des cas bien précis un feu de nappe (risque inflammation du GNR limité).

Sur la base des différents événements recensés au niveau d'installations similaires à celles étudiées les principaux points à retenir sont les suivants :

Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau	Evènements initiateurs principaux	Perte de confinement Mélange hydrogène / air Mélange H ₂ /O ₂
	Phénomène dangereux principal	Fuite pouvant être suivie d'une inflammation immédiate (feu torche) ou d'une inflammation différée (UVCE) Explosion
	Conséquences principales	Pertes d'exploitation pouvant occasionner des conséquences sociales.
Code NAF 20.13 « Fabrication d'autres produits inorganiques de base » et mot clé hydrogène	Evènements initiateurs principaux	Défaillance matérielle
	Phénomène dangereux principal	Incendie et déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel
	Conséquences principales	Dommages matériels internes Pertes d'exploitation pouvant occasionner des conséquences sociales.
Transformateur électrique	Evènements initiateurs principaux	Défaillance technique principalement
	Phénomène dangereux principal	Incendie et déversement accidentel pouvant occasionner une pollution du milieu naturel
	Conséquences principales	Dommages matériels Pertes d'exploitation pouvant occasionner des conséquences sociales.

L'environnement immédiat du site recense deux établissements industriels dont les effets ne sont pas retenus comme événement initiateur d'un sinistre au sein des installations H2V Normandy. Bien

qu'implanté dans la zone industrielle de PORT JEROME, le terrain n'est pas concerné par les différentes zones d'effet répertoriées.

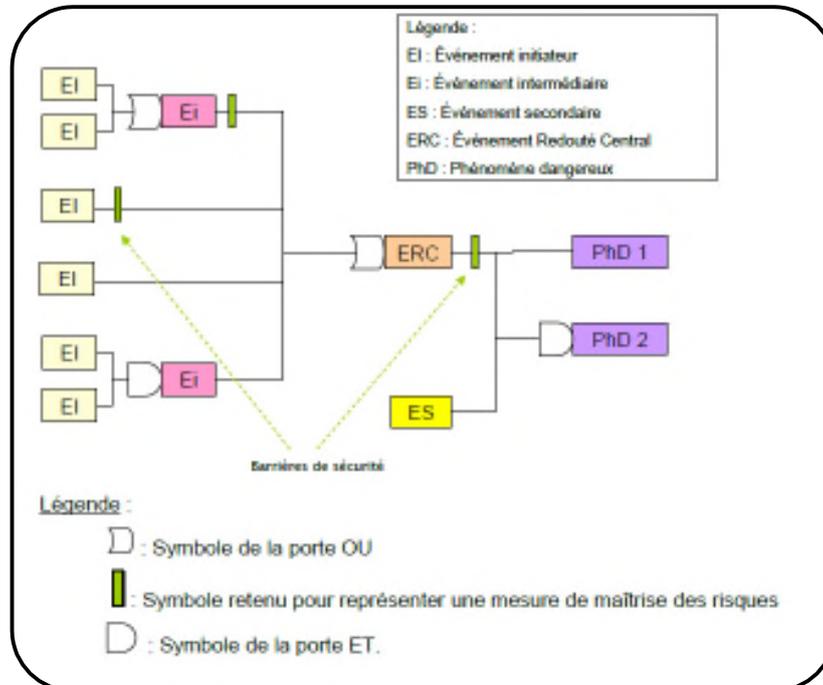
Les différents risques associés à la circulation, à la malveillance, au transport de matières dangereuses ou encore aux lignes électriques et risques naturels ne sont pas retenus comme évènement initiateur d'un sinistre potentiel.

Trois accidents majeurs sont recensés et font l'objet d'une étude détaillée des risques.

3 EXAMEN DETAILLE DES ACCIDENTS LIES A L'HYDROGENE ET MAJEURS POTENTIELS

3.1 METHODOLOGIE

La méthode de représentation utilisée est le nœud papillon dont une schématisation est reprise ci-dessous.



Cette schématisation sous forme de nœud papillon permet :

- ↳ de représenter toutes les combinaisons d'évènements initiateurs identifiés lors de l'APR pouvant conduire à un accident majeur potentiel,
- ↳ de positionner les évènements secondaires tels que la présence d'une source d'inflammation immédiate ou différée,
- ↳ de positionner les mesures de maîtrise des risques sur chaque branche,
- ↳ de déterminer la probabilité d'occurrence annuelle (POA) de chaque accident majeur potentiel.

Le traitement probabiliste retenu du nœud papillon est un traitement semi-quantitatif ou quantitatif (cela dépendra des données disponibles).

Traitement semi quantitatif

Dans chaque nœud papillon, les évènements initiateurs sont pondérés de leur classe fréquence et les mesures de maîtrise des risques par leur niveau de confiance.

Dans chaque nœud papillon, l'agrégation des scénarios est réalisée conformément au traitement semi-quantitatif développé dans le rapport INERIS – Programme EAT-DRA 71-Opération C2.1 :

Estimation des aspects probabilistes – Fiches pratiques : Intégration de la probabilité dans les études de dangers – 2008, et notamment l'application des règles suivantes :

↳ Traitement de la porte OU entre EI

La classe de fréquence annuelle de l'évènement de sortie E est estimée par :

$$\text{Classe fréquence (E)} = \text{Min (Classe fréquence Elk), } k=1 \text{ à } n$$

↳ Traitement des MMR

La classe de fréquence annuelle de l'évènement de sortie E est estimée par :

$$\text{Classe de fréquence (E)} = \text{Niveau de Confiance NC} + \text{Classe de fréquence EI}$$

↳ Traitement de la porte ET entre un ES et un ERC – cas de la probabilité d'inflammation p

La fréquence annuelle du phénomène dangereux est estimée par :

$$\text{Fréquence PhD} = 10^{-\text{classe de fréquence ERC}} \times p$$

↳ La classe de fréquence annuelle du phénomène dangereux est affectée en utilisant la grille de fréquence présentée ci-après.

Il est alors possible de déterminer la classe probabilité d'occurrence annuelle de l'accident majeur potentiel en prenant en compte tous les chemins qui y conduisent. Cette classe de probabilité d'occurrence annuelle est déterminée selon la relation suivante :

$$\text{Classe (POA(PhD))} = \text{Classe de fréquence (fPhD)}$$

Si la classe de fréquence de PhD est inférieure à la classe $[10^{-1} ; 1]$ an⁻¹,

$$\text{sinon : Classe (POA(PhD))} = [10^{-1} ; 1]$$

Cette classe de probabilité d'occurrence annuelle correspond à une classe de probabilité issue de l'arrêté du 29 septembre 2005 et rappelée ci-dessous

Classe de probabilité	E	D	C	B	A
Probabilité d'occurrence	$P < 10^{-5}$	$10^{-5} \leq P < 10^{-4}$	$10^{-4} \leq P < 10^{-3}$	$10^{-3} \leq P < 10^{-2}$	$10^{-2} \leq P$

A : Evènement courant

B : Evènement probable

C : Evènement improbable

D : Evènement très improbable

E : Evènement possible mais extrêmement peu probable

3.1.1 FREQUENCE D'OCCURRENCE CONSIDEREE DES EVENEMENTS INITIATEURS

La grille de cotation des fréquences d'apparition des évènements initiateurs employée dans cette étude est présentée dans le tableau ci-après.

Traitement semi-quantitatif

Classe de fréquence	Traduction qualitative	Traduction quantitative
-2	Evènement susceptible de se produire ou se produisant tous les jours ou toutes les semaines.	$10^{+1} \text{ an}^{-1} \leq \text{fréquence} < 10^{+2} \text{ an}^{-1}$
-1	Evènement susceptible de se produire ou se produisant tous les mois.	$10^0 \text{ an}^{-1} \leq \text{fréquence} < 10^{+1} \text{ an}^{-1}$
0	Evènement susceptible de se produire ou se produisant au moins une fois par an. S'est déjà produit sur le site ou de nombreuses fois sur d'autres sites.	$10^{-1} \text{ an}^{-1} \leq \text{fréquence} < 10^0 \text{ an}^{-1}$
1	Evènement probable dans la vie d'une installation. Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais a été observé de façon récurrente sur d'autres sites.	$10^{-2} \text{ an}^{-1} \leq \text{fréquence} < 10^{-1} \text{ an}^{-1}$
2	Evènement peu probable dans la vie d'une installation. Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais quelques fois sur d'autres sites.	$10^{-3} \text{ an}^{-1} \leq \text{fréquence} < 10^{-2} \text{ an}^{-1}$
3	Evènement improbable dans la vie d'une installation. Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais très rarement sur d'autres sites.	$10^{-4} \text{ an}^{-1} \leq \text{fréquence} < 10^{-3} \text{ an}^{-1}$
x	/	$10^{-x-1} \text{ an}^{-1} \leq \text{fréquence} < 10^{-x} \text{ an}^{-1}$

Grille basée sur le rapport INERIS – Programme EAT – DRA 34 – Opération j – Intégration de la dimension probabiliste dans l'analyse des risques – Partie 2 : Données quantifiées – 2006 et sur le rapport INERIS - Programme EAT-DRA 71- Opération C2.1 : Estimation des aspects probabilistes - Fiches pratiques : Intégration de la probabilité dans les études de dangers - 2008

A noter que plusieurs bases de données indiquent des probabilités d'occurrence directement pour les ERC étudiés. Ces valeurs (quantitatives ou semi quantitatives) tiennent déjà compte des probabilités d'occurrence des EI. Par conséquent, dans les nœuds papillons présentés dans la suite de l'étude, pour les évènements où sont disponibles une probabilité d'occurrence pour l'ERC, les EI seront donnés à titre indicatif sans probabilité d'occurrence.

A) CAUSES EXTERNES NATURELLES

Les causes externes naturelles écartées de l'analyse des risques sont présentées dans le tableau suivant.

Evénements initiateurs	Justification
Chute de météorite	Exclusion définie en annexe 2 de l'arrête du 26 mai 2014
Séismes d'amplitude supérieure aux séismes maximums de référence éventuellement corrigés de facteurs, tels que définis par la réglementation	Exclusion définie en annexe 2 de l'arrête du 26 mai 2014
Crues d'amplitude supérieure à la crue de référence	Exclusion définie en annexe 2 de l'arrête du 26 mai 2014
Événements climatiques d'intensité supérieure aux événements historiquement connus ou prévisibles pouvant affecter l'installation	Exclusion définie en annexe 2 de l'arrête du 26 mai 2014
Séisme	Respect de la réglementation idoine
Inondation	Respect de la réglementation idoine
Météorologie	Respect de la réglementation idoine
Foudre	Respect de la réglementation idoine

Aucune cause externe naturelle n'a été retenue dans la suite de l'examen détaillé des accidents majeurs potentiels.

B) CAUSES EXTERNES LIEES A L'ACTIVITE HUMAINE

Les causes externes liées à l'activité humaine écartées de l'analyse des risques sont présentées dans le tableau suivant.

Evénements initiateurs	Justification
Chute d'avion hors des zones de proximité d'aéroport et aérodrome	Exclusion définie en annexe 2 de l'arrête du 26 mai 2014. L'aéroport le plus proche est situé à environ 22 km du site.
Actes de malveillance	Exclusion définie en annexe 2 de l'arrête du 26 mai 2014.
Effets dominos liés à la circulation routière externe	La distance avec les installations de production ainsi que les mesures de protection prévues par l'exploitant, sont considérées comme suffisantes pour ne pas retenir la circulation routière comme événement initiateur.
Effets dominos liés à la circulation ferroviaire externe	La voie ferrée n'est plus en service.
Effets dominos liés à la circulation fluviale externe	Au regard de la distance séparant le projet des axes fluvio-portuaires les plus proches, la probabilité de collision ou d'effet domino sera nulle. Ce risque ne sera donc pas considéré dans le reste de l'étude.
Effets dominos liés aux entreprises environnantes	Le projet d'usine de production d'hydrogène d'H2VNORMANDY n'est concerné par aucun Plan de Prévention des Risques Technologiques.

Événements initiateurs	Justification
	Les installations industrielles voisines ne sont pas susceptibles d'avoir des effets dominos sur le site H2VNORMANDY.

Aucune cause externe liée à l'activité humaine n'a été retenue dans la suite de l'examen détaillé des accidents majeurs potentiels.

C) CAUSES INTERNES

Les causes internes ne pouvant être écartées de l'analyse des risques sont présentées dans le tableau suivant.

Sous réserve du respect de la réglementation idoine, l'évènement initiateur d'un défaut métallurgique d'une structure réservoir sous pression (non applicable aux tuyauteries) et de récipients sous pression transportables est écarté.

Évènement initiateur	Fréquence d'occurrence retenue	Source
Défaillance électrique	10^{-3}	Cahier n°13 de l'UIC - 1998
Défaillance organisationnelle	10^{-3}	DRA – 09 – 103041 – 06026B de 2009 : Démarche d'évaluation des Barrières Humaines de Sécurité - Ω20
Défaillance d'un engin de manutention	10^{-4}	DRA 34 – Opération j – Intégration de la dimension probabiliste dans l'analyse des risques – Partie 2 : Données quantifiées – 2006

Sur base du Guide de l'INERIS DRA34 – Opération J – Intégration de la dimension probabiliste dans l'analyse des risques – Version du 27/03/2006 ; les probabilités de fuite exprimées en fréquence par mètre de tuyauterie et par an sont les suivantes :

	Fuite de taille moyenne	Source
Taille de la fuite : 10 % du diamètre de la canalisation	En fonction du DN de la canalisation : D < 75 mm : $5 \cdot 10^{-6}$ /m/an D de 75 mm à 150 mm : $2 \cdot 10^{-6}$ /m/an D > 150 mm : $5 \cdot 10^{-7}$ /m/an	Purple Book

	Rupture guillotine	Source
Rupture guillotine	En fonction du DN de la canalisation : D < 75 mm : $1 \cdot 10^{-6}$ /m/an D de 75 mm à 150 mm : $3 \cdot 10^{-7}$ /m/an D > 150 mm : $1 \cdot 10^{-7}$ /m/an	Purple Book

3.1.2 PROBABILITE DE DEFAILLANCE CONSIDEREE DES BARRIERES DE SECURITE

A) NIVEAU DE CONFIANCE

- i) Mesure de maîtrise de risque à fonctionnement continu

La probabilité de défaillance pour une mesure de maîtrise de risque à fonctionnement continu est la suivante :

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$$

Avec λ = taux de défaillance à l'heure

t = temps de remise à niveau de la MMR (en heures)

Généralement $\lambda \cdot t \ll 1$ si bien que la probabilité de défaillance s'écrit :

$$P(t) = \lambda \cdot t$$

- ii) Mesure de maîtrise de risque fonctionnant à la sollicitation

La probabilité de défaillance pour une mesure de maîtrise de risque fonctionnant à la sollicitation peut être obtenue soit en utilisant :

- ↪ directement les probabilités de défaillance à la sollicitation (PFD) des MMR,
- ↪ les taux de défaillance à l'heure des MMR.

Dans ce dernier cas et pour un dispositif non redondant, lorsque la durée de réparation est très inférieure à la périodicité des tests et que le taux de défaillances dangereuses détectées est très inférieur aux taux de défaillances dangereuses non détectées, la PFD s'exprime par :

$$PFD = \lambda_{DU} \cdot T_1 / 2$$

Avec λ_{DU} = taux de défaillance dangereuses non détectées par heure

T_1 = périodicité des tests (en heures)

Dans une démarche conservatrice adoptée par l'INERIS λ_{DU} est pris égale au taux de défaillance et le taux de défaillances dangereuses détectées est nul, la PFD s'écrit alors :

$$PFD = \lambda \cdot T_1 / 2$$

Traitement semi-quantitatif

Le lien entre niveau de confiance, probabilité de défaillance et réduction du risque est précisé dans le tableau suivant.

Niveau de confiance (NC)	Probabilité moyenne de défaillance à la sollicitation (PFD_{avg})	Réduction du risque (RR)
4	$10^{-5} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-4}$	$10\ 000 < \text{RR} \leq 100\ 000$
3	$10^{-4} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-3}$	$1\ 000 < \text{RR} \leq 10\ 000$
2	$10^{-3} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-2}$	$100 < \text{RR} \leq 1\ 000$
1	$10^{-2} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^{-1}$	$10 < \text{RR} \leq 100$
0	$10^{-1} \leq \text{PFD}_{\text{avg}} < 10^0$	$1 < \text{RR} \leq 10$

*Tableau de correspondance niveau de confiance – réduction du risque pour des systèmes fonctionnant à la sollicitation
Omega 10 - INERIS*

Les niveaux de confiance des barrières de sécurité considérées dans cette étude sont issus :

- ↗ du rapport INERIS – Programme EAT – DRA 34 – Opération j – Intégration de la dimension probabiliste dans l’analyse des risques – Partie 2 : Données quantifiées – 2006,
- ↗ du rapport INERIS n° DRA-09-103041-06026B de 2009 : Démarche d’évaluation des Barrières Humaines de Sécurité – Ω 20,
- ↗ du rapport INERIS n° DRA-08-95403-01561B de 2008 : Evaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité (DCE DRA-73) – Evaluation des Barrières Techniques de Sécurité – Ω 10.
- ↗ de la note des Techniques de l’Ingénieur – SE 4 020 – Evaluation des probabilités d’inflammation dans les analyses de risques.

B) JUSTIFICATION DES MESURES DE MAITRISE DES RISQUES RETENUES

L’article 4 de l’arrêté du 29 septembre 2005 précise que « Pour être prises en compte dans l’évaluation de la probabilité, les barrières de sécurité doivent être efficaces, avoir une cinétique de mise en œuvre en adéquation avec celle des événements à maîtriser, être testées et maintenues de façon à garantir la pérennité de positionnement précité ».

Ces différentes justifications sont apportées dans le § suivant relatif à l’examen détaillé des différents événements.

3.1.3 PROBABILITE D'INFLAMMATION CONSIDEREE

A) INFLAMMATION IMMEDIATE D'UN LIQUIDE

Sur base du guide relatif aux dépôts de liquides inflammables d'Octobre 2008, « Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables », la probabilité d'occurrence annuelle d'un feu de nappe dans une cuvette de rétention est la suivante :

Phénomène dangereux	Références	Probabilité retenue
Feu de nappe en cuvette	LASTFIRE	$2.10^{-5}/\text{an}$

B) INFLAMMATION IMMEDIATE D'UN GAZ

Sur base du guide DRA 71 – Opération B, Proposition d'une méthode semi-quantitative d'évaluation des probabilités d'inflammation – 22/06/2015, les probabilités d'inflammation immédiate d'un rejet continu d'un gaz inflammable en fonction de sa réactivité sont les suivantes :

		Gaz hautement réactifs particuliers : Hydrogène, acétylène, oxyde d'éthylène	Gaz moyennement et hautement réactifs (hors ceux visés à la colonne 1)	Gaz peu réactif (Hors ammoniac)	Ammoniac
ERC induit par une source d'énergie		1			0
ERC non induit par une source d'énergie (corrosion, fuite sur joint)	Si $Q > 10 \text{ kg/s}$	1		1.10^{-1}	0
	Si $1 \text{ kg/s} < Q < 10 \text{ kg/s}$	1	1.10^{-1}		0
	Si $Q < 1 \text{ kg/s}$	1.10^{-1}		1.10^{-2}	0

Les gaz étudiés dans le cadre de cette étude sont l'hydrogène et le méthane. Le premier est considéré comme hautement réactif, les probabilités d'inflammation retenues seront celles de la colonne 1. Pour le méthane moyennement réactif, les probabilités d'inflammation retenues seront celles de la colonne 2.

C) INFLAMMATION DIFFEREE D'UN GAZ

Fuite de longue durée (supérieure à 30 secondes)

Sur base du guide DRA 71 – Opération B, Proposition d'une méthode semi-quantitative d'évaluation des probabilités d'inflammation – 22/06/2015, les probabilités d'inflammation retardée d'un rejet de longue durée d'un gaz inflammable en fonction de sa réactivité sont les suivantes :

	Gaz hautement réactifs particuliers : Hydrogène, acétylène, oxyde d'éthylène	Gaz moyennement et hautement réactifs (hors ceux visés à la colonne 1)	Gaz peu réactif (Hors ammoniac)	Ammoniac (en milieu confiné)
Absence de source d'inflammation : notamment absence de personnel et de voies de circulation par exemple entre deux unités de production	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻³		
« Classée ATEX » avec présence de personnel occasionnelle	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻²	1.10 ⁻³	
« Classée ATEX » avec forte présence de personnel	1	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻²	
Nuage contenu dans une « zone non classée ATEX » contenant de possibles sources d'inflammations (extérieur du site par exemple)	1		1.10 ⁻¹	

Fuite de courte durée (inférieure à 30 secondes)

Sur base du guide DRA 71 – Opération B, Proposition d'une méthode semi-quantitative d'évaluation des probabilités d'inflammation – 22/06/2015, les probabilités d'inflammation retardée d'un rejet de courte durée d'un gaz inflammable en fonction de sa réactivité sont les suivantes :

	Gaz hautement réactifs particuliers : Hydrogène, acétylène, oxyde d'éthylène	Gaz moyennement et hautement réactifs (hors ceux visés à la colonne 1)	Gaz peu réactif (Hors ammoniac)	Ammoniac (en milieu confiné)
Absence de source d'inflammation : notamment absence de personnel et de voies de circulation par exemple entre deux unités de production	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻³		
« Classée ATEX » avec présence de personnel occasionnelle	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻³	1.10 ⁻³	
« Classée ATEX » avec forte présence de personnel	1	1.10 ⁻¹	1.10 ⁻²	
Nuage contenu dans une « zone non classée ATEX » contenant de possibles sources d'inflammations (extérieur du site par exemple)	1		1.10 ⁻¹	

3.1.4 CINETIQUE

La caractérisation de la cinétique de déroulement d'un accident entend la prise en compte :

- de la cinétique d'apparition et d'évolution du phénomène dangereux d'une part,
- de la cinétique d'atteinte des personnes, puis de la durée d'exposition au niveau d'intensité des effets correspondants, en lien direct avec les conditions d'exposition et notamment de leur possibilité de fuite ou de protection.

L'article 8 de l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 indique que « la cinétique de déroulement d'un accident est qualifiée de lente, dans son contexte, si elle permet la mise en œuvre de mesures de sécurité suffisantes, dans le cadre d'un plan d'urgence externe, pour protéger les personnes exposées à l'extérieur des installations objet du plan d'urgence avant qu'elles ne soient atteintes par les effets du phénomène dangereux ».

La cinétique est considérée comme rapide pour l'ensemble des scénarios étudiés.

3.1.5 GRAVITE

La démarche est basée sur les principes de l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.

Niveau de gravité des conséquences		Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
D	Désastreux	Plus de 10 personnes exposées (1).	Plus de 100 personnes exposées.	Plus de 1 000 personnes exposées.
C	Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.	Entre 100 et 1 000 personnes exposées.
I	Important	Au plus 1 personne exposée.	Entre 1 et 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.
S	Sérieux	Aucune personne exposée.	Au plus 1 personne exposée.	Moins de 10 personnes exposées.
M	Modéré	Pas de zone de létalité hors de l'établissement.		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à « une personne ».
<p><i>(1) Personne exposée : en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent.</i></p>				

3.2 EXAMEN DETAILLE DES EVENEMENTS ETUDIES

3.2.1 AM1 : EXPLOSION DE L'UNITE DE PRODUCTION D'HYDROGENE

A) GRAVITE

Le calcul de gravité est détaillé en annexe EDD.4.

La gravité retenue est de niveau « Modéré ».

B) PROBABILITE D'OCCURRENCE

La probabilité d'une fuite sous le bâtiment de production sera la suivante :

	Bâtiment électrolyseur
DN de la canalisation	DN 65
Probabilité de fuite : Données bibliographiques	D<75 mm : 5.10^{-6} /m/an
Longueur de la canalisation maximale	30 m
Probabilité retenue	$1,5.10^{-4}$ /an

C) PROBABILITE D'INFLAMMATION

La probabilité d'inflammation sera la suivante :

	Bâtiment électrolyseur
Durée de la fuite	L'isolement de la ligne de production après détection sera effectif après 25 s. Après isolement, le temps de vidange sera de 30 s. Sans MMR : fuite 60 minutes
Débit de fuite	Le débit de fuite sera de 0,51 kg/s.
Environnement de la fuite	Zone ATEX mais absence de personnel et de voies de circulation : émission en hauteur (11,64 m pour les bâtiments électrolyseurs).
Probabilité retenue	1.10^{-1}

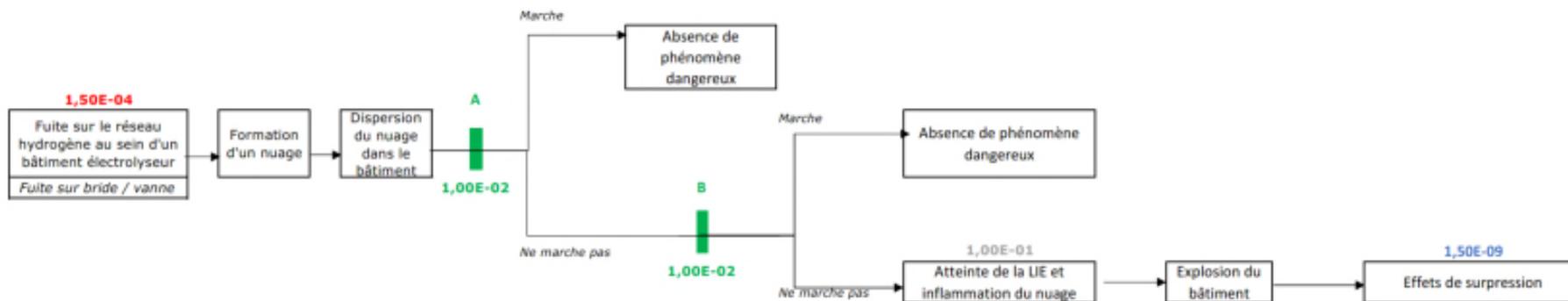
D) EVALUATION DE LA PERFORMANCE DES BARRIERES DE SECURITE

Nature de la mesure de protection	Nature	Fonction de sécurité et description	Indépendance	Cinétique de mise en œuvre	Efficacité Actions associées	Justifier la performance Maintenance dans le temps	Niveau de Confiance
A Ventilation Ventilation mécanique à 10 vol/h en situation normale et 12 vol/h en situation accidentelle	Mesure active	La fonction de sécurité recherchée est d'atteindre un taux de renouvellement permettant de maintenir le taux d'hydrogène sous les 25% en volume dans l'air en cas de fuite	Oui	Ventilation permanente Marche forcée : Temps de mise en service des ventilateurs supplémentaires = 10s après détection (temps d'atteinte et temps de traitement du signal, cf ligne ci-après)	Efficacité : ventilation dimensionnée à 10 vol/h pour maintenir le taux d'hydrogène à 25% de la LIE permettant d'éviter une explosion suite à une fuite sous bâtiment.	Les mesures de suivi prévues sur le système de ventilation seront les suivants : <ul style="list-style-type: none"> ▪ En cas de défaut de ventilation (débit trop faible par rapport à l'attendu), une alarme sera générée et la ventilation sera mise en position « régime forcé » ; ▪ En cas de détection d'hydrogène (seuil à 1% H₂ soit 25 % de la LIE), la ventilation passera automatiquement en mise en position « régime forcé » ; ▪ En cas de manque de force électromotrice, la ventilation s'arrêtera et entrainera la mise en sécurité de l'installation (coupure énergie, inertage et purge vers le réseau de torche). Son dimensionnement est basé sur la norme NFPA2 « Hydrogen Technologies Code », utilisée comme référence par les assureurs et imposant un débit de 1 scf/m ² /min en permanence dans le bâtiment où de l'hydrogène est présent dans les équipements. Celui-ci correspond à un équivalent de 6 vol/h, en considérant les surfaces et les hauteurs des bâtiments où l'hydrogène circule.	2 (la note en annexe EDD.9 donne l'objectif visé par H2V en termes de fiabilité)

Nature de la mesure de protection	Nature	Fonction de sécurité et description	Indépendance	Cinétique de mise en œuvre	Efficacité Actions associées	Justifier la performance Maintenance dans le temps	Niveau de Confiance
						<p>Les différents organes mécaniques d'extraction seront utilisables en zones ATEX et ne sont par conséquent pas considérés comme des sources d'inflammation potentielles en cas de détection H2.</p> <p>Les ventilateurs seront secourus électriquement (double secours).</p> <p>Voir note technique en annexe EDD.9</p>	

Nature de la mesure de protection	Nature	Fonction de sécurité et description	Indépendance	Cinétique de mise en œuvre	Efficacité Actions associées	Justifier la performance Maintenance dans le temps	Niveau de Confiance
B Détection H₂ Seuil de détection à 25 % de la LIE soit 1% de H ₂ dans l'air.	Mesure active	La fonction de sécurité recherchée est de détecter le plus prématurément possible une fuite de gaz afin d'éviter que le nuage émis ne puisse atteindre la LIE et s'enflammer.	Oui	<p>Sur base du rapport de l'INERIS sur l'état de l'art des détecteurs H₂ : Rapide mais absence de données chiffrées</p> <p>Les temps de réaction figurent sur le synoptique ci-après et sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temps d'atteinte d'un détecteur = 10 s (cf. étude INERIS : maillage des détecteurs pour que le seuil de 1% d'H₂, soit 25% de la LIE, soit détecté en 10 s) • Temps de détection = 5s • Temps de traitement du signal et d'isolement = 10 s pour les électrolyseurs. • Temps de vidange = 30 s • Temps d'inertage = 30 minutes. 	<p>Efficacité : détection le plus précocement possible du dépassement du seuil de 25 % de la LIE au sein d'un bâtiment.</p> <p>Actions composant la chaîne :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Détection de la fuite, ▪ Transmission du signal, ▪ Fermeture des vannes et arrêt de la production, ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'H₂ vers le réseau de torche. ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'O₂ vers le réseau d'événements. ▪ Démarrage de la séquence de purge à l'azote. ▪ Augmentation du débit de la ventilation mécanique forcée du bâtiment et évacuation de l'H₂. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ L'emplacement des détecteurs a fait l'objet d'une étude spécifique. ▪ Fiabilité : stable à long terme et large plage de détection. ▪ Efficacité : sensibilité moyenne, absence de sélectivité et temps de réponse rapide. ▪ Programme de maintenance préventive ▪ Tests réguliers ▪ Remplacement immédiat du matériel défectueux ▪ Equipement faisant l'objet d'un double secours électrique. ▪ Voir note technique en annexe EDD.8 	Niveau SIL 2 (la note en annexe EDD.8 donne l'objectif visé par H2V en termes de fiabilité)

Le nœud papillon correspondant à l'accident majeur n°1 est présenté ci-dessous.



La probabilité retenue est E : Evènement possible mais extrêmement peu probable.

E) POSITIONNEMENT

Au regard des paragraphes précédents, le positionnement de l'AM1 pour le couple Gravité/Probabilité d'occurrence est le suivant :

Gravité « Modéré » / Probabilité E

3.2.2 AM2 : UVCE SUITE A UNE RUPTURE FRANCHE SUR LE RESEAU AMONT A LA COMPRESSION

A) GRAVITE

Le calcul de gravité est détaillé en annexe EDD.4.

La gravité retenue est de niveau « Modéré » pour l'UVCE (inflammation retardée).

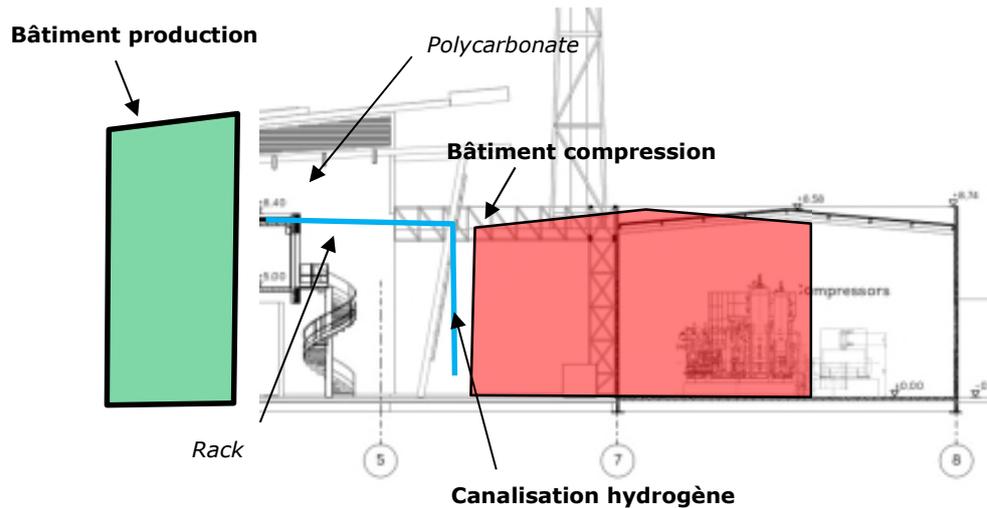
B) PROBABILITE D'OCCURRENCE

La rupture guillotine est engendrée par les effets dominos des explosions des bâtiments de production et de compression, et en cas d'UVCE suite à une rupture franche sur le flexible de la station mobilité.

Comme le permet la circulaire du 10 mai 2010, la rupture guillotine du réseau amont à la compression est en effet considéré comme physiquement impossible pour les raisons suivantes, en dehors des possibles effets dominos en cas de dysfonctionnement des barrières de sécurité des bâtiments de production et de compression :

- Les tuyauteries composant ces réseaux sont protégées de toutes agressions thermiques ou mécaniques,
- Création d'une zone « sanctuaire » composée de barrières physiques empêchant le passage des engins. Ce réseau sera soit aérien à une hauteur de 7 m soit protégé physiquement. Sur la partie traversant l'espace vide entre le bâtiment de production et le local compresseur d'hydrogène, la canalisation sera placée dans un rack. (voir vue en plan et vue de profil ci-dessous). Les vannes seront situées à 1 m.





- Toute circulation est interdite à proximité de ces deux réseaux.
- Les travaux de maintenance nécessitant l'utilisation d'engins de chantier ne pourront se faire qu'une fois les réseaux totalement purgés de l'H₂ qu'ils transportent.
- Les tuyauteries seront traitées contre le risque de corrosion.
- Le dimensionnement et la conception de ces réseaux sont encadrés par des normes. L'exploitant impose le respect de ces dernières dans ses différents cahiers des charges à destination des fournisseurs. L'ensemble des normes applicables et qui seront mises en œuvre par H2VNORMANDY est rappelé dans l'étude des dangers.
- L'exploitant mettra en œuvre un plan d'inspection très strict de ces réseaux. Ce plan permettra de démontrer que la conception des tuyauteries est approuvée et précisera les actions et fréquences de surveillance en adéquation avec la réglementation des équipements sous pression.
- L'ensemble des justificatifs relatif à la conception de ces réseaux sera tenu à la disposition du service des installations classées.

La probabilité d'une rupture franche sur le réseau amont compression sera donc au maximum de $3 \cdot 10^{-6}$ (probabilité d'occurrence des effets de surpression suite à une rupture franche sur le flexible de la station mobilité = probabilité pénalisante, la probabilité d'occurrence des bâtiments électrolyse et compression étant de l'ordre de 10^{-9} – voir AM1).

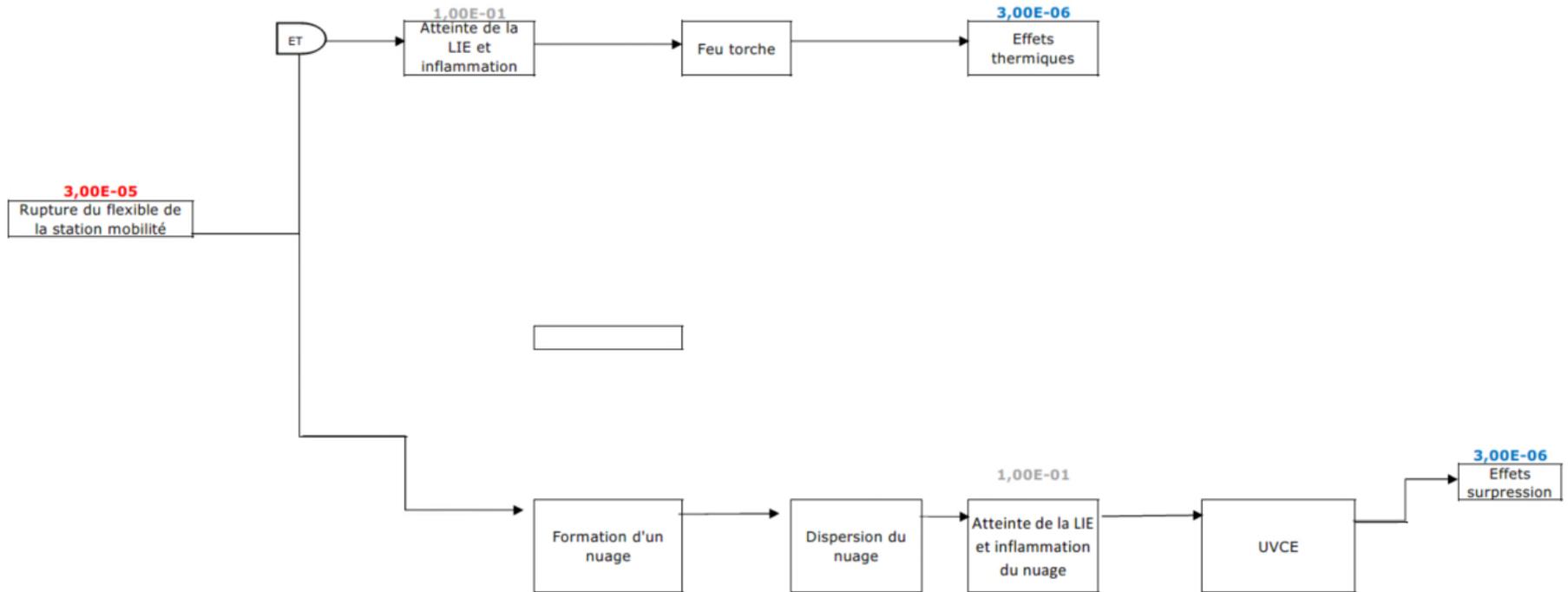
La probabilité d'une rupture franche sur le flexible de la station mobilité sera la suivante :

	Rupture franche flexible station mobilité
DN de la canalisation	DN 32
Probabilité de fuite : Données bibliographiques	D < 75 mm : $1 \cdot 10^{-6}$ /m/an
Longueur de la canalisation maximale	30 m
Probabilité retenue	$3 \cdot 10^{-5}$ /an

La probabilité d'inflammation du nuage formé suite à la rupture franche du flexible de la station mobilité sera la suivante :

	UVCE
Durée de fuite	60 minutes
Débit de fuite	Le débit de fuite sera de 6,48 kg/s
Environnement de la fuite	Zone ATEX mais absence de personnel et de voies de circulation
Probabilité retenue	1.10^{-1}

Le nœud papillon lié à une rupture sur le flexible de la station mobilité est présenté ci-dessous.



C) PROBABILITE D'INFLAMMATION

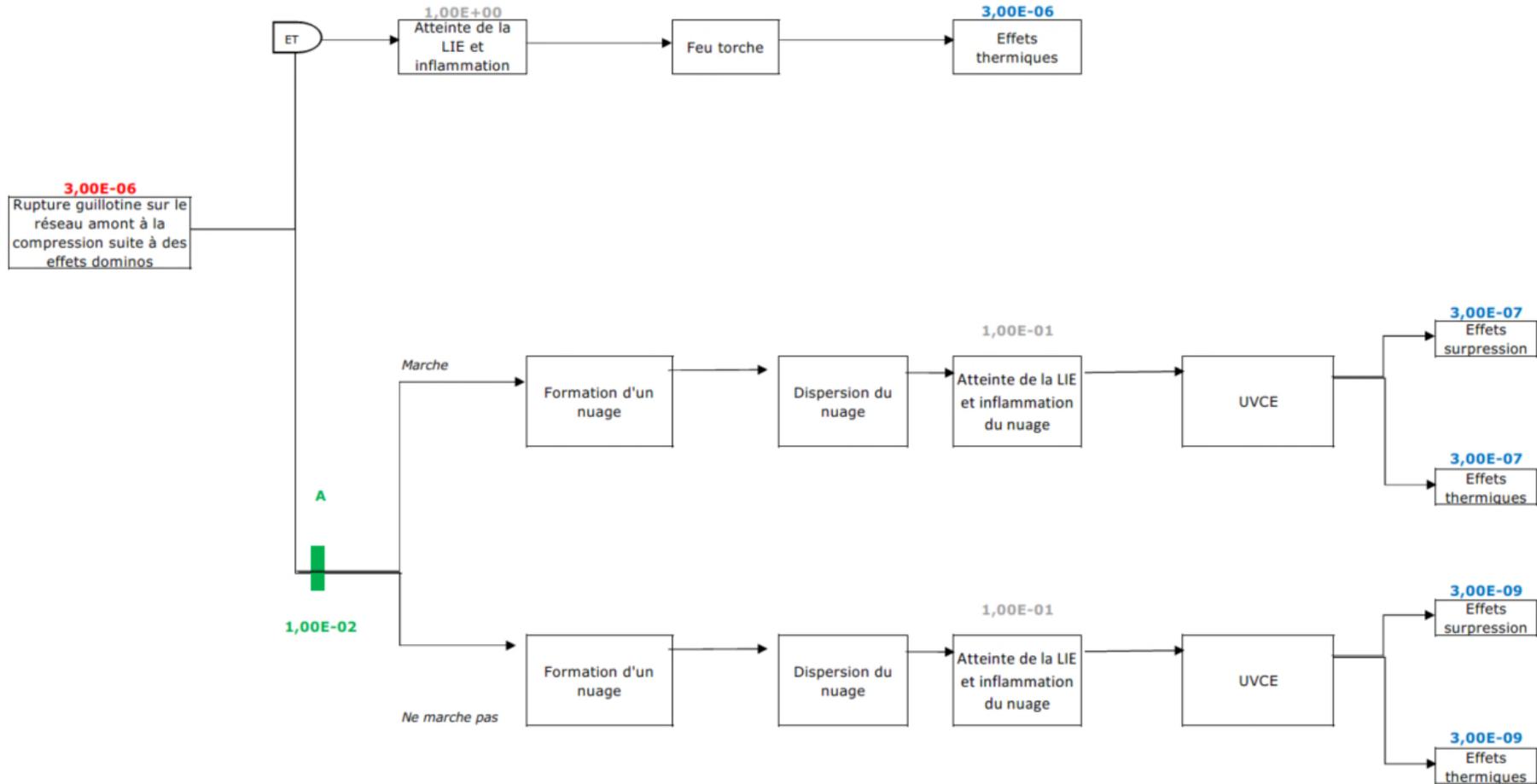
La probabilité d'inflammation du nuage formé suite à une rupture franche sur le réseau amont à la compression la suivante :

	Feu torche	UVCE
Durée de fuite	60s en tenant compte de la jauge de pression Sans MMR : fuite 60 minutes	
Débit de fuite	Le débit de fuite sera de 22,9 kg/s	
Environnement de la fuite	/	Zone ATEX mais absence de personnel et de voies de circulation
Probabilité retenue	1	1.10^{-1}

D) EVALUATION DE LA PERFORMANCE DES BARRIERES DE SECURITE

Nature de la mesure de protection		Nature	Fonction de sécurité et description	Indépendance	Cinétique de mise en œuvre	Efficacité Actions associées	Justifier la performance Maintenance dans le temps	Niveau de Confiance
A	Jauge de pression 10% de chute de pression	Mesure active	La fonction de sécurité recherchée est de détecter le plus prématurément possible une fuite de gaz	Oui	Le système permet de réagir en 60 secondes à une fuite équivalente à 10% du DN nominal. La cinétique de la fuite est la suivante : <ul style="list-style-type: none"> - Temps de détection de la fuite par le capteur : 40s - Traitement du signal : 5s - Arrêt de la production et isolement du collecteur principal : 15s 	<p>Efficacité : détection le plus précocement possible avant d'atteindre la LIE au niveau de la fuite.</p> <p>Actions composant la chaîne :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Détection de la fuite, ▪ Transmission du signal, ▪ Fermeture des vannes et arrêt de la production, ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'H₂ vers le réseau de torche. ▪ Ouverture des vannes de dépressurisation permettant l'évacuation de l'O₂ vers le réseau d'événements. ▪ Démarrage de la séquence de purge à l'azote. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fiabilité : SIL 2 ▪ Programme de maintenance préventive ▪ Tests réguliers ▪ Remplacement immédiat du matériel défectueux ▪ Equipement faisant l'objet d'un double secours électrique. ▪ Voir note technique en annexe EDD.11 	Niveau SIL 2 (la note en annexe EDD.11 donne l'objectif visé par H2V en termes de fiabilité)

Le nœud papillon correspondant à l'accident majeur n°2 est présenté ci-dessous.



La probabilité retenue est E : Evènement possible mais extrêmement peu probable.

E) POSITIONNEMENT

Au regard des paragraphes précédents, le positionnement de l'AM2 pour le couple Gravité/Probabilité d'occurrence est le suivant :

Gravité « Modéré » / Probabilité E

3.2.3 AM3 : ECLATEMENT D'UNE CUVE D'HUILE D'UN TRANSFORMATEUR 225 KV

A) GRAVITE

Le calcul de gravité est détaillé en annexe EDD.4.

La gravité retenue est de niveau « Modéré ».

B) PROBABILITE D'OCCURRENCE

Les différents évènements sont les suivants :

- ✓ Défaillance conduisant à un départ de feu qui se généralise à toute l'installation ;
- ✓ Inflammation du ciel gazeux dans la cuve d'huile, conduisant à son éclatement.

Dans ce contexte, les ERC étudiés sont le feu de nappe dont la probabilité d'occurrence est estimée à **2.10⁻⁵/an** (source - LASTFIRE - Guide INERIS sur les probabilités d'inflammation).

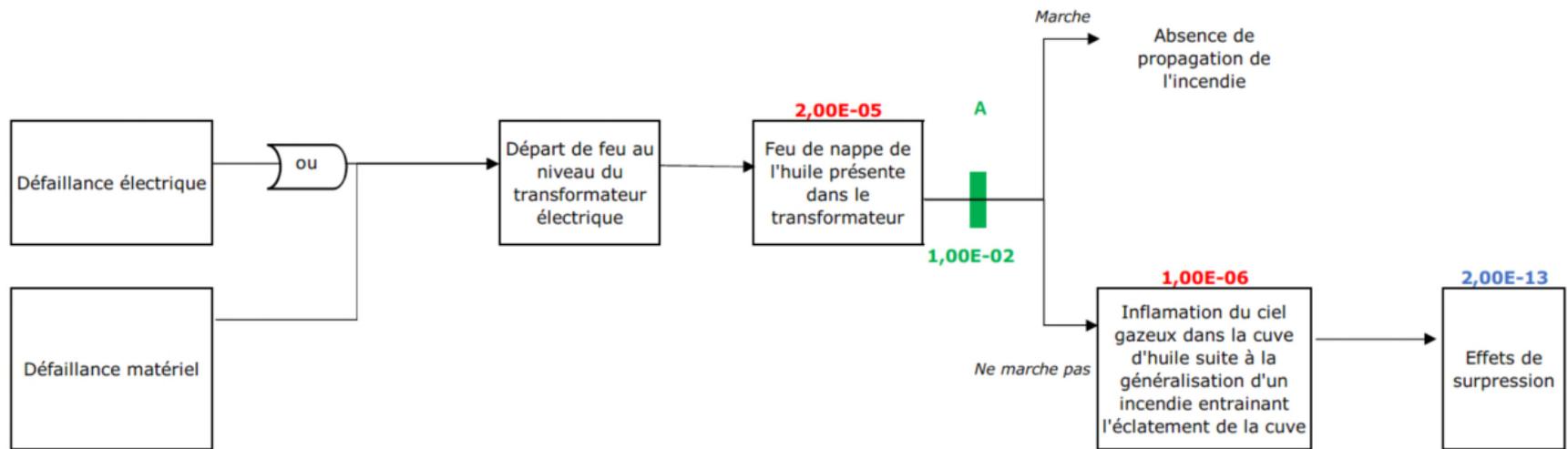
Un feu de transformateur pourrait conduire en cas de non maîtrise du sinistre à un éclatement de la cuve d'huile du transformateur voisin. Pour que cet évènement survienne, il est nécessaire qu'il y ait un incendie sur un des transformateurs, que le sinistre ne soit pas maîtrisé **ET** une défaillance des différents capteurs infra rouge, assurant un suivi des points chauds **ET** des murs REI 240 isolant les transformateurs les uns des autres. L'éclatement d'une cuve huile est le résultat de 3 évènements indépendants les uns des autres, induisant une probabilité d'occurrence relativement faible.

De plus, le DRA 34 de l'INERIS (opération J), précise que des ruptures de cuves ont des probabilités d'occurrence allant de 10⁻⁶ à 10⁻⁸.

C) EVALUATION DE LA PERFORMANCE DES BARRIERES DE SECURITE

	Nature de la mesure de protection	Nature	Fonction de sécurité et description	Indépendance	Cinétique de mise en œuvre	Efficacité Actions associées	Justifier la performance Maintenance dans le temps	Niveau de Confiance
A	Mur REI 240 Présence de 4 murs REI 240 en périphérie des transformateurs 225 KVA	Mesure passive	La fonction de sécurité rechercher est maîtriser les effets thermiques pour éviter la propagation du sinistre.	Oui	Critère non pertinent pour les dispositifs passifs.	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionnement adapté. • Résistance aux contraintes spécifiques. • Implantation en adéquation avec la source de risque. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contrôles réglementaires périodiques complets ▪ Réalisation par un organisme de contrôle agréé. 	2 (recommandation de l'INERIS dans l'Oméga 10)

Le nœud papillon correspondant à l'accident majeur n°3 est présenté ci-dessous.



La probabilité retenue est E : Evènement possible mais extrêmement peu probable.

D) POSITIONNEMENT

Au regard des paragraphes précédents, le positionnement de l'AM3 pour le couple Gravité/Probabilité d'occurrence est le suivant :

Gravité « Modéré » / Probabilité E

3.3 SYNTHÈSE DES ACCIDENTS MAJEURS POTENTIELS

3.3.1 BILAN

Le tableau ci-dessous synthétise les résultats obtenus dans le cadre de l'analyse détaillée des risques pour les AM étudiés.

Accident Majeur	Phénomène dangereux	Effets	Gravité/ Probabilité	Effets à l'extérieur du site	
				Seuil	Zone impactée
AM 1	Explosion du bâtiment électrolyseur	Surpression	Modéré / E	Bris de vitres Effets indirects	Terrains agricoles Voie d'accès au site
				SEI	Terrains agricoles
				SEL	/
				SELS	/
AM2	UVCE suite à une rupture franche sur le réseau amont à la compression sans MMR	Surpression	Modéré / E	Bris de vitres Effets indirects	Terrains agricoles
				SEI	/
				SEL	/
				SELS	/
AM3	Eclatement de la cuve d'huile d'un transformateur 225 kVA	Surpression	Modéré / E	Bris de vitres Effets indirects	Voie d'accès au site
				SEI	/
				SEL	/
				SELS	/

A noter que dans le cas des effets dominos, les accidents majeurs 1, 2 et 3 pourront avoir lieu en même temps. Dans ce cas, le nombre de personnes touchées serait inférieur à 1 personne, la gravité serait « **Modéré** ». La probabilité serait également « **E** ».

3.3.2 POSITIONNEMENT DES ACCIDENTS MAJEURS

Au regard des cotations établies dans les paragraphes précédents, les accidents majeurs potentiels peuvent être classés selon le couple Probabilité/Gravité des conséquences sur les personnes. Ce classement permet de conclure sur le niveau de maîtrise du risque.

La grille utilisée est inspirée de l'annexe 3 de l'arrêté ministériel du 26 mai 2014 modifié (non applicable au projet H2V car il n'est pas soumis à la Directive SEVESO).

Gravité des conséquences sur les personnes exposées au risque	Probabilité d'occurrence (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
	Évènement possible mais extrêmement peu probable	Évènement très improbable	Évènement improbable	Évènement probable	Évènement courant
Déastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré	AM1 AM2 AM3 AM1, 2 et 3 simultanés				

	Non acceptable
	Acceptable à condition
	Acceptable

Les accidents majeurs AM1 à AM3 se situent en zone « acceptable » au regard du couple gravité/probabilité et de la grille inspirée de l'annexe 3 de l'arrêté ministériel du 26 mai 2014 modifié. Aucune mesure de réduction du risque supplémentaire n'est donc envisagée.

3.3.3 PERIMETRES DES SERVITUDES ET REGLES ASSOCIEES

Les accidents majeurs étudiés présentent une probabilité de niveau E.

Les préconisations en matière d'urbanisme pour les installations à autorisation sont définies dans la circulaire du 4 mai 2007.

« II - Cas des installations soumises à autorisation hors d'un établissement soumis à autorisation avec servitude

b) Contenu du porter à connaissance risques technologiques pour les installations soumises à autorisation nouvelles

(ii) Pour les phénomènes dangereux dont la probabilité est E, il convient de formuler les préconisations suivantes :

- toute nouvelle construction est interdite dans les territoires exposés à des effets létaux significatifs à l'exception d'installations industrielles directement en lien avec l'activité à l'origine des risques, d'aménagements et d'extensions d'installations existantes ou de nouvelles installations classées soumises à autorisation compatibles avec cet environnement (notamment au regard des effets dominos et de la gestion des situations d'urgence) ;

- dans les zones exposées à des effets létaux, l'aménagement ou l'extension de constructions existantes sont possible. Par ailleurs, l'autorisation de nouvelles constructions est possible sous réserve de ne pas augmenter la population exposée à ces effets létaux. Les changements de destinations doivent être réglementés dans le même cadre ;

- l'autorisation de nouvelles constructions est la règle dans les zones exposées à des effets irréversibles ou indirects. Néanmoins, il conviendra d'introduire dans les règles d'urbanisme du PLU les dispositions permettant de réduire la vulnérabilité des projets dans les zones d'effet de suppression.

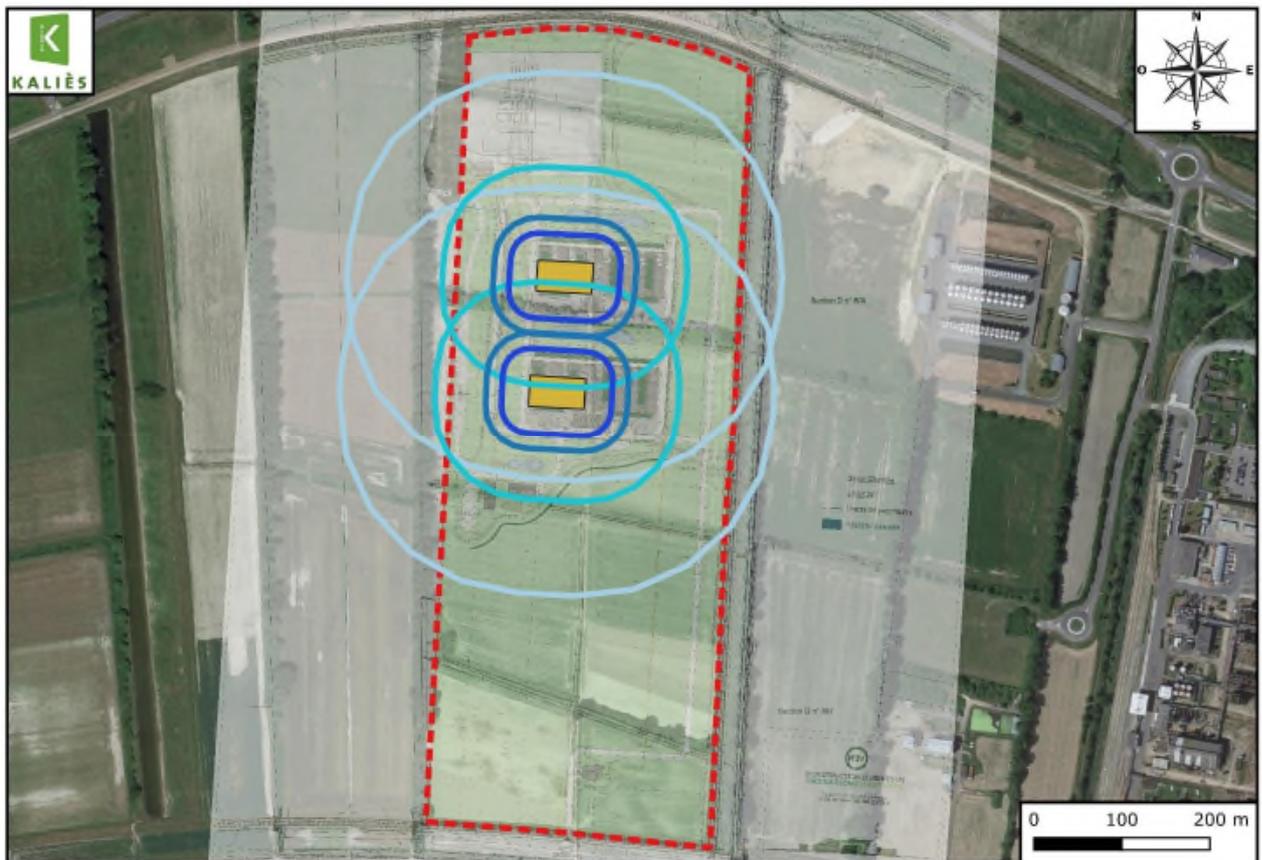
Les limites des zones déterminées en (i) et en (ii) doivent être clairement identifiables et pourront, le cas échéant, s'appuyer sur une cartographie adaptée, produite, notamment, par les services en charge de l'équipement. »

Les accidents majeurs étudiés ne seront pas à l'origine d'effets létaux en dehors des limites du site.

Des effets irréversibles de suppression seront observés pour l'accident majeur AM1 (éclatement du bâtiment électrolyseurs).

Les cartographies des zones d'effets sont reprises en pages suivantes.

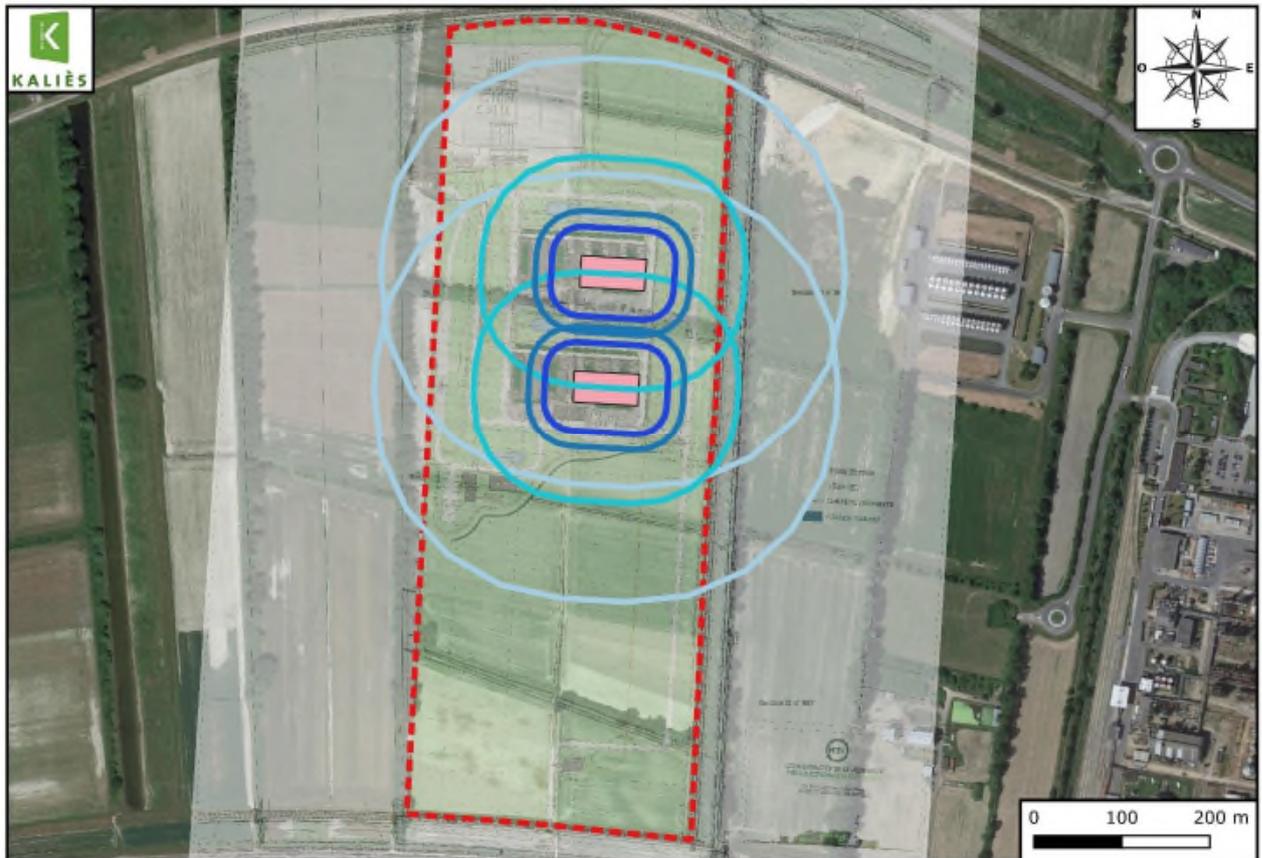
AM1 : Explosion de la sous-unité de production 1 en cas de dysfonctionnement des barrières de sécurité



Légende :

-  Limites du site
-  Sous-unité de production 1
-  Effets de surpression 200 mbar
-  Effets de surpression 140 mbar
-  Effets de surpression 50 mbar
-  Effets de surpression 20 mbar

AM1 : Explosion de la sous-unité de production 2 en cas de dysfonctionnement des barrières de sécurité



Légende :

-  Limites du site
-  Sous-unité de production 2
-  Effets de surpression 200 mbar
-  Effets de surpression 140 mbar
-  Effets de surpression 50 mbar
-  Effets de surpression 20 mbar

3.3.4 CAS DU FONCTIONNEMENT DES BARRIERES DE SECURITE

En cas de fonctionnement des barrières de sécurité, voici les effets attendus :

N° AM	Phénomène dangereux	Effets sans barrière de sécurité	Gravité sans barrière de sécurité	Rappel des barrières de sécurité	Effets avec barrière de sécurité	Gravité avec barrière de sécurité
AM1	Eclatement du bâtiment électrolyseurs	Surpression	Sérieux	Détection et ventilation réduisant le temps de fuite et empêchant d'atteindre la LIE sous le bâtiment (étude INERIS)	Aucun effet n'est attendu, la LIE n'étant pas atteinte (étude INERIS)	En l'absence d'effets en dehors du site, la gravité est nulle
AM2	UVCE suite à une rupture franche sur le réseau amont à la compression	Surpression	Sérieux	Détection de la chute de pression = réduction du temps de fuite à 60 s	Surpression	En l'absence d'effets en dehors du site, la gravité est nulle
AM3	Eclatement de la cuve d'huile d'un transformateur 225 kVA	Surpression	Modéré	Murs REI 240	Absence de propagation d'incendie et donc absence de phénomène dangereux.	En l'absence d'effets en dehors du site, la gravité est nulle

4 INVESTISSEMENTS POUR LA SECURITE

Les principaux investissements prévus pour la sécurité sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Nature de l'investissement	Montant de l'investissement
Système de ventilation / désenfumage des bâtiments de production et de compression.	Par unité de production : 108 K€.
Système de détection H ₂ / chaîne de transmission et de traitement de l'information associée.	Par unité de production : 155 K€ comprenant la centrale, les capteurs, les câbles, les avertisseurs lumineux et l'alarme sonore.
Système de détection incendie / chaîne de transmission et de traitement de l'information associée.	Par unité de production : Détecteur thermique avec auto-extension dans chaque armoire redresseur = 50k€. DéTECTEURS fumée dans les salles transformateurs 30 kV = 10k€. DéTECTEURS fumée dans les bâtiments annexes = 10k€ Système monitoring pour les transformateurs 225kV = 110 k€.
Ensemble du système de suivi du bon fonctionnement de la production d'H ₂ / chaîne de transmission et de traitement de l'information associée.	Total site : 1,35 M€.
Poteaux incendie, réseau associé et moyens d'extinction	Total site : 160 k€.
Bassin de confinement des eaux d'extinction incendie.	Total site : 40 k€.
Système d'instrumentation des différents organes / capteurs de sécurité : unités de production et utilités.	Total site : 3,6 M€.
Système d'événements et de décharge.	Pour une unité de production : 2,14 M€.
Secours électrique	Par unité de production, un groupe diesel type « no break » sera installé = 750 k€.
Matériel électrique ATEX	Total site : 4,2 M€
Système de sécurité de la station de mobilité	Total site : 420 000 €
Protection physique du poste de comptage	Total site : 55 000 €
Formation du personnel	Budget formation initiale de 100 k€ puis 50 k€ tous les deux ans pour les renouvellements / recyclages.
Gestion du risque foudre	Par unité de production : matériel et installation = 30k€ par usine.
Equipements de protection individuelle	Environ 1 500 €/personne/an.
TOTAL	Minimum 13,7 M€

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE EDD.1	ETUDE Foudre
ANNEXE EDD.2	ANALYSE DU RETOUR D'EXPERIENCE
ANNEXE EDD.3	ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES
ANNEXE EDD.4	RAPPORT DE MODELISATION DES SCENARII DE L'ETUDE DES DANGERS
ANNEXE EDD.5	ETUDE DE POSITION DES DETECTEURS ET EXTINGTEURS
ANNEXE EDD.6	CALCUL DES BESOINS EN EAU D'EXTINCTION
ANNEXE EDD.7	NOTE TECHNIQUE GROUPE DIESEL DE SECOURS
ANNEXE EDD.8	NOTE TECHNIQUE FIABILITE DE LA CHAINE DE DETECTION H₂
ANNEXE EDD.9	NOTE DE CALCUL FIABILITE DES EXTRACTEURS
ANNEXE EDD.10	NOTE DE DIMENSIONNEMENT DES PAROIS SOUFLABLES
ANNEXE EDD.11	NOTE TECHNIQUE MESURE DE PRESSION NIVEAU BAS
ANNEXE EDD.12	PROCEDURE D'ALERTE

ANNEXE EDD.1

ETUDE Foudre



Analyse Risque Foudre

Etude Technique

PRODUCTION D'HYDROGENE

SAINT JEAN DE FOLLEVILLE (76)

ETUDE REALISEE SUR PLAN POUR KALIES

Rédacteur : G. BRIEZ

Date : 03/01/2020

444, rue Léo Lagrange 59500 DOUAI – Tél : 0327996389 – Fax : 03 27 99 00 94 – email : bcm@bcmfoudre.fr
SAS au capital de 120 000 € - RCS DOUAI 400 732 681 – SIRET 400 732 681 00020 – APE 7112 B –
TVA FR 37 400732 681
Centres techniques à Bordeaux – Douai – Lyon – Paris – Rennes –Strasbourg
www.bcmfoudre.fr

1. HISTORIQUE DES EVOLUTIONS

Indice de révision	Date	Objet de l'évolution	Nom et signatures	
			Rédacteur	Vérificateur
0	03/09/19	Version initiale	GB 	TK 
1	03/01/20	Prise en compte du nouveau plan de masse et des nouvelles rubriques ICPE	GB 	TK 

2. TABLE DES MATIERES

1. HISTORIQUE DES EVOLUTIONS.....	2
2. TABLE DES MATIERES.....	3
3. GLOSSAIRE.....	5
4. LE RISQUE Foudre.....	7
5. INTRODUCTION.....	8
5.1. BASE DOCUMENTAIRE.....	8
5.2. DEROULEMENT DE LA MISSION	8
5.2.1. Références réglementaires et normatives	8
5.2.2. Définition de l'Analyse du Risque Foudre	9
5.2.3. Définition de l'Etude Technique	9
6. PRESENTATION DU SITE	11
6.1. CARACTERISTIQUES DU SITE	11
6.2. LISTE DES INSTALLATIONS REPERTORIEES DANS LA NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES	13
7. ANALYSE DE RISQUE Foudre (A.R.F)	14
7.1. DENSITE DE Foudroiement	14
7.2. RESISTIVITE DU SOL	14
7.3. DETERMINATION DES NIVEAUX DE PROTECTION	15
7.3.1. Identification des structures à étudier	15
7.3.2. Identification des risques dus à la foudre.....	16
7.3.3. Caractérisation des unités de production.....	16
7.3.4. Caractérisation des unités annexes.....	17
7.3.5. Equipements ou fonctions à protéger	17
7.4. CONCLUSIONS DE L'ANALYSE DU RISQUE Foudre.....	18
8. ETUDE TECHNIQUE	19
8.1. PRINCIPES DE PROTECTION : IEPF ET IIPF	19
8.1.1. Les Installations Extérieures de Protection Foudre (I.E.P.F).....	19
8.1.2. Les Installations Intérieures de Protection Foudre (I.I.P.F).....	20
8.2. PRECONISATIONS	24
8.2.1. Protections : Les Installations Extérieures de Protection Foudre (IEPF).....	24
8.2.2. Protections : Les Installations Intérieures de Protection Foudre (IIPF)	27
8.2.2.1. Rappel Général.....	27
8.2.2.2. Parafoudres de type I+II	30
8.3. EQUIPOTENTIALITE	32
8.4. QUALIFICATION DES ENTREPRISES TRAVAUX	32
9. CONTRÔLE PERIODIQUE.....	33
9.1. VERIFICATION INITIALE.....	33
9.2. VERIFICATIONS PERIODIQUES.....	33
10. LA PROTECTION DES PERSONNES.....	36
10.1. DETECTION, ENREGISTREMENT ET MESURES DE SECURITE.....	36
10.1.1. La détection d'orage et l'enregistrement	36
10.1.2. Les mesures de sécurité.....	36
10.2. TENSION DE CONTACT ET DE PAS	37

10.2.1.	Tension de contact	37
10.2.2.	Tension de pas	37
11.	ANNEXES.....	38
11.1.	ANNEXE 1 => VISUALISATION DES RISQUES R1 AVEC ET SANS PROTECTION	39
11.2.	ANNEXE 2 => COMPTE RENDU ANALYSE DE RISQUE	41
11.3.	ANNEXE 3 => EQUIPOTENTIALITE.....	47
11.4.	ANNEXE 4 => CARNET DE BORD QUALIFOUDRE.....	50

Nombre de pages de l'étude : 55 pages

NOTICE DE VERIFICATION ET DE MAINTENANCE

La notice de vérification et de maintenance, située à la toute fin de ce document, comporte son propre sommaire, ainsi que sa propre numérotation de page. Elle peut donc être détachée de l'analyse de risque foudre et de l'étude technique.

Nombre de pages de la notice : 11 pages

3. GLOSSAIRE

Installation Extérieure de Protection contre la Foudre (IEPF) :

Son rôle est de capter et de canaliser le courant de foudre vers la terre par le chemin le plus direct (en évitant la proximité des équipements sensibles). L'IEPF est composée :

- du système de capture : il est constitué de paratonnerres stratégiquement placés et de dispositifs naturels de capture ;
- des conducteurs de descente destinés à écouler le courant de foudre vers la terre ;
- du réseau des prises de terre ;
- du réseau d'équipotentialité (un maillage métallique des masses et des éléments conducteurs complété éventuellement par la mise en place de parafoudres et d'éclateurs).

Installation Intérieure de Protection contre la Foudre (IIPF) :

Son rôle principal est de limiter les perturbations électriques à l'intérieur des installations à des valeurs acceptables pour les équipements. L'IIPF est composée :

- du réseau d'équipotentialité : Il est obtenu par un maillage métallique des masses et des éléments conducteurs ;
- de parafoudres, de filtres, etc. spécifiquement conçus pour chaque type de signal à transmettre ;

Méthode déterministe :

Cette méthode ne prend pas en compte le risque de foudroiement local. Par conséquent, quel que soit la probabilité d'impact, une structure ou un équipement défini comme IPS, sera protégé si l'impact peut engendrer une conséquence sur l'environnement ou sur la sécurité des personnes.

Lorsque la norme NF-EN 62305-2 ne s'applique pas réellement (exemple : zone ouverte ou à risque d'impact foudre privilégié tels que cheminées, aéro-réfrigérants, racks, stockages extérieurs) cette méthode est choisie.

Méthode probabiliste :

L'évaluation probabiliste du risque permet une classification des risques de la structure, elle permet donc de définir des priorités dans le choix des protections et de vérifier la pertinence d'un système de protection.

Elle permet de définir les niveaux de protections à atteindre pour les bâtiments, afin de lutter contre les effets directs et indirects de la foudre.

La méthode utilisée s'applique aux structures fermées (de type bâtiment), elle tient compte des dimensions, de la structure du bâtiment, de l'activité qu'il abrite, et des dommages que pourrait engendrer la foudre en cas de foudroiement sur ou à proximité des bâtiments.

Les risques de dommages causés par la foudre peuvent être de 4 types :

- R1 : Risque de perte humaine
- R2 : Risque de perte de service public
- R3 : Risque de perte d'héritage culturel
- R4 : Risque de pertes économiques

Suivant la circulaire du 24/04/2008, seul le risque R1 est pris en considération.

Lorsque le risque calculé est supérieur au risque acceptable, des solutions de protection et de prévention sont adoptées jusqu'à ce que le risque soit rendu acceptable. Cette méthode probabiliste permet d'évaluer l'efficacité de différentes solutions afin d'optimiser la protection.

Le résultat obtenu fournit le niveau de protection à mettre en œuvre à l'aide de parafoudres, d'interconnexions et/ou de paratonnerres.

Pour évaluer le risque dû aux coups de foudre dans une structure, nous utiliserons la norme 62 305-2. Elle propose une méthode d'évaluation du risque foudre. Une fois fixée la limite supérieure du risque tolérable, la procédure proposée permet de choisir les mesures de protection appropriées pour réduire le risque à une valeur inférieure ou égale à la valeur limite tolérable. Cela débouchera sur la définition d'un niveau de protection allant de I, pour le plus sévère, à IV pour le moins sévère.

Niveau de protection (N_P) :

Nombre lié à un ensemble de valeurs de paramètres du courant de foudre quant à la probabilité selon laquelle les valeurs de conception associées maximales et minimales ne seront pas dépassées lorsque la foudre apparaît de manière naturelle.

Caractéristiques de la structure	niveau de protection
Structure non protégée par SPF.	-
Structure protégée par un SPF	IV
	III
	II
	I

Les niveaux de protection s'échelonnent du « Niveau IV » au « Niveau I ».

Le niveau IV étant le niveau de protection normal tandis que le niveau I est le niveau de protection maximal.

Equipements Importants pour la Sécurité (EIPS) :

Pour être qualifié **d'éléments important pour la sécurité** (EIPS), un élément (opération ou équipement) doit être choisi parmi les **barrières de sécurité** destinées à prévenir l'occurrence ou à limiter les conséquences d'un événement redouté central susceptible de conduire à un **accident majeur**.

Parafoudre :

Dispositif destiné à limiter les surtensions transitoires et à évacuer les courants de choc. Il comprend au moins un composant non linéaire.

Parafoudres coordonnés :

Parafoudres coordonnés choisis et installés de manière appropriée pour réduire les défaillances des réseaux électriques et électroniques.

Système de protection contre la foudre (SPF) :

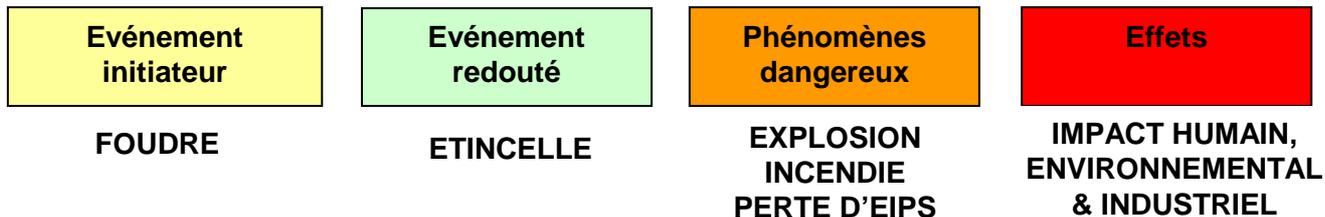
Installation complète utilisée pour réduire les dommages physiques dus aux coups de foudre qui frappent une structure. Elle comprend à la fois des installations extérieures et intérieures de protection contre la foudre.

Zone de protection foudre (ZPF) :

Zone dans laquelle l'environnement électromagnétique de foudre est défini.

4. LE RISQUE Foudre

Avant d'entamer précisément le dossier d'étude du risque foudre, il est nécessaire de rappeler quelques principes fondamentaux sur la foudre et ses effets destructeurs.



La foudre est un courant de forte intensité, 30 kA en moyenne avec des maxima de l'ordre de 100 kA, se propageant avec des fronts de montée extrêmement raides entre deux masses nuageuses ou entre une masse nuageuse et le sol.

Ce courant de foudre peut avoir des conséquences très dommageables pour les structures même des bâtiments lorsqu'elles sont directement frappées. La parade est relativement simple à trouver : l'installation de paratonnerres ou la prise en compte d'éléments constitutifs (naturel) du bâtiment en tant que tel.

Mais elle peut aussi causer d'innombrables dégâts aux équipements électriques, électroniques et informatiques qui se trouvent à proximité du point d'impact, en cherchant à s'écouler à la terre par tous les éléments conducteurs qu'elle rencontre sur son chemin. Elle rayonne également un champ électromagnétique très intense, lui-même générateur de courants parasites sur les câbles qu'il illumine. Enfin, elle crée des phénomènes dits de "couplage de terre" lors de son écoulement à la terre.

La parade contre ces effets secondaires est plus difficile à mettre en place dans la mesure où le danger peut avoir des origines multiples. Néanmoins, les progrès de ces dernières années sur la connaissance de ces phénomènes nous permettent aujourd'hui de nous en protéger grâce aux mesures suivantes :

- Réalisation d'une parfaite équipotentialité des terres du site dont le but est de limiter les conséquences des phénomènes de couplage de terre, complétée en surface par l'interconnexion des masses métalliques tels que chemins de câbles en acier, structure métallique, tuyauteries et conduits divers à proximité des équipements sensibles. Ce réseau en surface, encore appelé "Plan de Masse", a pour effet de réduire les courants vagabonds qui circulent habituellement dans ces éléments conducteurs.
- Cette mesure de mise en équipotentialité peut être complétée par l'installation de parafoudres sur les lignes provenant de l'extérieur des bâtiments et reliées aux équipements importants pour la sécurité ou aux électroniques fragiles, pour les protéger contre les surtensions transitoires dont l'origine a été expliquée précédemment.

5. INTRODUCTION

5.1. Base documentaire

L'Analyse de Risque Foudre et l'Etude Technique réalisées sur plan se basent sur les documents listés ci-dessous et sur les informations fournies par Mme CUVELIER de KALIES Agence Ouest.

Version initiale	
Référence du document	
Titre	Numéro(s)
Plans	521-DKQ-000-COE-0102-SL-RevB.pdf 521-DKQ-000-COE-0122-SL_revB.pdf 521-DKQ-225-COE-0412-ID-rev.G.pdf 20190425APD03PlanDeMasseSurVueAerienneH2V76.pdf 20190618APD04PlanAmenagementH2V76.pdf localisation des installations projet Normandy .pdf Vue aérienne projet Normandy.jpg 20190425_01APD04UniteProductionRdCetEtage.pdf 20190425_02APD04UniteDeProductionCoupes.pdf 20190618APD05Coupes.pdf 20190618APD05Elevations_toiture.pdf 20190618APD05PlanUsine.pdf Plan unité production.pdf Projet 76.pdf (révision 1)
Informations sur le projet	Echanges téléphonique / mail avec la société KALIES

5.2. Déroulement de la mission

5.2.1. Références réglementaires et normatives

L'étude est réalisée dans le respect des règles de l'art, conformément aux prescriptions, normes, décrets et textes officiels en vigueur à ce jour, et plus particulièrement aux documents suivants :

❖ Normes

Norme	Désignation
NF C 17-102 (Septembre 2011)	Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage
NF C 15-100 (Décembre 2002)	Installations électriques Basse Tension § 443 et § 543
NF EN 62305-1 (Novembre 2013)	Protection contre la foudre, Partie 1 : Principes généraux
NF EN 62305-2 (Novembre 2006)	Protection contre la foudre, Partie 2 : Evaluation du risque
NF EN 62305-3 (Décembre 2006)	Protection contre la foudre, Partie 3 : Dommages physiques sur les structures et risques humains
NF EN 62305-4 (Décembre 2012)	Protection contre la foudre, Partie 4 : Réseaux de puissance et de communication dans les structures

❖ Réglementation

Document	Désignation
Arrêté du 4 octobre 2010	Arrêté relatif à la prévention des risques accidentels au sein des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation, modifié par l'arrêté du 19 juillet 2011
Circulaire du 24 avril 2008	Application de l'arrêté du 19 juillet 2011

5.2.2. Définition de l'Analyse du Risque Foudre

L'objet de cette étude, conformément à l'arrêté du 4 octobre 2010, est d'analyser la nécessité de protection foudre et le niveau associé pour chaque unité concernée du site.

Selon l'article 18 de l'Arrêté du 19 juillet 2011 :

L'Analyse du Risque Foudre identifie les équipements et installations dont une protection doit être assurée. Elle est basée sur une évaluation des risques réalisée conformément à la norme NF EN 62305-2. Elle définit les niveaux de protection nécessaires aux installations. Cette étude tient compte des risques inhérents à votre site, vus dans l'étude de dangers.

Cette analyse est systématiquement mise à jour à l'occasion de modifications notables des installations nécessitant le dépôt d'une nouvelle autorisation au sens de l'article R. 512-33 du code de l'environnement et à chaque révision de l'étude de dangers ou pour toute modification des installations qui peut avoir des répercussions sur les données d'entrées de l'ARF.

Et selon sa circulaire associée du 24 avril 2008 :

L'ARF identifie :

- Les installations qui nécessitent une protection ainsi que le niveau de protection associé ;
- Les liaisons entrantes ou sortantes des structures (réseaux d'énergie, réseaux de communications, canalisations) qui nécessitent une protection ;
- La liste des équipements ou des fonctions à protéger ;
- Le besoin de prévention visant à limiter la durée des situations dangereuses et l'efficacité du système de détection d'orage éventuel.

L'ARF n'indique pas de solution technique (type de protection directe ou indirecte). La définition de la protection à mettre en place (paratonnerre, cage maillée, nombre et type de parafoudres) et les vérifications du système de protection existant sont du ressort de l'étude technique.

Pour conclure, la méthode est modélisée à travers un logiciel spécialisé « PROTEC », logiciel que nous avons utilisé pour cette étude.

5.2.3. Définition de l'Etude Technique

L'objet de cette étude est de valider une solution de protection foudre pour chaque unité concernée du site. L'Etude Technique s'effectue comme suit :

 ETUDES, CONTROLES & MAINTENANCE Tel : 03 27 996 389	ARF + ET Production d'Hydrogène Saint Jean de Folleville (76)	03/09/2019	
		Version initiale	Page 9/55

❖ Protection des effets directs (Installation Extérieure de Protection contre la Foudre)

Le but de cette étude est d'indiquer les dispositions à prendre pour obtenir, dans l'état actuel des connaissances de la technique et de la réglementation en vigueur, une protection satisfaisante des bâtiments et installations fixes, contre les coups de foudre directs.

Nous proposons pour chaque bâtiment ou structure la solution de protection la mieux adaptée possible à la situation rencontrée.

❖ Protection des effets indirects (Installation Intérieure de Protection contre la Foudre)

Il y a lieu d'assurer une montée en potentiel uniforme des terres et des masses en cas de choc foudre sur le site.

Cette montée en potentiel uniforme permet de limiter les effets de claquage et les courants vagabonds, pouvant être des facteurs déclenchant dans les zones à risque ou bien destructeurs pour les équipements électroniques. Pour cela, l'examen des réseaux de terre est réalisé.

Les lignes électriques seront aussi examinées afin de limiter les surtensions qu'elles peuvent transmettre et devenir un éventuel facteur déclenchant dans les zones à risques à l'intérieur du site.

❖ Prévention

Il y est défini les systèmes de détection d'orage, les mesures de sécurité et les moyens de protection contre les tensions de pas et de contact.

❖ Notice de vérification et maintenance

Il y est défini la périodicité, la procédure de vérification, le rapport de vérification et la maintenance.

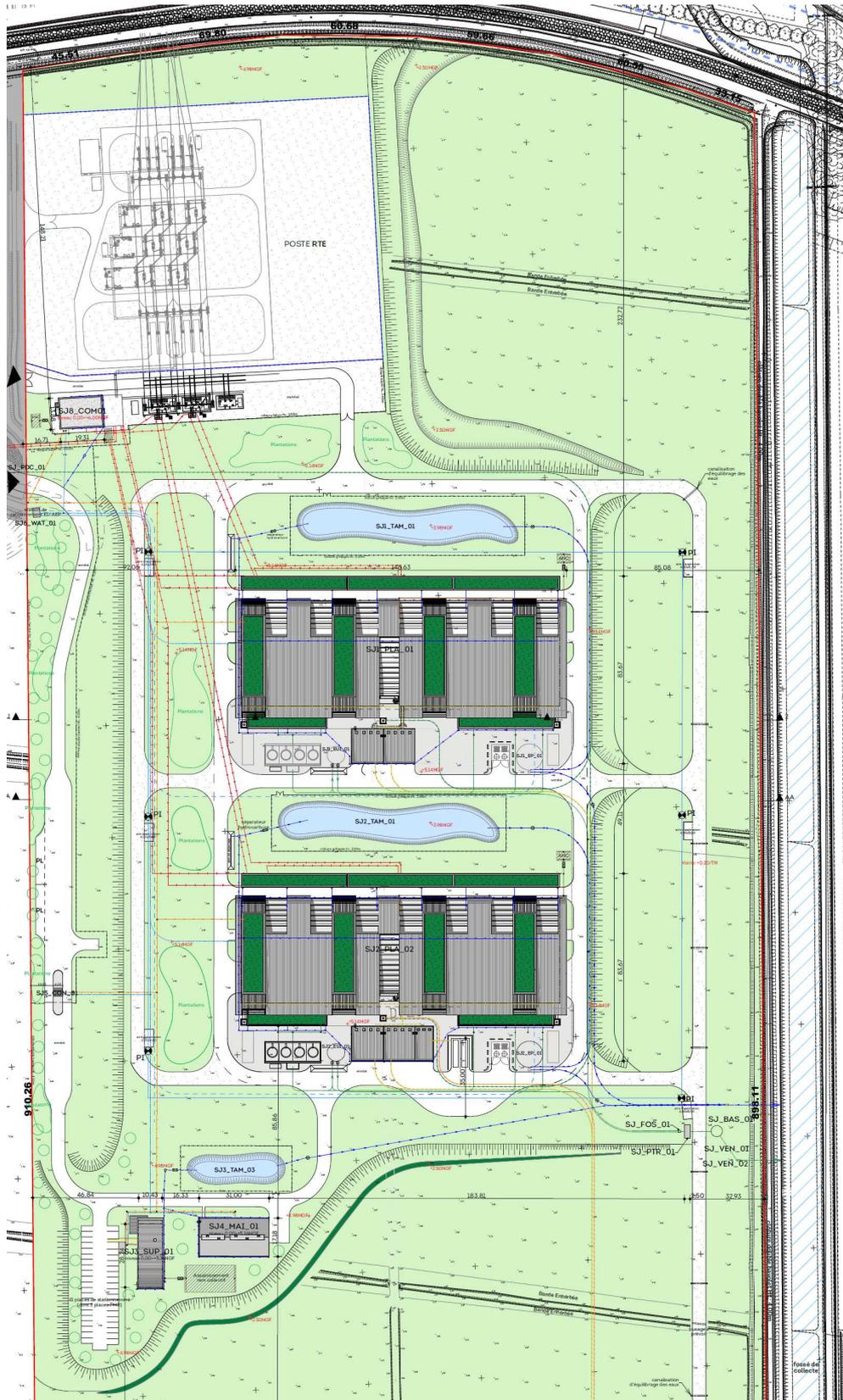
6. PRESENTATION DU SITE

6.1. Caractéristiques du site

- Vue aérienne



- Plan d'aménagement



6.2. Liste des installations répertoriées dans la nomenclature des installations classées

Rubriques ICPE relatives au projet (à date du 24/07/2019) :

- 1630 - Emploi de KOH - Autorisation
- 3420-a : Fabrication H2 - Autorisation
- 4715 : Stockage / Emploi de H2 - Autorisation
- 2921 - TAR - Enregistrement
- 2910-a : Groupe électrogène - Déclaration
- 4725 : Oxygène - Déclaration
- NC pour les rubriques : 1185-3-2, 1185-2-a, 4510, 4718, 4734-2

7. ANALYSE DE RISQUE Foudre (A.R.F)

7.1. Densité de foudroiement

La densité moyenne de points de contacts/an/km² de la Seine Maritime est de 1,3 (Nsg).



Source : Norme NFC 17102 F11

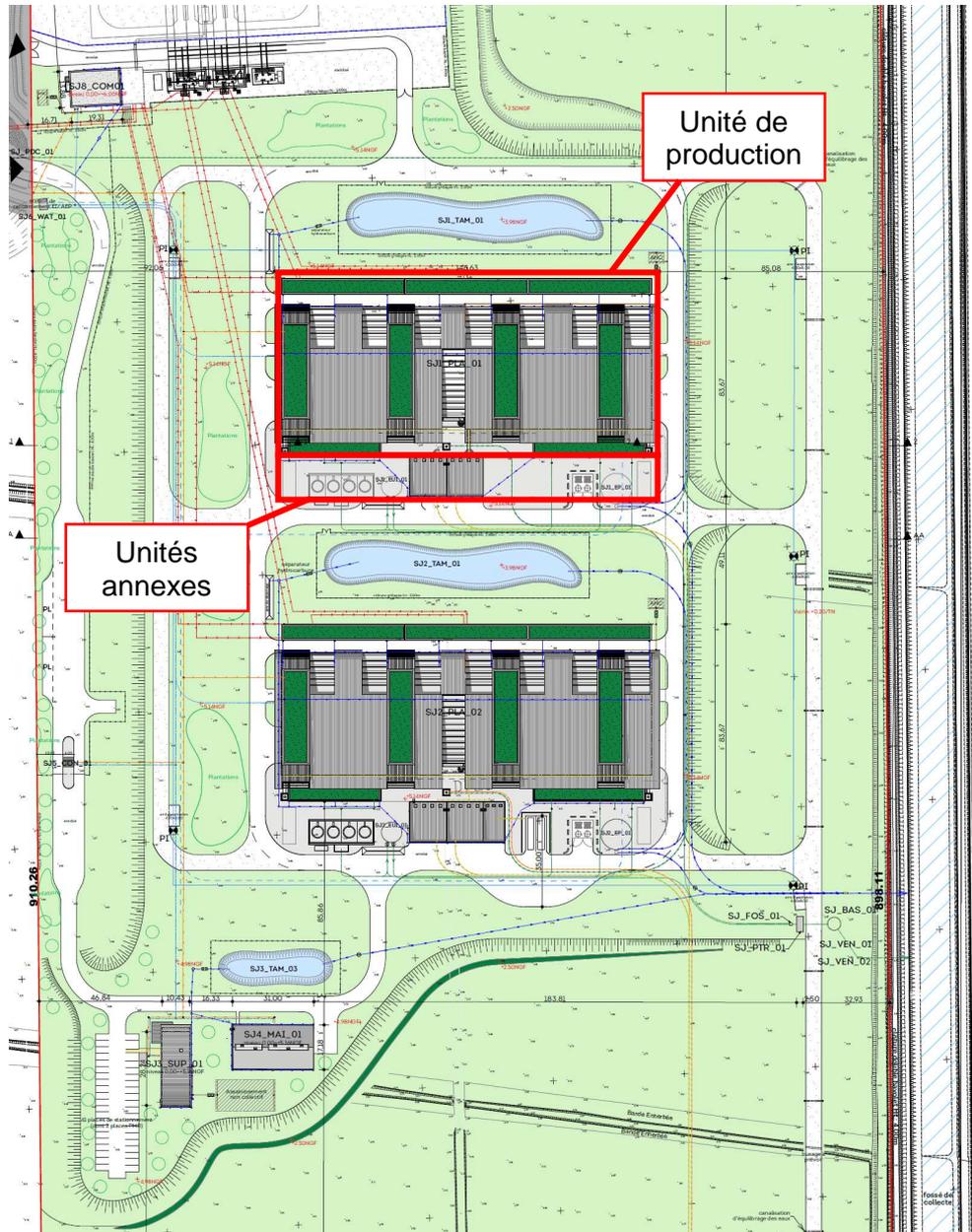
7.2. Résistivité du sol

En l'absence de données précises de l'exploitant nous appliquons la norme NF EN 62 305-2 et donc nous retiendrons la valeur par défaut soit 500 Ω m.

7.3. Détermination des niveaux de protection

7.3.1. Identification des structures à étudier

Le projet présente plusieurs unités et sites de production. Nous étudierons une unité de production et son résultat sera extrapolé à la seconde.



La sous-station électrique, les locaux sociaux, les parkings VL et PL, les bassins de tamponnement des eaux, les poteaux incendies et les voiries ne représentent pas de risque particulier vis-à-vis d'un impact foudre. Ils ne feront donc pas l'objet d'une étude foudre.

7.3.2. Identification des risques dus à la foudre

Nos conclusions vis à vis de la foudre :

Risque d'incendie et d'explosion :

Le zonage ATEX ne dépasse pas le classement Z2 sur site, ce classement est assimilable à un risque d'incendie faible selon la norme NF EN 62305-2. De plus l'ensemble des structures sont métalliques et les 6 points hauts du site (torchères et événements d'oxygène) représentent des points d'impacts privilégiés par la foudre, réduisant fortement le risque d'impact directement sur les unités de protections ou sur les unités annexes.

Risque de pollution de l'environnement :

En l'absence de produit dangereux pour l'environnement en quantité significative et non directement impactable, nous ne retiendrons pas le risque de pollution dans notre analyse.

Risque de panique de personne :

L'effectif sera inférieur à 100 personnes, nous retiendrons donc un risque de panique faible sur le site.

D'autre part :

Situation relative :

Le site est dans un environnement rural. Les unités de production seront considérées comme entourées d'objets plus hauts (torchères et événements d'oxygène)

Moyens d'extinction incendie :

Les moyens d'extinctions sont manuels (extincteurs, RIA).

7.3.3. Caractérisation des unités de production

Description de la structure				
<u>Activité</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Industriel	<input type="checkbox"/> Bureau	<input type="checkbox"/> Autres :	
<u>Dimensions</u> (m)	Longueur : 146	Largeur : 65	Hauteur : 14	
<u>Sol</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Béton	<input type="checkbox"/> Carrelage	<input type="checkbox"/> Lino	<input type="checkbox"/> Autre :
<u>Structure</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Béton	<input checked="" type="checkbox"/> Métallique	<input type="checkbox"/> Bois	<input type="checkbox"/> Autre :

Description des lignes entrantes et sortantes de la structure

Lignes	1	2	
Nom de l'équipement	Courants forts		
HT/BT/CFA	HT		
Nom du bâtiment connecté à cette ligne	Réseau du site		
Longueur de la connexion	500 m (valeur estimée)		
Aérien / Souterrain	Souterrain		

7.3.4. Caractérisation des unités annexes

Description de la structure

<u>Activité</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Industriel	<input type="checkbox"/> Bureau	<input type="checkbox"/> Autres :
<u>Dimensions</u> (m)	Longueur : 146	Largeur : 20	Hauteur : 8 Hmax : 32
<u>Sol</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Béton	<input type="checkbox"/> Carrelage	<input type="checkbox"/> Lino <input type="checkbox"/> Autre :
<u>Structure</u>	<input checked="" type="checkbox"/> Béton	<input checked="" type="checkbox"/> Métallique	<input type="checkbox"/> Bois <input type="checkbox"/> Autre :

Description des lignes entrantes et sortantes de la structure

Lignes	1	2	
Nom de l'équipement	Courants forts		
HT/BT/CFA	BT		
Nom du bâtiment connecté à cette ligne	Réseau du site		
Longueur de la connexion	50 m (valeur estimée)		
Aérien / Souterrain	Souterrain		

7.3.5. Equipements ou fonctions à protéger

Selon les informations fournies, aucun équipement n'est retenu comme EIPS sur ce projet.

7.4. CONCLUSIONS DE L'ANALYSE DU RISQUE Foudre

Les résultats ci-dessous sont applicables aux 2 unités de production N°1 et n°2.

STRUCTURES ETUDIEES SELON LA METHODE PROBABILISTE

Structures	Niveau de Protection Analyse du Risque Foudre EFFETS DIRECTS	Niveau de Protection Analyse du Risque Foudre EFFETS INDIRECTS
Unité de production	Structure ne nécessitant pas de protection	
Unités Annexes	Structure ne nécessitant pas de protection	

STRUCTURES ETUDIEES SELON LA METHODE DETERMINISTE

Les 6 points hauts représentés par les torchères et les événements oxygène sont des points d'impacts privilégiés par la foudre.

Par mesure de sécurité, il sera donc nécessaire de relier ces structures à des prises de terre paratonnerre. Leur structure métallique fera office de capteur et conducteur naturels.

PREVENTION

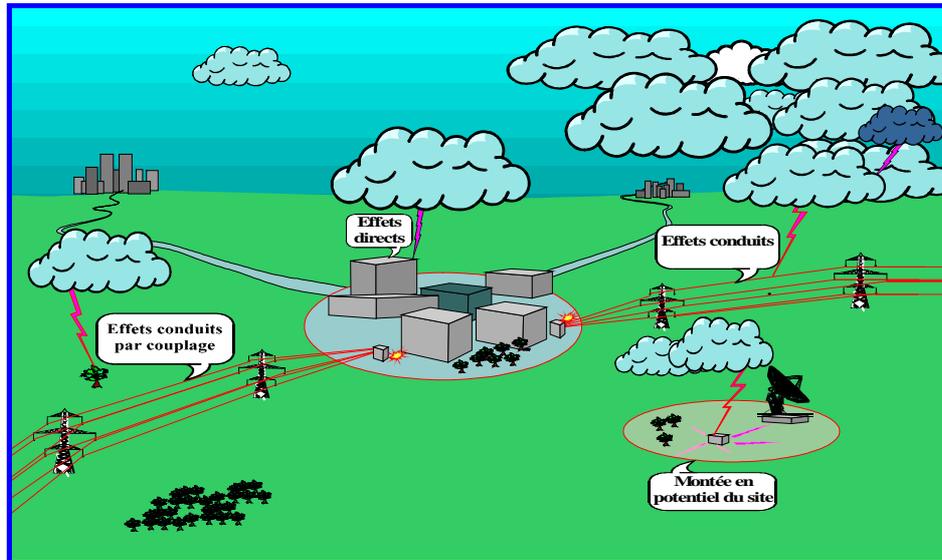
Mise en place d'un système de prévention de situation orageuse à intégrer dans les procédures d'exploitation du site (interdire en période orageuse le travail en toiture des unités, la proximité des installations paratonnerres et l'intervention sur le réseau électrique).

Document joint => Visualisation des risques R1 avec et sans protection (Annexe 1)

Document joint => Compte rendu Analyse de Risque (Annexe 2)

8. ETUDE TECHNIQUE

8.1. Principes de protection : IEPF et IIPF



8.1.1. Les Installations Extérieures de Protection Foudre (I.E.P.F)

Il y a lieu de maîtriser le cheminement d'un éventuel courant de foudre et d'empêcher le foudroiement direct des bâtiments ou structures concernées. Pour le cas où le bâtiment ne bénéficierait pas d'une auto-protection satisfaisante (sur le plan technique et réglementaire), la solution consiste en la mise en place judicieuse d'un système de paratonnerre permettant de capter un éventuel coup de foudre se dirigeant sur les installations.

L'écoulement du courant de foudre doit être alors réalisé par des conducteurs reliant le plus directement possible ce captage à des prises de terre spécifiques. Les prises de terre paratonnerre doivent être reliées de façon équipotentielle au réseau de terre générale du site. Les masses métalliques situées à proximité des conducteurs de descente leur sont reliées en respectant les distances de sécurité indiquées dans les normes françaises NF EN 62305-3 et NF C 17 102, afin de ne générer aucun arc d'amorçage.

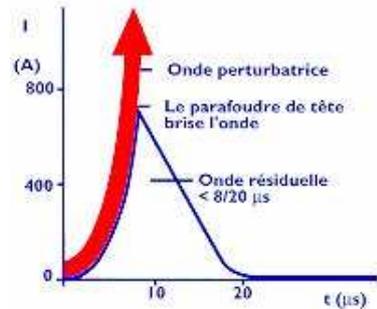
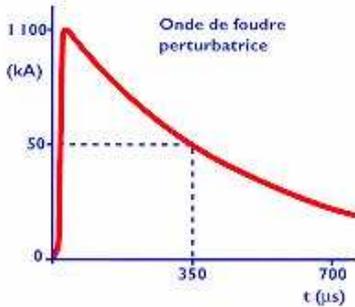
Toutes les parties métalliques doivent être raccordées à une liaison équipotentielle les reliant à la terre pour éviter les décharges électrostatiques et les risques d'amorçage.

8.1.2. Les Installations Intérieures de Protection Foudre (I.I.P.F)

a) Réseau basse tension

Les points de livraison EDF se trouvent au niveau des postes de transformation.

Une protection de tête d'installation, disposée dans les TGBT, permet de briser l'onde de foudre venant du réseau EDF, et de supprimer une grande partie de son énergie.



Cette protection en tête d'installation est obligatoire suivant le texte de la norme NFC 15-100. Ci-dessous la synthèse.

5 RAPPEL DES REGLES DE LA NF C 15-100

Le tableau 1 ci-après reprend les règles de l'article 443 de la norme NF C 15-100 en prenant compte en complément l'indisponibilité de l'installation.

Tableau 1 – Règles de protection

Caractéristiques et alimentation du bâtiment	Densité de foudroiement (N_g) Niveau céramique (N_k)	
	$N_g \leq 2,5$ $N_k \leq 25$ (AQ1)	$N_g > 2,5$ $N_k > 25$ (AQ2)
Bâtiment équipé d'un paratonnerre	Obligatoire ⁽²⁾	Obligatoire ⁽²⁾
Alimentation BT par une ligne entièrement ou partiellement aérienne ⁽³⁾	Non obligatoire ⁽⁴⁾	Obligatoire ⁽⁵⁾
Alimentation BT par une ligne entièrement souterraine	Non obligatoire ⁽⁴⁾	Non obligatoire ⁽⁴⁾
L'indisponibilité de l'installation et/ou des matériels concerne la sécurité des personnes ⁽¹⁾	Selon analyse du risque	Obligatoire

⁽¹⁾ c'est le cas par exemple :

- de certaines installations où une médicalisation à domicile est présente ;
- d'installations comportant des Systèmes de Sécurité Incendie, d'alarmes techniques, d'alarmes sociales, etc.

⁽²⁾ Dans le cas des bâtiments intégrant le poste de transformation, si la prise de terre du neutre du transformateur est confondue avec la prise de terre des masses interconnectée à la prise de terre du paratonnerre (voir annexe G), la mise en œuvre de parafoudres n'est pas obligatoire. Dans le cas d'immeubles équipés de paratonnerre et comportant plusieurs installations privatives, le parafoudre de type 1 ne pouvant être mis en œuvre à l'origine de l'installation est remplacé par des parafoudres de type 2 ($I_n \geq 5$ kA) placés à l'origine de chacune des installations privatives (voir annexe G).

⁽³⁾ Les lignes aériennes constituées de conducteurs isolés avec écran métallique relié à la terre sont à considérer comme équivalentes à des câbles souterrains.

⁽⁴⁾ L'utilisation de parafoudre peut également être nécessaire pour la protection de matériels électriques ou électroniques dont le coût et l'indisponibilité peuvent être critique dans l'installation comme indiqué par l'analyse du risque.

⁽⁵⁾ Toutefois, l'absence d'un parafoudre est admise si elle est justifiée par l'analyse du risque définie en 6.2.2.

Lorsque le parafoudre n'est pas obligatoire, une analyse du risque peut être effectuée qui, si le coût des matériels mis en œuvre et leur indisponibilité sont vitaux dans l'installation, pourra le justifier.

Lorsqu'un parafoudre est mis en œuvre sur le circuit de puissance, il est recommandé d'en installer aussi sur le circuit de communication (voir analyse du risque dans le guide UTE C 15-443).

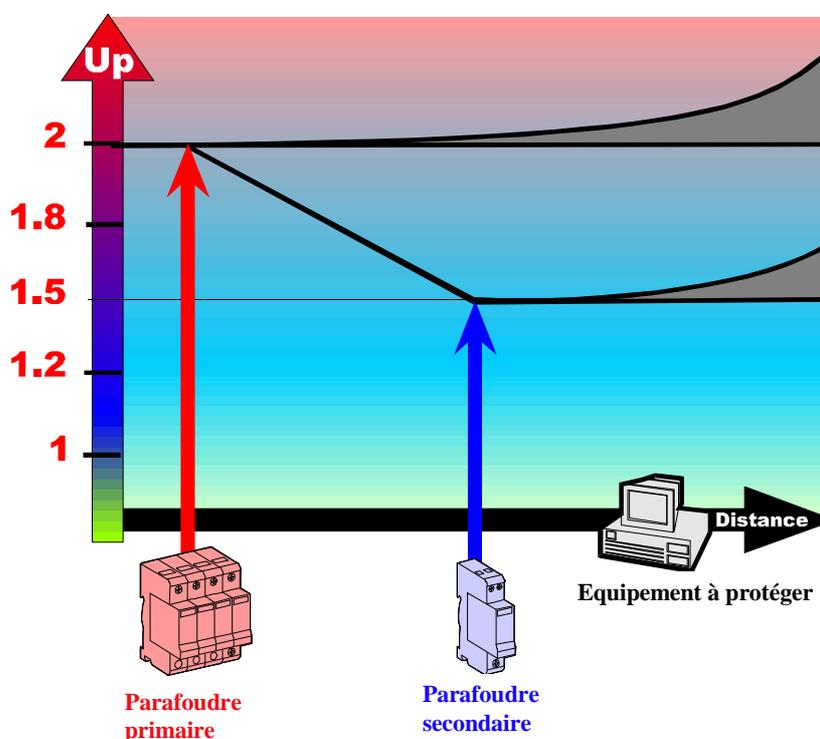
Lorsque des parafoudres sont mis en œuvre dans des réseaux de communication, ils doivent être reliés à la prise de terre des masses de l'installation.

D'autres équipements, jugés particulièrement sensibles ou pour lesquels la perte de continuité de service serait critique (exemple : Ascenseurs, systèmes informatiques et téléphoniques...) peuvent également être protégés par l'intermédiaire d'un second niveau de protection.

Ce second niveau est réalisé par des parafoudres dont la tension résiduelle, très basse, est adaptée à la sensibilité du matériel à protéger.

Ce concept s'appelle la « cascade » de parafoudres.

La « cascade » dans la pratique :



Le choix des parafoudres doit être fait en fonction de leur pouvoir d'écoulement en courant de décharge (facteur retenu pour les parafoudres primaires), de leur tension résiduelle (facteur important pour les parafoudres secondaires), de la tension nominale du réseau (généralement 400V triphasé), et du schéma de distribution du neutre (TN, TT, IT).

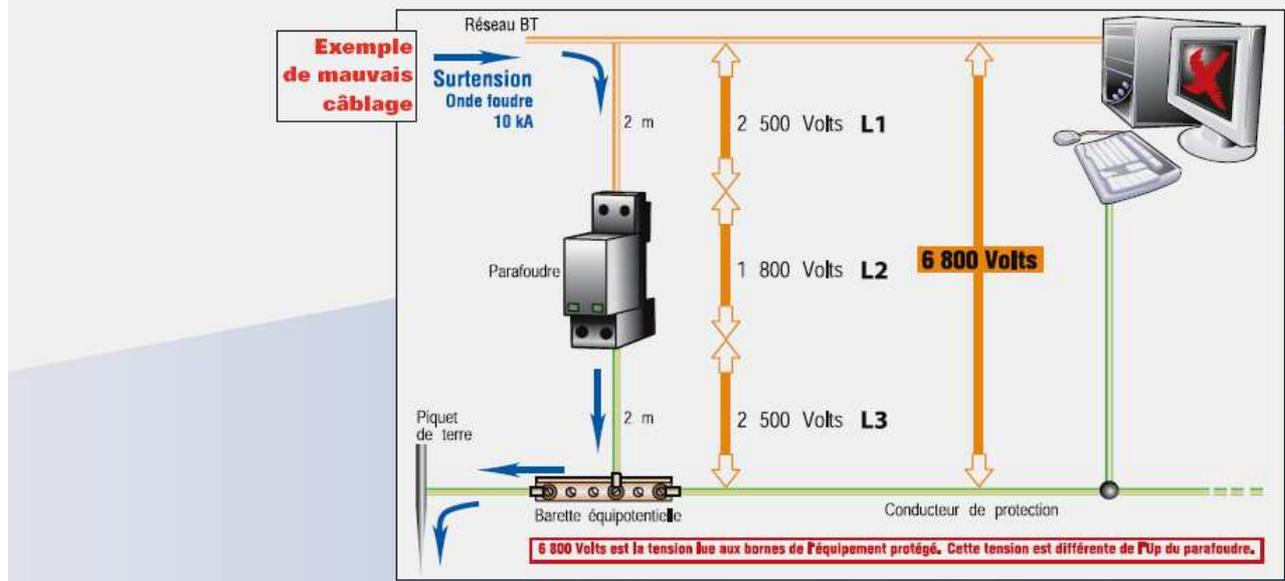
Le choix des sectionneurs fusibles ou disjoncteurs, doit être fait en fonction du type des parafoudres et de leur positionnement dans l'installation, de manière à assurer le pouvoir de coupure en courant de court-circuit (Icc).

La Règle des 50 cm

La longueur cumulée L1 + L2 + L3 doit être inférieure à 50 cm, pour limiter la dégradation du niveau Up du parafoudre.

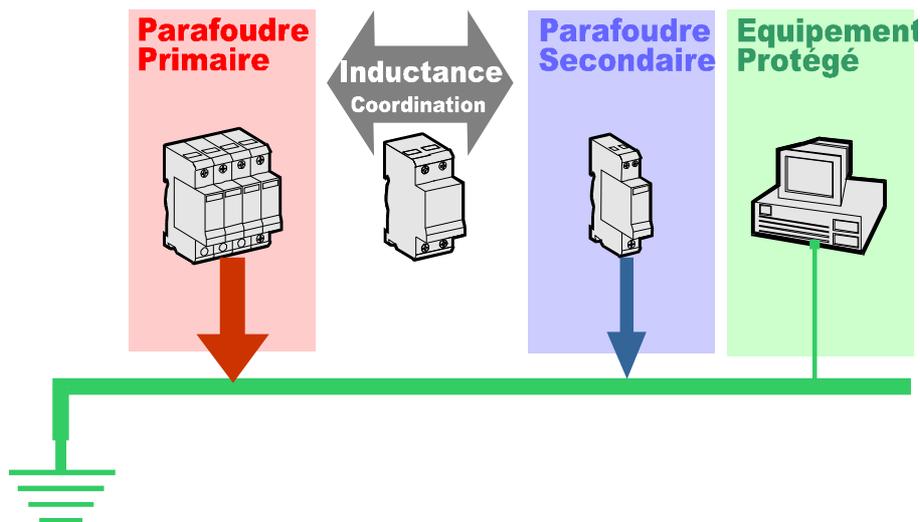
En cas d'impossibilité :

- Réduire cette longueur en déportant les bornes de raccordement.
- Sélectionner un parafoudre avec un Up inférieur (à In égal...).
- Utiliser un montage en coordination.



Une longueur de câble minimum entre les deux étages de protection doit être respectée de manière à assurer le découplage nécessaire au bon fonctionnement de la protection cascade.

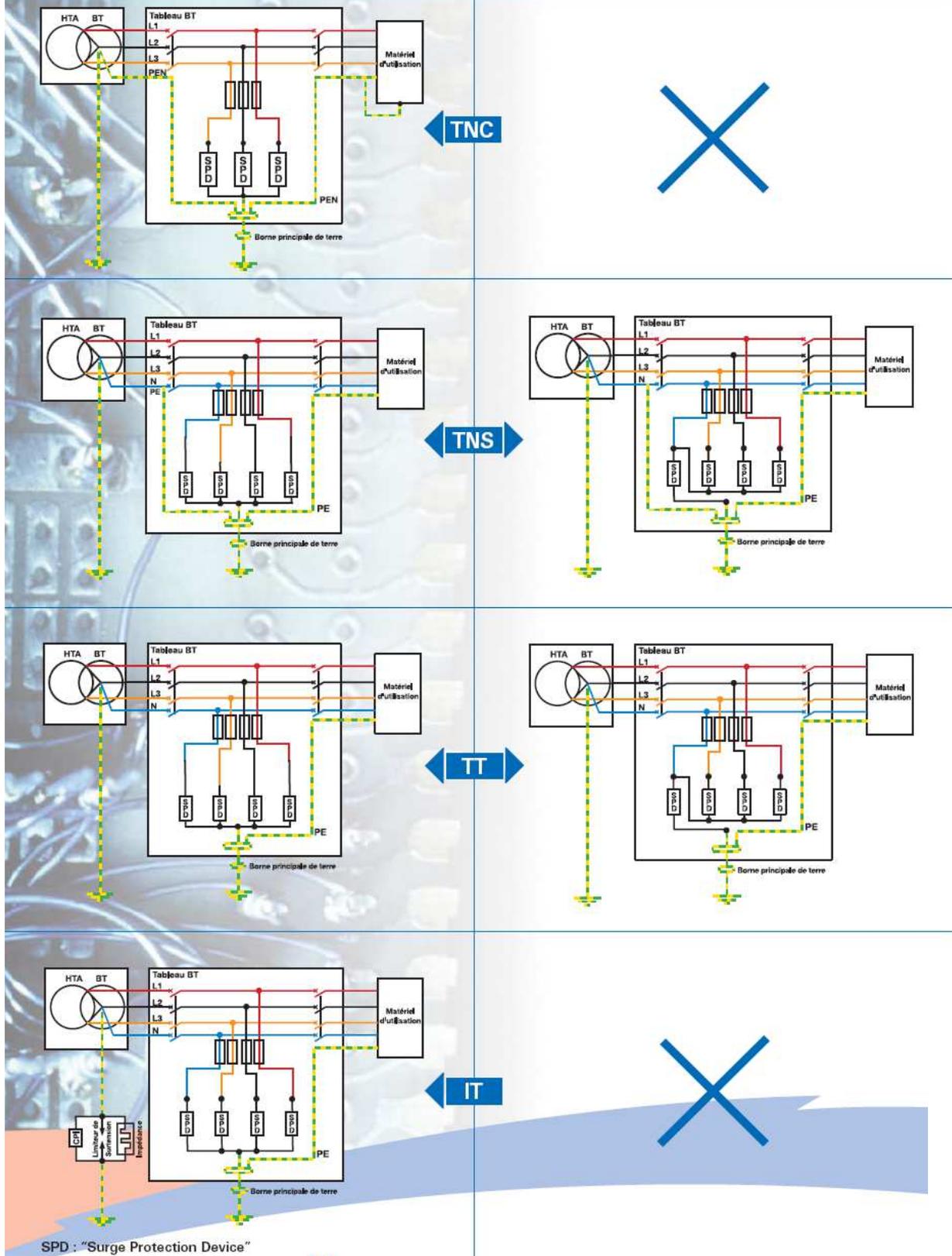
Dans le cas contraire, une inductance de découplage doit être adaptée au courant nominal au point considéré, pour assurer une bonne coordination de l'ensemble.



Configurations possibles suivant le régime de neutre

MODE COMMUN (C1)

MODE COMMUN + DIFFERENTIEL (C2)



8.2. PRECONISATIONS

8.2.1. Protections : Les Installations Extérieures de Protection Foudre (IEPF)

La probabilité de pénétration d'un coup de foudre dans la structure à protéger est considérablement réduite par la présence d'un dispositif de capture convenablement conçu. **Un Système de Protection Foudre (SPF)** est constitué de 3 principaux éléments :

- a) Dispositif de capture,
- b) Conducteur de descente,
- c) Prise de terre.

Nous distinguons :

Les systèmes passifs régis par la norme NF EN 62305-3 :

Cette technique de protection consiste à répartir sur le bâtiment à protéger, des dispositifs de capture à faible rayon de couverture (pour les pointes), des conducteurs de descente et des prises de terre foudre.

Les systèmes actifs régis par la norme NF C 17-102 :

Dans cette technique, le rayon de couverture des dispositifs de capture est amélioré par un dispositif ionisant. Les dispositifs de capture sont appelés Paratonnerres à Dispositif d'Amorçage (PDA). Le rayon de protection d'un PDA dépend de sa hauteur (hm) par rapport à la surface à protéger, de son avance à l'amorçage (ΔL) et du niveau de protection nécessaire. Il est calculé à partir des abaques de la norme NF C 17-102. Un coefficient réducteur de 40 % doit être appliqué pour la protection des installations classées pour la protection de l'environnement soumise à l'arrêté du 4 octobre 2010.

Les dispositifs de capture peuvent être constitués par une combinaison quelconque des composants suivants :

- a) tiges simples (compris les mâts séparés),
- b) fils tendus,
- c) conducteurs maillés,
- d) structures naturelles,
- e) paratonnerres à dispositif d'amorçage,

Les conducteurs de descente peuvent être constitués par une combinaison quelconque des composants suivants :

- a) structures naturelles,
- b) conducteurs normalisés dédiés,

Les torchères et évents oxygène représentent des structures métalliques isolées des bâtiments recevant du personnel et sont suffisamment dimensionnés pour recevoir et conduire un courant de foudre. Nous utiliserons donc leur structure métallique comme capteur et conducteur de descente naturels.

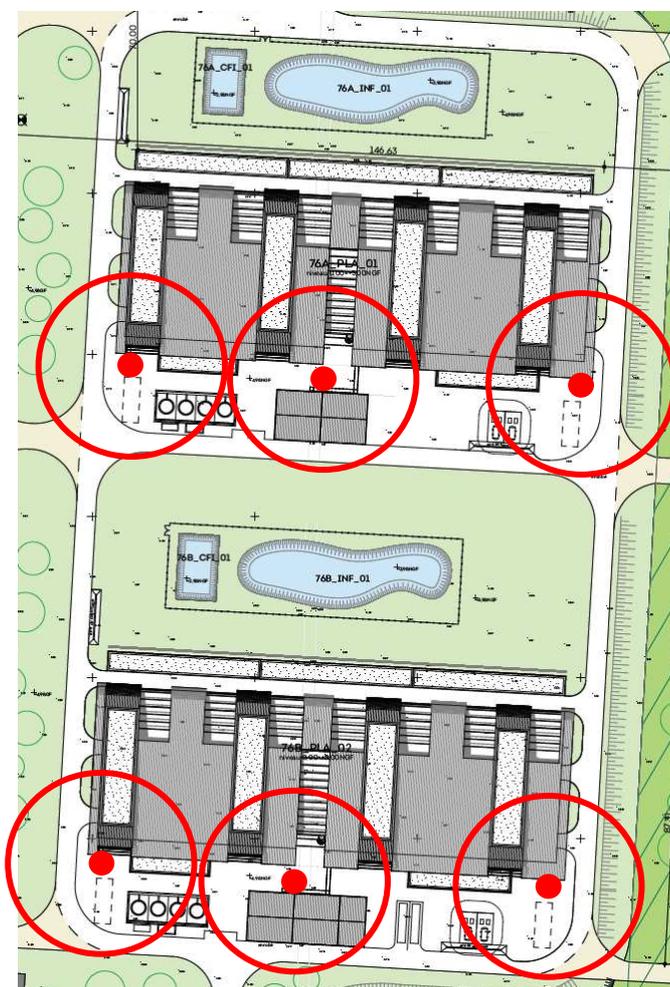
Selon la norme, toute installation doit être équipée de 2 conducteurs de descente minimum dont de préférence un conducteur normalisé dédié, excepté pour les installations isolées de type pylône ou cheminée métallique, une descente normalisée suffit. Nous partons sur cette solution technique naturelle.

Les prises de terre peuvent être constituées par une combinaison quelconque des composants suivants :

- a) prise de terre de type A
- b) prise de terre de type B
- c) structures naturelles

La norme NF EN 62305-3 impose une section de 50 mm² pour le cuivre (ou équivalent pour d'autre matériaux) pour qu'un fond de fouille soit utilisable comme élément dissipateur de foudre. Pour les structures ou équipements équipés de la sorte nous privilégions l'utilisation de ce fond de fouille comme prise de terre paratonnerre de type B. Dans l'autre cas il sera nécessaire d'implanter, au pied des torchères et des événements oxygène, une prise de terre de type A.

Plan d'implantation de la protections foudre



Echelle : 30 m



L'installation PDA doit respecter les points suivants :

- Utilisation de la structure métallique des torchères et des événements oxygène comme capteur naturel.
- Utilisation de la structure métallique des torchères et des événements oxygène comme conducteur de descente naturel.
- La distance de séparation pour cette installation est nulle (installation sur surface métallique).
- En partie basse des descentes, mise en place de :
 - Un regard de visite ou un étrier au niveau du sol pour l'accès au raccordement
 - Un compteur de coups de foudre
 - Une affichette d'avertissement de la présence d'une installation paratonnerre
- Il sera nécessaire d'implanter au pied de chaque structure une prise de terre de type A ou B.
- Réalisation d'une liaison équipotentielle entre les prises de terre paratonnerres et la terre générale BT du site par un système permettant la déconnexion (si prise de terre de type A).

8.2.2. Protections : Les Installations Intérieures de Protection Foudre (IIPF)

8.2.2.1. Rappel Général

DIMENSIONNEMENT DES PARAFOUDRES DE TYPE 1

Selon la NF EN 62305-1 de juin 2006, les caractéristiques des parafoudres sont issues du niveau de protection préalablement calculé selon la norme NF EN 62305-2 de novembre 2006.

1. ECOULEMENT DU COURANT DE Foudre

L'annexe E de la NF EN 62305-1 précise que lorsque le courant de foudre I s'écoule à la terre, il se divise entre :

- ❖ les différentes prises de terre (50% de I),
- ❖ et les éléments conducteurs et les lignes extérieures à hauteur d'une valeur I_f (50% de I),

Référence page 62 et 63 de la NF EN 62305-1, annexe E :

E.1 Chocs dus à des impacts sur la structure (source de dommage S1)

E.1.1 Ecoulement dans les éléments conducteurs extérieurs et les lignes connectées à la structure

Lorsque le courant de foudre s'écoule à la terre, il se divise entre les diverses prises de terre, les éléments conducteurs et les réseaux pénétrant dans la structure directement ou par des parafoudres.

$$\text{Si} \quad I_f = k_e I \quad (\text{E.1})$$

En supposant en première approximation que la moitié du courant de foudre s'écoule à la terre et que $Z_2 = Z_1$, la valeur de k_e peut être évaluée pour un élément conducteur extérieur par :

$$k_e = 0,5 / (n_1 + n_2) \quad (\text{E.4})$$

2. DIMENSIONNEMENT DES PARAFOUDRES

Les parafoudres protégeant les lignes extérieures doivent avoir une tenue en courant compatible avec les valeurs maximales de la partie du courant de foudre qui va s'écouler à travers ces lignes.

Ce courant ne dépassera pas la moitié du courant crête du coup de foudre, défini selon les niveaux de protection dans le tableau 5 page 23 de la NF EN 62 305-1

Tableau 5 – Valeurs maximales des paramètres de foudre correspondant aux niveaux de protection contre la foudre

Premier choc court			Niveau de protection			
Paramètres du courant	Symbole	Unité	I	II	III	IV
Courant crête	I	kA	200	150	100	

Soit 50% de I

100

75

50

3. GUIDE DE CHOIX

Le courant impulsionnel I_{imp} des modules parafoudres doit être supérieur ou égal à la valeur donnée par les formules ci-dessous en fonction du niveau de protection défini pour le bâtiment:

$$Np=I : I_{imp} \geq 100/(n1+n2)$$

$$Np=II : I_{imp} \geq 75/(n1+n2)$$

$$Np=III et IV : I_{imp} \geq 50/(n1+n2)$$

$n1$ = nombre total des éléments conducteurs extérieurs ou lignes extérieures enterrées

$n2$ = nombre total des éléments conducteurs extérieurs ou lignes extérieures aériennes

Rappel 1 :

$n1$ et $n2$ doivent tenir compte :

- du nombre de lignes de l'alimentation électrique extérieure du bâtiment (donc selon régime du neutre, de leur nombre de fils respectifs)
- des éventuelles autres lignes extérieures (telles que les alimentations d'éclairages extérieurs)
- des éventuels autres éléments extérieurs conducteurs (tels que canalisations métalliques, eau, gaz...)

Concernant le a), les valeurs de $n1$ et $n2$, en fonction du régime de neutre de la ligne d'alimentation électrique, sont les suivantes :

	Nombre de fils par ligne	Niveau de Protection			
		I	II	III	IV
		I_{imp} mini du parafoudre (en kA), sans prise en compte d'autres lignes ou éléments conducteurs			
IT avec neutre (Tri + neutre)	4	25	18.8	12.5	
IT sans neutre (Tri)	3	33.3	25	16.7	
TNC	3	33.3	25	16.7	
TNS (Tri + neutre)	4	25	18.8	12.5	
TNS (Mono)	2	50	37.5	25	
TT (Tri + neutre)	4	25	18.8	12.5	
TT (Mono)	2	50	37.5	25	

ATTENTION :

Une longueur de câble minimum entre les deux étages de protection (parafoudres de type I et de type II) doit être respectée de manière à assurer le découplage nécessaire au bon fonctionnement de la protection cascade.

Dans le cas contraire, une inductance de découplage doit être adaptée au courant nominal au point considéré, pour assurer une bonne coordination de l'ensemble.

Rappel 2 : Ces parafoudres sont installés selon les recommandations du guide UTE 15-443.

A noter :

Selon le guide UTE C 15-443 page 30 § 8.2 les règles à respecter sont les suivantes :

Règle 1 : Respecter la longueur L ($L_1+L_2+L_3$) < 0,50 m (7.4.2 et annexe H) en utilisant des borniers de raccordement intermédiaires si nécessaire.

Règle 2 : Réduire la surface de boucle générée par le montage des câbles phases, neutre et PE en les regroupant ensemble d'un même côté du tableau.

Règle 3 : Séparer les câbles d'arrivée (en provenance du réseau) et les câbles de départ (vers l'installation) pour éviter de mélanger les câbles perturbés et les câbles protégés. Ces câbles ne doivent pas non-plus traverser la boucle (règle 2).

Règle 4 : Plaquer les câbles contre la structure métallique du tableau lorsqu'elle existe afin de minimiser la boucle de masse et de bénéficier de l'effet réducteur des perturbations.

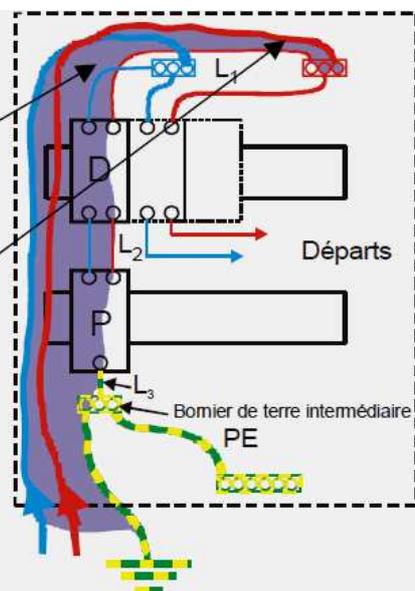


Figure 10 – Exemple de câblage dans un tableau électrique

Rappel 3 :

Les parafoudres sont équipés d'un contact. Cette fonction pourra autoriser le contrôle à distance de l'état du parafoudre via différents moyens tels que :

- Voyant,
- Buzzer,
- Reliés à une carte entrée sortie d'un automate (GTC...),
- Télésurveillance...

Les parafoudres devront être conformes à la NF EN 61643-11 et à la NF EN 61643-21.

8.2.2.2. Parafoudres de type I+II

Par mesure de sécurité pour la continuité de service du réseau électrique, nous préconisons d'installer des parafoudres de type I+II sur le(s) TGBT(S) du site.

Calcul du courant I_{imp} :

Le régime de neutre est le régime TN.

Nous prenons en compte les lignes entrantes et sortantes (à minima 2 lignes dont 1 électrique entrante et 1 électrique sortante) et le niveau de protection IV retenu pour ce calcul.

Soit n, le nombre de réseau à minima (2 lignes)

Soit m, le nombre de conducteurs de la ligne électrique ou sera placé le parafoudre (3 pôles minimum)

I_{imp} = courant de crête selon $N_p/(n \times m) = 50/6 = 8,33$ kA. La norme impose une valeur minimale $I_{imp} \geq 12,5$ kA.

Les parafoudres de type I+II auront les caractéristiques suivantes (*) :

- Une tension maximum de fonctionnement de **$U_c \geq 253$ ou $400V$** ,
- Un courant maximal de décharge (**$I_{imp} \geq 12.5$ kA**) (en onde 10/350 μs),
- Un niveau de protection (tension résiduelle sous I_n) **$U_p \leq 2.5$ kV**,
- Un courant nominal de décharge (en onde 8/20) **$I_n \geq 5$ kA**,
- Corrélation du parafoudre avec l'Icc de l'équipement (à définir et à valider par l'exploitant),
- Ils seront obligatoirement accompagnés d'un dispositif de déconnexion,
- Respect de la longueur totale de câblage de 50 cm.

(*) Les parafoudres devront être conformes à la NF EN 61643-11 et à la NF EN 61643-21.

Pour information, vous trouverez ci-après le document « processus de choix et installation des déconnecteurs des parafoudres de type 1 » établi selon la note Inéris du 17/12/13.

La tenue du Dispositif de Protection contre les Surtensions de l'installation (DPSI) en onde 10/350, n'est généralement pas connue du fabricant. Aussi le cas idéal de choix est le suivant :

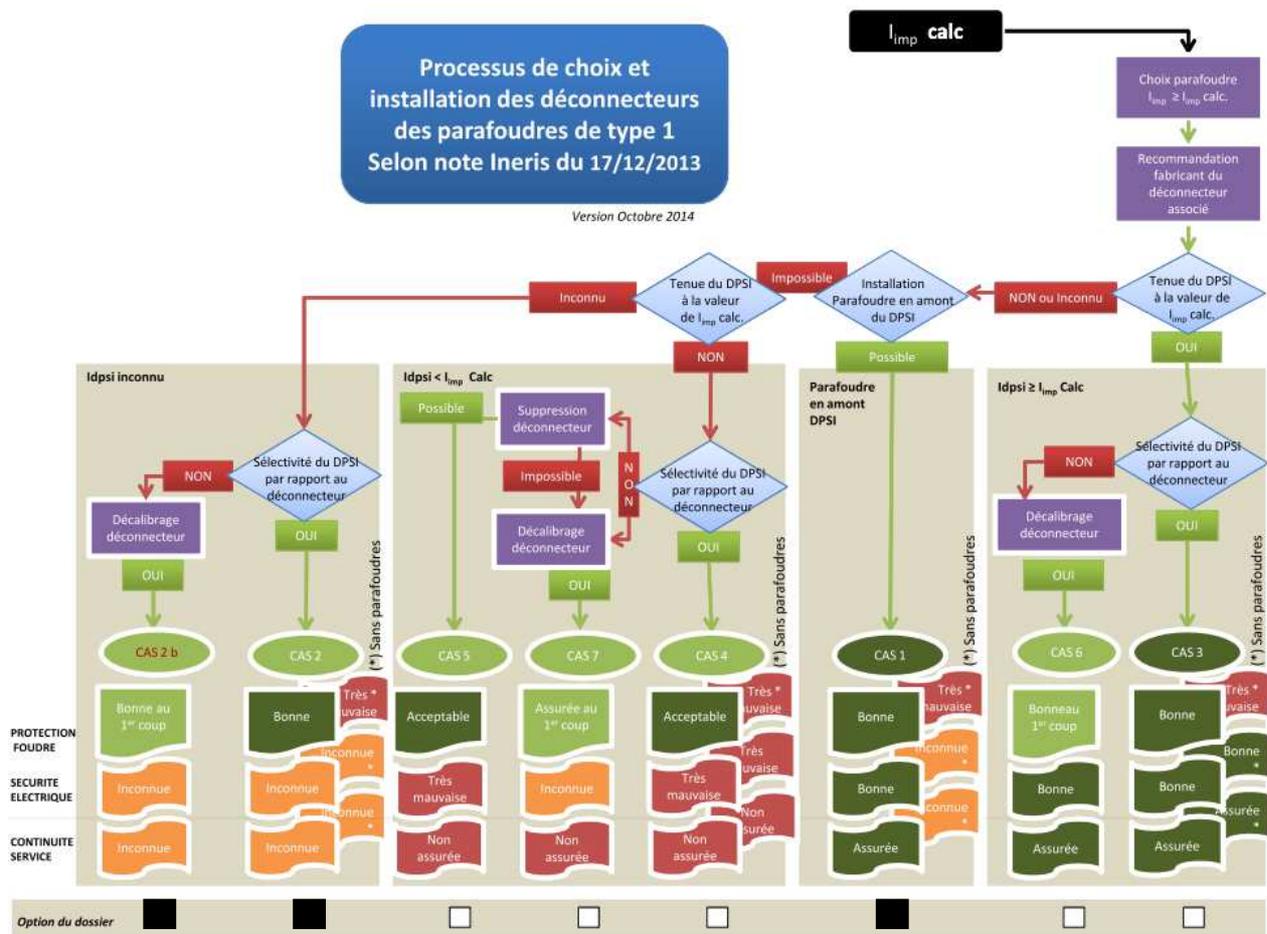
Cas 1 : Installation des parafoudres en amont du DPSI. (Cf. document). Dans ce cas la protection foudre, la sécurité électrique, et la continuité de service sont assurées.

Pour autant l'installation des parafoudres peut être difficile, contraignante à réaliser : obligation d'intervention sous tension ou coupure du poste d'alimentation...

Si le cas 1 ne s'avère pas réalisable, le cas 2 doit être envisagé, avec une inconnue qui subsiste sur le comportement du DPSI en cas de surtension vis-à-vis des critères de sécurité électrique et de continuité de service (étant donné sa présence en amont du parafoudre et son déconnecteur).

Cette inconnue existait déjà avant l'implantation de parafoudres dans l'installation électrique.

Cas 2 ou cas 2 b (Cf. document). Dans ce cas, la protection foudre est assurée, la sécurité électrique et la continuité de service sont inconnues.



8.3. Equipotentialité

Afin de maîtriser les différences de potentiel, il faut optimiser l'équipotentialité et le maillage des masses. L'exploitant devra notamment s'assurer que l'ensemble des masses métalliques sont au même potentiel que le réseau de terre électrique. Les liaisons à la terre électrique générale devront être validées (lors des vérifications électriques par exemple).

Pour information :

Différents moyens peuvent réduire l'amplitude des effets des champs magnétiques rayonnés. (surtensions induites) :

- l'écran spatial : cage de Faraday, tôles métalliques(bardages)
- l'écran métallique en grille ou continu : blindage et écrans de câbles, chemins de câbles métallique.
- l'utilisation de « composants naturels » de la structure elle-même (cf. NF EN 62305-3).

Un cheminement des lignes internes conforme aux normes CEM quant à lui minimise les boucles d'induction et réduit les surtensions internes. (règles de séparations des circuits HT, BT, TBT).

Document joint => Equipotentialité (Annexe 3)

8.4. Qualification des entreprises travaux

La qualité de l'installation des systèmes de protection contre la foudre est un élément primordial pour s'assurer de leur efficacité.

La mise en œuvre des préconisations effectuées précédemment devra ainsi être réalisée par une société qualifiée pour cela.

Aussi, les travaux devront être effectués par un professionnel agréé 

L'entreprise devra fournir son attestation **QUALIFOUDRE** à la remise de son offre.

9. CONTRÔLE PERIODIQUE

9.1. Vérification initiale

Tout d'abord, l'article 21 de l'arrêté foudre du 19 juillet 2011 exige que :

«L'installation des protections fait l'objet d'une vérification complète par un organisme compétent distinct de l'installateur, au plus tard six mois après leur installation. »

9.2. Vérifications périodiques

La circulaire du 24 avril 2008 stipule que l'installation de protection foudre doit être contrôlée par un organisme compétent :

- Visuellement tous les ans (hors mesures électriques),
- Complètement tous les 2 ans (avec mesures électriques),
- Sous un mois si impact foudre.

D'autre part, quel que soit le système de protection contre les coups de foudre direct installé, une vérification visuelle doit être réalisée en cas d'enregistrement d'un coup de foudre.

L'article 21 de l'arrêté précise qu' :

« En cas de coup de foudre enregistré, une vérification visuelle des dispositifs de protection concernés est réalisée dans un délai maximum d'un mois, par un organisme compétent. »

8.2 Inspection d'un SMPI

L'inspection comprend la vérification de la documentation technique, les vérifications visuelles et les mesures d'essai. Les objectifs d'une inspection sont de vérifier que

- le SMPI est conforme à sa conception;
- le SMPI est apte à sa fonction;
- toute nouvelle mesure de protection est intégrée de manière correcte dans le SMPI.

Les inspections doivent être effectuées

- lors de l'installation du SMPI,
- après l'installation du SMPI,
- périodiquement,
- après toute détérioration de composants du SMPI,
- si possible après un coup de foudre sur la structure (identifié par exemple par un compteur de foudre ou par un témoin ou encore si une évidence visuelle est constatée sur un dommage de la structure).

La fréquence des inspections périodiques doit être fixée selon les considérations suivantes:

- l'environnement local, tel que le sol ou l'atmosphère corrosive;
- le type des mesures de protection utilisées.

8.2.1 Procédure d'inspection

8.2.1.1 Vérification de la documentation technique

Après l'installation d'un nouveau SMPI la documentation technique doit être vérifiée pour contrôler sa conformité avec les normes appropriées, et constater l'achèvement du système. Par suite, la documentation technique doit être mise à jour d'une façon régulière, par exemple après détérioration ou extension du SMPI.

8.2.1.2 Inspection visuelle

Une inspection visuelle doit être réalisée pour vérifier que

- les connexions sont serrées et qu'aucune rupture de conducteur ou de jonction n'existe,
- aucune partie du système est fragilisée par la corrosion, particulièrement au niveau du sol,
- les conducteurs de mise à la terre et les écrans de câbles sont intacts,
- il n'existe pas d'ajouts ou de modifications nécessitant une protection complémentaire,
- il n'y a pas de dommages de parafoudres et de leur fusible,
- le cheminement des câbles est maintenu,
- les distances de sécurité aux écrans spatiaux sont maintenues.

8.2.1.3 Mesures

Pour les parties des mises à la terre et des équipotentialités non visibles lors de l'inspection, il convient que des mesures de continuité soient effectuées.

8.2.2 Documentation pour l'inspection

Il convient de préparer un guide d'inspection pour la rendre plus facile. Il est recommandé que le guide contienne suffisamment d'informations pour aider l'inspecteur dans sa tâche, de manière qu'il puisse documenter tous les aspects de l'installation et des composants, les méthodes d'essai et l'enregistrement des résultats d'essais.

L'inspecteur doit préparer un rapport devant être annexé au rapport de conception et aux précédents rapports d'inspection. Le rapport d'inspection doit comporter au moins les informations relatives à:

- l'état général du SMPI ,
- toute(s) déviation(s) par rapport aux exigences de conception;
- les résultats des essais effectués.

8.3 Maintenance

Après l'inspection, tout défaut relevé doit être réparé sans délai et si nécessaire, la documentation technique doit être mise à jour.

Document joint => Carnet de bord Qualifoudre (Annexe 4)

Document joint => Notice de vérification et de maintenance (Fin du document)

10. LA PROTECTION DES PERSONNES

10.1. Détection, enregistrement et mesures de sécurité

10.1.1. La détection d'orage et l'enregistrement

Actuellement aucun système d'alerte orageuse n'est en place sur le site. La détection du risque orageux se fera par observation humaine. Selon le guide UTE C 18-150, il y a menace d'orage quand un éclair est visible ou si le tonnerre est audible.

De plus, les agressions sur le site doivent être enregistrées. Les installations paratonnerres seront munies de compteur d'impact. L'activité orageuse sera donc enregistrée.

10.1.2. Les mesures de sécurité

Le danger est effectif lorsque l'orage est proche et, par conséquent, la sécurité des personnes en période d'orage doit être garantie. Les personnels doivent être informés du risque consécutif soit à un foudroiement direct, soit à un foudroiement rapproché.

Par exemple :

- un homme sur une toiture représente un pôle d'attraction,



- lorsque le terrain est dégagé à environ 15 mètres du bâtiment ou d'un pylône d'éclairage par exemple, il y a risque de foudroiement direct ou risque de choc électrique par tension de pas,
- toute intervention sur un réseau électrique (même un réseau de capteurs) présente des risques importants de choc électrique par surtensions induites,



- Toutes activités dangereuses (dépotage, remplissage, travaux extérieurs ...) doivent être interrompues.

- Pas de présence de personne à proximité du pylône paratonnerre.



Les formations, les procédures, les instructions lors des permis de feu ou de travail doivent par conséquent informer ou rappeler ce risque.

10.2. Tension de contact et de pas

10.2.1. Tension de contact

Il s'agit du contact direct d'une personne avec un conducteur actif.

10.2.2. Tension de pas

La foudre est dangereuse non seulement parce qu'elle risque de tomber directement sur un individu ou une installation, mais aussi parce que, lorsqu'elle tombe au voisinage d'une personne celle-ci peut être électrisée par la tension de pas que la foudre engendre. La tension de pas existe aussi lorsqu'un conducteur sous tension est tombé à terre. Elle est liée au fait qu'une source de courant crée en un point d'impact est responsable d'un champ électrique au sol, donc d'une tension, qui varie en fonction de la distance à la source : entre deux points différents en contact avec le sol, séparés d'une distance appelée pas, existe donc une différence de potentiel, ou tension de pas, d'autant plus élevée que le pas est important. Lors d'un foudroiement la tension de pas peut atteindre plusieurs milliers de volts et donc être dangereuse pour le corps humain par suite du courant électrique dont il devient le siège.

Un panneau « Danger ! Ne pas toucher la descente lors d'orages » et/ou un panneau « homme foudroyé par un arc » (cf. modèle ci-dessous) peuvent être utilisés comme moyens d'avertissement.



Nous imposons la mise en place de ces dispositions en partie basse de la descente paratonnerre car la probabilité que des personnes se trouvent à proximité de celle-ci en période orageuse n'est pas nulle.

11. ANNEXES

Annexe 1 => Visualisation des risques R1 avec et sans protection

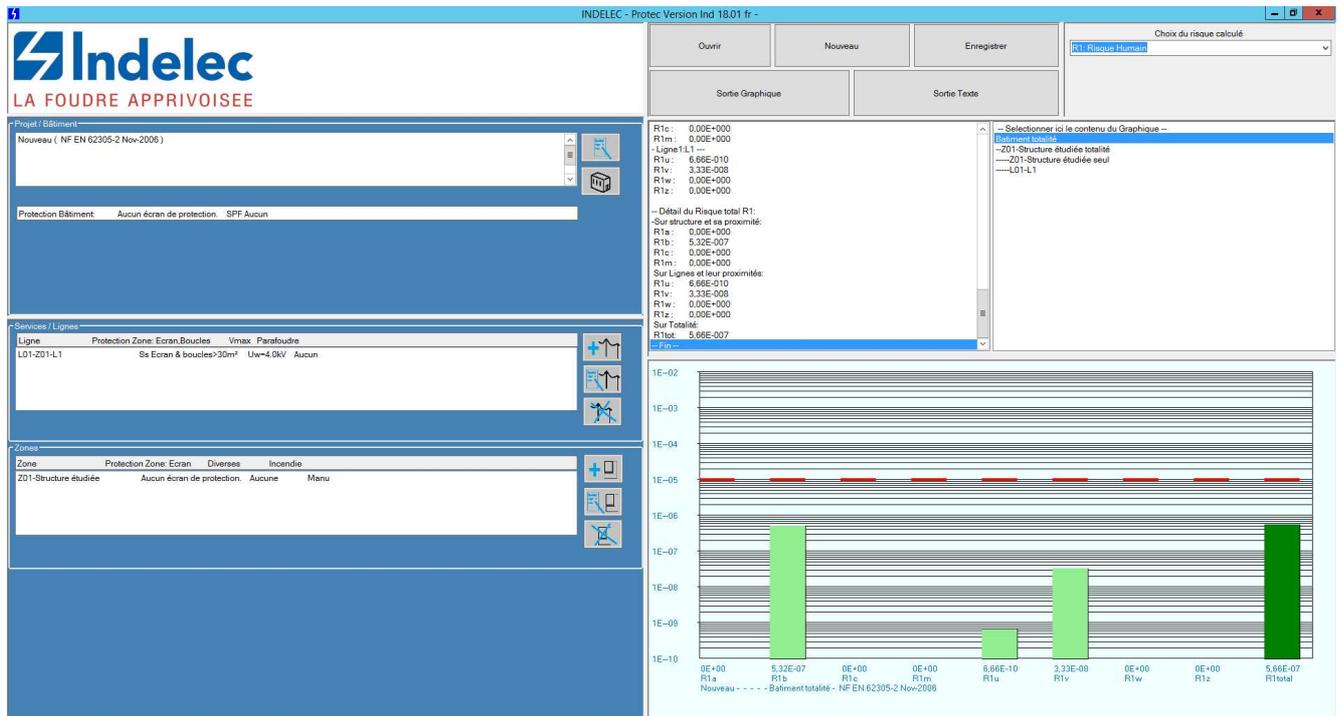
Annexe 2 => Compte rendu Analyse de Risque

Annexe 3 => Equipotentialité

Annexe 4 => Carnet de Bord Qualifoudre

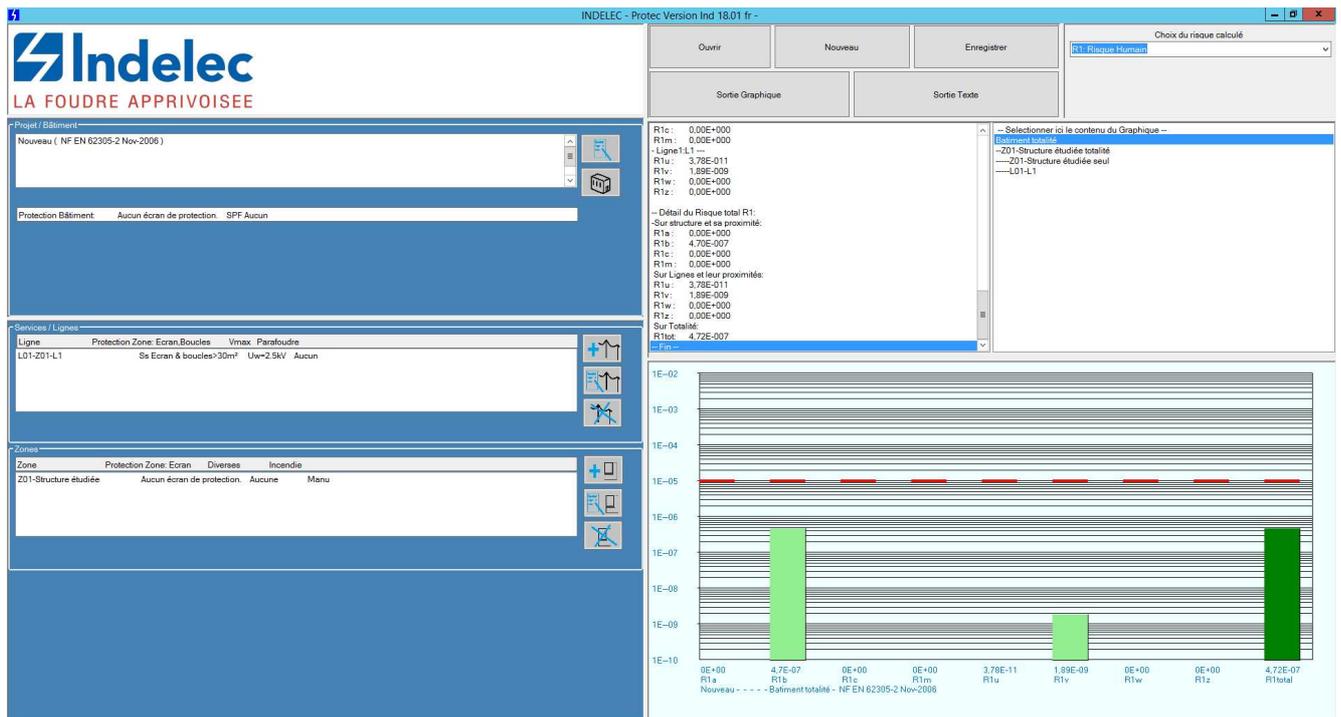
11.1. Annexe 1 => Visualisation des risques R1 avec et sans protection

Risque de Perte de Vie Humaine R1 : Unité de production



Résultat de l'Analyse de Risque Foudre : Sans protection

Risque de Perte de Vie Humaine R1 : Unités Annexes



Résultat de l'Analyse de Risque Foudre : Sans protection

11.2. Annexe 2 => Compte rendu Analyse de Risque



ÉVALUATION DES RISQUES

Unité de production

INDELEC - Protec Version Ind 18.01 fr - Nouveau (NF EN 62305-2 Nov-2006)

Associations Zones-Lignes:

Batiment totalité

--Z01-Structure étudiée totalité

-----Z01-Structure étudiée seul

-----L01-L1

--- Liste des Mesures de protections: ---

Bâtiment entier:

Protection Bâtiment: Aucun écran de protection. SPF Aucun

Lignes:

Ligne Protection Zone: Ecran,Boucles Vmax Parafoudre

L01-Z01-L1 Ss Ecran & boucles>30m² Uw=4.0kV Aucun

Zones:

Zone Protection Zone: Ecran Diverses Incendie

Z01-Structure étudiée Aucun écran de protection. Aucune Manu

Paramètres-Calculs-Résultats:

Nouveau (NF EN 62305-2 Nov-2006)

- Caractéristiques & Coeffs Batiment -

Ng: 01,30 Dept:76-Seine Maritime

L=146, l=65, H=14, Hmax=0

Cdb: 2,50E-001

Nbr de personnes: Calcul par défaut

Adb: 3,28E+004

Amb: 3,11E+005

Ndb: 1,06E-002

Nmb: 3,94E-001

Ks1: 1,00E+000

Pb : 1,00E+000

NPF: Aucun

- Caractéristiques & Coeffs Ligne1:L1 ---

Cil: 0,50 - Enterré, L=500, Ro=500

Cdl: 0,25 - Entouré d'objets plus hauts ou d'arbres.

Ctl: 0,20 - Avec transformateur à deux enroulements

Cel: 1,00 - Rural

Pas de structure Adjacente.

Ada: 0,00E+000

Al : 1,02E+004

Ai : 2,80E+005

Nda: 0,00E+000

NI : 6,66E-004

Ni : 7,27E-002

Service/Ligne sans blindage

- Caractéristiques et Coeffs Zone1:Structure étudiée ---

Nb Personnes: Calcul par défaut

Type de zone: Industriel et commercial.

Danger particulier: Faible niveau panique (<2 étages et <100 personnes).

Héritage Culturel: Aucune perte d'héritage culturel.

Risque Service Public: Aucun

Risque Incendie: Faible

Type de Sol: Agricole, béton (Rc d 1k©)

Hz : 2,00E+000

Ks2: 1,00E+000

rf : 1,00E-003

rp : 5,00E-001

rt,ra,ru : 1,00E-002

hc : 0,00E+000

Lt1: 1,00E-004

Lf1: 5,00E-002

Lo1: 0,00E+000

pta: 1,00E+000

Pa : 1,00E+000

Pb : 1,00E+000

- Zone1 Ligne1:L1 ---

Ks3: 1,00E+000

Ks4: 3,75E-001

Pld: 1,00E+000

Pli: 2,00E-001

Uw : 4,00E+000

spd-Pc: 1,00E+000

pms-Pm: 9,90E-001

Pu : 1,00E+000

Pv : 1,00E+000

Pw : 1,00E+000

Pz : 2,00E-001

- Cumul Pc et Pm pour Zone1:Structure étudiée ---

Pc : 1,00E+000

Pm : 9,90E-001

Détail du Risque par zone

- Risque Zone1:Structure étudiée ---

- Zone:Structure étudiée ---

R1a : 0,00E+000

R1b : 5,32E-007

R1c : 0,00E+000

R1m : 0,00E+000

- Ligne1:L1 ---

R1u : 6,66E-010
R1v : 3,33E-008
R1w : 0,00E+000
R1z : 0,00E+000

-- Détail du Risque total R1:

-Sur structure et sa proximité:

R1a : 0,00E+000

R1b : 5,32E-007

R1c : 0,00E+000

R1m : 0,00E+000

Sur Lignes et leur proximités:

R1u : 6,66E-010

R1v : 3,33E-008

R1w : 0,00E+000

R1z : 0,00E+000

Sur Totalité:

R1tot: 5,66E-007

-- Fin --

Unités Annexes

INDELEC - Protec Version Ind 18.01 fr - Nouveau (NF EN 62305-2 Nov-2006)

Associations Zones-Lignes:

Batiment totalité

--Z01-Structure étudiée totalité

----Z01-Structure étudiée seul

----L01-L1

--- Liste des Mesures de protections: ---

Bâtiment entier:

Protection Bâtiment: Aucun écran de protection. SPF Aucun

Lignes:

Ligne Protection Zone: Ecran,Boucles Vmax Parafoudre

L01-Z01-L1 Ss Ecran & boucles>30m² Uw=2.5kV Aucun

Zones:

Zone Protection Zone: Ecran Diverses Incendie

Z01-Structure étudiée Aucun écran de protection. Aucune Manu

Paramètres-Calculs-Résultats:

Nouveau (NF EN 62305-2 Nov-2006)

- Caractéristiques & Coeffs Batiment -

Ng: 01,30 Dept:76-Seine Maritime

L=146, l=20, H=8, Hmax=32

Cdb: 2,50E-001

Nbr de personnes: Calcul par défaut

Adb: 2,90E+004

Amb: 2,82E+005

Ndb: 9,41E-003

Nmb: 3,58E-001

Ks1: 1,00E+000

Pb : 1,00E+000

NPF: Aucun

- Caractéristiques & Coeffs Ligne1:L1 ---

Cil: 0,50 - Enterré, L=50, Ro=500

Cdl: 0,25 - Entouré d'objets plus hauts ou d'arbres.

Ctl: 0,20 - Avec transformateur à deux enroulements

Cel: 1,00 - Rural

Pas de structure Adjacente.

Ada: 0,00E+000

Al : 5,81E+002

Ai : 2,80E+004

Nda: 0,00E+000

NI : 3,78E-005

Ni : 7,27E-003

Service/Ligne sans blindage

- Caractéristiques et Coeffs Zone1:Structure étudiée ---

Nb Personnes: Calcul par défaut

Type de zone: Industriel et commercial.
 Danger particulier: Faible niveau panique (<2 étages et <100 personnes).
 Héritage Culturel: Aucune perte d'héritage culturel.
 Risque Service Public: Aucun
 Risque Incendie: Faible
 Type de Sol: Agricole, béton (Rc d 1k©)
 Hz : 2,00E+000
 Ks2: 1,00E+000
 rf : 1,00E-003
 rp : 5,00E-001
 rt,ra,ru : 1,00E-002
 hc : 0,00E+000
 Lt1: 1,00E-004
 Lf1: 5,00E-002
 Lo1: 0,00E+000
 pta: 1,00E+000
 Pa : 1,00E+000
 Pb : 1,00E+000
 - Zone1 Ligne1:L1 ---
 Ks3: 1,00E+000
 Ks4: 6,00E-001
 Pld: 1,00E+000
 Pli: 4,00E-001
 Uw : 2,50E+000
 spd-Pc: 1,00E+000
 pms-Pm: 1,00E+000
 Pu : 1,00E+000
 Pv : 1,00E+000
 Pw : 1,00E+000
 Pz : 4,00E-001
 - Cumul Pc et Pm pour Zone1:Structure étudiée ---
 Pc : 1,00E+000
 Pm : 1,00E+000

Détail du Risque par zone

- Risque Zone1:Structure étudiée ---
 - Zone:Structure étudiée ---
 R1a : 0,00E+000
 R1b : 4,70E-007
 R1c : 0,00E+000
 R1m : 0,00E+000
 - Ligne1:L1 ---
 R1u : 3,78E-011
 R1v : 1,89E-009
 R1w : 0,00E+000
 R1z : 0,00E+000

-- Détail du Risque total R1:
 -Sur structure et sa proximité:
 R1a : 0,00E+000
 R1b : 4,70E-007
 R1c : 0,00E+000

R1m : 0,00E+000
Sur Lignes et leur proximités:
R1u : 3,78E-011
R1v : 1,89E-009
R1w : 0,00E+000
R1z : 0,00E+000
Sur Totalité:
R1tot: 4,72E-007
-- Fin --

11.3. Annexe 3 => Equipotentialité

6 Installation intérieure du système de protection contre la foudre

6.1 Généralités

L'installation intérieure de protection contre la foudre doit empêcher l'apparition d'étincelles dangereuses dans la structure à protéger, dues à l'écoulement du courant dans l'installation extérieure de protection contre la foudre ou dans les éléments conducteurs de la structure.

Les étincelles peuvent apparaître entre, d'une part l'installation extérieure et, d'autre part les composants suivants:

- les installations métalliques;
- les systèmes intérieurs;
- les éléments conducteurs extérieurs et les lignes pénétrant dans la structure.

NOTE 1 Une étincelle apparaissant dans des structures à risque d'explosion est toujours considérée comme dangereuse. Dans ce cas, des mesures complémentaires de protection sont prescrites et sont à l'étude (voir Annexe E).

NOTE 2 Pour la protection contre les surtensions dans les systèmes électriques et électroniques, voir la CEI 62305-4.

Les étincelles dangereuses peuvent être évitées à l'aide:

- d'une équipotentialité conformément à 6.2, ou
- d'une isolation électrique entre éléments conformément à 6.3.

6.2 Liaison équipotentielle de foudre

6.2.1 Généralités

L'équipotentialité est réalisée par l'interconnexion de l'installation extérieure de protection contre la foudre avec:

- l'ossature métallique de la structure,
- les installations métalliques,
- les systèmes intérieurs,
- les éléments conducteurs extérieurs et les lignes connectées à la structure.

Si une équipotentialité de foudre est réalisée pour l'installation intérieure de protection, une partie du courant de foudre peut s'écouler à l'intérieur et cet aspect doit être pris en compte.

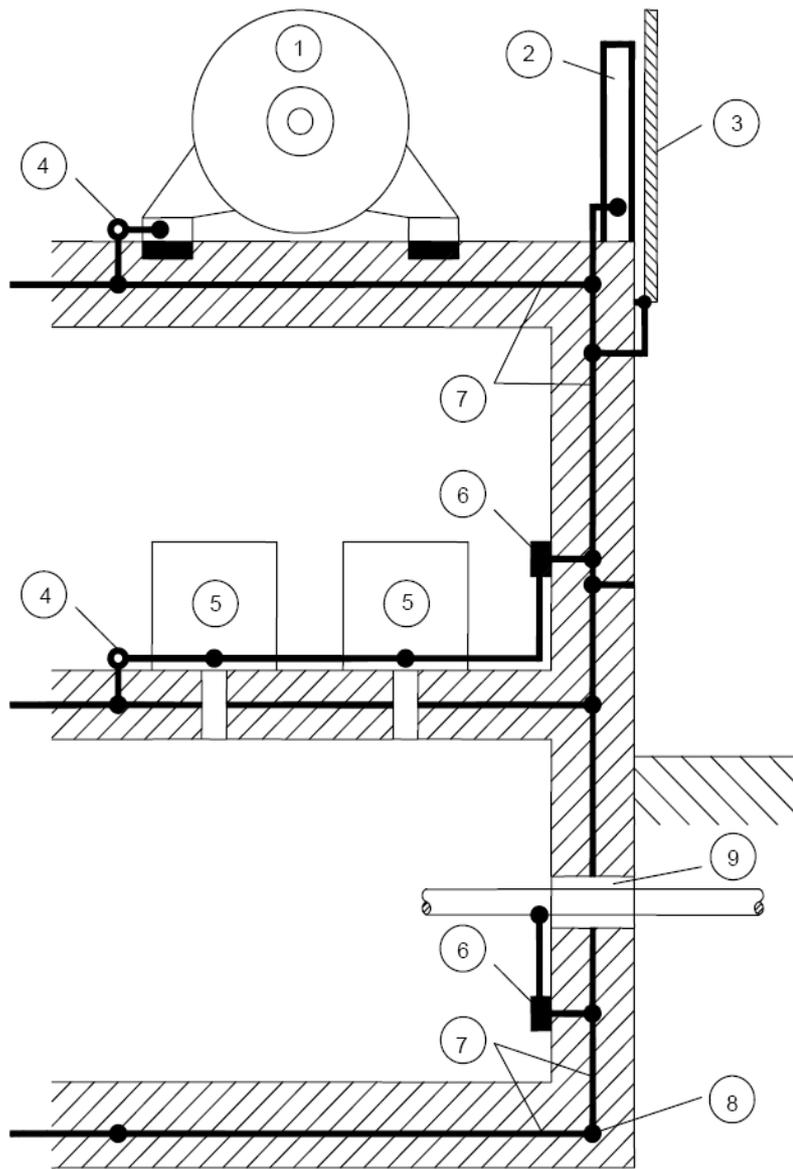
Les moyens d'interconnexion peuvent être:

- les conducteurs d'équipotentialité, si une continuité naturelle n'est pas obtenue;
- les parafoudres, si les conducteurs d'équipotentialité ne sont pas réalisables.

Leur réalisation est importante et doit être concertée avec l'opérateur du réseau de communication, le distributeur du réseau de puissance et d'autres opérateurs ou autorités concernées, du fait d'éventuelles exigences conflictuelles.

Les parafoudres doivent être installés de manière à pouvoir être inspectés.

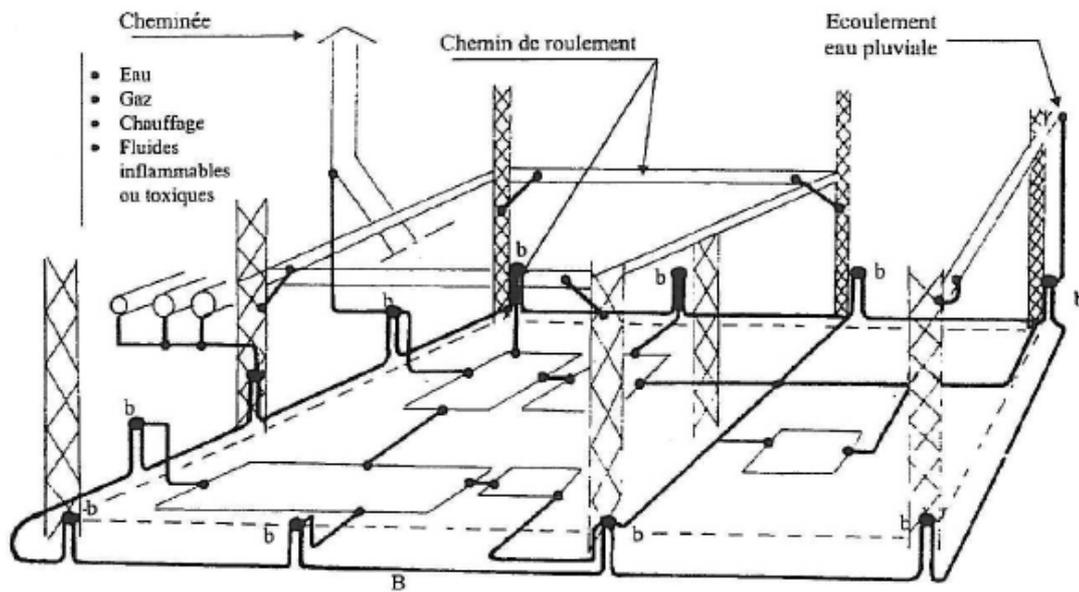
NOTE Si un système de protection est installé, des parties métalliques extérieures à la structure à protéger peuvent être affectées. Il convient que cela soit pris en compte lors de la conception. Des équipotentialités avec des parties métalliques extérieures peuvent aussi être nécessaires.



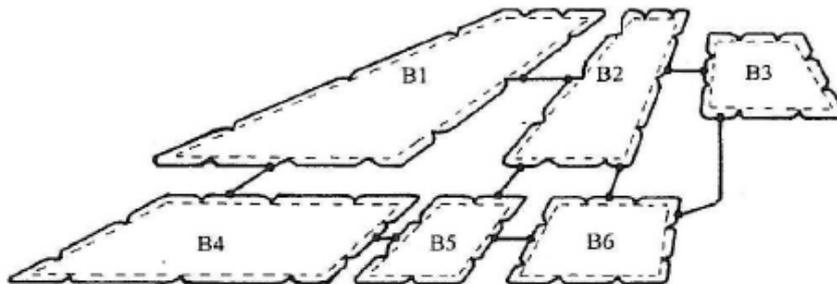
IEC 2110/05

Légende

1 Matériel électrique de puissance	6 Barre d'équipotentialité
2 Poutre métallique	7 Armature acier dans le béton (avec maillage superposé)
3 Revêtement métallique de façade	8 Boucle à fond de fouille
4 Borne d'équipotentialité	9 Point de pénétration commun des divers services
5 Matériel électrique ou électronique	

Fig. 5.1 – Exemple de réseau équipotentiel (plan de masse)**LEGENDE :**

- b : Borne ou barrette.
 B : Boucle de terre en tranchée.

Fig. 5.2 – Constitution d'un réseau maillé à partir de boucles élémentaires

11.4. Annexe 4 => Carnet de Bord Qualifoudre



**INSTALLATIONS DE PROTECTION
CONTRE LA Foudre**

CARNET DE BORD

Raison sociale : _____

Désignation de l'Établissement : _____

Adresse de l'Établissement : _____

Adresse du Siège Social : _____

CARNET DE BORD

Ce carnet de bord est la trace de l'historique de l'installation de protection foudre et doit être tenu à jour sous la responsabilité du Chef d'Établissement.

Il doit rester à la disposition des Agents des Pouvoirs Publics chargés du contrôle de l'Établissement.

Il ne peut sortir de l'Établissement ni être détruit lorsqu'il est remplacé par un autre carnet de bord.

Modèle QUALIFOUDRE – 09/05 - www.qualifoudre.org

Renseignements sur l'Etablissement

Nature de l'activité (1) :

N° de classification INSEE :

Classement de l'Etablissement(2) { à la date du; Type :; Catégorie :
à la date du; Type :; Catégorie :
à la date du; Type :; Catégorie :

Pouvoirs Publics exerçant le contrôle de l'Etablissement :

Inspection {
du {
Travail {
{

Commission {
de {
Sécurité {
{

DREAL {
{
{
{

Personne responsable de la surveillance des installations :

NOM	QUALITE	DATE D'ENTREE EN FONCTION
.....
.....
.....
.....

1. Les indications à donner ont pour but de déterminer, au regard des textes officiels, quelles sont les règles applicables, par exemple : ICPE, INB, ERP...
2. Pour les établissements recevant du public (théâtres, cinéma, magasins, hôpitaux...)
Pour les Installations Classées (déclaration, autorisation, AS...)

HISTORIQUE DES INSTALLATIONS DE PROTECTION CONTRE LA Foudre

I - DEFINITION DES BESOINS DE PROTECTION CONTRE LA Foudre

DATE DE REDACTION	INTITULE DU RAPPORT	SOCIETE	NOM DU REDACTEUR OU N° QUALIFOUDRE

II – ETUDE TECHNIQUE DES PROTECTIONS ET NOTICE DE CONTROLE ET DE MAINTENANCE

DATE DE REDACTION	INTITULE DU RAPPORT	SOCIETE	NOM DU REDACTEUR OU N° QUALIFOUDRE

Les installations de protection sont décrites dans le rapport initial, leurs modifications sont signalées dans les rapports suivants.

III – INSTALLATION DES PROTECTIONS

DATE DE RECEPTION	INTITULE DU DOCUMENT	SOCIETE	NOM DU REDACTEUR OU N° QUALIFOUDRE



Notice de vérification et de maintenance

PRODUCTION D'HYDROGENE

SAINT JEAN DE FOLLEVILLE (76)

ETUDE REALISEE SUR PLAN POUR KALIES

Rédacteur : G. BRIEZ

Date : 03/09/2019

HISTORIQUE DES EVOLUTIONS

Indice de révision	Date	Objet de l'évolution	Nom et signatures	
			Rédacteur	Vérificateur
0	03/09/19	Version initiale	GB 	TK 
1	03/01/20	Prise en compte du nouveau plan de masse et des nouvelles rubriques ICPE	GB 	TK 

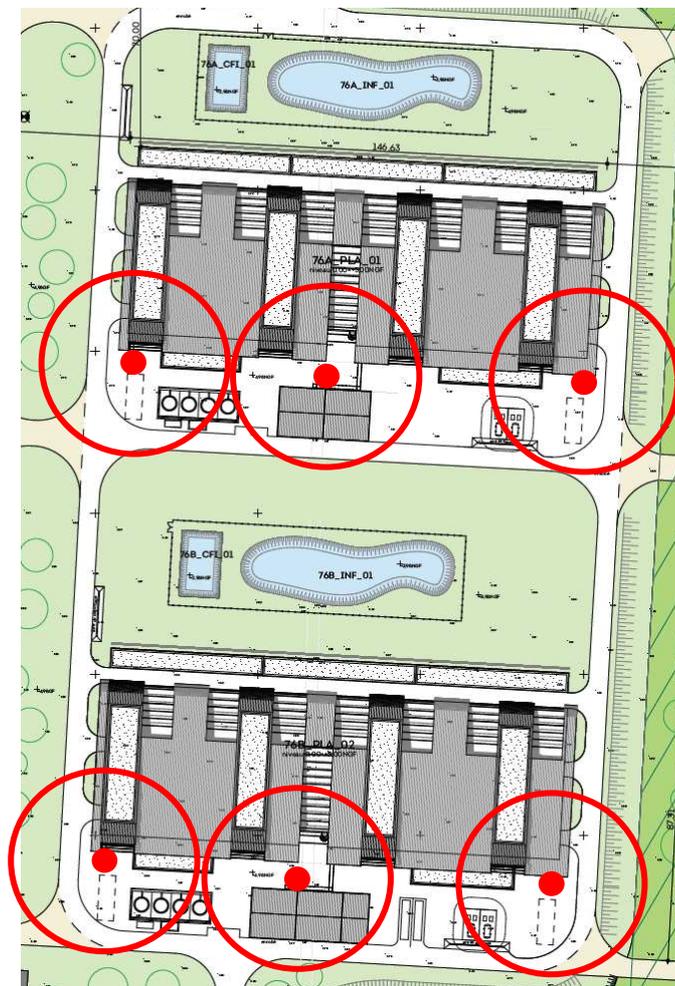
SOMMAIRE

1. <u>LISTE ET LOCALISATION DES PROTECTIONS CONTRE LA Foudre</u>	Page 4
1.1 Les IEPF	Page 4
1.2 Les IIPF	Page 5
1.3 Prévention	Page 5
2 <u>VERIFICATION DES PROTECTIONS Foudre</u>	Page 6
2.1 Vérification initiale	Page 6
2.2 Vérifications périodiques	Page 6
2.3 Les Installations Extérieures de Protection contre la Foudre (IEPF)	Page 9
2.4 Les Installations Intérieures de Protection contre la Foudre (IIPF)	Page 11

1. Liste et localisation des protections contre la foudre

1.1 Les IEPF :

- Utilisation des torchères et des événements oxygène comme capteur naturel,
- Utilisation des torchères et des événements oxygène comme conducteur naturel,
- 1 compteur d'impact par structure,
- 1 prise de terre paratonnerre de type A par structure (ou de type B pour l'ensemble)
- 1 liaison équipotentielle terre paratonnerre - terre électrique du site par descente (si prise de terre de type A),
- 1 affichette de prévention par structure,
- Distance de séparation : 0 m



Echelle : 30 m



1.2 Les IIPF :

- Parafoudres de type I sur le(s) TGBT(S) du site

Caractéristiques :

- $U_c \geq 253$ ou 400V,
 - $U_p \leq 2.5$ kV,
 - $I_{imp} \geq 12.5$ kA,
 - $I_n \geq 5$ kA,
 - I_{cc} parafoudres > I_{cc} équipement,
 - 1 dispositif de déconnexion,
 - Câblage < 50 cm.
- Liaisons équipotentielles sur l'ensemble des masses métalliques du site (canalisations, bâtis, process, ...)

1.3 La prévention :

- La détection du risque orageux se fera par observation humaine. Selon le guide UTE C 18-150, il y a menace d'orage quand un éclair est visible ou si le tonnerre est audible.
- Procédure stipulant en période orageuse :
 - L'interdiction d'accès en toiture,
 - L'intervention sur le réseau électrique,
 - La présence à proximité avec les installations paratonnerres.

2. Vérification des protections foudre

2.1 Vérification initiale

Tout d'abord, l'article 21 de l'arrêté foudre du 19 juillet 2011 exige que :

«L'installation des protections fait l'objet d'une vérification complète par un organisme compétent distinct de l'installateur, au plus tard six mois après leur installation. »

2.2 Vérifications périodiques

La circulaire du 24 avril 2008 stipule que l'installation de protection foudre doit être contrôlée par un organisme compétent :

- Visuellement tous les ans (hors mesures électriques),
- Complètement tous les 2 ans (avec mesures électriques).

D'autre part, quel que soit le système de protection contre les coups de foudre direct installé, une vérification visuelle doit être réalisée en cas d'enregistrement d'un coup de foudre.

L'article 21 de l'arrêté précise qu' :

« En cas de coup de foudre enregistré, une vérification visuelle des dispositifs de protection concernés est réalisée dans un délai maximum d'un mois, par un organisme compétent. »

8.2 Inspection d'un SMPI

L'inspection comprend la vérification de la documentation technique, les vérifications visuelles et les mesures d'essai. Les objectifs d'une inspection sont de vérifier que

- le SMPI est conforme à sa conception;
- le SMPI est apte à sa fonction;
- toute nouvelle mesure de protection est intégrée de manière correcte dans le SMPI.

Les inspections doivent être effectuées

- lors de l'installation du SMPI,
- après l'installation du SMPI,
- périodiquement,
- après toute détérioration de composants du SMPI,
- si possible après un coup de foudre sur la structure (identifié par exemple par un compteur de foudre ou par un témoin ou encore si une évidence visuelle est constatée sur un dommage de la structure).

La fréquence des inspections périodiques doit être fixée selon les considérations suivantes:

- l'environnement local, tel que le sol ou l'atmosphère corrosive;
- le type des mesures de protection utilisées.

8.2.1 Procédure d'inspection

8.2.1.1 Vérification de la documentation technique

Après l'installation d'un nouveau SMPI la documentation technique doit être vérifiée pour contrôler sa conformité avec les normes appropriées, et constater l'achèvement du système. Par suite, la documentation technique doit être mise à jour d'une façon régulière, par exemple après détérioration ou extension du SMPI.

8.2.1.2 Inspection visuelle

Une inspection visuelle doit être réalisée pour vérifier que

- les connexions sont serrées et qu'aucune rupture de conducteur ou de jonction n'existe,
- aucune partie du système est fragilisée par la corrosion, particulièrement au niveau du sol,
- les conducteurs de mise à la terre et les écrans de câbles sont intacts,
- il n'existe pas d'ajouts ou de modifications nécessitant une protection complémentaire,
- il n'y a pas de dommages de parafoudres et de leur fusible,
- le cheminement des câbles est maintenu,
- les distances de sécurité aux écrans spatiaux sont maintenues.

8.2.1.3 Mesures

Pour les parties des mises à la terre et des équipotentia lités non visibles lors de l'inspection, il convient que des mesures de continuité soient effectuées.

8.2.2 Documentation pour l'inspection

Il convient de préparer un guide d'inspection pour la rendre plus facile. Il est recommandé que le guide contienne suffisamment d'informations pour aider l'inspecteur dans sa tâche, de manière qu'il puisse documenter tous les aspects de l'installation et des composants, les méthodes d'essai et l'enregistrement des résultats d'essais.

L'inspecteur doit préparer un rapport devant être annexé au rapport de conception et aux précédents rapports d'inspection. Le rapport d'inspection doit comporter au moins les informations relatives à:

- l'état général du SMPI ,
- toute(s) déviation(s) par rapport aux exigences de conception;
- les résultats des essais effectués.

8.3 Maintenance

Après l'inspection, tout défaut relevé doit être réparé sans délai et si nécessaire, la documentation technique doit être mise à jour.

2.3 Les Installations Extérieures de Protection contre la Foudre (IEPF)

INSTALLATION EXTERIEURE DE PROTECTION CONTRE LA Foudre (IEPF)				
DISPOSITIF (NORME PRODUIT)	COMPOSANT DU DISPOSITIF	POINT DE CONTROLE	CONFORME	NON CONFORME
CAPTURE (NF EN 62 561-2)	Cage maillée/structure naturelle	Règle d'installation, taille des mailles		
	Conducteur de toiture	Nature, section, cheminement, support, rupture,...		
	Fixation, connexion	Corrosion, scellement		
DESCENTE (NF EN 62 561-1 NF EN 62 561-4 NF EN 62 561-6)	Elément naturel	Connexion, continuité		
	Eventuelle borne de mesure	Corrosion, arrachement,...		
PRISE DE TERRE (N NF EN 62 561-2 NF EN 62 561-5 NF EN 62 561-7)	Réalisation	Type A, type B, nature et section des électrodes,...		
	0 < conservation ≤ 10 Ω	Variation significative de la valeur de la résistance		
	Regard de visite, état de la connexion	Accessibilité, corrosion,...		
	Interconnexion au fond de fouille	Accessibilité, corrosion,...		
EQUIPOTENTIALITE ET SEPARATION (NF EN 62 561-2)	Conducteur, connexion	Nature, section, cheminement, connexion, fixation,...		
	Distance de séparation	Maintien de la distance		
MODIFICATION DU SPF – DE LA STRUCTURE PROTEGEE – DE SON ENVIRONNEMENT	Terrassement	Destruction de prise de terre		
	Dépose d'éléments	Rupture de conducteur de liaison équipotentielle, de descente,...		
	Nouveaux éléments en toiture, dans l'environnement	Dispositif de capture inopérant et/ou insuffisant, déplacement		

Vérification effectuée le :/...../.....

Par M.....

Fait à : le/...../.....

Signature :

Méthode de mesure de la résistance :

- Ouverture du joint de contrôle intercalé sur le conducteur de descente à environ 2 mètres du sol,
- Désolidarisation de l'ensemble gaine/conducteur de la structure sur laquelle elle est fixée, si celle-ci est conductrice,
- Séparation au niveau du regard de visite du conducteur méplat de la prise de terre du paratonnerre et du conducteur de terre en cuivre nu du réseau électrique du bâtiment,
- Mise en œuvre de la méthode de mesure de la résistance (voir ci-dessous)
- Remontage de l'ensemble ;

Celle-ci s'effectue avec un appareil de mesure conforme à la norme de sécurité NF EN 61010-1 de 1993, relative aux instruments de mesures électroniques et permet :

- La mesure de résistance des prises de terre,
- La mesure de continuité.

La mesure de la valeur ohmique de la prise de terre isolée des autres circuits est réalisée à l'aide de deux autres prises de terre auxiliaires.

C'est une mesure différentielle entre deux points :

- La source de tension (1^{er} piquet de terre Z situé à une distance d de la prise de terre à mesurer),
- La mesure de tension (2^{ème} piquet Y situé à 62 % de d).

La chute de tension entre ces deux points indique la résistance de terre à mesurer.

2.4 Les Installations Intérieures de Protection contre la Foudre (IIPF)

Fiche n°.....

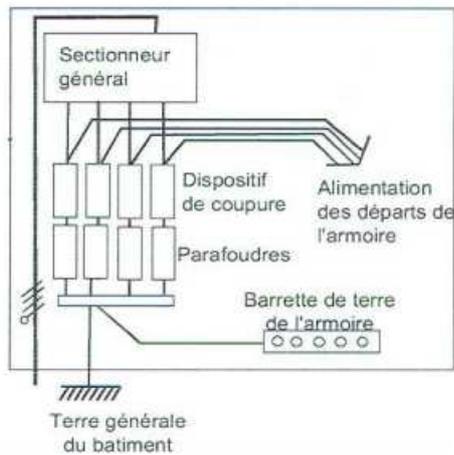
Vérification effectuée le :/...../.....

Par M.....

EQUIPEMENTS PROTEGES :

IMPLANTATION DES PARAFOUDRES :

SCHEMA ELECTRIQUE :



CARACTERISTIQUES PARAFOUDRES

Régime de Neutre : _____

Marque :

Type 1

Type 2 ou 3

Up :kV

Uc :V

Pour type 1 :

Iimp : kA

Pour type 2 ou 3 :

In :kA

Imax :kA

INSPECTION VISUELLE :

- Règle des 50 cms respectée
- Section des câbles respectée
- Signalisation de défaut du parafoudre
- Dispositif de coupure associé existant

OUI

OUI

OUI

OUI

NON

NON

NON

NON

RESULTAT DE LA VERIFICATION

- Installation parafoudres sans défaut

OUI

NON

Si non, l'installation présente les défauts suivants :

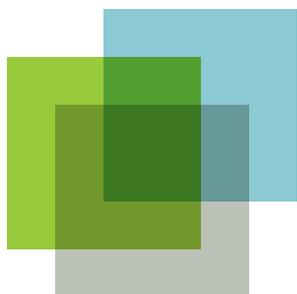
ACTIONS CORRECTIVES

Fait à : le/...../.....

Signature :

ANNEXE EDD.2

ANALYSE DU RETOUR D'EXPERIENCE

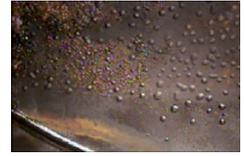


ACCIDENTOLOGIE DE L'HYDROGENE



Source : DRIRE Rhône-Alpes





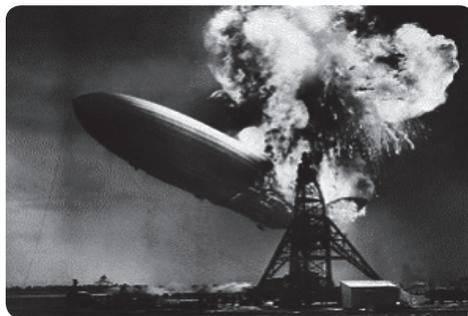
I Quelques données chiffrées	3
a) Les types d'accidents et leurs conséquences	3
b) Les principales activités concernées	3
II Propriétés du dihydrogène et risques associés	4
a) L'hydrogène, un composé léger	4
b) L'hydrogène, un composé extrêmement inflammable	4
c) Dégradation des métaux et alliages par l'hydrogène	5
d) Réaction avec le chlore	6
e) Particularité de l'hydrogène cryogénique	6
III Génération accidentelle d'hydrogène	7
a) Corrosion des aciers	7
b) Réactions eau ou acide / métal	7
c) Formation de gaz à l'eau	8
d) Réactions impliquant des hydrures	8
IV Causes d'accidents et facteur organisationnel	9
Bibliographie	11
Sélection d'accidents français cités dans le texte	12

Souvent présenté comme l'énergie du futur du fait de son important potentiel énergétique et de sa combustion non émettrice de gaz à effet de serre, le dihydrogène (H_2) suscite espoir... et crainte.

Dans la mémoire collective, l'hydrogène est souvent synonyme de danger notamment depuis la catastrophe du Hindenburg, le 6 mai 1937. Ce jour-là, le Zeppelin gonflé avec 200 000 m³ de H_2 s'embrase en moins d'une minute et cause la mort de 35 des 97 passagers qui, pris de panique, ont sauté de l'engin. Si l'origine de l'ignition reste inconnue, la combustion combinée de l'hydrogène et du revêtement de l'enveloppe (butyrate, oxydes de fer et d'aluminium) est en cause. Cela provoquera une telle peur de l'hydrogène, appelée « syndrome du Hindenburg », que le gaz de ville distribué à cette époque à partir des cokeries et constitué à 96 % de H_2 sera appelé « gaz à l'eau » pour ne pas handicaper son exploitation commerciale !

Face à ces peurs, l'analyse objective des risques liés à l'hydrogène est la meilleure des réponses pour définir les mesures préventives et protectrices à mettre en oeuvre pour limiter l'occurrence des accidents ou tout au moins les conséquences dommageables.

C'est l'objectif de cette synthèse qui se base sur l'analyse de 215¹ accidents répertoriés dans la base de données ARIA, impliquant de l'hydrogène et survenus avant le 1^{er} juillet 2007². Compte tenu des données disponibles, cette synthèse, qui n'a pas vocation à donner de véritables éléments statistiques, permet néanmoins de tirer des enseignements sur les risques liés à l'hydrogène à partir d'indicateurs chiffrés propres à l'accidentologie.



¹ Les numéros ARIA inclus dans le corps du texte correspondent à une sélection non exhaustive d'accidents illustrant les propos de ce document. Les résumés des accidents dont le numéro ARIA est souligné dans le corps du texte sont repris à la fin de ce document ou synthétisés dans les encadrés. La liste complète des résumés des 215 événements dont 92 à l'étrangers utilisés pour cette étude est disponible sur www.aria.developpement-durable.gouv.fr, dans la rubrique « Synthèses et enseignements ».

² La collecte des informations est organisée depuis le 1^{er} janvier 1992, date à laquelle la base de données ARIA a été mise en place, néanmoins quelques événements antérieurs ont pu également être enregistrés en fonction des informations disponibles.

a) Les types d'accidents et leurs conséquences

L'une des spécificités des accidents impliquant de l'hydrogène est la gravité de leurs conséquences comme le montre le tableau ci-après.

Conséquences	Sur échantillon de 213 cas dont les conséquences sont connues	
	Nombre de cas	%
Morts	25	12
Blessés graves	28	13
Bléssés (y compris grave)	70	33
Dommages matériels internes	183	86
Dommages matériels externes	17	8
Pertes d'exploitation internes	89	42
Population évacuée	8	3,8

Ainsi, 25 accidents mortels impliquant de l'hydrogène, dont 5 survenus en France (ARIA 162, 170, 176, 3512, et 7956) sont répertoriés dans ARIA, soit 12 % de l'échantillon étudié. Ces accidents sont à l'origine du décès de 80 personnes, dont 9 en France.

Les accidents avec blessés graves ou non représentent respectivement 13 et 33 % de l'échantillon étudié.

Notons cependant que les conséquences humaines des accidents impliquant de l'hydrogène concernent essentiellement les employés des sites accidentés, les personnels de secours et le public n'étant que plus rarement atteints. Ainsi, tous les accidents mortels pour lesquels la qualité des personnes décédées est connue concernent des employés.

Ces faits sont liés à la typologie des accidents impliquant de l'hydrogène, ainsi qu'à la cinétique rapide des phénomènes en jeu : **84 % des événements étudiés sont des incendies et/ou explosions**. Les 16 % restants concernent des fuites d'H₂ non enflammées, des emballements de réaction sans explosion ou des phénomènes de corrosion détectés avant accident.

b) Les principales activités concernées

Le tableau suivant indique les principaux secteurs d'activité concernés par les accidents impliquant de l'hydrogène.

Activités	Sur échantillon de 215 cas	
	Nombre de cas	%
Chimie	84	39
Raffinage / pétrochimie*	47	22
Transport, conditionnement et stockage	35	16
Métallurgie / travail des métaux	17	7,9
Traitement des déchets / récupération	8	3,7
Industrie nucléaire	5	2,3

* hors transport, conditionnement et stockage

Deux types d'activités sont à distinguer :

- celles dans lesquelles l'hydrogène est produit ou utilisé : chimie, raffinage, transport, conditionnement, industrie nucléaire.
- celles où l'hydrogène est généré accidentellement : métallurgie et travail des métaux, assainissement, traitement des déchets, récupération.

A Saint-Fons (69), en 1988, des travaux de meulage sont menés sur un réservoir ayant contenu de l'acide sulfurique. Toutes les procédures travaux sont correctement effectuées. Toutefois, une déflagration se produit à l'intérieur du réservoir au début des travaux. Un mort et 2 blessés graves sont à déplorer. Le réservoir est partiellement détruit. Cette explosion est due à la présence d'hydrogène (100 g) dans une zone morte où aucune mesure n'a été faite. L'hydrogène provient de la corrosion du fer du réservoir par l'acide sulfurique. (ARIA 169)

II. PROPRIETES DU DIHYDROGENE ET RISQUES ASSOCIES

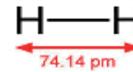
Le dihydrogène est gazeux à température et pression ambiante. Indétectable pour les sens humains (inodore, incolore), non toxique, l'H₂ n'est présent qu'à l'état de trace dans l'atmosphère.

Au XVIII^{ème} siècle, Lavoisier propose de nommer ce gaz préalablement appelé « air inflammable » par Cavendish, « hydrogène » soit littéralement « qui engendre de l'eau » en référence au produit de sa combustion.

Les principales caractéristiques physico-chimiques de l'hydrogène entraînent des risques particuliers détaillés après ; il s'agit notamment de :

- sa faible masse molaire et sa petite taille qui le rendent prompt à fuir,
- son extrême inflammabilité et sa faible énergie d'inflammation,
- sa capacité à fragiliser les propriétés mécaniques des métaux et des alliages,
- ses réactions violentes avec certains composés, compte tenu de son caractère réducteur.

Dihydrogène



Formule Brute	H ₂
Masse molaire	2,016 g/mol
Masse vol. du gaz (20°C/1 atm)	0,08342 kg/Nm ³
Solubilité dans l'eau (vol/vol à 15,6°C)	0,019
Température d'ébullition (1 atm)	-252,8 °C
Masse vol. du liquide au point d'ébullition	70,96 kg/m ³

Source : IRH, Université du Québec

a) L'hydrogène, un composé léger

L'hydrogène est le plus petit des atomes et, sous forme diatomique, le plus léger des gaz. A l'état liquide ou gazeux, l'H₂ est **particulièrement sujet aux fuites** à cause de sa basse viscosité et de sa faible masse moléculaire ; du seul fait de sa faible viscosité, le taux de fuite de l'hydrogène liquide est notamment 50 fois supérieur à l'eau, et 10 fois supérieur à l'azote liquide [1].

Sous forme gazeuse, sa viscosité à température ambiante est également la plus faible de toutes celles des autres gaz ; il traverse ainsi aisément les parois poreuses et fuit très facilement par les moindres interstices. Il peut donc s'échapper d'un appareil ou d'un circuit qui serait étanche vis-à-vis de l'air ou d'un autre gaz (ARIA 7518).

De ce fait, les points faibles des installations à **surveiller** sont naturellement les **vannes d'isolement** (ARIA 170 et 176), les **organes de raccordement et les joints associés** (ARIA 7518, 19490, 23140, 26429, 26619, 30720, 31715, et 32147) avec une considération particulière à accorder au **mode de serrage de ces équipements** (ARIA 26616, 26617, 32174, 32147, 32817 et 32796).

b) L'hydrogène, un composé extrêmement inflammable

L'hydrogène est classé parmi les composés « extrêmement inflammables », comme le montrent ses propriétés comparées à celles du méthane et de l'essence dans le tableau ci-après :

Propriétés		Hydrogène	Méthane	Essence
Plage d'inflammabilité dans l'air	(vol. %)	4 - 75	5,3 - 15	1,0 - 7,6
Plage de détonabilité dans l'air	(Vol. %)	13 - 65	6,3 - 13,5	1,1 - 3,3
Energie minimale d'inflammation dans l'air	(mJ)	0,02	0,29	0,24
Chaleur de combustion	(kJ/g)	120	50	44,5
Température d'auto-inflammation	(°C)	585	540	228 - 501
Température de flamme	(°C)	2 045	1 875	2 200
Energie théorique d'explosion	(kg TNT/m ³ _{gaz})	2,02	7,03	44,22
Coefficient de diffusion dans l'air	cm ² /s	0,61	0,16	0,05

Source : Hydrogen, the energy carrier, TÜV Bayern Group

Comme cela a déjà été dit, le **risque** principal lié à l'hydrogène est celui de **l'incendie ou de l'explosion** (84 % des accidents recensés), du fait de son **domaine d'inflammabilité très large** (de 4 à 75 % dans l'air, plus large encore dans des atmosphères enrichies en oxygène ou en chlore), ainsi que de sa **très faible énergie d'activation**.

Les sources d'ignition des nuages inflammables formés par l'hydrogène sont multiples dans l'accidentologie : point chaud (ARIA 169, 15339, 27273 et 30365), foudre (ARIA 343), origine électrique (ARIA 542 et 25112), étincelle mécanique (ARIA 10095) ou encore électricité statique (ARIA 6716).

II. PROPRIETES DU DIHYDROGENE ET RISQUES ASSOCIES

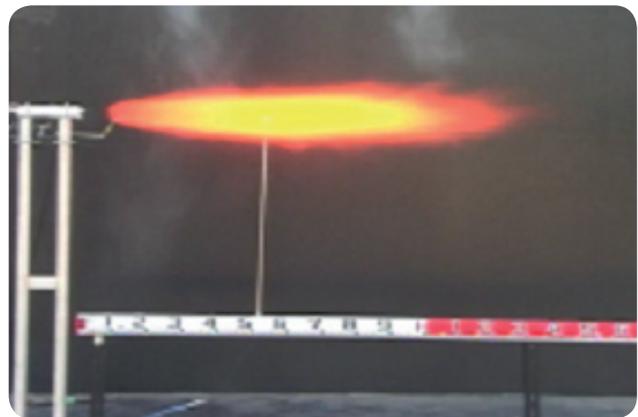
Si l'hydrogène parfaitement exempt de poussières s'enflamme difficilement en quittant une canalisation ou en s'échappant à l'air par un joint fuyard, une inflammation survient rapidement si des poussières sont entraînées dans le gaz [2], ce qui est souvent le cas en milieu industriel (ARIA 170, 1089, 4799, 26619, et 30720). L'inflammation peut aussi être provoquée par la présence de fines gouttelettes d'eau dans le gaz [2].

De plus, la flamme de combustion de l'hydrogène est extrêmement dangereuse car généralement peu visible (incolore hors présence d'impuretés (particules carbone...)). Dans certains cas, l'inflammation d'un nuage de gaz inflammable constitué d'hydrogène peut donner lieu à une **explosion sous le mode de la déflagration ou de la détonation** (ARIA [29864](#)). La plage théorique de détonation de l'hydrogène dans l'air s'étend de 13 à 65 % en volume, mais de nombreux autres paramètres influent sur le régime d'explosion : turbulence liée à la présence d'obstacles dans l'environnement...

Une **concentration en hydrogène localement élevée** (au-dessus de 4 % dans l'air), par exemple dans une zone morte ou au niveau supérieur d'une capacité, suffit à engendrer un risque, comme l'illustre l'explosion d'hydrogène lors de travaux réalisés sur un réservoir dans lequel des mesures d'explosimétrie préalables n'avaient pas permis de détecter la présence d'hydrogène accumulé en point haut du réservoir, dans un espace peu accessible pour un contrôle (ARIA [169](#)).

Cependant, le taux de diffusion élevé de l' H_2 gazeux dans l'air ($0,61 \text{ cm}^2/\text{s}$), 3,8 fois plus élevé que celui de l'air dans l'air peut aussi constituer un avantage en matière de sécurité. En effet, sa rapide dilution lors d'un rejet à l'atmosphère, réduit ainsi le risque d'explosion intrinsèque ; une expérimentation a montré que lors de l'épandage de 500 gallons ($1,89 \text{ m}^3$) d'hydrogène liquide, la diffusion permet d'obtenir une atmosphère non explosive après 1 min [1].

Aussi, faut-il **privilégier des systèmes en milieu non confiné et non encombré, de préférence en extérieur, avec une bonne ventilation**.



Jet enflammé d'hydrogène sous pression en laboratoire
Source : Research Core for Explosion Safety, AIST (D.R.)

c) Dégradation des métaux et alliages par l'hydrogène

La dégradation des métaux et alliages exposés de façon continue à l'hydrogène peut provoquer des fuites de substances ou des ruptures franches d'équipements. Deux modes de dégradation sont ainsi distingués pour les aciers : la fragilisation par l'hydrogène (FPH) et l'attaque par l'hydrogène.

D'un point de vue théorique, la compréhension des mécanismes de base de ces phénomènes reste complexe et encore incomplète. Sommairement, il s'agit de la diffusion d'hydrogène (atomique ou non selon les cas) dans les matériaux et notamment au niveau des cavités, joints de grains ou interfaces. La recombinaison des atomes (en H_2 dans le cas de la fragilisation et en méthane (CH_4) à température élevée dans le cas de l'attaque par l'hydrogène) exerce une pression dans la matrice qui endommage le matériau de manière irréversible. [8] [9]



Phénomène d'hydrogène blistering sur la paroi d'un réservoir.
Source : www.maverickinspection.com (D.R.)

La fragilisation par l'hydrogène recouvre plusieurs phénomènes :

- cloquage par l'hydrogène (hydrogen blistering) : absorption d'hydrogène atomique à la surface des matériaux généralement à faible résistance provoquant la formation de cloques (ARIA 324 et [33330](#)).
- fragilisation par l'hydrogène (hydrogen embrittlement) : absorption d'hydrogène atomique dans des matériaux à forte résistance provoquant la baisse de la ductilité du matériau et une augmentation des tensions internes (ARIA [437](#) et 14666).
- fissuration sous hydrogène (hydrogen induced cracking et hydrogen stress cracking) : forme de cloquage par l'hydrogène pouvant affecter l'intégrité du matériau, notamment en présence de contraintes (ARIA 2903, 7315 et [22229](#)).

II. PROPRIETES DU DIHYDROGENE ET RISQUES ASSOCIES

L'attaque par l'hydrogène à haute température (high-temperature hydrogen attack) conduit à une perte de résistance et de ductilité du matériau résultant de fissurations internes et de la décarburation du matériau dues à la réaction de l'hydrogène absorbé avec les carbures du matériau (ARIA 26621).

A noter que les deux modes de dégradation pré-cités dépendent d'un grand nombre de paramètres et notamment du matériau (état, composition, microstructure..), du milieu environnant (gazeux, aqueux, température...) et des conditions de sollicitations mécaniques (statique, dynamique, cyclique...). [8]

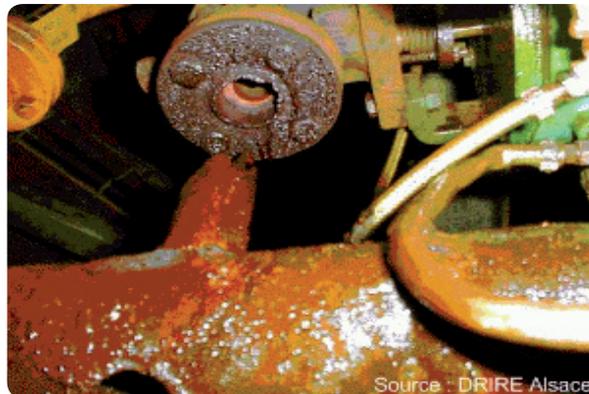
L'accidentologie montre que ce phénomène est fréquent au niveau des coudes des conduites ou en présence de contraintes spécifiques (ARIA 324, 11282, 13392, 20356, 21196, 22229 et 23175).

Différentes **mesures de prévention** peuvent être étudiées selon le type d'endommagement en cause : **choix des matériaux** (faible taux d'impuretés, alliages spécifiques tels que les alliages de l'aluminium, l'un des rares métaux peu sensibles aux attaques d'hydrogène...), **utilisation de revêtements, élimination des contraintes, réflexion sur la conception et l'agencement...**

d) Réaction avec le chlore

Le chlore réagit spontanément avec l'hydrogène selon la réaction $H_2 + Cl_2 \rightarrow 2 HCl$; cette réaction, lente dans l'obscurité, est explosive en présence de lumière ou de chaleur (ARIA 17070). Elle peut aussi être initiée par l'énergie liée à l'écoulement turbulent du fluide contre les parois d'une canalisation (ARIA 26208). Dans le cas le plus défavorable, **la limite inférieure d'explosivité de l'hydrogène dans le chlore peut s'abaisser jusqu'à 3,1%** (ARIA 10316, 14987, 22101).

L'élévation de température qui suit l'explosion peut par ailleurs conduire à une **combustion chlore/métal** (ARIA 6511 et 6818), avec disparition de l'équipement (ARIA 26208). En effet, la température limite de tenue du matériau en présence de chlore s'élève à 100 °C pour le plomb, 120 °C pour l'acier doux, 150 °C pour l'acier inoxydable ou le tantale, 200 °C pour l'argent et le cuivre. C'est un paramètre dont il convient de tenir compte dans les installations d'électrolyse mettant en oeuvre à la fois du chlore et de l'hydrogène (ARIA 6444 et 30637).



ARIA 26028 - Disparition d'une section de canalisation par combustion fer/chlore.

e) Particularité de l'hydrogène cryogénique

L'hydrogène cryogénique est stocké sous forme liquéfiée à -253 °C (ARIA 2915). A cette température, beaucoup de matériaux deviennent fragiles ou friables. La conception des installations doit donc en tenir compte.

Par ailleurs, à cette température, la solidification de l'azote ou des gaz de l'air peut produire des colmatages de conduits et empêcher le fonctionnement d'organe ; la contamination de l'hydrogène liquide par l'oxygène ou l'air peut ainsi générer des explosions (ARIA 26618).

En Belgique, en 1992, une fuite de gaz de procédé (80% d'hydrogène, 14% de méthane, 1,8% de sulfure d'hydrogène, gaz C2, C3 et C4, sous 50 bar et 300°C) se produit dans une raffinerie au niveau d'un coude d'une canalisation de l'unité de désulfuration. Le nuage inflammable émis à l'atmosphère explose et provoque un incendie. La raffinerie est arrêtée, une grande partie des installations est détruite. La circulation sur les routes avoisinantes et l'ESCAUT est interrompue pendant 1 h. Le coude, déjà corrodé, avait été remplacé en 1989 et un suivi était mené régulièrement. L'enquête après l'accident montre qu'une fissure spontanée du coude de 90° sur la canalisation de 8'' est à l'origine de la fuite. L'installation sera reconstruite en limitant l'utilisation de coude de 90°C et en diminuant la vitesse de transfert des gaz par augmentation du diamètre des canalisations. (ARIA 22229)

III. GENERATION ACCIDENTELLE D'HYDROGENE

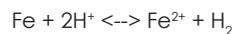
Dans 21 % des 215 accidents de l'échantillon étudié, soit 46 cas, l'hydrogène en cause est généré accidentellement. Cette situation est d'autant plus dangereuse, que souvent ce risque n'est pas pris en compte ou mal évalué et qu'aucune mesure n'est, en conséquence, mise en oeuvre pour y faire face.

Différents phénomènes peuvent générer de l'hydrogène ; l'accidentologie met notamment en évidence :

- la corrosion des aciers,
- les réactions eau / métal,
- la formation de gaz à l'eau,
- d'autres réactions chimiques mettant en jeux des hydrures.

a) Corrosion des aciers

Dans la base ARIA, 13 accidents ont pour cause identifiée une formation d'hydrogène due à la corrosion d'acier. Le fer et les principaux métaux usuels (zinc, aluminium) sont attaqués par les acides dilués avec dégagement d'hydrogène, selon la réaction :



Les aciers inoxydables sont particulièrement sensibles à la corrosion par piqûres en présence de solutions aqueuses chargées en ions chlorure, bromure ou hypochlorite notamment. Au niveau des germes, un couple s'établit entre les zones discontinues qui constituent de petites anodes où le métal se dissout, et le reste de la surface où se produit la réaction cathodique avec production d'hydrogène.

Tous les types d'installation peuvent être concernés par ce phénomène : en premier lieu les réservoirs de stockage d'acide (ARIA 169, 22278, 27273 et 31082), mais également les capacités de rétention (ARIA 6346 et 24977), les réacteurs (ARIA 22101 et 23017), les canalisations de transport (ARIA 29864), les citernes de transports (ARIA 7192 et 9477)...

Le risque s'accroît notamment lors d'introduction d'eau dans un équipement contenant ou ayant contenu de l'acide concentré (dilution de l'acide), soit accidentellement (ARIA 31082), soit lors de lavages (ARIA 9477).

Comme déjà évoqué, une production même très faible d'hydrogène par ce mécanisme peut être suffisante pour provoquer un accident ; il suffit que la concentration en H₂ dépasse localement la limite d'inflammabilité, par exemple dans un bras mort ou en partie supérieure d'une capacité (ARIA 169).



b) Réactions eau ou acide / métal

L'échantillon étudié comprend 20 accidents résultant d'un contact eau / métal ou acide / métal.

Les métaux alcalins (lithium, sodium, potassium...) et dans une moindre mesure les métaux alcalino-terreux (magnésium, calcium...) réagissent plus ou moins violemment avec l'eau en formant de l'hydrogène qui peut ensuite s'enflammer ou exploser compte-tenu de l'exothermicité de la réaction (ARIA 14162, 15018, 15532, 18298, 28513, 30857 et 31605). Pour le sodium par exemple, la réaction en cause est la suivante :



Ces réactions sont encore plus vives lorsque le métal est à l'état divisé comme la poudre d'aluminium (ARIA 8966, 13017, 22518 et 25689) ou à température élevée. La plupart des métaux qui sont insensibles à l'action de l'eau à des températures inférieures à 100 °C, sont susceptibles de décomposer l'eau même très pure quand la température est suffisamment élevée, générant ainsi de l'hydrogène.

A titre d'exemple, la couche d'hydroxyde formée sur le magnésium au contact de l'eau ($\text{Mg} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{H}_2$) protège de toute corrosion ultérieure du magnésium (passivation). En revanche, au dessus de 70°C, le magnésium décompose l'eau avec dégagement d'hydrogène et formation de magnésie (MgO) et ce d'autant plus vite que la température est plus élevée [2] (ARIA 4525).

En Italie, en 1985, un réservoir d'acide sulfurique explose alors que 2 opérateurs effectuent des découpes à la flamme oxyacétylénique à proximité pour retirer des plaques fixées par des écrous. Ils sont tués par l'explosion. Le réservoir projeté à travers l'atelier détruit 2 autres stockages de H₂SO₄ dont le contenu se déverse dans une capacité de rétention. L'ignition d'hydrogène accumulé dans le réservoir par la flamme oxyacétylénique est à l'origine de l'explosion. Cet hydrogène est le produit de la corrosion de l'acier du réservoir par l'acide sulfurique due à un entretien insuffisant du parc de stockage. (ARIA 22278)

III. GENERATION ACCIDENTELLE D'HYDROGENE

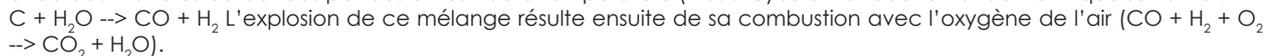
Ces phénomènes d'oxydo-réduction sont fréquents dans l'industrie métallurgique, lors de contacts eau / métal en fusion (ARIA 3512, 6390, 13182, 15083, 23317 et 23968) qui conduisent à des projections. On peut citer par exemple :

- H_2O liquide $\rightarrow H_2O$ gazeux : la vaporisation instantanée de l'eau provoque des projections de métal liquide ainsi qu'une onde de pression due à son expansion volumique.
- métal réducteur + $H_2O \rightarrow$ métal oxydé + H_2 (exemple avec l'aluminium : $2 Al + 3 H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 3 H_2$) : la réaction d'oxydo-réduction génère de l'hydrogène qui peut brûler au fur et à mesure de sa production (ARIA 4525) ou peut provoquer une explosion très violente comparable par ses effets à celles de plusieurs kilogrammes de TNT (de l'ordre du kilogramme de TNT pour quelques centaines de millilitres d'eau réagissant avec l'aluminium en fusion [7]).

Ces réactions susceptibles de générer des explosions sont méconnues de certains exploitants. Ces risques méritent d'être évalués avec rigueur dès lors que des métaux alcalins ou alcalino-terreux ou du métal en fusion ou en poudre (aluminium, magnésium) sont impliqués afin de mettre en place des mesures de prévention et d'intervention adaptées : conception des installations permettant d'éviter toute introduction d'eau ou d'oxydant, formation des opérateurs.

c) Formation de gaz à l'eau

La formation de gaz à l'eau, mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone (CO), se produit lors du contact de l'eau avec des matières carbonées portées à très haute température (1 000°C) selon la réaction endothermique suivante :



Plusieurs cas de formation accidentelle de gaz à l'eau sont répertoriés dans la base de données (ARIA 20066, 27877, 29011...) ; ils concernent tous une intervention des pompiers avec arrosage de matières carbonées portées à très haute température (coke, charbon, copeaux de bois) du fait d'un incendie, entraînant la formation d'un mélange explosif d'hydrogène et de monoxyde de carbone. Ce phénomène parfois ignoré peut aussi survenir en cas d'apport d'humidité sur des feux couvants dans les silos, décharges ou simples capacités de stockage.

La connaissance de ce risque doit permettre de prévoir des moyens de lutte contre l'incendie adaptés aux matières en combustion en évitant notamment l'emploi d'eau (étouffement, recouvrement par des matériaux inertes...)

d) Réactions impliquant des hydrures

Les hydrures ($MxHy$) sont aujourd'hui utilisés comme mode de stockage d'hydrogène dans certaines piles à combustibles, preuve que ces composés constituent naturellement une « source » d'hydrogène et potentiellement un risque de rejet accidentel comme le montrent les 4 accidents recensés dans ARIA mettant en cause du borohydrure de sodium (ARIA 984, 5136, 24767 et 30679).

Ces composés très réducteurs utilisés dans l'industrie pharmaceutique, réagissent avec les oxydants (eau et humidité notamment) pour former de l'hydrogène. Généralement instables à température élevée, leur dégradation produit de l'hydrogène (ARIA 9841 et 30679).

L'accidentologie montre que les risques liés aux hydrures doivent également être pris en compte lors de la gestion des déchets chimiques (procédures, formation du personnel) ; dans 2 cas, l'accident ne survient pas lors de leur emploi mais après rejet dans les eaux usées ou dans les déchets (ARIA 24767 et 30679).

A Pessac (33), en 1995, une violente réaction se produit entre du métal en fusion et de l'eau après un contact accidentel au niveau d'une lingotière en sortie de four de fusion. Le mélange métal-vapeur est projeté. Cinq ouvriers sont brûlés, principalement aux membres supérieurs et à la tête, et sont hospitalisés. L'activité de fonderie est arrêtée, et une expertise judiciaire est demandée. Les dégâts matériels sont évalués à 2 MF (ARIA 6390).

A Champagnier (38), en 2005, une explosion se produit sur un pipeline transportant du chlore gazeux entre une plateforme chimique (producteur) et un fabricant d'élastomères (utilisateur). [...]

L'analyse de l'accident montre qu'une explosion H_2/Cl_2 en serait à l'origine, la formation de H_2 (20%) s'expliquant par la combinaison de plusieurs éléments : l'introduction accidentelle dans la conduite d'humidité lors d'une opération de maintenance ancienne a entraîné l'hydratation du chlorure ferrique présent. Le changement de phase cristalline du dépôt, attribué par l'exploitant, au chauffage excessif de la conduite (80 à 90 °C) a favorisé l'attaque de l'acier (par l'acide hypochloreux) et la formation de H_2 . Ce chauffage résulte d'une perte d'alimentation électrique d'un capteur de température suite à la rupture d'un câble sur le site de l'utilisateur lors de la manipulation mal maîtrisée d'une dalle de protection de l'ouvrage, 3 jours plus tôt.

En fait, la proportion d'hydrogène (20%) dégagée dans le chlore gazeux contenu dans la canalisation isolée à chaque extrémité, à faible pression (0,25 bar) au moment des faits constituait un mélange explosif qu'une très faible énergie d'initiation (de l'ordre de la dizaine de microjoules) suffisait à allumer.

L'exploitant nettoie l'intérieur de l'ouvrage (2,5 à 3 t de résidus minéraux et organiques extraits), et prévoit la mise en place de sondes de température tous les 500 m avec sécurités basse et haute, la révision et la sécurisation du traçage électrique, des contrôles endoscopiques réguliers... (ARIA 29864)

IV. CAUSES D'ACCIDENT ET FACTEUR ORGANISATIONNEL



ARIA 161 - Explosion dans une usine chimique à Auzouer-en-Touraine

Des **causes externes** sont tout ou partie responsables de 7 accidents de l'échantillon étudié. Il s'agit de :

- phénomènes météorologiques : foudre entraînant l'ignition de nuage ou le déclenchement d'installations (ARIA 343 et 11562) ou pluies à l'origine de contacts accidentels eau / métal (ARIA 14162 et 25689),
- défaut d'alimentation électrique des unités provoquant une mise en sécurité des installations (ARIA 15757),
- effet dominos « externe » par feux de forêt (ARIA 27877).

Comme déjà évoqué, les **défaillances matérielles** relevées dans l'accidentologie de l'hydrogène résultent principalement de :

- défaillances de joints, vannes etc. à l'origine de fuites (cf. II a « l'hydrogène, un composé léger »),
- problèmes de corrosion (cf. II c « endommagement des métaux et alliages »),
- défaillances d'automatismes ou d'instrumentations (ARIA 5136 – la défaillance d'un agitateur entraîne un emballement thermique, ARIA 10316 – l'encrassement d'une garde hydraulique provoque une accumulation d'hydrogène qui explosera, ARIA 17070 – la défaillance de la régulation de pH dans

une unité d'électrolyse est à l'origine d'une explosion, ARIA 22211 – Ouverture de soupape suivie d'une inflammation dues à la défaillance d'une mesure de pression, ARIA 33838 - Fuite enflammée d'hydrogène dans un atelier d'hydrogénation due à la défaillance de mesures de niveau...)

Plus de 70 % des accidents impliquant de l'hydrogène et dont les causes sont connues ont une origine organisationnelle ou humaine, seule ou associée à une défaillance matérielle.

Toutes les phases de la vie de l'installation sont concernées : conception (ARIA 6189, 21196 et 22249), étude de dangers (ARIA 26983), exploitation (ARIA 15018, 25494, et 32796), maintenance (ARIA 891, 8966, 20274 et 27273), modifications (ARIA 2903, 6189, 7315, 9841 et 22319), intervention (ARIA 3512, 14987, 20066, et 29011).

L'accidentologie de l'hydrogène met en évidence deux causes principales d'accidents liées au facteur organisationnel et humain : **les interventions pour maintenance ou entretien et les défauts de maîtrise de procédé.**

Sur les 25 accidents mortels recensés dans ARIA, 48 % se sont ainsi produits lors d'intervention de maintenance, ce chiffre s'élève à 100 % si l'on ne considère que les 5 cas survenus en France.

Parmi les accidents dont les causes sont liées à la **maintenance**, on trouve notamment des :

- interventions par point chaud sans vérification préalable suffisante de l'absence d'atmosphère explosive (ARIA 4501, 22278 et 27273);
- défauts ou mauvaises consignations des ouvrages en maintenance (ARIA 891, 22319, et 29864);
- lavages d'équipements sans analyse des risques suffisante (ARIA 7956, et 19461);
- interventions mal menées (défaut de montage de joint ou de serrage de boulonnerie...) entraînant des fuites d'hydrogène (ARIA 14779, 19490 et 32817),
- défaillances électriques ou d'automatismes faisant suite à des opérations de maintenance (ARIA 9541 et 19325).

Les **défauts de maîtrise de procédé** concernent quant à eux plus particulièrement :

- les installations d'électrolyse (ARIA 6444, 10316, 17070, 20351, 25777, et 30637)
- les emballements de réactions (ARIA 161, 5136, 7956, 9841 et 15140)
- les mauvaises gestions des déchets qui réagissant, forment de l'hydrogène susceptible d'exploser (ARIA 6759, 13017, 15532, 24767, 30679, et 32897).

La mise en place d'un **dispositif de gestion de la sécurité** performant doit permettre de réduire les risques liés à l'hydrogène, notamment grâce :

- à des procédures d'exploitation, de maintenance et d'intervention adaptées (ARIA 14987 et 22319), comprises et appliquées par les opérateurs (ARIA 14700 et 32796),
- à une maintenance préventive des équipements (ARIA 22249 et 22251),
- à la détection rapide des anomalies (ARIA 9541, 20274 et 22211),
- à la bonne formation des opérateurs (ARIA 161),
- au développement d'une culture élevée du risque dans l'établissement, compte tenu du fait qu'en présence d'hydrogène, le risque d'ignition est permanent (ARIA 30679).

Les risques liés à l'hydrogène concernent un très grand nombre d'activités qui emploient ou produisent de l'hydrogène : industrie chimique, pétrochimique, raffinage, industrie nucléaire, transport... mais aussi la métallurgie ou le traitement des métaux, la récupération et l'assainissement pour lesquels ces risques sont plus pernicieux, l'hydrogène étant alors souvent généré accidentellement .

Près de 20 % des accidents étudiés résultent de la formation accidentelle de H_2 par contact eau / métal en fusion, formation de gaz à l'eau, réaction impliquant des hydrures ou par corrosion des aciers. Ce dernier cas peut concerner nombre d'installations, notamment toutes celles utilisant des 'acides concentrés ; il peut en effet y avoir des dilutions accidentelles (par exemple à la suite d'une introduction d'eau, de lavage, d'une baisse progressive du titre...) susceptibles de générer de l'hydrogène. Une meilleure connaissance de ce type de réaction dangereuse par les exploitants concernés et les secours, peuvent limiter les risques correspondants.

Les propriétés de l'hydrogène – propension à fuir en raison de sa petite taille, mais aussi large domaine d'inflammabilité et très faible énergie d'ignition, faculté à détoner – le rendent particulièrement dangereux dans les espaces confinés ou semi-confinés (points hauts ou recoins des réservoirs, plafonds...) Ainsi, les accidents impliquant de l'hydrogène objet de cette synthèse, sont à 84 % des incendies et/ou des explosions, dont les conséquences notamment humaines sont souvent graves. La meilleure stratégie, adoptée notamment dans les ateliers de charge de batterie ou d'électrolyse, est de privilégier les milieux non confinés, non encombrés, en extérieur ou équipé d'une bonne ventilation.

Concernant l'origine des accidents impliquant de l'hydrogène, leur analyse montre que dans plus de 70 % des cas, le « facteur organisationnel et humain » joue un rôle prédominant dans les causes profondes de la survenue de ces accidents. Une vigilance permanente doit donc s'imposer au sein de l'entreprise, à tous les niveaux hiérarchiques - direction, encadrement, acteurs de terrain, sous-traitants – en gardant à l'esprit qu'en présence d'hydrogène, le risque d'ignition est permanent.

1 NASA GLENN RESEARCH CENTER

Glenn Safety Manuel, Chapter 6 – hydrogen, mars 2006.

2 INERIS – R. LODEL

Incendies et explosions de métaux en poudre, Rapport scientifique et technique, octobre 1992.

3 INRS – P. GROS

Projections explosives de métal liquide dans les fonderies d'aluminium – Causes et prévention, in « Cahiers de notes documentaires n°122 », 1^{er} trimestre 1986.

Incendies et explosions lors du travail des alliages d'aluminium et de métaux facilement oxydables, Mesures préventives, in « Cahiers de notes documentaires n°140 », 3^{ème} trimestre 1990.

4 INRS

Fonderies d'aluminium – Risques et prévention, juillet 1999.

5 L. MEDARD

Les explosifs occasionnels, Lavoisier TEC&DOC, 1987, Vol 2, Ch 31, p 809-821

6 INRS - J. LELEU

Réactions chimiques dangereuses, INRS ED697 – 1987

7 INERIS – S. EVANNO

Référentiels, guides de bonnes pratiques et modes de gestion du REX dans la prévention des projections explosives de métal en fusion. DRA-07-85166-17188A – version B, décembre 2007.

8 Code de construction des appareils à pression (CODAP – 2005 – SNCT publications) Annexe MA3 « comportement des aciers en présence d'hydrogène sous pression »

9 INERIS « résumé de connaissances sur l'hydrogène pour l'utilisation en tant que vecteur d'énergie alternatif » rapport DCE 07/85165- 15399A - dec 2007.

10 BARPI

- www.aria.developpement-durable.gouv.fr
- Pollution des eaux après une explosion dans une usine chimique à Auzouer-en-Touraine (37), le 8 juin 1988 – ARIA 161
- Incendie dans l'unité d'hydrogénation d'une usine chimique dans le land de Rhénanie-Westphalie (Allemagne), en 1997 – ARIA 14700
- Déflagration dans un réacteur sur un site de chimie fine, à Marans (17), le 3 septembre 2002 – ARIA 23017
- Fuite de chlore dans un atelier de liquéfaction d'une usine chimique, à Vieux-Thann (68), le 13 janvier 2004 – ARIA 26208
- Explosion d'un raffineur de copeaux de bois et incendie, à Corbenay (70), les 20 et 25 janvier 2005 - ARIA 28990 et 29011
- Explosion d'une canalisation de chlore à Champagnier (38), le 21 mai 2005 – ARIA 29864
- Explosion dans un bac d'acide sulfurique à Pierre-Bénite (69), le 26 novembre 2005 – ARIA 31082

SELECTION D'ACCIDENTS FRANCAIS CITES DANS LE TEXTE



L'échelle européenne des accidents industriels :

La cotation pour les 4 critères de l'échelle européenne est indiquée pour chacun des accidents. Elle permet de rendre compte de l'importance des accidents après leur analyse détaillée. L'échelle est fondée sur 18 paramètres regroupés en 4 indices :

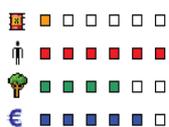
Matières dangereuses relâchées		<input type="checkbox"/>	(2 paramètres)					
Conséquences humaines et sociales		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(7 paramètres)
Conséquences environnementales		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5 paramètres)
Conséquences économiques		<input checked="" type="checkbox"/>	(4 paramètres)					

Les informations permettant de déterminer le niveau élémentaire de chaque paramètre sont disponibles sur le site :

www.aria.developpement-durable.gouv.fr

dans la rubrique « Outils d'information / Echelle européenne des accidents ». Pour un accident donné, le niveau de chaque indice correspond au niveau le plus élevé atteint par l'un quelconque des paramètres qui le compose. Seuls certains de ces 18 paramètres, prévus pour couvrir la variété des conséquences susceptibles d'apparaître dans la diversité des événements possibles, sont généralement pertinents pour caractériser un accident.

ACCIDENTS



ARIA 161 - 08/06/1988 - 37 - AUZOUER-EN-TOURAIN

24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base

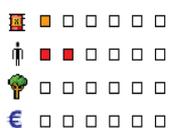
Une explosion et un incendie se produisent la nuit dans une usine chimique lors de la fabrication d'un imperméabilisant à base d'huile de silicone et d'additifs.

Un opérateur débutant (engagé depuis 6 mois), récemment affecté à ce poste, est laissé sans encadrement vers 1 h pour s'occuper d'un procédé modifié en juin et mis en oeuvre pour la 2ème fois. Le mode opératoire ne précisant pas l'ordre d'introduction des réactifs, il charge 800 kg d'huile dans la cuve 1702 au 1er étage, met le réacteur en chauffe, descend au rdc pour pomper du réactif et aperçoit, en montant au 2ème pour remplir une cuve d'eau, une sorte de brouillard s'échappant de la cuve 1702. L'explosion qui se produit alors vers 3h résulte de la formation d'hydrogène généré par la décomposition de l'huile de silicone après l'ajout brutal et non contrôlé de l'alcoolate très basique. L'incendie qui s'en suit, ravage 500 t de substances chimiques (alcools surtout), se propage à une grande partie du site (7 000 m²) et crée un important nuage de fumées.

L'opérateur, projeté à 10 m, commotionné, souffre de graves brûlures et blessures. Pendant l'intervention, 2 pompiers sont blessés et 15 autres intoxiqués. En dépit des difficultés d'intervention rencontrées, les secours maîtrisent le sinistre en 4 h. Des analyses atmosphériques indiquent de faibles teneurs en CO et NOx. L'absence de dispositifs de rétention, des bras morts et un dysfonctionnement de la station d'épuration interne conduisent au déversement des eaux d'incendie (produits cyanurés, pentachlorophénols...) dans la Brenne. La Cisse et la Brenne (affluent) sont polluées sur 23 et 5 km éliminant toute trace de flore et de faune : destruction de 20 t de poissons, de mammifères aquatiques ou terrestres... Un indice phénol élevé est relevé dans la Loire : les captages sont arrêtés le 9/06 privant d'eau potable 200 000 habitants de Tours et de sa région, mais reprennent 3 j plus tard avec restriction pour l'alimentation humaine pendant 8 j. Un ravitaillement en eau potable est organisé pendant 10 j. Les dommages matériels et les pertes de production de l'entreprise sont de 45 MF et 8 MF.

Des peines d'emprisonnements avec sursis sont prononcées : 1 an pour le président de la société et 120 KF d'amende, 6 mois pour le chef d'établissement et 60 KF d'amende. Les intérêts à verser aux parties civiles sont de 800 KF.

Cet accident résulte surtout d'une défaillance organisationnelle profonde (pas de politique de sécurité, procédures incomplètes...).



ARIA 169 - 09/08/1989 - 69 - SAINT-FONS

24.6L - Fabrication de produits chimiques à usage industriel

Des travaux de meulage doivent être menés sur un réservoir ayant contenu de l'acide sulfurique. Toutes les procédures travaux (neutralisation de boues restantes par du carbonate, mesures d'oxygénométrie-explosimétrie en divers endroits) sont correctement effectuées. Au début de l'opération, une déflagration se produit à l'intérieur du réservoir. Un mort et 2 blessés graves sont à déplorer. Le réservoir est partiellement détruit. Cette explosion est due à la présence d'hydrogène (100 g) dans une zone morte où aucune mesure n'a été faite. L'hydrogène provient de la corrosion du fer du réservoir par l'acide sulfurique.



ARIA 176 - 23/02/1989 - 76 - LE GRAND-QUEVILLY

24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais

Dans une boucle de synthèse d'ammoniac, une fuite de gaz de synthèse (75 % H₂ et 25 % N₂ à 30 °C) a lieu sur une vanne d'isolement d'un dispositif de contrôle de niveau d'une capacité à 250 bars. Une explosion se produit alors que 2 ouvriers d'une entreprise extérieure interviennent. Ces derniers sont tués et un incendie se déclare sur l'installation. Aucune conséquence n'est à signaler à l'extérieur du site. Quatre autres interventions auraient été effectuées sur cette vanne en moins de 1 an sans réussir à stopper la fuite. Un suivi (fixations, boulons) avec enregistrement des interventions est effectué pour tous les équipements importants pour la sécurité. Une inspection générale portant sur la sous-traitance est organisée.



ARIA 437 - 01/10/1988 - 69 - SAINT-FONS

24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base

A 6h10, un réservoir de 3 000 l d'hydrogène gazeux datant de 1939 (L=14 m, diam.=570 mm) explose à 135 b durant des hydrogénations sur un site chimique. Des opérateurs qui notent une explosion violente suivie d'une boule de feu rouge orangée, donnent l'alerte. L'atelier d'hydrogénation est arrêté en urgence. Un départ d'incendie est rapidement maîtrisé. En fosse enterrée ouverte avec toiture en fibrociment (L=16 m, l=5 m, prof.= 4 m), située à 20 m de la limite de propriété, la centrale d'H₂ mise en service en 1986 abritait 8 bouteilles forgées de 1 000 à 3 300 l en position horizontale sur supports métalliques, reliées par des canalisations avec vannes manuelles ; toutes les bouteilles se videront. La canalisation d'alimentation unique disposait d'une vanne pneumatique à fermeture par manque d'air commandée par un arrêt coup de poing ; son alimentation en air, sectionnée par un missile (l'un de 183 kg est projeté à 22 m, un autre de 33 kg à 145 m...) isole la centrale des unités sous pression d'H₂.

Il n'y a pas de victime. Des dommages matériels internes et externes sont observés jusqu'à 500 m dans l'axe du stockage, la majorité étant localisés dans un rayon de 350 m : bris de bardages et toitures en fibrociment des ateliers exposés, de vitres et de vitrines de magasin, déplacement de tuiles. A un moment moins favorable, cette explosion aurait pu occasionner des dommages corporels hors du site.

Une expertise conclue à une rupture différée (fatigue statique) du réservoir par fragilisation de l'acier sous l'effet de l'hydrogène. La bouteille recyclée avait été utilisée sur d'autres sites, notamment comme réserve d'azote. L'usine disposait de 2 centrales d'H₂ prévues pour couvrir les pointes de débit lors des différents cycles d'hydrogénation, la station de compression existante ne disposant pas d'un débit suffisant.

L'exploitation du réseau et de tous les réservoirs d'hydrogène sous pression (150 b) de l'usine est suspendue, au bénéfice d'une alimentation directe sous 35 b.



ARIA 7518 - 31/10/1995 - 76 - BOLBEC

24.4A - Fabrication de produits pharmaceutiques de base

Dans une usine de fabrication de produits pharmaceutiques, une explosion a lieu lors de la 1ère mise en service d'un réacteur d'hydrogénation durant un essai d'étanchéité des joints effectué sous atmosphère d'hydrogène à très haute pression. L'accident a pour origine la rupture de l'un des joints testés, suivie de l'auto inflammation de 30 l d'un mélange air/H₂. Souffrant de brûlures et de douleurs du système auditif liées aux surpressions, 5 employés proches du réacteur et qui procédaient à l'essai, sont hospitalisés ; 2 d'entre eux resteront hospitalisés plus de 48 h (bourdonnements aux oreilles). Les dommages matériels se limitent au périmètre immédiat du réacteur. Les détecteurs H₂ devant asservir à la fermeture la vanne d'alimentation d'H₂ n'étaient pas encore installés, mais cette absence n'a pas été critique (réaction rapide des employés). Les essais préalables réalisés sous azote étaient insuffisants.



ARIA 8966 - 02/02/1980 - 73 - HERMILLON

27.4D - Première transformation de l'aluminium

Dans une usine transformant de l'aluminium, un feu de poussières d'Al se déclare à 8h15 sur une vis sans fin alimentant un transporteur. Des travaux (enveloppe de la vis découpée au chalumeau) génèrent des battitures qui enflamment de la poussière sur le sol. La poussière d'Al incandescente entraînée par le vent se propage vers des tunnels d'atomisation, des égouts et un puits perdu. Cette poussière et l'hydrogène formé au contact de l'eau provoquent 4 explosions violentes. L'incendie gagne un stock de poudre d'Al en sacs et en fûts. Violent jusqu'à 12 h, il est maîtrisé vers 15 h. Les dommages internes sont importants (toits soufflés, cratère, ...). Des missiles sont retrouvés dans un rayon de 50 m. Il n'y a ni victime ni dommage sur l'environnement.



ARIA 9477 - 10/08/1977 - 69 - SAINT-FONS

24.1C - Fabrication de colorants et de pigments

Dans une usine chimique en arrêt saisonnier, un conteneur ayant été utilisé pour le transport d'oléums doit être rincé avant ferrailage. Lors de l'introduction d'eau, le réservoir est projeté contre un mur situé à 30 m et un brouillard sulfurique se forme. Trois employés sont blessés.

ACCIDENTS



ARIA 9841 - 02/09/1996 - 63 - VERTOLAYE

24.4A - Fabrication de produits pharmaceutiques de base

Dans une usine chimique, une violente explosion se produit au cours d'une synthèse en batch de chlorobenzorex à partir d'une solution aqueuse sodée de borohydrure de sodium contenu dans une nourrice sur chariot mobile. L'atelier est dévasté : le toit est soufflé, les parois légères sont déplacées, les conduites de solvants sont coupées par les projections mais le matériel de process n'est pas endommagé à l'exception de la nourrice détruite. Projeté contre des conteneurs par l'onde de choc, un opérateur, hors de l'atelier mais proche d'une porte, est blessé aux côtes, il sera hospitalisé pour une durée de 1 mois.

La mise en solution du borohydrure de sodium (44 kg de poudre pour 130 kg de solution) se fait 2 h avant la synthèse, dans une nourrice de 630 L fermée et agitée ; la dissolution se faisant difficilement, le mode opératoire avait été modifié depuis peu, un réchauffement de la solution étant désormais réalisé par ruissellement d'eau chaude (45-55°C). A 14h10, le réacteur est placé sous circulation d'azote (N₂) puis est relié à la nourrice dont le chauffage est stoppé. A 14h15, le piquage d'arrivée d'azote sur la nourrice est connecté au flexible d'alimentation. A 14h20, le transfert de N₂ vers la nourrice débute et les vannes d'alimentation du réacteur et de fond de nourrice sont partiellement ouvertes (débit de 100 L/h - P(N₂) = 2,8 bar). A 14h40, le flexible d'azote équipant la nourrice est brusquement arraché, une fuite de gaz s'échappant par l'ouverture ainsi créée. L'atelier est évacué des personnels non essentiels et une équipe d'intervention installe une vanne sur le piquage pour stopper la fuite. Les intervenants tentent alors de décompresser la nourrice dans le réacteur ; pour cela ils ouvrent au maximum la vanne du réacteur et tentent d'ouvrir la vanne de la nourrice dont l'accès est difficile. A ce moment, le trou d'homme de la nourrice cède quelques secondes avant que celle-ci n'explose.

Les investigations poussées réalisées après l'accident montreront qu'une décomposition thermique du borohydrure de sodium initiée par une température de stockage trop élevée (50°C dû au ruissellement d'eau chaude) en est à l'origine. Le maintien de la température de 50°C a stabilisé la vitesse de décomposition de telle façon que la faible quantité d'hydrogène formée pouvait s'échapper par les fuites de la nourrice. Lorsque le chauffage a été arrêté, le système a évolué de façon autonome : la température a augmenté sous l'effet de la chaleur de décomposition tout comme la pression, provoquant l'explosion thermique. La trappe de visite s'est ouverte sous une pression de 15 à 20 bar puis la nourrice s'est déchirée. La dépressurisation de l'hydrogène sous forme d'onde de choc a causé les dommages constatés sur l'atelier.

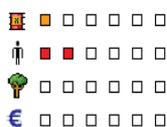
Enfin, une mauvaise connaissance des propriétés de l'hydrure et l'absence d'analyse critique des procédés par l'application des procédures de modification et la prise en compte des incidents de production est également en cause.



ARIA 14987 - 11/09/1991 - 13 - MARTIGUES

24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base

Sur un site de production de chlore, une explosion a lieu lors du démarrage d'une installation à la suite du colmatage d'une garde hydraulique par les produits d'extinction d'un feu qui s'était déclaré au niveau de l'évent du circuit d'évacuation d'hydrogène. Le colmatage a provoqué une montée en pression du collecteur d'hydrogène et le passage, à travers les diaphragmes, du gaz inflammable dans celui du chlore. Le mélange Cl₂ / H₂ a ensuite rejoint l'unité de dessiccation Cl₂ avant d'exploser. L'explosion aurait été initiée par une décharge d'électricité statique ou le rayonnement d'UV. Le POI est déclenché. Aucune victime n'est à déplorer mais les tours de dessiccation sont détruites et le collecteur chlore est endommagé. L'augmentation de la teneur en hydrogène du chlore avait été détectée par un analyseur en ligne 15 min avant l'explosion. L'accident met en évidence des moyens inappropriés d'extinction d'un feu d'hydrogène ou insuffisants en ce qui concerne la détection de surpressions dans le collecteur d'hydrogène et l'analyse de ce gaz dans le chlore, ainsi que des procédures de conduite inadéquates quant aux modalités d'intervention en cas de surpression d'H₂ ou de pollution du chlore par le gaz inflammable. Des mesures correctives sont mises en place : élimination des causes de montées en pression dans le collecteur H₂, renforcement et fiabilisation des détecteurs de surpression d'hydrogène et de présence de ce dernier dans le chlore, adaptation des procédures de conduite aux initiateurs (surpression d'H₂ et pollution du chlore par l'hydrogène).



ARIA 23317 - 15/10/2002 - 52 - BROUSSEVAL

27.5A - Fonderie de fonte

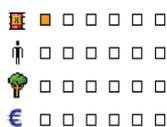
Dans une fonderie, lors du transfert d'une poche de fonte en fusion entre 2 bâtiments de production, l'engin de manutention bascule dans le canal des MOULINS. Une explosion se produit sous le pont situé à proximité. Des projections et l'effet de souffle endommagent les bâtiments voisins (fenêtres brisées, bardage et toiture partiellement soufflés, pont détruit). Quatorze personnes sont blessées dont 2 hospitalisées. L'explosion est due au contact du métal en fusion avec l'eau.



ARIA 25112 - 26/06/2003 - 38 - LE PONT-DE-CLAIX

24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Deux incendies successifs se déclarent à quelques minutes d'intervalle au niveau de 4 cellules (1 isolée + 3 consécutives) dans la salle d'électrolyse d'une usine de production de chlore. Ces feux sont maîtrisés par les opérateurs grâce aux moyens anti-incendie proches. La présence simultanée d'hydrogène (H₂) et d'une étincelle due à un court-circuit est responsable des 2 accidents. Dans le 1er cas, la fuite d'H₂ résulte du débranchement manuel du raccordement caoutchouc-plastique au collecteur d'H₂ ; cette action objet d'une procédure est exécutée lorsque l'H₂ est de qualité insuffisante pour être collecté. Lors du 2ème incendie, un manchon percé par la corrosion est à l'origine de la fuite d'H₂. Plusieurs causes sont identifiées pour expliquer l'amarçage des court-circuits : isolants défectueux ou inadaptés (leurs caractéristiques n'ont pas été étudiées), non-étanchéité anode / cathode, rapprochement de l'anode et de la bride H₂ à la suite d'une modification de la sortie de l'H₂ et à une dérive de l'alignement des cellules. L'analyse des causes de l'accident et les actions correctives retenues sont présentées en CHSCT avant la reprise de l'exploitation : définition d'un isolant plus adapté, amélioration des diaphragmes du procédé pour limiter la présence de chlore dans l'hydrogène et éviter ainsi le débranchement du raccordement au collecteur, amélioration du contrôle qualité et de la surveillance par le chef d'équipe, rabotage des brides H₂ pour diminuer leur proximité avec l'anode, large diffusion des enseignements de l'accident au personnel, amélioration des procédures et consignes, réalisation d'un inventaire de toutes les anomalies d'isolement de l'ensemble des cellules...



ARIA 26208 - 13/01/2004 - 68 - VIEUX-THANN

24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Lors de la phase de redémarrage de l'atelier d'électrolyse d'une usine chimique, une fuite de chlore (Cl₂) gazeux se produit sur une canalisation dans l'unité confinée de liquéfaction de chlore. Les opérateurs stoppent les installations et quittent les lieux. Le POI de l'établissement est déclenché, puis levé 1h30 plus tard. Selon l'exploitant, sur les centaines de kg de Cl₂ rejetées dans le bâtiment, seulement 3 kg ont été rejetés à l'atmosphère, le système de confinement dynamique qui débouche sur une tour de neutralisation ayant joué son rôle. Les détecteurs de Cl₂ signalent un dépassement du seuil de 5 ppm pendant 20 s en limite de site et durant 20 min à proximité du local. Cet accident n'a pas eu de conséquence identifiée sur l'environnement, les riverains ou le personnel de l'usine. Une fuite, liée à la disparition de la canalisation sur quelques dizaines de cm de long (canalisation véhiculant le chlore dit 'résiduaire' d'un séparateur gaz / liquide à l'unité de fabrication d'eau de Javel) est à l'origine de l'accident. Cette disparition est due à une combustion de l'acier de la conduite par le chlore, elle-même semble-t-il causée, selon l'exploitant, par la présence d'hydrogène (H₂) dans la canalisation, du fait d'un défaut de surveillance. La teneur en H₂ dans le chlore résiduaire qui doit rester inférieure à la LIE (4,6 %), est pilotée manuellement par le taux d'évaporation du chlore dans le séparateur gaz/liquide et surveillée par analyse. Lors de l'accident, un défaut de réaction de l'opérateur face à une élévation du taux d'H₂ a conduit au dépassement de la LIE qui a atteint une teneur de 6,7 %. Pour diminuer cette teneur, le taux d'évaporation de chlore a été augmenté provoquant ainsi une élévation de débit de chlore résiduaire, qui a probablement fourni la faible énergie suffisante à initier la combustion. La flamme, stabilisée à proximité d'une vanne et d'un débitmètre, a entraîné la combustion fer / chlore lorsque la température a atteint 130 °C. Pour diminuer la probabilité de renouvellement d'un tel accident, l'exploitant décide de renforcer la surveillance de la teneur en H₂ et de stopper l'atelier électrolyse dès que le taux d'H₂ dépasse 3,5 % dans le chlore résiduaire. Cette teneur sera par ailleurs garantie par la réalisation en continu d'un bilan matière sur le chlore naif.

ACCIDENTS



ARIA 26618 - 04/12/1991 - 27 - VERNON

35.3C - Construction de lanceurs et engins spatiaux

Le 4 décembre 1991, une combustion interne se produit dans un réservoir d'essai d'hydrogène (H₂) liquide sous haute pression de 12 m³ (700 kg de H₂ liquide), sur un site d'essai de matériels spatiaux. Les détecteurs ayant repéré l'anomalie, l'essai est stoppé. Aucune conséquence n'est à signaler. Le réservoir, mis en service en 1988, est associé à des réservoirs de stockage d'H₂ gazeux et d'oxygène (O₂) liquide. Il possède une structure à double enveloppe avec vide inter-parois. De structure multicouche, la paroi interne est en acier austénitique et d'une épaisseur totale de 157 mm. Sa pression maximale supportée est de 400 bar, sa pression d'utilisation de 250 bar.

En octobre 1990, une suspicion de pollution du réseau d'H₂ gazeux suite à une prise d'air en amont d'un compresseur, conduit à la vidange et l'assainissement (par injection d'hélium) du réservoir d'essai en juillet 1991.

Le 4 décembre 1991, un essai est effectué : le réservoir d'H₂ liquide est mis en pression par un dispositif de régulation (+ 250 bar en 30 sec). Alors que la pression dans le réservoir atteint 160 bar, un bruit de chute est perçu et les détecteurs enregistrent un saut de pression de 10 bar. Les variations importantes et rapides des paramètres mesurés (températures de paroi, pression, débit) entraînent l'arrêt de l'essai. La combustion d'un glaçon d'O₂ présent dans le bras mort de la conduite de vidange du réservoir est à l'origine de l'incident. Ce glaçon d'O₂ résulte de l'introduction régulière d'air du fait des impuretés nominalement présentes dans l'H₂ et de la pollution accidentelle du réseau en octobre 90, de la présence d'air dans le bras mort lors de l'assainissement de juillet 91 (l'hélium est moins dense que l'air), de la re-solidification de l'air lors du remplissage du réservoir en H₂ liquide. Ainsi, le bras mort était obstrué par un glaçon d'air piégeant un mélange air / H₂ dans la partie aval du bras mort.

Plusieurs foyers de combustion ont été localisés : en phase condensée, entre l'O₂ solide et l'H₂ gazeux, en phase peu dense, entre l'H₂ et l'O₂ gazeux. L'initiation de la combustion s'est sans doute effectuée par la friction des glaçons contre les parois et la compression adiabatique du mélange H₂/O₂ gazeux. La remise en service du réservoir s'effectuera après 4 mois d'arrêt, après investigation et mise en place d'une vanne de purge permettant le drainage régulier du bras mort et évitant ainsi l'accumulation de particules d'O₂.



ARIA 29864 - 21/05/2005 - 38 - CHAMPAGNIER

24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Une explosion se produit sur un pipeline transportant du chlore gazeux entre une plate-forme chimique (producteur) et un fabricant d'élastomères (utilisateur).

La canalisation, construite en 1961 pour transporter de l'acide chlorhydrique (HCl), est exploitée depuis 1986 pour le transport de Cl₂ désoxygéné et séché. D'un diamètre de 200 mm et de 3 600 m de long, en acier peint, calorifugée et tracée sur la partie externe supérieure par un tube de chauffage par effet de peau, elle fonctionne à 4 bar relatifs et 30 °C. Depuis la veille, la production étant stoppée pour un arrêt de maintenance de 10 j, la pression dans le 'chloroduc' a été ramenée à 0,25 bar.

L'explosion se produit à 150 m du point de livraison, hors du site utilisateur. Sur 70 m de long, la canalisation rompue en 4 points porte des traces d'ondes de choc internes. Malgré de nombreuses projections de débris de canalisation dans un rayon de 150 m, aucune victime n'est à déplorer. La quantité de Cl₂ émise est estimée à 475 kg. Les dégâts relevés (rupture en hélice, onde de pression...) indiquent le caractère détonant de l'explosion. Les conséquences matérielles sont importantes sur les 4 autres canalisations (diam. 100 mm) du rack aérien : les 2 conduites d'azote (13 b, 2 à 3 000 m³/h) sont déformées mais ne présentent pas de fuite, leur pression est ramenée à 10 bar ; celle d'oxygène (10 b), aussi endommagée est vidangée ; la dernière, désaffectée, est sous N₂ à pression atmosphérique.

L'analyse de l'accident montre qu'une explosion H₂/Cl₂ en serait à l'origine, la formation de H₂ (20%) s'expliquant par la combinaison de plusieurs éléments : l'introduction accidentelle dans la conduite d'humidité lors d'une opération de maintenance ancienne a entraîné l'hydratation du chlorure ferrique présent. Le changement de phase cristalline du dépôt, attribué par l'exploitant, au chauffage excessif de la conduite (80 à 90 °C) a favorisé l'attaque de l'acier (par l'acide hypochloreux) et la formation de H₂. Ce chauffage résulte d'une perte d'alimentation électrique d'un capteur de température suite à la rupture d'un câble sur le site de l'utilisateur lors de la manipulation mal maîtrisée d'une dalle de protection de l'ouvrage, 3 jours plus tôt.

En fait, la proportion d'hydrogène (20%) dégagée dans le chlore gazeux contenu dans la canalisation isolée à chaque extrémité, à faible pression (0,25 bar) constituait un mélange explosif qu'une très faible énergie d'initiation (de l'ordre de la dizaine de microjoules) suffisait à allumer.

L'exploitant nettoie l'intérieur de l'ouvrage (2,5 à 3 t de résidus minéraux et organiques extraits), et prévoit la mise en place de sondes de température tous les 500 m avec sécurités basse et haute, la révision et la sécurisation du traçage électrique, des contrôles endoscopiques réguliers...



ARIA 31082 - 26/11/2005 - 69 - PIERRE-BENITE

24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Une explosion se produit sur un site chimique, provoquant l'ouverture partielle du dôme d'un bac de stockage d'acide sulfurique à 99,2 % (rempli à 300 t sur une capacité de 1500 t). L'ouverture s'est effectuée selon la circonférence du bac au niveau du raccord dôme/virole. Le POI est déclenché. Aucune émission ou écoulement n'est constaté, seules des fumerolles sont observées au droit de l'ouverture. Aucune conséquence humaine ou environnementale n'est relevée, les dégâts matériels sont limités aux seuls équipements situés au-dessus du bac (tuyauteries d'arrivée d'acide, ligne de respiration vers le sécheur, passerelle, ligne vapeur...). La présence d'hydrogène (quelques dizaines de grammes), généré par corrosion de l'acier du bac par de l'acide faible, serait à l'origine de l'explosion. L'accident fait suite à une série d'incidents sur l'unité de production de H₂SO₄ par absorption de SO₂ sur colonnes garnies : 2 perçages successifs des échangeurs thermiques eau/acide de la colonne de transfert, la veille de l'accident, ont entraîné l'envoi dans le bac de stockage d'acide à un titre de 85 % (1er incident), puis d'acide de titre pratiquement nul (2ème incident). Avant l'explosion, le bac contenait un mélange non homogène avec un titre plus faible en surface. C'est 1h15 après la mise en service de l'agitation du bac que l'explosion s'est produite, l'ignition de H₂ (qui nécessite une énergie très faible) étant probablement d'origine électrostatique. Les 2 perçages de l'échangeur thermique sont dus à un phénomène de corrosion par piqûre près des cordons de soudure du côté eau de refroidissement. La modification du traitement biocide anti-légionelles depuis 1 an aurait favorisé la corrosion par piqûre de l'installation : l'utilisation d'eau de Javel à la place du brome a fortement augmenté le pouvoir oxydant de l'eau et a donc fait chuter la température d'amorçage des piqûres de corrosion. La diminution des vitesses de passage de l'eau (due à la baisse d'activité de l'atelier sur une longue période), contribuant à l'augmentation de température du milieu, est un autre facteur aggravant à l'origine de l'accident. Les mesures prises concernent le traitement de l'eau (utilisation temporaire d'un biocide non oxydant et étude d'un traitement continu chlore-brome), la détection d'arrivée anormale d'eau dans le procédé (sonde de température alarmée, 2 fitrimètres), les procédures d'exploitation (interdiction d'envoi d'acide faible dans les stockages).



ARIA 33330 - 01/06/2005 - 76 - GONFREVILLE-L'ORCHER

23.2Z - Raffinage de pétrole

Les contrôles d'inspection effectués lors d'un grand arrêt du reformeur d'une raffinerie, utilisant notamment des contrôles par AUBT (Advance Ultrasonic Backscat-tering Technique) des tôles, des contrôles de soudure par TOFD (Time Of Flight Diffraction) et par magnétoscopie sur les calandres en acier faiblement allié à 0,5 % Mo, visent à la recherche d'attaque par hydrogène à chaud sur le train d'échange charge/effluent. Les premiers contrôles AUBT réalisés à partir de l'extérieur mettent en évidence des dégradations. Ces constatations sont confirmées à l'ouverture des équipements par l'apparition des blisters (cloques) en pleine tôle et des fissurations au niveau des soudures longitudinales. L'exploitant prévoit la construction et le remplacement en urgence des équipements corrodés par 4 calandres en acier 1,25 % Cr.

La tenue des aciers 0,5 % Mo à l'attaque par hydrogène à chaud a été progressivement remise en cause depuis les années 1970. Elle est actuellement considérée comme similaire à celle des aciers carbone non allés. Sur les unités anciennes, ces matériaux ont été choisis conformément aux courbes de Nelson en usage à l'époque de la construction mais ils sont potentiellement sensibles à l'attaque par hydrogène à chaud. Les équipements en 0,5 % Mo travaillant sous hydrogène doivent donc être identifiés et classés selon leur criticité, inspectés par AUBT et contrôle des soudures (TOFD, Magnétoscopie) pour rechercher des dégradations hydrogène et remplacés systématiquement pour les plus critiques en cas d'apparition de dégradations.

ACCIDENTS TECHNOLOGIQUES EN LIGNE

Sécurité et transparence sont deux exigences légitimes de notre société. Aussi, depuis juin 2001 le site www.aria.developpement-durable.gouv.fr du Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire propose-t-il aux professionnels et au public des enseignements tirés de l'analyse d'accidents technologiques. Les principales rubriques du site sont présentées en français et en anglais.

Sous les rubriques générales, l'internaute peut, par exemple, s'informer sur l'action de l'Etat, disposer de larges extraits de la base de données ARIA, découvrir la présentation de l'échelle européenne des accidents, prendre connaissance de l'indice relatif aux matières dangereuses relâchées pour compléter la « communication à chaud » en cas d'accident ou d'incident.

La description des accidents, matière première de toute démarche de retour d'expérience, constitue une part importante des ressources du site : déroulement de l'événement, conséquences, origines, circonstances, causes avérées ou présumées, suites données et enseignements tirés.

Une centaine de fiches techniques détaillées et illustrées présente des accidents sélectionnés pour l'intérêt particulier de leurs enseignements. De nombreuses analyses par thème ou par secteur industriel sont également disponibles. La rubrique consacrée aux recommandations techniques développe différents thèmes : chimie fine, pyrotechnie, traitement de surface, silos, dépôts de pneumatiques, permis de feu, traitement des déchets, manutention...

Une recherche multicritères permet d'accéder à l'information sur des accidents survenus en France ou à l'étranger.

Le site www.aria.developpement-durable.gouv.fr s'enrichit continuellement. Actuellement, près de 32 000 accidents sont en ligne et de nouvelles analyses thématiques verront régulièrement le jour.

Les résumés des événements présentés sont disponibles sur le site :

www.aria.developpement-durable.gouv.fr

Bureau d'analyse des risques et pollutions industriels
2 rue Antoine Charial
69426 Lyon Cedex 03
Téléphone : 04 37 91 44 89

Service des risques technologiques
Direction générale de la Prévention des risques
Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement
Durable et de l'Aménagement du Territoire
Grande arche de la Défense - Paroi Nord
92055 La Défense cedex
Téléphone : 01 40 81 92 32



Analyse de l'accidentologie de l'hydrogène / Annexe I :

Synthèse sur 215 cas répertoriés dans ARIA et survenus avant le 1er juillet 2007

Table des matières

Les accidents mortels – 25 cas.....	2
En France - 5 cas.....	2
A l'étranger – 20 cas.....	2
Les activités concernées	2
Raffinage / Pétrochimie – 47 cas	2
Unités de désulfuration – 19 cas	2
Unité de réformage – 8 cas	2
Autres Unités – 20 cas.....	3
Industrie chimique – 84 cas	3
Synthèse d'ammoniac ou d'engrais – 28 cas	3
Unité d'électrolyse – 14 cas.....	3
Autres industries chimiques (hors transports, conditionnement et stockage) – 42 cas	3
Métallurgie / Travail des métaux – 17 cas	4
Transports, conditionnement et stockage d'hydrogène – 35 cas.....	4
Autres – 30 cas.....	5
Génération accidentelle d'hydrogène – 46 cas.....	5
Corrosion des aciers – 13 cas.....	5
Réaction eau / métal – 20 cas.....	5
Phénomène de gaz à l'eau – 3 cas	6
Autres réactions – 10 cas	6
Les équipements impliqués	6
Canalisations – 60 cas	6
Autres canalisations – 45 cas	6
Réacteurs – 22 cas.....	7
Cuves de stockage (fixes et mobiles) – 24 cas.....	7
Compresseurs – 11 cas.....	7
Bouteilles – 12 cas	8
Postes de chargement / déchargement / emplissage – 5 cas.....	8
Fours – 4 cas.....	8
Les causes connues – 158 cas.....	8
Défaillances matérielles.....	8
Corrosion / fatigue – 23 cas	8
Pertes d'étanchéité, fuites... (hors corrosions) – 23 cas.....	8
Défaillances d'instrumentations ou d'automatismes – 14 cas	9
Autres défaillances matérielles – 20 cas	9
Facteur humain / défaillances organisationnelles	9
Défaut de maîtrise de procédé – 30 cas	9
Erreur de gestes, d'appréciation... / facteur humain – 26 cas	10
Autres défaillances organisationnelles ou humaines – 52 cas	10
Causes externes – 7 cas	11

Les accidents mortels – 25 cas

En France - 5 cas

[ARIA 169](#) – L'explosion d'hydrogène produit par corrosion dans un réservoir d'acide en travaux fait 1 mort et 2 blessés graves. [ARIA 170](#) – Une fuite enflammée d'hydrogène sur une canalisation en maintenance tue 4 opérateurs et en blesse 3 autres. [ARIA 176](#) – 2 opérateurs extérieurs sont tués par une explosion d'hydrogène à la suite d'une fuite de gaz de synthèse dans une unité d'ammoniac. [ARIA 3512](#) – L'hydrogène produit par réaction d'eau avec du métal en fusion explose et tue 1 opérateur. [ARIA 7956](#) – Une explosion suivie d'un incendie dans une unité d'hydrogénation tue 1 opérateur.

A l'étranger – 20 cas

[ARIA 49](#) – En Italie, l'explosion d'un réacteur de synthèse d'ammoniac tue 1 opérateur. [ARIA 324](#) – Dans une raffinerie aux USA, un UVCE dû à la corrosion d'une canalisation par l'hydrogène fait 7 morts et 48 blessés. [ARIA 891](#) - Une explosion lors d'une maintenance sur un réacteur de polyéthylène tue 23 personnes dans une usine américaine. [ARIA 1792](#) - Au Japon, une fuite d'hydrogène sur un échangeur d'une raffinerie explose tuant 10 opérateurs. [ARIA 4501](#) – En Ukraine, fuite de H₂ sur une conduite à 200 m d'un réacteur nucléaire, suivie d'une explosion et d'un incendie, tuant un opérateur. [ARIA 5133](#) – Au Japon, une explosion suivie d'un incendie dans une unité ammoniac fait 1 mort. [ARIA 5356](#) – Au Japon, une fuite de gaz de synthèse riche en hydrogène explose et tue 1 opérateur. [ARIA 5428](#) – En Norvège, l'explosion d'hydrogène dans une unité ammoniac fait 1 mort et 2 blessés graves. [ARIA 6189](#) – En Ecosse, l'explosion d'un séparateur basse pression suivi d'un incendie tue 1 opérateur dans une raffinerie. [ARIA 6481](#)- Aux USA, la présence de H₂ dans un réservoir de chlore provoque une explosion tuant 1 opérateur. [ARIA 6716](#) – Au Japon, une explosion hydrogène / chlore tue 1 employé. [ARIA 11934](#) – Dans une raffinerie américaine, l'explosion d'une canalisation hydrogène / gazole fait 1 mort et 60 blessés. [ARIA 14700](#) – En Allemagne, un opérateur est tué dans l'explosion d'une unité d'hydrogénation. [ARIA 15339](#) – Aux USA, 3 ouvriers sont tués et 50 autres blessés par une explosion d'hydrogène dans une centrale thermique. [ARIA 15808](#) – En Inde, un incendie dans une unité de vapocraquage d'une raffinerie tue 5 personnes. [ARIA 19461](#) – En Allemagne, un employé décède lors d'une explosion au cours du nettoyage d'une citerne ayant transporté de l'alkyle d'aluminium. [ARIA 22278](#) – En Italie, l'explosion d'un réservoir d'acide sulfurique tue 2 opérateurs de maintenance. [ARIA 23358](#) – Les 7 membres d'équipage de la Navette américaine « Challenger » sont tués lors de son explosion. [ARIA 23739](#) – Dans une usine agroalimentaire au Pakistan, 2 personnes sont tuées lors de l'explosion d'une bouteille de H₂ servant à la stérilisation. [ARIA 27273](#) – Au Japon, un opérateur de maintenance est tué par une explosion sur un réservoir d'acide fluorhydrique.

Les activités concernées

Raffinage / Pétrochimie – 47 cas

Unités de désulfuration – 19 cas

[ARIA 88](#) – En Italie, fuite enflammée sur une unité de désulfuration de gazole. [ARIA 106](#) – Au Japon, fuite puis explosion dans une unité de désulfuration, dues à la corrosion (ions chlorures). [ARIA 1792](#) – Au Japon, fuite et explosion dans une unité de désulfuration de fuel lourd ; problème sur joint et fatigue thermique. [ARIA 2679](#) – Fuites enflammées d'hydrogène après une explosion dans un four de l'unité de désulfuration des gazoles. [ARIA 7314](#) – Accident sur un échangeur d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 7319](#) – Aux USA, incendie dans une unité de désulfuration de gazole dû à une fuite de gaz de procédé provoqué par fatigue vibratoire. [ARIA 9541](#) – En Italie, fuite et explosion de H₂ dans une unité de désulfuration après l'arrêt de l'alimentation en gazole. [ARIA 10347](#) – En Allemagne, fuite enflammée sur une canalisation de l'unité de désulfuration due à la corrosion. [ARIA 11292](#) - Incendie dans une unité d'hydrodésulfuration dû au défaut d'étanchéité d'une vanne. [ARIA 18237](#) – Le joint non étanche entraîne une fuite enflammée dans une unité de désulfuration des gazoles. [ARIA 22229](#) – En Belgique, explosion après une fuite au niveau d'un coude d'une unité de désulfuration. [ARIA 23137](#) – Au Royaume-Uni, fuite enflammée sur une ligne d'hydrogène d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 23138](#) – Fuite enflammée sur un compresseur de H₂ d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 23140](#) – En Allemagne, la défaillance d'un joint entraîne un incendie lors du 1er démarrage d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 23174](#) – Au Japon, un incendie se produit lors d'essais de compresseurs d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 23175](#) – Dans une unité de désulfuration de gasoil, une corrosion sous dépôt entraîne la rupture d'une ligne. [ARIA 32145](#) – La défaillance d'un joint inadapté sur un échangeur d'une unité de désulfuration entraîne une fuite enflammée. [ARIA 33030](#) – Fuite enflammée d'hydrogène dans une unité de désulfuration des gasoils basse pression. [ARIA 33071](#) – Incendie dans une unité de désulfuration des gasoils après la rupture franche d'une canalisation due à la corrosion. [ARIA 33966](#) – Rupture d'une canalisation de H₂ sous l'effet du flux thermique d'un incendie dans une unité de désulfuration.

Unité de réformage – 8 cas

[ARIA 26615](#) – Une fuite enflammée se produit au niveau d'une bride de l'unité de réformage. [ARIA 26616](#) – Une défaillance de serrage de tiges filetées dans une unité de réformage catalytique entraîne une fuite puis un incendie. [ARIA 26617](#) – Incendie sur une bride d'un échangeur dans une unité de réformages des essences. [ARIA 26619](#) – Incendie à la suite d'une fuite sur un joint d'un échangeur de l'unité de réformage. [ARIA 26621](#) – Incendie dans une unité de réformage, à la suite de l'ouverture d'un serpent. [ARIA 26625](#) – Incendie dans un four de l'unité de réformage, après la rupture d'un tube par corrosion. [ARIA 30221](#) – Incendie sur une bride d'un échangeur d'une unité de réformage catalytique des essences. [ARIA 33330](#) – Corrosion importante des calandres d'un réformeur.

Autres Unités – 20 cas

[ARIA 324](#) – Aux USA, UVCE dans une unité de craquage catalytique dû à une corrosion par hydrogène blistering. [ARIA 2174](#) – La rupture d'un joint dans une unité de méthanisation provoque un incendie. [ARIA 2631](#) – En Allemagne, explosion sur un vapocraqueur après une fuite de H₂ due à la corrosion. [ARIA 5906](#) – Au Royaume-Uni, fuite enflammée de gaz de synthèse après la rupture d'un réacteur d'isomérisation des paraffines. [ARIA 6189](#) – En Ecosse, l'explosion d'un séparateur basse pression suivi d'un incendie tue 1 opérateur dans une raffinerie. [ARIA 7315](#) – Au Venezuela, à la suite d'un incendie, des lignes de H₂ cède et alimente l'incendie ; H₂ blistering en cause. [ARIA 11282](#) – Aux USA, explosion dans une unité d'hydrogénation. [ARIA 11934](#) – Aux USA, explosion puis incendie pendant 3 jours après une rupture de canalisation dans un hydrocraqueur. [ARIA 13392](#) – En Corée du Sud, une fuite d'hydrogène entraîne la destruction d'une unité de distillation de pétrole brut. [ARIA 14666](#) – En Allemagne, explosion d'un séparateur dans une unité de fabrication d'oléfines. [ARIA 15808](#) – En Inde, un incendie dans une unité de vapocraquage d'une raffinerie tue 5 personnes. [ARIA 18179](#) – Aux USA, incendie sur une canalisation de transport d'hydrogène. [ARIA 18569](#) – En Allemagne, un défaut de matériau entraîne une fuite sur un échangeur thermique puis un incendie. [ARIA 20356](#) – Une corrosion entraîne la rupture d'une canalisation transportant un mélange contenant 80 % de H₂. [ARIA 21760](#) – Aux USA, une fuite sur un compresseur de H₂ entraîne une explosion. [ARIA 22319](#) – Explosion dans un régénérateur de catalyseur d'une raffinerie après la formation accidentelle d'un mélange de H₂, CO et d'hydrocarbure. [ARIA 26429](#) – Le défaut d'un joint sur une bride est à l'origine d'une petite fuite enflammée d'hydrogène sur un échangeur. [ARIA 26983](#) – En Italie, la défaillance mécanique d'un compresseur dans une unité d'isomérisation entraîne une fuite puis un incendie. [ARIA 31125](#) – Explosion et incendie dans un four d'une unité d'hydrotraitement. [ARIA 31936](#) – Emission accidentelle d'hydrogène par une soupape.

Industrie chimique – 84 cas

Synthèse d'ammoniac ou d'engrais – 28 cas

[ARIA 49](#) - En Italie, l'explosion d'un réacteur de synthèse d'ammoniac tue 1 opérateur. [ARIA 176](#) - 2 opérateurs extérieurs sont tués par une explosion d'hydrogène à la suite d'une fuite de gaz de synthèse. [ARIA 1903](#) – Fuite d'hydrogène puis incendie au niveau d'une bride de canalisation. [ARIA 2062](#) – Aux USA, une fuite de gaz de procédé provoque une explosion. [ARIA 3001](#) – La fuite d'un mélange H₂/N₂ sur un compresseur provoque un incendie. [ARIA 3383](#) – Incendie sur une colonne d'hydrogène. [ARIA 5133](#) - Au Japon, une explosion suivie d'un incendie fait 1 mort. [ARIA 5279](#) – Aux USA, une fuite enflammée de gaz de synthèse fait 9 blessés après la décompression par sécurité de l'unité. [ARIA 5347](#) – Au Royaume-Uni, explosion du ciel gazeux d'un bac de 1750 m³ de solution ammoniacale. [ARIA 5355](#) – Aux USA, une ligne de transfert échangeur / convertisseur explose. [ARIA 5375](#) – En Inde, explosion dans un convertisseur. [ARIA 5409](#) – En Inde, explosion au niveau du réformeur primaire de la synthèse d'ammoniac. [ARIA 5410](#) - En Inde, explosion au niveau d'un réformeur de la synthèse d'ammoniac. [ARIA 5427](#) – Aux USA, explosion dans le local compresseur après une fuite de gaz de synthèse. [ARIA 5428](#) – En Norvège, la défaillance d'une pompe est à l'origine d'une explosion d'hydrogène, faisant 1 mort. [ARIA 5679](#) – Le dégazage d'hydrogène d'une solution carbonatée provoque une explosion dans un réservoir de vidange. [ARIA 9890](#) – Une mise en sécurité de l'unité provoque une fuite enflammée de gaz de synthèse. [ARIA 11562](#) – La mise en sécurité de l'unité provoque une émission de gaz de synthèse à l'atmosphère, qui s'enflammera au niveau de la cheminée. [ARIA 14399](#) – Incendie à la suite d'une fuite d'hydrogène sur une canalisation. [ARIA 18302](#) – Aux USA, violente explosion suivie d'un incendie dans le local des compresseurs. [ARIA 19080](#) – La fuite de gaz de synthèse au niveau d'une canalisation fissurée d'un échangeur provoque une explosion et un incendie. [ARIA 22249](#) – Rupture d'une canalisation de gaz de synthèse due à un phénomène de fatigue. [ARIA 22278](#) – En Italie, l'explosion d'un réservoir d'acide sulfurique tue 2 opérateurs de maintenance. [ARIA 30720](#) – Une fuite enflammée de gaz de synthèse se produit au niveau d'un compresseur de synthèse lors de son redémarrage. [ARIA 31237](#) – Un manque d'hydrogène retarde le fonctionnement de brûleurs et provoque le rejet de 1,7 t d'ammoniac. [ARIA 31715](#) – Une fuite d'hydrogène au niveau des joints d'un autoclave provoque une explosion. [ARIA 32174](#) – Un défaut de serrage d'une bride provoque une fuite enflammée de gaz de synthèse. [ARIA 32817](#) – La défaillance d'une soupape provoque une fuite de gaz de synthèse qui explosera.

Unité d'électrolyse – 14 cas

[ARIA 6442](#) – En Norvège, le colmatage de l'alimentation en saumure provoque une concentration de H₂ et une explosion. [ARIA 6443](#) – En Suède, explosion d'un collecteur de chlore. [ARIA 6444](#) – Une erreur d'ampérage provoque la présence d'hydrogène dans un collecteur de chlore et son explosion. [ARIA 10316](#) – En Allemagne, l'encrassement d'une évacuation de sécurité de l'H₂ provoque une surpression puis une explosion. [ARIA 14987](#) – Explosion d'un mélange hydrogène / chlore après le bouchage d'une garde hydraulique. [ARIA 17070](#) – Le colmatage d'une cellule provoque une explosion dans une cuve tampon associée. [ARIA 19325](#) – En Allemagne, des travaux électriques entraînent des incidents sur le stockage d'hydrogène après production et provoque une explosion au niveau de compresseurs. [ARIA 20351](#) – Explosion d'un gazomètre d'oxygène due à la présence d'hydrogène. [ARIA 22101](#) – Le dysfonctionnement d'un disjoncteur est à l'origine d'une explosion dans une salle d'électrolyse, la formation de H₂ due à l'attaque des fonds de cellule par l'acidité du milieu est en cause. [ARIA 25112](#) – Deux fuites successives sur des cellules d'électrolyse sont enflammées par des court-circuits. [ARIA 25777](#) – Un colmatage de l'alimentation en liqueur d'électrolyse provoque une augmentation de la teneur en O₂ et une déflagration. [ARIA 26208](#) – Une augmentation de la concentration en H₂ provoque son inflammation dans une canalisation de chlore, à l'origine d'une combustion fer / chlore aboutissant à la disparition de la canalisation et au rejet de Cl₂. [ARIA 28737](#) – Le dysfonctionnement d'un électrolyseur provoque un incendie. [ARIA 30637](#) – Explosion du ciel gazeux d'une cellule lors d'une maintenance pour « vaccination ».

Autres industries chimiques (hors transports, conditionnement et stockage) – 42 cas

[ARIA 161](#) – Explosion d'hydrogène formé par la décomposition d'huile de silicone après l'ajout brutal d'alcoolate très basique. [ARIA 169](#) - L'explosion d'hydrogène produit par corrosion dans un réservoir d'acide en travaux fait 1 mort et 2 blessés graves. [ARIA 891](#) - Une explosion lors d'une maintenance sur un réacteur de polyéthylène tue 23 personnes dans une usine américaine. [ARIA 900](#) – Incendie dans le box d'un hydrogénateur. [ARIA 4525](#) – Explosion après l'écoulement de magnésium liquide dans une fosse contenant de l'eau. [ARIA 4799](#) – Fuite enflammée d'hydrogène sur une canalisation. [ARIA 5136](#) – L'emballage d'une réaction d'hydrogénation provoque un incendie. [ARIA 5356](#) - Au Japon, une fuite de gaz de synthèse riche en hydrogène explose et tue 1 opérateur. [ARIA 6346](#) – Le renversement d'acide dans un cuvette de rétention au revêtement endommagé entraîne une production d'hydrogène par attaque de l'acier et un incendie. [ARIA 6511](#) – Une explosion H₂ / Cl₂ provoque une combustion fer / chlore qui détruit les installations. [ARIA 6716](#) - Au Japon, une explosion hydrogène / chlore tue 1 employé. [ARIA 6818](#) – Incendie d'un mélange hydrogène / chlore dans une canalisation de chlore lors du dépotage d'un wagon. [ARIA](#)

[7518](#) – Fuite enflammée d'hydrogène au niveau de joints lors d'essais d'étanchéité sur un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 7956](#) - Une explosion suivie d'un incendie dans une unité d'hydrogénation tue 1 opérateur. [ARIA 8248](#) – Aux USA, explosion et incendie dans une unité de production d'hydrogène à proximité d'une raffinerie. [ARIA 9477](#) – Explosion lors du nettoyage d'une citerne de transport d'oléum. [ARIA 9841](#) – Une défaillance du système d'inertage entraîne l'explosion d'une réaction d'hydrogénation. [ARIA 14700](#) - En Allemagne, un opérateur est tué dans l'explosion d'une unité d'hydrogénation. [ARIA 14779](#) – Explosion et incendie après la rupture d'une pompe dans une unité d'hydrogénation. [ARIA 14780](#) – Explosion d'une conduite de dinitrotoluène obturée dans un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 14870](#) – Aux USA, explosion sur un compresseur d'hydrogène. [ARIA 15018](#) – Explosion due à la formation d'hydrogène lors du contact entre du sodium et de l'eau. [ARIA 15140](#) – Explosion d'un réacteur après l'emballage thermique d'une réaction d'hydrogénation. [ARIA 16467](#) – Explosion au niveau d'une cuve de lubrifiant après la formation d'hydrogène par corrosion de l'acier par l'acide phosphoreux. [ARIA 19461](#) - En Allemagne, un employé décède lors d'une explosion au cours du nettoyage d'une citerne ayant transporté de l'alkyle d'aluminium. [ARIA 19490](#) – En Allemagne, une erreur de montage d'un joint entraîne une fuite enflammée d'hydrogène sur un appareil d'absorption. [ARIA 20274](#) – Explosion sur un laveur d'une unité d'activation de catalyseur (nickel de Raney). [ARIA 21196](#) – Fuite enflammée sur une canalisation d'une unité d'hydrogénation due à la corrosion. [ARIA 21965](#) – Dans une unité de polymérisation, fuite d'hydrogène non enflammée après la rupture d'une canalisation suite à un choc. [ARIA 22211](#) – Inflammation d'un rejet d'acétate d'éthyle et d'hydrogène au niveau de l'évent d'un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 22251](#) – Explosion après une fuite d'hydrogène sur un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 22301](#) – Incendie après une fuite sur un réacteur contenant de l'hydrogène, du benzène et un catalyseur. [ARIA 22518](#) – Dans une usine pyrotechnique, réaction entre de l'eau et de la poudre de magnésium et d'aluminium produisant de l'hydrogène. [ARIA 23017](#) – La corrosion d'un réacteur émaillé endommagé provoque un dégagement d'hydrogène dont le mélange avec du dichlorométhane et de l'oxygène explose. [ARIA 23820](#) – Inflammation d'hydrogène au niveau d'une garde hydraulique. [ARIA 25991](#) – Inflammation d'hydrogène lors du débâtissage d'un filtre sur un autoclave de synthèse catalytique. [ARIA 27273](#) - Au Japon, un opérateur de maintenance est tué par une explosion sur un réservoir d'acide fluorhydrique. [ARIA 30226](#) – La présence d'azote dans l'hydrogène alimentant les brûleurs d'une unité de production d'acide chlorhydrique entraîne une combustion incomplète et un rejet de chlore par les événements. [ARIA 30679](#) – Un incendie dû à la formation d'hydrogène à partir d'hydrures sur une aire de stockage de déchets pharmaceutiques. [ARIA 31082](#) – Explosion dans un bac d'acide sulfurique due à la présence d'hydrogène généré par corrosion de l'acier. [ARIA 32796](#) – Explosion d'un réacteur d'hydrogénation en cours de redémarrage après l'inflammation de H₂ par des résidus de catalyseur. [ARIA 33838](#) – Fuite enflammée d'hydrogène dans un atelier d'hydrogénation.

Métallurgie / Travail des métaux – 17 cas

[ARIA 3512](#) - L'hydrogène produit par réaction d'eau avec du métal en fusion explose et tue 1 opérateur. [ARIA 6390](#) – Un contact eau / métal en fusion en sortie de four provoque une explosion. [ARIA 8966](#) – Explosion à la suite du contact entre de l'eau et de la poussière d'aluminium incandescente. [ARIA 9454](#) – Fuite enflammée lors de travaux sur un gazomètre de gaz de cokerie. [ARIA 13182](#) - En Allemagne, l'introduction d'eau dans un four de fonderie provoque une explosion de vapeur. [ARIA 15083](#) – Explosion suite à l'introduction d'eau dans une poche d'acier en fusion. [ARIA 20066](#) – Explosion de gaz à l'eau lors de l'intervention des pompiers pour un incendie sur une trémie de coke. [ARIA 22482](#) – L'ouverture accidentelle d'une vanne d'hydrogène au lieu d'une vanne d'azote provoque une explosion. [ARIA 23317](#) – Explosion dans une fonderie due au contact entre du métal en fusion et de l'eau. [ARIA 23968](#) – Un défaut de refroidissement sur un four provoque une explosion due à une réduction eau / métal avec production d'hydrogène. [ARIA 25689](#) – Explosion sur une aire de stockage de déchets métalliques due au contact entre de la poudre de magnésium et de l'eau de pluie. [ARIA 27556](#) – Fuite d'hydrogène dans une usine de fabrication de tubes en acier. [ARIA 28569](#) – Explosion d'hydrogène résultant d'une réaction métal / acide. [ARIA 30365](#) – Explosion d'hydrogène dans une usine sidérurgique après la non-fermeture d'une vanne. [ARIA 30857](#) – Feu dans une trémie contenant du calcium dû à la forte humidité. [ARIA 31605](#) – L'introduction de calcium dans un réservoir contenant de l'eau provoque une explosion. [ARIA 32897](#) – Echauffement d'un fût de déchets de pâte d'aluminium dû à la réaction de l'aluminium avec la faible quantité d'eau présente.

Transports, conditionnement et stockage d'hydrogène – 35 cas

[ARIA 170](#) - Une fuite enflammée d'hydrogène sur une canalisation en maintenance tue 4 opérateurs et en blesse 3 autres. [ARIA 275](#) – Rupture de canalisation sur un stockage d'hydrogène. [ARIA 343](#) – Fuite enflammée initiée par la foudre sur un camion raccordé au poste de détente d'une usine de fabrication de combustibles nucléaires. [ARIA 437](#) – Explosion d'un réservoir de 3 000 l de H₂ gazeux par fragilisation de l'acier (fatigue statique). [ARIA 1089](#) – Une fissure sur une conduite provoque une fuite enflammée. [ARIA 1361](#) – Fuite sur un camion transportant des bouteilles d'hydrogène. [ARIA 1380](#) - Le renversement d'un cadre de bouteilles d'hydrogène endommage l'un d'elles et provoque un rejet de 30 m³ de gaz. [ARIA 1693](#) – Fuite au niveau d'une bride de 9 bouteilles de 80 m³ d'hydrogène. [ARIA 1741](#) – Fuite sur une bouteille transportée par un camion. [ARIA 2733](#) – Explosion et incendie dans une installation de remplissage d'hydrogène. [ARIA 2903](#) – Une explosion sur un stockage d'hydrogène en Allemagne, provoque l'évacuation de 200 riverains. [ARIA 2915](#) – Fuite enflammée d'hydrogène après l'ouverture d'un disque de rupture sur un stockage. [ARIA 3814](#) – Fuite sur un wagon-citerne d'hydrogène liquide après l'ouverture d'une soupape. [ARIA 4330](#) – Fuite d'hydrogène liquide sur une citerne de stockage. [ARIA 4411](#) – Explosion d'hydrogène émis au niveau d'une pompe de l'installation de remplissage et de conditionnement. [ARIA 4501](#) – En Ukraine, fuite de H₂ sur une conduite à 200 m d'un réacteur nucléaire, suivie d'une explosion et d'un incendie, tuant un opérateur. [ARIA 4839](#) – Un feu se déclare sur les freins d'un camion transportant de l'hydrogène. [ARIA 7192](#) – Au Canada, de l'hydrogène se forme après une importe fuite d'acide résultant du déraillement d'un convoi ferroviaire. [ARIA 8029](#) – Incendie et explosions dans un dépôt stockant des bouteilles d'hydrogène. [ARIA 9857](#) – L'explosion d'une bouteille de H₂ provoque un incendie. [ARIA 10969](#) – Fuite d'hydrogène à la suite de l'affaissement d'un cylindre de stockage. [ARIA 13574](#) – Un raccord entre une canalisation et un cylindre de stockage se rompt à cause d'une corrosion sous tension. [ARIA 14530](#) – Fuite puis explosion de H₂ lors du déchargement d'un camion chargé de bouteilles. [ARIA 17608](#) – L'échauffement des freins d'un camion transportant de l'hydrogène liquide entraîne l'établissement d'un important périmètre de sécurité. [ARIA 15757](#) – Une coupure électrique provoque l'ouverture d'une soupape d'un circuit de purge d'un stockage d'hydrogène. [ARIA 18194](#) – Fuite sur une bouteille de 15 m³. [ARIA 23111](#) – Explosion après une fuite d'hydrogène sur un réservoir. [ARIA 23600](#) – Fuite enflammée sur un réservoir de 25 m³. [ARIA 23731](#) – Rupture d'une canalisation d'hydrogène entraînant un incendie et de multiples explosions. [ARIA 25494](#) – Fuite enflammée d'hydrogène lors de remplissage d'un cadre de bouteilles. [ARIA 25605](#) – Fuite sur un cadre de bouteilles d'hydrogène tombé d'un camion sur la voie publique. [ARIA 26618](#) – Combustion interne sur un réservoir d'hydrogène liquide haute pression. [ARIA 28007](#) – La rupture mécanique d'une membrane sur une installation de conditionnement de H₂ provoque une fuite suivie d'une inflammation et d'une explosion. [ARIA 29864](#) – Explosion d'un chlorodure conservé due à la formation d'hydrogène par corrosion de l'acier par l'acide hypochloreux. [ARIA 31267](#) – Un accident de la route provoque la fuite d'un réservoir d'hydrogène liquide transporté par un camion.

Autres – 30 cas

[ARIA 905](#) – Une fuite au niveau d'un circuit de refroidissement dans une centrale nucléaire provoque une explosion et un incendie. [ARIA 3357](#) – Explosion d'hydrogène dans un laboratoire d'essai. [ARIA 3818](#) – Un incendie dans une centrale nucléaire provoque une fuite d'hydrogène. [ARIA 6481](#) - Aux USA, la présence de H₂ dans un réservoir de chlore provoque une explosion tuant 1 opérateur. [ARIA 6759](#) – Production accidentelle d'hydrogène par mélange de déchets. [ARIA 9065](#) – Formation accidentelle d'hydrogène dans un méthaniseur d'une station d'épuration. [ARIA 9944](#) – Inflammation d'une atmosphère chargée en hydrogène dans une usine de carbure de calcium. [ARIA 10095](#) – Inflammation d'hydrogène lors d'essais en laboratoire.

[ARIA 10466](#) – Explosion lors du contact entre de l'eau et des matériaux portés à 1800 °C dans un atelier de purification de graphite. [ARIA 13017](#) – Explosion et incendie dans une usine d'incinération après le contact entre de l'eau et de la poudre d'aluminium. [ARIA 14002](#) – Evacuation d'une faculté à cause d'un risque d'émission d'hydrogène dans un laboratoire. [ARIA 14162](#) – L'inondation d'une usine utilisant du calcium provoque des émissions d'hydrogène et un incendie. [ARIA 15339](#) - Aux USA, 3 ouvriers sont tués et 50 autres blessés par une explosion d'hydrogène dans une centrale thermique. [ARIA 15508](#) – Fuite enflammée de H₂ sur un four de frittage d'une usine de production de pastilles d'uranium. [ARIA 15532](#) – Au cours d'un incendie dans un site de stockage de déchets, de l'H₂ est produit par la réaction entre des piles au lithium et les eaux d'extinction. [ARIA 15666](#) – Au Royaume-uni, un UVCE est perçu jusqu'à 70 km. [ARIA 18298](#) – Incendie dans un site stockant des piles au lithium usagées. [ARIA 18497](#) – Fuite d'hydrogène au niveau des circuits de refroidissement d'une centrale nucléaire. [ARIA 20522](#) – Sur un sous-marin, production d'hydrogène par contact entre l'eau et une composition anti-sonar. [ARIA 23358](#) - Les 7 membres d'équipage de la Navette américaine « Challenger » sont tués lors de son explosion. [ARIA 24741](#) – Fuite enflammée sur une vanne d'alternateur dans une centrale nucléaire. [ARIA 24767](#) – Une génération accidentelle de H₂ dans une station d'épuration provoque une explosion et un incendie. [ARIA 24977](#) – Dans une station d'épuration, explosion d'une cuve servant au stockage provisoire d'acide. [ARIA 27407](#) – Formation d'hydrogène lors du renversement de soude sur un escalier en aluminium dans un centre nautique. [ARIA 27877](#) – Un feu de forêt se propage à un ancien terril et provoque une combustion interne aggravée par la formation de monoxyde de carbone et d'hydrogène (gaz à l'eau). [ARIA 28513](#) – Explosion et incendie dans un centre de récupération de piles au lithium. [ARIA 28822](#) – Génération d'hydrogène à partir d'une batterie usagée. [ARIA 29011](#) – Explosion possiblement due à la formation de gaz à l'eau lors de l'extinction d'un incendie sur un silo de copeaux de bois. [ARIA 31355](#) – Explosion d'hydrogène sur un banc d'essai de moteurs de fusées. [ARIA 31377](#) – Fuite d'hydrogène sur une bride de canalisation dans un site d'essais de moteurs de fusées.

Génération accidentelle d'hydrogène – 46 cas

Corrosion des aciers – 13 cas

[ARIA 169](#) - L'explosion d'hydrogène produit par corrosion dans un réservoir d'acide en travaux fait 1 mort et 2 blessés graves. [ARIA 6346](#) - Le renversement d'acide dans un cuvette de rétention au revêtement endommagé entraîne une production d'hydrogène par attaque de l'acier et un incendie.

[ARIA 7192](#) - Au Canada, de l'hydrogène se forme après une importante fuite d'acide résultant du déraillement d'un convoi ferroviaire. [ARIA 9477](#) - Explosion d'une citerne de transport d'oléum vide lors de l'introduction d'eau pour son nettoyage. [ARIA 16467](#) - Explosion au niveau d'une cuve de lubrifiant après la formation d'hydrogène par corrosion de l'acier par l'acide phosphoreux. [ARIA 22101](#) - Le dysfonctionnement d'un disjoncteur est à l'origine d'une explosion dans une salle d'électrolyse, la formation de H₂ due à l'attaque des fonds de cellule par l'acidité du milieu est en cause. [ARIA 22278](#) – En Italie, l'explosion d'un réservoir d'acide sulfurique tue 2 opérateurs de maintenance. [ARIA 23017](#) - La corrosion d'un réacteur émaillé endommagé provoque un dégagement d'hydrogène dont le mélange avec du dichlorométhane et de l'oxygène explose. [ARIA 24977](#) - Dans une station d'épuration, une cuve en acier servant de rétention provisoire au stockage d'acide sulfurique explose.

[ARIA 27273](#) - Au Japon, un opérateur de maintenance est tué par une explosion (sans doute d'hydrogène) alors que des travaux de soudures sont effectués à proximité d'un réservoir d'acide fluorhydrique préalablement vidé. [ARIA 28569](#) – Dans un site de réparation de chaudière, explosion d'hydrogène résultant d'une réaction à chaud entre du métal et de l'acide. [ARIA 29864](#) - Explosion d'un chlorure de consigné due à la formation d'hydrogène par corrosion de l'acier par l'acide hypochloreux. [ARIA 31082](#) - Explosion dans un bac d'acide sulfurique due à la présence d'hydrogène généré par corrosion de l'acier.

Réaction eau / métal – 20 cas

[ARIA 3512](#) – Dans une aciérie, l'hydrogène produit par réaction d'eau avec du métal en fusion explose et tue 1 opérateur. [ARIA 4525](#) – Lors du déchargement d'un four, explosion après l'écoulement de magnésium liquide dans une fosse contenant de l'eau. [ARIA 6390](#) – Dans une fonderie, un contact eau / métal en fusion en sortie de four, au niveau d'une lingotière provoque une explosion. [ARIA 8966](#) - Explosion à la suite du contact entre de l'eau et de la poussière d'aluminium incandescente, avec effets missile jusqu'à 50 m. [ARIA 10466](#) - Explosion lors du contact entre de l'eau et des matériaux portés à 1800 °C dans un atelier de purification de graphite. [ARIA 13017](#) - Explosion et incendie dans une fosse de stockage d'une usine d'incinération après le contact entre de l'eau et de la poudre d'aluminium. [ARIA 13182](#) - En Allemagne, l'introduction d'eau dans un four de fonderie provoque une explosion de vapeur. [ARIA 14162](#) - L'inondation d'une usine utilisant du calcium provoque des émissions d'hydrogène et un incendie. [ARIA 15018](#) - Explosion due à la formation d'hydrogène lors du contact entre du sodium et de l'eau. [ARIA 15083](#) – Dans une aciérie, explosion suite à l'introduction d'eau dans une poche d'acier en fusion. [ARIA 15532](#) - Au cours d'un incendie dans un site de stockage de déchets, de l'H₂ est produit par la réaction entre des piles au lithium et les eaux d'extinction. [ARIA 18298](#) - Incendie dans un site stockant des piles au lithium usagées probablement à cause d'une réaction entre le lithium et l'humidité de l'air. [ARIA 22518](#) - Dans une usine pyrotechnique, la réaction entre de l'eau et de la poudre de magnésium et d'aluminium produit accidentellement de l'hydrogène. [ARIA 23317](#) - Explosion dans une fonderie due au contact entre du métal en fusion et de l'eau après le basculement d'un engin de manutention dans un canal. [ARIA 23968](#) – Dans une usine automobile, un défaut de refroidissement sur un four provoque une explosion due à une réduction eau / métal avec production d'hydrogène. [ARIA 25689](#) - Explosion sur une aire de stockage de déchets métalliques due au contact entre de la poudre de magnésium et de l'eau de pluie. [ARIA 28513](#) – Dans un centre de récupération de déchets, une erreur de manipulation conduit à une explosion et un incendie après contact entre des piles au lithium et de l'eau. [ARIA 30857](#) – Dans une usine sidérurgique, la forte humidité de l'air provoque un incendie dans une trémie contenant du calcium. [ARIA 31605](#) - L'introduction de calcium dans un réservoir contenant de l'eau provoque une explosion dans une usine sidérurgique. [ARIA 32897](#) - Echauffement d'un fût de déchets de pâte d'aluminium dû à la réaction de l'aluminium avec la faible quantité d'eau présente.

Phénomène de gaz à l'eau – 3 cas

[ARIA 20066](#) – Explosion de gaz à l'eau lors de l'intervention des pompiers pour un incendie sur une trémie de coke.
[ARIA 27877](#) – Un feu de forêt se propage à un ancien terri et provoque une combustion interne aggravée par la formation de monoxyde de carbone et d'hydrogène (gaz à l'eau).
[ARIA 29011](#) – Explosion possiblement due à la formation de gaz à l'eau lors de l'extinction d'un incendie sur un silo de copeaux de bois.

Autres réactions – 10 cas

[ARIA 161](#) - Explosion d'hydrogène formé par la décomposition d'huile de silicone après l'ajout brutal d'alcoolate très basique. [ARIA 6759](#) – Sur un site de traitement de déchets industrielles, de l'hydrogène est produit accidentellement par mélange de déchets à base d'huiles et de goudrons. [ARIA 9065](#) – Explosion dans un méthaniseur d'une station d'épuration, possiblement due à la formation accidentelle d'hydrogène.
[ARIA 19461](#) - En Allemagne, un employé décède lors d'une explosion d'hydrogène au cours du nettoyage d'une citerne, après réaction entre des résidus d'alkyle d'aluminium et de la lessive de soude. [ARIA 20522](#) - Sur un sous-marin, production d'hydrogène par contact entre l'eau et une composition anti-sonar. [ARIA 22319](#) – Explosion dans un régénérateur de catalyseur d'une raffinerie après la formation accidentelle d'un mélange de H₂, CO et d'hydrocarbure. [ARIA 24767](#) - Une génération accidentelle de H₂ à partir de borohydrure de sodium, provoque une explosion et un incendie dans une station d'épuration. [ARIA 27407](#) - Formation d'hydrogène lors du renversement de soude sur un escalier en aluminium dans un centre nautique. [ARIA 28822](#) - Génération d'hydrogène à partir d'une batterie usagée. [ARIA 30679](#) - La formation d'hydrogène à partir d'hydrures provoque un incendie sur une aire de stockage de déchets pharmaceutiques.

Les équipements impliqués

Canalisations – 60 cas

Echangeurs thermiques / circuits de refroidissement – 15 cas

[ARIA 106](#) - Au Japon, fuite puis explosion dans une unité de désulfuration, dues à la corrosion (ions chlorures). [ARIA 4501](#) – En Ukraine, fuite de H₂ sur une conduite à 200 m d'un réacteur nucléaire, suivie d'une explosion et d'un incendie, tuant un opérateur. [ARIA 5375](#) - En Inde, explosion dans un convertisseur. [ARIA 905](#) - Une fuite au niveau d'un circuit de refroidissement dans une centrale nucléaire provoque une explosion et un incendie. [ARIA 1792](#) - Au Japon, une fuite d'hydrogène sur un échangeur d'une raffinerie explose tuant 10 opérateurs. [ARIA 18497](#) - Fuite d'hydrogène au niveau des circuits de refroidissement d'une centrale nucléaire. [ARIA 26429](#) - Le défaut d'un joint sur une bride est à l'origine d'une petite fuite enflammée d'hydrogène sur un échangeur. [ARIA 26615](#) - Une fuite enflammée se produit au niveau d'une bride de l'unité de reformage. [ARIA 26616](#) - Une défaillance de serrage de tiges filetées dans une unité de reformage catalytique entraîne une fuite puis un incendie. [ARIA 26617](#) - Incendie sur une bride d'un échangeur dans une unité de réformages des essences. [ARIA 26619](#) - Incendie à la suite d'une fuite sur un joint d'un échangeur de l'unité de reformage. [ARIA 26621](#) - Incendie dans une unité de reformage, à la suite de l'ouverture d'un serpent. [ARIA 30221](#) - Incendie sur une bride d'un échangeur d'une unité de reformage catalytique des essences. [ARIA 32145](#) - La défaillance d'un joint inadapté sur un échangeur d'une unité de désulfuration entraîne une fuite enflammée. [ARIA 33330](#) - Corrosion importante des calandres d'un réformeur.

Autres canalisations – 45 cas

[ARIA 170](#) - Une fuite enflammée d'hydrogène sur une canalisation en maintenance tue 4 opérateurs et en blesse 3 autres. [ARIA 275](#) - Rupture de canalisation sur un stockage d'hydrogène. [ARIA 324](#) - Dans une raffinerie aux USA, un UVCE dû à la corrosion d'une canalisation par l'hydrogène fait 7 morts et 48 blessés. [ARIA 1089](#) - Une fissure sur une conduite provoque une fuite enflammée de 280 kg d'hydrogène. [ARIA 1903](#) - Fuite d'hydrogène suivi d'un incendie au niveau d'une bride de canalisation sur une unité d'ammoniac. [ARIA 2174](#) - La rupture d'un joint sur une bride dans une unité de méthanisation provoque un incendie. [ARIA 2631](#) - En Allemagne, explosion sur un vapocraqueur après une fuite de H₂ sur le circuit de refroidissement due à la corrosion. [ARIA 4799](#) - Fuite enflammée d'hydrogène sur une canalisation de 50 mm. [ARIA 5279](#) – Aux USA, une fuite enflammée de gaz de synthèse fait 9 blessés après la fermeture par inadvertance d'une vanne. [ARIA 5355](#) - Aux USA, une ligne de transfert échangeur / convertisseur explose dans une unité ammoniac. [ARIA 5428](#) - En Norvège, la défaillance d'une pompe est à l'origine d'une explosion d'hydrogène, faisant 1 mort. [ARIA 6511](#) - Une explosion H₂ / Cl₂ provoque une combustion fer / chlore qui détruit les installations. [ARIA 6818](#) - Incendie d'un mélange hydrogène / chlore dans une canalisation de chlore lors du dépotage d'un wagon. [ARIA 7315](#) - Au Venezuela, à la suite d'un incendie, des lignes de H₂ cède et alimente l'incendie ; H₂ blistering en cause. [ARIA 7319](#) - Aux USA, incendie dû à une fuite de gaz de procédé sur une canalisation de 8" provoqué par une fatigue vibratoire. [ARIA 9541](#) – En Italie, fuite et explosion de H₂ dans une unité de désulfuration après l'arrêt de l'alimentation en gazole. [ARIA 10347](#) - En Allemagne, fuite enflammée sur une canalisation à 50 bar de l'unité de désulfuration due à la corrosion. [ARIA 11282](#) - Aux USA, explosion dans une unité d'hydrogénation après une fuite au niveau d'un coude. [ARIA 11292](#) - Incendie dans une unité d'hydrodésulfuration dû au défaut d'étanchéité d'une vanne. [ARIA 11934](#) - Dans une raffinerie américaine, l'explosion d'une canalisation hydrogène / gazole fait 1 mort et 60 blessés. [ARIA 13392](#) - En Corée du Sud, une fuite d'hydrogène au niveau d'un coude entraîne la destruction d'une unité de distillation de pétrole brut. [ARIA 13574](#) - Un raccord entre une canalisation et un cylindre de stockage se rompt à cause d'une corrosion sous tension. [ARIA 14399](#) - Incendie à la suite d'une fuite d'hydrogène sur une canalisation dans une unité ammoniac. [ARIA 14700](#) - En Allemagne, un opérateur est tué dans l'explosion d'une unité d'hydrogénation après rupture d'une canalisation soumise à la chaleur d'un incendie. [ARIA 18179](#) - Aux USA, incendie sur une canalisation de transport d'hydrogène. [ARIA 14779](#) – Explosion et incendie après la rupture d'une pompe dans une unité d'hydrogénation. [ARIA 18302](#) - Aux USA, violente explosion suivie d'un incendie alimenté par des canalisation de H₂ dans le local des compresseurs. [ARIA 18569](#) - En Allemagne, un défaut de matériau entraîne une fuite sur une conduite puis un incendie. [ARIA 19080](#) - La fuite de gaz de synthèse au niveau d'une canalisation fissurée d'un échangeur provoque une explosion et un incendie. [ARIA 20356](#) - Une corrosion entraîne la rupture d'une canalisation transportant un mélange contenant 80 % de H₂. [ARIA 21196](#) - Fuite enflammée sur une canalisation d'une unité d'hydrogénation due à la corrosion. [ARIA 21965](#) – Dans une unité de polymérisation, fuite d'hydrogène non enflammée après la rupture d'une canalisation suite à un choc. [ARIA 22229](#) – En Belgique, explosion après une fuite au niveau d'un coude d'une unité de

désulfuration. [ARIA 22249](#) – Rupture d'une canalisation de gaz de synthèse due à un phénomène de fatigue. [ARIA 23137](#) - Au Royaume-Uni, fuite enflammée sur une ligne d'hydrogène d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 23175](#) - Dans une unité de désulfurisation de gasoil, une corrosion sous dépôt entraîne la rupture d'une ligne. [ARIA 23731](#) - Rupture d'une canalisation d'hydrogène entraînant un incendie et de multiples explosions. [ARIA 24741](#) - Fuite enflammée sur une vanne d'alternateur dans une centrale nucléaire. [ARIA 23820](#) - Inflammation d'hydrogène au niveau d'une garde hydraulique. [ARIA 29864](#) - Explosion d'un chloroduc consigné due à la formation d'hydrogène par corrosion de l'acier par l'acide hypochloreux. [ARIA 31355](#) - Explosion d'hydrogène sur un banc d'essai de moteurs de fusées du fait d'une bride laissée ouverte. [ARIA 31377](#) - Fuite d'hydrogène sur une bride de canalisation dans un site d'essais de moteurs de fusées. [ARIA 32174](#) - Un défaut de serrage d'une bride provoque une fuite enflammée de gaz de synthèse. [ARIA 32817](#) - La défaillance d'une soupape provoque des vibrations à l'origine d'une fuite de gaz de synthèse qui explosera. [ARIA 33071](#) - Incendie dans une unité de désulfuration des gasoils après la rupture franche d'une canalisation due à la corrosion. [ARIA 33966](#) – Rupture d'une canalisation de H2 sous l'effet du flux thermique d'un incendie dans une unité de désulfuration.

Réacteurs – 22 cas

[ARIA 49](#) - En Italie, l'explosion d'un réacteur de synthèse d'ammoniac tue 1 opérateur. [ARIA 161](#) - Explosion d'hydrogène formé par la décomposition d'huile de silicone après l'ajout brutal d'alcoolate très basique. [ARIA 891](#) - Une explosion lors d'une maintenance sur un réacteur de polyéthylène tue 23 personnes dans une usine américaine. [ARIA 900](#) - Incendie dans le box d'un hydrogénateur. [ARIA 5136](#) - L'emballage d'une réaction d'hydrogénation après l'arrêt de l'agitateur provoque un incendie. [ARIA 7518](#) - Fuite enflammée d'hydrogène au niveau de joints lors d'essais d'étanchéité sur un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 7956](#) - Une explosion suivie d'un incendie dans une unité d'hydrogénation pour la synthèse de toluènediamine tue 1 opérateur. [ARIA 9841](#) - Une défaillance du système d'inertage entraîne l'explosion d'une réaction d'hydrogénation. [ARIA 14780](#) - Explosion d'une conduite de dinitrotoluène obturée dans un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 15140](#) - Explosion d'un réacteur après l'emballage thermique d'une réaction d'hydrogénation. [ARIA 19490](#) - En Allemagne, une erreur de montage d'un joint entraîne une fuite enflammée d'hydrogène sur un appareil d'absorption. [ARIA 20274](#) - Explosion sur un laveur d'une unité d'activation de catalyseur (nickel de Raney). [ARIA 22211](#) - Inflammation d'un rejet d'acétate d'éthyle et d'hydrogène au niveau de l'évent d'un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 22301](#) – Incendie après une fuite sur un réacteur contenant de l'hydrogène, du benzène et un catalyseur. [ARIA 22251](#) – Explosion après une fuite d'hydrogène sur un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 22319](#) – Explosion dans un régénérateur de catalyseur d'une raffinerie après la formation accidentelle d'un mélange de H2, CO et d'hydrocarbure. [ARIA 23140](#) - En Allemagne, la défaillance d'un joint entraîne un incendie lors du 1er démarrage d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 25991](#) - Inflammation d'hydrogène lors du débâtissage d'un filtre sur un autoclave de synthèse catalytique. [ARIA 30720](#) - Une fuite enflammée de gaz de synthèse se produit au niveau d'un compresseur de synthèse lors de son redémarrage. [ARIA 31715](#) - Une fuite d'hydrogène au niveau des joints d'un autoclave provoque une explosion. [ARIA 32796](#) - Explosion d'un réacteur d'hydrogénation en cours de redémarrage après l'inflammation de H2 par des résidus de catalyseur. [ARIA 33838](#) - Fuite enflammée d'hydrogène dans un atelier d'hydrogénation due à la défaillance de mesures de niveau.

Cuves de stockage (fixes et mobiles) – 24 cas

[ARIA 169](#) - L'explosion d'hydrogène produit par corrosion dans un réservoir d'acide en travaux fait 1 mort et 2 blessés graves. [ARIA 176](#) - 2 opérateurs extérieurs sont tués par une explosion d'hydrogène à la suite d'une fuite de gaz de synthèse dans une unité d'ammoniac. [ARIA 343](#) - Fuite enflammée initiée par la foudre sur un camion raccordé au poste de détente d'une usine de fabrication de combustibles nucléaires. [ARIA 437](#) - Explosion d'un réservoir de 3 000 l de H2 gazeux par fragilisation de l'acier (fatigue statique). [ARIA 2903](#) – Une corrosion par fatigue provoque une fuite et une explosion sur un réservoir d'hydrogène en Allemagne. [ARIA 2915](#) - Fuite enflammée d'hydrogène après l'ouverture d'un disque de rupture sur un stockage. [ARIA 3814](#) - Fuite sur un wagon-citerne d'hydrogène liquide après l'ouverture d'une soupape. [ARIA 4330](#) - Fuite d'hydrogène liquide sur une citerne de stockage. [ARIA 5347](#) - Au Royaume-Uni, explosion du ciel gazeux d'un bac de 1750 m³ de solution ammoniacale. [ARIA 5679](#) - Le dégazage d'hydrogène d'une solution carbonatée provoque une explosion dans un réservoir de vidange. [ARIA 9454](#) - Fuite enflammée lors de travaux sur un gazomètre de gaz de cokerie. [ARIA 9477](#) - Explosion lors du nettoyage d'une citerne de transport d'oléum. [ARIA 10969](#) - Fuite d'hydrogène à la suite de l'affaissement d'un cylindre de stockage. [ARIA 13574](#) - Un raccord entre une canalisation et un cylindre de stockage se rompt à cause d'une corrosion sous tension. [ARIA 15757](#) - Une coupure électrique provoque l'ouverture d'une soupape d'un circuit de purge d'un stockage d'hydrogène. [ARIA 19461](#) - En Allemagne, un employé décède lors d'une explosion au cours du nettoyage d'une citerne ayant transporté de l'alkyle d'aluminium. [ARIA 22278](#) – En Italie, l'explosion d'un réservoir d'acide sulfurique tue 2 opérateurs de maintenance. [ARIA 23111](#) - Explosion après une fuite d'hydrogène sur un réservoir. [ARIA 23358](#) - Les 7 membres d'équipage de la Navette américaine « Challenger » sont tués lors de son explosion. [ARIA 23600](#) - Fuite enflammée sur un réservoir de 25 m³. [ARIA 26618](#) - Combustion interne sur un réservoir d'hydrogène liquide haute pression. [ARIA 30365](#) - Explosion d'hydrogène dans une usine sidérurgique après la non-fermeture d'une vanne. [ARIA 31267](#) - Un accident de la route provoque la fuite d'un réservoir d'hydrogène liquide transporté par un camion. [ARIA 31936](#) - Emission accidentelle d'hydrogène par une soupape.

Compresseurs – 11 cas

[ARIA 3001](#) - La fuite d'un mélange H2/N2 sur un compresseur provoque un incendie. [ARIA 5427](#) - Aux USA, explosion dans le local compresseur après une fuite de gaz de synthèse. [ARIA 14870](#) - Aux USA, explosion sur un compresseur d'hydrogène à la suite d'une entrée d'air. [ARIA 15808](#) - En Inde, un incendie au niveau du compresseur d'hydrogène d'une unité de vapocraquage d'une raffinerie tue 5 personnes. [ARIA 18302](#) - Aux USA, violente explosion suivie d'un incendie dans le local des compresseurs. [ARIA 19325](#) - En Allemagne, des travaux électriques entraînent des incidents sur le stockage d'hydrogène après production et provoque une explosion au niveau de compresseurs. [ARIA 21760](#) - Aux USA, une fuite sur un compresseur de H2 entraîne une explosion. [ARIA 23138](#) - Fuite enflammée sur un compresseur de H2 d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 23174](#) - Au Japon, un incendie se produit lors d'essais de compresseurs d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 26983](#) - En Italie, la défaillance mécanique d'un compresseur dans une unité d'isomérisation entraîne une fuite puis un incendie. [ARIA 30720](#) - Une fuite enflammée de gaz de synthèse se produit au niveau d'un compresseur de synthèse lors de son redémarrage.

Bouteilles – 12 cas

[ARIA 1361](#) - Fuite sur un camion transportant des bouteilles d'hydrogène. [ARIA 1380](#) - Le renversement d'un cadre de bouteilles d'hydrogène endommage l'un d'elles et provoque un rejet de 30 m³ de gaz. [ARIA 1693](#) - Fuite au niveau d'une bride de 9 bouteilles de 80 m³ d'hydrogène.

[ARIA 1741](#) - Fuite sur une bouteille transportée par un camion. [ARIA 8029](#) - Incendie et explosions dans un dépôt stockant des bouteilles d'hydrogène. [ARIA 9857](#) - L'explosion d'une bouteille de H₂ provoque un incendie. [ARIA 14530](#) - Fuite puis explosion de H₂ lors du déchargement d'un camion chargé de bouteilles. [ARIA 18194](#) - Fuite sur une bouteille de 15 m³. [ARIA 23739](#) - Dans une usine agroalimentaire au Pakistan, 2 personnes sont tuées lors de l'explosion d'une bouteille de H₂ servant à la stérilisation. [ARIA 25494](#) - Fuite enflammée d'hydrogène lors de remplissage d'un cadre de bouteilles. [ARIA 25605](#) - Fuite sur un cadre de bouteilles d'hydrogène tombé d'un camion sur la voie publique. [ARIA 31237](#) - Un manque d'hydrogène retarde le fonctionnement de brûleurs et provoque le rejet de 1,7 t d'ammoniac.

Postes de chargement / déchargement / emplissage – 5 cas

[ARIA 343](#) - Fuite enflammée initiée par la foudre sur un camion raccordé au poste de détente d'une usine de fabrication de combustibles nucléaires. [ARIA 2733](#) - Explosion et incendie dans une installation de remplissage d'hydrogène. [ARIA 4411](#) - Explosion d'hydrogène émis au niveau d'une pompe de l'installation de remplissage et de conditionnement. [ARIA 25494](#) - Fuite enflammée d'hydrogène lors de remplissage d'un cadre de bouteilles. [ARIA 28007](#) - La rupture mécanique d'une membrane sur une installation de conditionnement de H₂ provoque une fuite suivie d'une inflammation et d'une explosion.

Fours – 4 cas

[ARIA 2679](#) - Fuites enflammées d'hydrogène après une explosion dans un four de l'unité de désulfuration des gazoles. [ARIA 15508](#) - Fuite enflammée de H₂ sur un four de frittage d'une usine de production de pastilles d'uranium. [ARIA 26625](#) - Incendie dans un four de l'unité de réformage, après la rupture d'un tube par corrosion. [ARIA 31125](#) - Explosion et incendie dans un four d'une unité d'hydrotraitement.

Les causes connues – 158 cas

Défaillances matérielles

Corrosion / fatigue – 23 cas

[ARIA 106](#) - Au Japon, fuite puis explosion dans une unité de désulfuration, dues à la corrosion (ions chlorures). [ARIA 324](#) - Dans une raffinerie aux USA, un UVCE dû à la corrosion d'une canalisation par l'hydrogène fait 7 morts et 48 blessés. [ARIA 437](#) - Explosion d'un réservoir de 3 000 l de H₂ gazeux par fragilisation de l'acier (fatigue statique). [ARIA 2631](#) - En Allemagne, explosion sur un vapocraqueur après une fuite de H₂ due à la corrosion. [ARIA 2903](#) - Une explosion sur un stockage d'hydrogène en Allemagne, provoque l'évacuation de 200 riverains. [ARIA 6346](#) - Le renversement d'acide dans un cuvette de rétention au revêtement endommagé entraîne une production d'hydrogène par attaque de l'acier et un incendie. [ARIA 7315](#) - Au Venezuela, à la suite d'un incendie, des lignes de H₂ cède et alimente l'incendie ; H₂ blistering en cause. [ARIA 7319](#) - Aux USA, incendie dans une unité de désulfuration de gazole dû à une fuite de gaz de procédé provoqué par fatigue vibratoire. [ARIA 10347](#) - En Allemagne, fuite enflammée sur une canalisation de l'unité de désulfuration due à la corrosion. [ARIA 13574](#) - Un raccord entre une canalisation et un cylindre de stockage se rompt à cause d'une corrosion sous tension. [ARIA 14666](#) - En Allemagne, explosion d'un séparateur dans une unité de fabrication d'oléfines. [ARIA 18302](#) - Aux USA, violente explosion suivie d'un incendie dans le local des compresseurs. [ARIA 20356](#) - Une corrosion entraîne la rupture d'une canalisation transportant un mélange contenant 80 % de H₂. [ARIA 21196](#) - Fuite enflammée sur une canalisation d'une unité d'hydrogénation due à la corrosion. [ARIA 22229](#) - En Belgique, explosion après une fuite au niveau d'un coude d'une unité de désulfuration. [ARIA 22249](#) - Rupture d'une canalisation de gaz de synthèse due à un phénomène de fatigue. [ARIA 22278](#) - En Italie, l'explosion d'un réservoir d'acide sulfurique tue 2 opérateurs de maintenance. [ARIA 23017](#) - La corrosion d'un réacteur émaillé endommagé provoque un dégagement d'hydrogène dont le mélange avec du dichlorométhane et de l'oxygène explose. [ARIA 23175](#) - Dans une unité de désulfuration de gasoil, une corrosion sous dépôt entraîne la rupture d'une ligne. [ARIA 26621](#) - Incendie dans une unité de réformage, à la suite de l'ouverture d'un serpent. [ARIA 26625](#) - Incendie dans un four de l'unité de réformage, après la rupture d'un tube par corrosion. [ARIA 33071](#) - Incendie dans une unité de désulfuration des gasoils après la rupture franche d'une canalisation due à la corrosion. [ARIA 33330](#) - Corrosion importante des calandres d'un réformeur.

Pertes d'étanchéité, fuites... (hors corrosions) – 23 cas

[ARIA 170](#) - Une fuite enflammée d'hydrogène sur une canalisation en maintenance tue 4 opérateurs et en blesse 3 autres. [ARIA 176](#) - 2 opérateurs extérieurs sont tués par une explosion d'hydrogène à la suite d'une fuite de gaz de synthèse dans une unité d'ammoniac. [ARIA 1792](#) - Au Japon, une fuite d'hydrogène sur un échangeur d'une raffinerie explose tuant 10 opérateurs. [ARIA 2174](#) - La rupture d'un joint dans une unité de méthanisation provoque un incendie. [ARIA 2679](#) - Fuites enflammées d'hydrogène après une explosion dans un four de l'unité de désulfuration des gazoles. [ARIA 3814](#) - Fuite sur un wagon-citerne d'hydrogène liquide après l'ouverture d'une soupape. [ARIA 5427](#) - Aux USA, explosion dans le local compresseur après une fuite de gaz de synthèse. [ARIA 10466](#) - Explosion lors du contact entre de l'eau et des matériaux portés à 1800 °C dans un atelier de purification de graphite. [ARIA 11292](#) - Incendie dans une unité d'hydrodésulfuration dû au défaut d'étanchéité d'une vanne. [ARIA 15508](#) - Fuite enflammée de H₂ sur un four de frittage d'une usine de production de pastilles d'uranium. [ARIA 18237](#) - Le joint non étanche entraîne une fuite enflammée dans une unité de désulfuration des gazoles. [ARIA 18569](#) - En Allemagne, un défaut de matériau entraîne une fuite sur un échangeur thermique puis un incendie. [ARIA 19080](#) - La fuite de gaz de synthèse au niveau d'une canalisation fissurée d'un échangeur provoque une explosion et un incendie. [ARIA 20522](#) - Sur un sous-marin, production d'hydrogène par contact entre l'eau et une composition anti-sonar. [ARIA 22251](#) - Explosion après une fuite d'hydrogène sur un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 23111](#) - Explosion après une fuite d'hydrogène sur un réservoir. [ARIA 26429](#) - Le défaut d'un joint sur une bride est à l'origine d'une petite fuite enflammée d'hydrogène sur un échangeur. [ARIA 26617](#) - Incendie sur une bride d'un échangeur dans une unité de réformages des essences. [ARIA 28007](#) - La rupture mécanique d'une membrane sur une installation de conditionnement de H₂ provoque une fuite suivie

d'une inflammation et d'une explosion. [ARIA 31377](#) – Fuite d'hydrogène sur une bride de canalisation dans un site d'essais de moteurs de fusées. [ARIA 31715](#) – Une fuite d'hydrogène au niveau des joints d'un autoclave provoque une explosion. [ARIA 32174](#) – Un défaut de serrage d'une bride provoque une fuite enflammée de gaz de synthèse. [ARIA 33030](#) – Fuite enflammée d'hydrogène dans une unité de désulfuration des gazols basse pression.

Défaillances d'instrumentations ou d'automatismes – 14 cas

[ARIA 2679](#) – Fuites enflammées d'hydrogène après une explosion dans un four de l'unité de désulfuration des gazoles. [ARIA 2915](#) – Fuite enflammée d'hydrogène après l'ouverture d'un disque de rupture sur un stockage. [ARIA 5136](#) – L'emballage d'une réaction d'hydrogénation provoque un incendie. [ARIA 5428](#) – En Norvège, l'explosion d'hydrogène dans une unité ammoniac fait 1 mort et 2 blessés graves. [ARIA 10316](#) – En Allemagne, l'encrassement d'une évacuation de sécurité de l'H₂ provoque une surpression puis une explosion. [ARIA 11562](#) – La mise en sécurité de l'unité provoque une émission de gaz de synthèse à l'atmosphère, qui s'enflammera au niveau de la cheminée. [ARIA 17070](#) – Le colmatage d'une cellule provoque une explosion dans une cuve tampon associée. [ARIA 22101](#) – Le dysfonctionnement d'un disjoncteur est à l'origine d'une explosion dans une salle d'électrolyse, la formation de H₂ due à l'attaque des fonds de cellule par l'acidité du milieu est en cause. [ARIA 22211](#) – Inflammation d'un rejet d'acétate d'éthyle et d'hydrogène au niveau de l'évent d'un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 22251](#) – Explosion après une fuite d'hydrogène sur un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 22319](#) – Explosion dans un régénérateur de catalyseur d'une raffinerie après la formation accidentelle d'un mélange de H₂, CO et d'hydrocarbure. [ARIA 25777](#) – Un colmatage de l'alimentation en liqueur d'électrolyse provoque une augmentation de la teneur en O₂ et une déflagration. [ARIA 26983](#) – En Italie, la défaillance mécanique d'un compresseur dans une unité d'isomérisation entraîne une fuite puis un incendie. [ARIA 31355](#) – Explosion d'hydrogène sur un banc d'essai de moteurs de fusées.

Autres défaillances matérielles – 20 cas

[ARIA 4839](#) – Un feu se déclare sur les freins d'un camion transportant de l'hydrogène. [ARIA 5679](#) – Le dégazage d'hydrogène d'une solution carbonatée provoque une explosion dans un réservoir de vidange. [ARIA 6442](#) – En Norvège, le colmatage de l'alimentation en saumure provoque une concentration de H₂ et une explosion. [ARIA 6818](#) – Incendie d'un mélange hydrogène / chlore dans une canalisation de chlore lors du dépotage d'un wagon. [ARIA 8966](#) – Explosion à la suite du contact entre de l'eau et de la poussière d'aluminium incandescente. [ARIA 9065](#) – Formation accidentelle d'hydrogène dans un méthaniseur d'une station d'épuration. [ARIA 9541](#) – En Italie, fuite et explosion de H₂ dans une unité de désulfuration après l'arrêt de l'alimentation en gazole. [ARIA 9841](#) – Une défaillance du système d'inertage entraîne l'explosion d'une réaction d'hydrogénation. [ARIA 10095](#) – Inflammation d'hydrogène lors d'essais en laboratoire. [ARIA 10969](#) – Fuite d'hydrogène à la suite de l'affaissement d'un cylindre de stockage. [ARIA 11934](#) – Dans une raffinerie américaine, l'explosion d'une canalisation hydrogène / gazole fait 1 mort et 60 blessés. [ARIA 15083](#) – Explosion suite à l'introduction d'eau dans une poche d'acier en fusion. [ARIA 15757](#) – Une coupure électrique provoque l'ouverture d'une soupape d'un circuit de purge d'un stockage d'hydrogène. [ARIA 17608](#) – L'échauffement des freins d'un camion transportant de l'hydrogène liquide entraîne l'établissement d'un important périmètre de sécurité. [ARIA 21965](#) – Dans une unité de polymérisation, fuite d'hydrogène non enflammée après la rupture d'une canalisation suite à un choc. [ARIA 23739](#) – Dans une usine agroalimentaire au Pakistan, 2 personnes sont tuées lors de l'explosion d'une bouteille de H₂ servant à la stérilisation. [ARIA 30226](#) – La présence d'azote dans l'hydrogène alimentant les brûleurs d'une unité de production d'acide chlorhydrique entraîne une combustion incomplète et un rejet de chlore par les événements. [ARIA 30637](#) – Explosion du ciel gazeux d'une cellule lors d'une maintenance pour « vaccination ». [ARIA 31267](#) – Un accident de la route provoque la fuite d'un réservoir d'hydrogène liquide transporté par un camion. [ARIA 33966](#) – Rupture d'une canalisation de H₂ sous l'effet du flux thermique d'un incendie dans une unité de désulfuration.

Facteur humain / défaillances organisationnelles

Défaut de maîtrise de procédé – 30 cas

[ARIA 161](#) – Explosion d'hydrogène formé par la décomposition d'huile de silicone après l'ajout brutal d'alcoolate très basique. [ARIA 2679](#) – Fuites enflammées d'hydrogène après une explosion dans un four de l'unité de désulfuration des gazoles. [ARIA 5136](#) – L'emballage d'une réaction d'hydrogénation après l'arrêt de l'agitateur provoque un incendie. [ARIA 5347](#) – Au Royaume-Uni, explosion du ciel gazeux d'un bac de 1750 m³ de solution ammoniacale. [ARIA 6443](#) – En Suède, explosion d'un collecteur de chlore. [ARIA 6759](#) – Production accidentelle d'hydrogène par mélange de déchets. [ARIA 6444](#) – Une erreur d'ampérage provoque la présence d'hydrogène dans un collecteur de chlore et son explosion. [ARIA 7956](#) – Une explosion suivie d'un incendie dans une unité d'hydrogénation tue 1 opérateur. [ARIA 9065](#) – Formation accidentelle d'hydrogène dans un méthaniseur d'une station d'épuration. [ARIA 9477](#) – Explosion lors du nettoyage d'une citerne de transport d'oléum. [ARIA 9841](#) – Une défaillance du système d'inertage entraîne l'explosion d'une réaction d'hydrogénation. [ARIA 10316](#) – En Allemagne, l'encrassement d'une évacuation de sécurité de l'H₂ provoque une surpression puis une explosion. [ARIA 11934](#) – Dans une raffinerie américaine, l'explosion d'une canalisation hydrogène / gazole fait 1 mort et 60 blessés. [ARIA 13017](#) – Explosion et incendie dans une usine d'incinération après le contact entre de l'eau et de la poudre d'aluminium. [ARIA 14987](#) – Explosion d'un mélange hydrogène / chlore après le bouchage d'une garde hydraulique. [ARIA 15140](#) – Explosion d'un réacteur après l'emballage thermique d'une réaction d'hydrogénation. [ARIA 15532](#) – Au cours d'un incendie dans un site de stockage de déchets, de l'H₂ est produit par la réaction entre des piles au lithium et les eaux d'extinction. [ARIA 17070](#) – Le colmatage d'une cellule provoque une explosion dans une cuve tampon associée. [ARIA 19461](#) – En Allemagne, un employé décède lors d'une explosion au cours du nettoyage d'une citerne ayant transporté de l'alkyle d'aluminium. [ARIA 20351](#) – Explosion d'un gazomètre d'oxygène due à la présence d'hydrogène. [ARIA 22101](#) – Le dysfonctionnement d'un disjoncteur est à l'origine d'une explosion dans une salle d'électrolyse, la formation de H₂ due à l'attaque des fonds de cellule par l'acidité du milieu est en cause. [ARIA 23600](#) – Fuite enflammée sur un réservoir de 25 m³. [ARIA 24767](#) – Une génération accidentelle de H₂ dans une station d'épuration provoque une explosion et un incendie. [ARIA 25777](#) – Un colmatage de l'alimentation en liqueur d'électrolyse provoque une augmentation de la teneur en O₂ et une déflagration. [ARIA 25991](#) – Inflammation d'hydrogène lors du débâtissage d'un filtre sur un autoclave de synthèse catalytique. [ARIA 26618](#) – Combustion interne sur un réservoir d'hydrogène liquide haute pression. [ARIA 30637](#) – Explosion du ciel gazeux d'une cellule lors d'une maintenance pour « vaccination ». [ARIA 30679](#) – Un incendie dû à la formation d'hydrogène à partir d'hydrures sur une aire de stockage de déchets pharmaceutiques. [ARIA 30857](#) – Feu dans une trémie contenant du calcium dû à la forte humidité. [ARIA 32897](#) – Echauffement d'un fût de déchets de pâte d'aluminium dû à la réaction de l'aluminium avec la faible quantité d'eau présente.

Erreur de gestes, d'appréciation... / facteur humain – 26 cas

[ARIA 161](#) - Explosion d'hydrogène formé par la décomposition d'huile de silicone après l'ajout brutal d'alcoolate très basique. [ARIA 170](#) – Une fuite enflammée d'hydrogène sur une canalisation en maintenance tue 4 opérateurs et en blesse 3 autres. [ARIA 891](#) - Une explosion lors d'une maintenance sur un réacteur de polyéthylène tue 23 personnes dans une usine américaine. [ARIA 1380](#) - Le renversement d'un cadre de bouteilles d'hydrogène endommage l'un d'elles et provoque un rejet de 30 m³ de gaz. [ARIA 4411](#) – Explosion d'hydrogène émis au niveau d'une pompe de l'installation de remplissage et de conditionnement. [ARIA 5279](#) – Aux USA, une fuite enflammée de gaz de synthèse fait 9 blessés après la décompression par sécurité de l'unité. [ARIA 6189](#) – En Ecosse, l'explosion d'un séparateur basse pression suivi d'un incendie tue 1 opérateur dans une raffinerie. [ARIA 6444](#) – Une erreur d'ampérage provoque la présence d'hydrogène dans un collecteur de chlore et son explosion. [ARIA 14779](#) – Explosion et incendie après la rupture d'une pompe dans une unité d'hydrogénation. [ARIA 15018](#) – Explosion due à la formation d'hydrogène lors du contact entre du sodium et de l'eau. [ARIA 18298](#) – Incendie dans un site stockant des piles au lithium usagées. [ARIA 19490](#) – En Allemagne, une erreur de montage d'un joint entraîne une fuite enflammée d'hydrogène sur un appareil d'absorption. [ARIA 22482](#) – L'ouverture accidentelle d'une vanne d'hydrogène au lieu d'une vanne d'azote provoque une explosion. [ARIA 23317](#) – Explosion dans une fonderie due au contact entre du métal en fusion et de l'eau. [ARIA 24767](#) – Une génération accidentelle de H₂ dans une station d'épuration provoque une explosion et un incendie. [ARIA 25112](#) – Deux fuites successives sur des cellules d'électrolyse sont enflammées par des court-circuits. [ARIA 25494](#) – Fuite enflammée d'hydrogène lors de remplissage d'un cadre de bouteilles. [ARIA 26208](#) – Une augmentation de la concentration en H₂ provoque son inflammation dans une canalisation de chlore, à l'origine d'une combustion fer / chlore aboutissant à la disparition de la canalisation et au rejet de Cl₂. [ARIA 26615](#) – Une fuite enflammée se produit au niveau d'une bride de l'unité de reformage. [ARIA 26616](#) – Une défaillance de serrage de tiges filetés dans une unité de reformage catalytique entraîne une fuite puis un incendie. [ARIA 27407](#) – Formation d'hydrogène lors du renversement de soude sur un escalier en aluminium dans un centre nautique. [ARIA 28513](#) – Explosion et incendie dans un centre de récupération de piles au lithium. [ARIA 31237](#) – Un manque d'hydrogène retarde le fonctionnement de brûleurs et provoque le rejet de 1,7 t d'ammoniac. [ARIA 31355](#) – Explosion d'hydrogène sur un banc d'essai de moteurs de fusées. [ARIA 32145](#) – La défaillance d'un joint inadapté sur un échangeur d'une unité de désulfuration entraîne une fuite enflammée. [ARIA 32796](#) – Explosion d'un réacteur d'hydrogénation en cours de redémarrage après l'inflammation de H₂ par des résidus de catalyseur.

Test / Travaux / Maintenance – 29 cas

[ARIA 49](#) – En Italie, l'explosion d'un réacteur de synthèse d'ammoniac tue 1 opérateur. [ARIA 169](#) – L'explosion d'hydrogène produit par corrosion dans un réservoir d'acide en travaux fait 1 mort et 2 blessés graves. [ARIA 891](#) - Une explosion lors d'une maintenance sur un réacteur de polyéthylène tue 23 personnes dans une usine américaine. [ARIA 2903](#) – Une explosion sur un stockage d'hydrogène en Allemagne, provoque l'évacuation de 200 riverains. [ARIA 3512](#) – L'hydrogène produit par réaction d'eau avec du métal en fusion explose et tue 1 opérateur. [ARIA 4501](#) – En Ukraine, fuite de H₂ sur une conduite à 200 m d'un réacteur nucléaire, suivie d'une explosion et d'un incendie, tuant un opérateur. [ARIA 5679](#) – Le dégazage d'hydrogène d'une solution carbonatée provoque une explosion dans un réservoir de vidange. [ARIA 6818](#) – Incendie d'un mélange hydrogène / chlore dans une canalisation de chlore lors du dépotage d'un wagon. [ARIA 7314](#) – Accident sur un échangeur d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 7315](#) – Au Venezuela, à la suite d'un incendie, des lignes de H₂ cède et alimente l'incendie ; H₂ blistering en cause. [ARIA 7518](#) – Fuite enflammée d'hydrogène au niveau de joints lors d'essais d'étanchéité sur un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 9454](#) – Fuite enflammée lors de travaux sur un gazomètre de gaz de cokerie. [ARIA 9944](#) – Inflammation d'une atmosphère chargée en hydrogène dans une usine de carbure de calcium. [ARIA 14666](#) – En Allemagne, explosion d'un séparateur dans une unité de fabrication d'oléfines. [ARIA 15339](#) – Aux USA, 3 ouvriers sont tués et 50 autres blessés par une explosion d'hydrogène dans une centrale thermique. [ARIA 16467](#) – Explosion au niveau d'une cuve de lubrifiant après la formation d'hydrogène par corrosion de l'acier par l'acide phosphoreux. [ARIA 19325](#) – En Allemagne, des travaux électriques entraînent des incidents sur le stockage d'hydrogène après production et provoque une explosion au niveau de compresseurs. [ARIA 20274](#) – Explosion sur un laveur d'une unité d'activation de catalyseur (nickel de Raney). [ARIA 20522](#) – Sur un sous-marin, production d'hydrogène par contact entre l'eau et une composition anti-sonar. [ARIA 22278](#) – En Italie, l'explosion d'un réservoir d'acide sulfurique tue 2 opérateurs de maintenance. [ARIA 22319](#) – Explosion dans un régénérateur de catalyseur d'une raffinerie après la formation accidentelle d'un mélange de H₂, CO et d'hydrocarbure. [ARIA 24977](#) – Dans une station d'épuration, explosion d'une cuve servant au stockage provisoire d'acide. [ARIA 26615](#) – Une fuite enflammée se produit au niveau d'une bride de l'unité de reformage. [ARIA 27273](#) – Au Japon, un opérateur de maintenance est tué par une explosion sur un réservoir d'acide fluorhydrique. [ARIA 28569](#) – Explosion d'hydrogène résultant d'une réaction métal / acide. [ARIA 29864](#) – Explosion d'un chloroduc consigné due à la formation d'hydrogène par corrosion de l'acier par l'acide hypochloreux. [ARIA 30365](#) – Explosion d'hydrogène dans une usine sidérurgique après la non-fermeture d'une vanne. [ARIA 30720](#) – Une fuite enflammée de gaz de synthèse se produit au niveau d'un compresseur de synthèse lors de son redémarrage. [ARIA 31355](#) – Explosion d'hydrogène sur un banc d'essai de moteurs de fusées.

Autres défaillances organisationnelles ou humaines – 52 cas

[ARIA 106](#) – Au Japon, fuite puis explosion dans une unité de désulfuration, dues à la corrosion (ions chlorures). [ARIA 161](#) – Explosion d'hydrogène formé par la décomposition d'huile de silicone après l'ajout brutal d'alcoolate très basique. [ARIA 169](#) – L'explosion d'hydrogène produit par corrosion dans un réservoir d'acide en travaux fait 1 mort et 2 blessés graves. [ARIA 1792](#) - Au Japon, une fuite d'hydrogène sur un échangeur d'une raffinerie explose tuant 10 opérateurs. [ARIA 2062](#) – Aux USA, une fuite de gaz de procédé provoque une explosion. [ARIA 4525](#) – Explosion après l'écoulement de magnésium liquide dans une fosse contenant de l'eau. [ARIA 5906](#) – Au Royaume-Uni, fuite enflammée de gaz de synthèse après la rupture d'un réacteur d'isomérisation des paraffines. [ARIA 6189](#) – En Ecosse, l'explosion d'un séparateur basse pression suivi d'un incendie tue 1 opérateur dans une raffinerie. [ARIA 6346](#) – Le renversement d'acide dans un cuvette de rétention au revêtement endommagé entraîne une production d'hydrogène par attaque de l'acier et un incendie. [ARIA 6390](#) – Un contact eau / métal en fusion en sortie de four provoque une explosion. [ARIA 7315](#) – Au Venezuela, à la suite d'un incendie, des lignes de H₂ cède et alimente l'incendie ; H₂ blistering en cause. [ARIA 8966](#) – Explosion à la suite du contact entre de l'eau et de la poussière d'aluminium incandescente. [ARIA 9541](#) – En Italie, fuite et explosion de H₂ dans une unité de désulfuration après l'arrêt de l'alimentation en gazole. [ARIA 10095](#) – Inflammation d'hydrogène lors d'essais en laboratoire. [ARIA 11292](#) - Incendie dans une unité d'hydrodésulfuration dû au défaut d'étanchéité d'une vanne. [ARIA 13182](#) - En Allemagne, l'introduction d'eau dans un four de fonderie provoque une explosion de vapeur. [ARIA 14162](#) – L'inondation d'une usine utilisant du calcium provoque des émissions d'hydrogène et un incendie. [ARIA 14700](#) – En Allemagne, un opérateur est tué dans l'explosion d'une unité d'hydrogénation. [ARIA 14780](#) – Explosion d'une conduite de dinitrotoluène obturée dans un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 18298](#) – Incendie dans un site stockant des piles au lithium usagées. [ARIA 20066](#) – Explosion de gaz à l'eau lors de l'intervention des pompiers pour un incendie sur une trémie de coke. [ARIA 20356](#) – Une corrosion entraîne la rupture d'une canalisation

transportant un mélange contenant 80 % de H₂. [ARIA 21965](#) – Dans une unité de polymérisation, fuite d'hydrogène non enflammée après la rupture d'une canalisation suite à un choc. [ARIA 22211](#) – Inflammation d'un rejet d'acétate d'éthyle et d'hydrogène au niveau de l'évent d'un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 22229](#) – En Belgique, explosion après une fuite au niveau d'un coude d'une unité de désulfuration. [ARIA 22249](#) – Rupture d'une canalisation de gaz de synthèse due à un phénomène de fatigue. [ARIA 22251](#) – Explosion après une fuite d'hydrogène sur un réacteur d'hydrogénation. [ARIA 22319](#) – Explosion dans un régénérateur de catalyseur d'une raffinerie après la formation accidentelle d'un mélange de H₂, CO et d'hydrocarbure. [ARIA 22518](#) – Dans une usine pyrotechnique, réaction entre de l'eau et de la poudre de magnésium et d'aluminium produisant de l'hydrogène. [ARIA 23017](#) – La corrosion d'un réacteur émaillé endommagé provoque un dégagement d'hydrogène dont le mélange avec du dichlorométhane et de l'oxygène explose. [ARIA 23138](#) – Fuite enflammée sur un compresseur de H₂ d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 23140](#) – En Allemagne, la défaillance d'un joint entraîne un incendie lors du 1er démarrage d'une unité d'hydrodésulfuration. [ARIA 23317](#) – Explosion dans une fonderie due au contact entre du métal en fusion et de l'eau. [ARIA 23358](#) – Les 7 membres d'équipage de la Navette américaine « Challenger » sont tués lors de son explosion. [ARIA 24767](#) – Une génération accidentelle de H₂ dans une station d'épuration provoque une explosion et un incendie. [ARIA 25112](#) – Deux fuites successives sur des cellules d'électrolyse sont enflammées par des court-circuits. [ARIA 25494](#) – Fuite enflammée d'hydrogène lors de remplissage d'un cadre de bouteilles. [ARIA 25689](#) – Explosion sur une aire de stockage de déchets métalliques due au contact entre de la poudre de magnésium et de l'eau de pluie. [ARIA 26617](#) – Incendie sur une bride d'un échangeur dans une unité de réformages des essences. [ARIA 26619](#) – Incendie à la suite d'une fuite sur un joint d'un échangeur de l'unité de réformage. [ARIA 26983](#) – En Italie, la défaillance mécanique d'un compresseur dans une unité d'isomérisation entraîne une fuite puis un incendie. [ARIA 28822](#) – Génération d'hydrogène à partir d'une batterie usagée. [ARIA 29011](#) – Explosion possiblement due à la formation de gaz à l'eau lors de l'extinction d'un incendie sur un silo de copeaux de bois. [ARIA 29864](#) – Explosion d'un chloroduc consigné due à la formation d'hydrogène par corrosion de l'acier par l'acide hypochloreux. [ARIA 31082](#) – Explosion dans un bac d'acide sulfurique due à la présence d'hydrogène généré par corrosion de l'acier. [ARIA 31605](#) – L'introduction de calcium dans un réservoir contenant de l'eau provoque une explosion. [ARIA 32145](#) – La défaillance d'un joint inadapté sur un échangeur d'une unité de désulfuration entraîne une fuite enflammée. [ARIA 32174](#) – Un défaut de serrage d'une bride provoque une fuite enflammée de gaz de synthèse. [ARIA 32796](#) – Explosion d'un réacteur d'hydrogénation en cours de redémarrage après l'inflammation de H₂ par des résidus de catalyseur. [ARIA 32817](#) – La défaillance d'une soupape provoque une fuite de gaz de synthèse qui explosera. [ARIA 33030](#) – Fuite enflammée d'hydrogène dans une unité de désulfuration des gasoils basse pression. [ARIA 33330](#) – Corrosion importante des calandres d'un réformeur. [ARIA 33838](#) – Fuite enflammée d'hydrogène dans un atelier d'hydrogénation.

Causes externes – 7 cas

[ARIA 343](#) – Fuite enflammée initiée par la foudre sur un camion raccordé au poste de détente d'une usine de fabrication de combustibles nucléaires. [ARIA 11562](#) – La mise en sécurité de l'unité provoque une émission de gaz de synthèse à l'atmosphère, qui s'enflammera au niveau de la cheminée. [ARIA 14162](#) – L'inondation d'une usine utilisant du calcium provoque des émissions d'hydrogène et un incendie. [ARIA 15757](#) – Une coupure électrique provoque l'ouverture d'une soupape d'un circuit de purge d'un stockage d'hydrogène. [ARIA 25689](#) – Explosion sur une aire de stockage de déchets métalliques due au contact entre de la poudre de magnésium et de l'eau de pluie. [ARIA 27877](#) – Un feu de forêt se propage à un ancien terrier et provoque une combustion interne aggravée par la formation de monoxyde de carbone et d'hydrogène (gaz à l'eau). [ARIA 30857](#) – Feu dans une trémie contenant du calcium dû à la forte humidité.

Annexe II : Liste des accidents illustratifs

Accidents impliquant de l'hydrogène (215 cas)

n° de requête : ed_10428

Base de données ARIA - Etat au 28/12/2007

La base de données ARIA, exploitée par le ministère de l'écologie et du développement durable, recense essentiellement les événements accidentels qui ont, ou qui auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publique, l'agriculture, la nature et l'environnement. Pour l'essentiel, ces événements résultent de l'activité d'usines, ateliers, dépôts, chantiers, élevages,... classés au titre de la législation relative aux Installations Classées, ainsi que du transport de matières dangereuses. Le recensement et l'analyse de ces accidents et incidents, français ou étrangers sont organisés depuis 1992. Ce recensement qui dépend largement des sources d'informations publiques et privées, n'est pas exhaustif. La liste des événements accidentels présentés ci-après ne constitue qu'une sélection de cas illustratifs. Malgré tout le soin apporté à la réalisation de cette synthèse, il est possible que quelques inexactitudes persistent dans les éléments présentés. Merci au lecteur de bien vouloir signaler toute anomalie éventuelle avec mention des sources d'information à l'adresse suivante :

BARPI - 2, rue Antoine Charial 69462 LYON CEDEX 03 / Mel : sei.barpi@industrie.gouv.fr

    **ARIA 49 - 09/06/1988 - ITALIE - SAN GIUSEPPE DI CAIRO**
 24.1J - *Fabrication de produits azotés et d'engrais*
 Lors des phases préparatoires précédant le contrôle pneumatique décennal d'un réacteur de synthèse d'ammoniac, celui-ci explose alors qu'il est sous une pression de 250 bar, à une température comprise entre 20 et 30 °C et chargé de gaz de procédé (azote et hydrogène). Sur les 3 opérateurs présents, l'un est tué et un second est choqué. L'explosion et l'incendie qui suit (hydrogène) provoquent d'importants dommages matériels : la partie supérieure de la colonne est détruite, les parties métalliques du réacteurs sont projetées dans un rayon de plusieurs mètres, le bâtiment abritant l'unité est détruit ; celle-ci doit subir un arrêt de 4 mois. Les coûts directs et induits sont estimés à 20 000 millions de liras.
 Le réacteur en acier d'une capacité volumétrique de 8 m³ (7,7 m de haut x 850 mm de diamètre) date de 1929 et avait subi de nombreux contrôles réglementaires depuis sa mise en service. Lors de l'accident, les travaux préparatoires au contrôle décennal du réacteur avait commencé : le réacteur avait été isolé et pressurisé lentement par du gaz de procédé (N₂ et H₂) ; plusieurs cycles de pressurisation avaient été nécessaires à cause de fuites au niveau des brides ; à chaque cycle, les boulons équipant les brides avaient été resserrés et le réacteur dépressurisé. C'est au cours d'une dernière pressurisation que l'explosion s'est produite.
 Les causes de l'accident ne sont pas clairement établies, des experts étudient l'hypothèse d'une déflagration interne au réacteur.

 **ARIA 88 - 22/03/1989 - ITALIE - SANNAZARO DE BURGUNDI / PAVIA**
 23.2Z - *Raffinage de pétrole*
 De l'hydrogène est lâché (cause non précisée) dans une unité de désulfuration de gazole, produisant après allumage une flamme chalumeau horizontale de 50 m de long. L'unité était en phase de fonctionnement normal. Les pompiers de la raffinerie interviennent rapidement et réussissent à stopper l'alimentation de la flamme en hydrogène avant le développement d'un accident plus grave. Les dégâts matériels sont peu importants en regard du risque encouru.

 **ARIA 106 - 06/03/1989 - JAPON - KURASHIKI / OKAYAMA-KEN**
 23.2Z - *Raffinage de pétrole*
 Une fuite d'hydrogène se produit au niveau d'une boîte de distribution d'un échangeur thermique dans une unité de désulfuration d'une raffinerie. Une explosion se déclare et provoque un incendie. La fuite serait due à une corrosion par enrichissement du fluide en chlorures à cause d'un dépôt de sulfure de fer (FeS). 3 blessés légers sont à déplorer. Le plan d'urgence interne est déclenché.

 **ARIA 161 - 08/06/1988 - 37 - AUZOUER-EN-TOURAIN**
 24.1G - *Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base*
 Une explosion et un incendie se produisent la nuit dans une usine chimique lors de la fabrication d'un imperméabilisant à base d'huile de silicone et d'additifs.
 Un opérateur débutant (engagé depuis 6 mois), récemment affecté à ce poste, est laissé sans encadrement vers 1 h pour s'occuper d'un procédé modifié en juin et mis en oeuvre pour la 2ème fois. Le mode opératoire ne précisant pas l'ordre d'introduction des réactifs, il charge 800 kg d'huile dans la cuve 1702 au 1er étage, met le réacteur en chauffe, descend au rdc pour pomper du réactif et aperçoit, en montant au 2ème pour remplir une cuve d'eau, une sorte de brouillard s'échappant de la cuve 1702. L'explosion qui se produit alors vers 3h résulte de la formation d'hydrogène généré par la décomposition de l'huile de silicone après l'ajout brutal et non contrôlé de l'alcoolate très basique. L'incendie qui s'en suit, ravage 500 t de substances chimiques (alcools surtout), se propage à une grande partie du site (7 000 m²) et crée un important nuage de fumées.
 L'opérateur, projeté à 10 m, commotionné, souffre de graves brûlures et blessures. Pendant l'intervention, 2 pompiers sont blessés et 15 autres intoxiqués. En dépit des difficultés d'intervention rencontrées, les secours maîtrisent le sinistre en 4 h. Des analyses atmosphériques indiquent de faibles teneurs en CO et NOx. L'absence de dispositifs de rétention, des bras morts et un dysfonctionnement de la station d'épuration interne conduisent au déversement des eaux d'incendie (produits cyanurés, pentachlorophénols...) dans la Brenne. La Cisse et la Brenne (affluent) sont polluées sur 23 et 5 km éliminant toute trace de flore et de faune : destruction de 20 t de poissons, de mammifères aquatiques ou terrestres...Un indice phénol élevé est relevé dans la Loire : les captages sont arrêtés le 9/06 privant d'eau potable 200 000 habitants de Tours et de sa région, mais reprennent 3 j plus tard avec restriction pour l'alimentation humaine pendant 8 j. Un ravitaillement en eau potable est organisé pendant 10 j. Les dommages matériels et les pertes de production de l'entreprise sont de 45 MF et 8 MF.
 Des peines d'emprisonnements avec sursis sont prononcées : 1 an pour le président de la société et 120 KF d'amende, 6 mois pour le chef d'établissement et 60 KF d'amende. Les intérêts à verser aux parties civiles sont de 800 KF.
 Cet accident résulte surtout d'une défaillance organisationnelle profonde (pas de politique de sécurité, procédures incomplètes...).

 **ARIA 169 - 09/08/1989 - 69 - SAINT-FONS**
 24.6L - *Fabrication de produits chimiques à usage industriel*
 Des travaux de meulage doivent être menés sur un réservoir ayant contenu de l'acide sulfurique. Toutes les procédures travaux (neutralisation de boues restantes par du carbonate, mesures d'oxygénométrie-explosimétrie en divers endroits) sont correctement effectuées. Au début de l'opération, une déflagration se produit à l'intérieur du réservoir. Un mort et 2 blessés graves sont à déplorer. Le réservoir est partiellement détruit. Cette explosion est due à la présence d'hydrogène (100 g) dans une zone morte où aucune mesure n'a été faite. L'hydrogène provient de la corrosion du fer du réservoir par l'acide sulfurique.

  **ARIA 170 - 14/08/1989 - 31 - BOUSSENS**
 24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base
 Une fuite d'hydrogène sous 300 bars et à 300 °C se produit lors du débouchage d'un circuit alors que 6 employés démontent une bride pleine et ouvrent une vanne de purge. La fuite est due à une vanne d'isolement défaillante ou à une fausse manoeuvre en amont. A la suite de l'inflammation spontanée du jet, 4 employés sont tués et 3 autres sont brûlés plus ou moins grièvement. L'incendie est limité et rapidement circonscrit. Une étude des dangers est demandée sur les installations avec propositions de modifications matérielles et organisationnelles.

  **ARIA 176 - 23/02/1989 - 76 - LE GRAND-QUEVILLY**
 24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais
 Dans une boucle de synthèse d'ammoniac, une fuite de gaz de synthèse (75 % H₂ et 25 % N₂ à 30 °C) a lieu sur une vanne d'isolement d'un dispositif de contrôle de niveau d'une capacité à 250 bars. Une explosion se produit alors que 2 ouvriers d'une entreprise extérieure interviennent. Ces derniers sont tués et un incendie se déclare sur l'installation. Aucune conséquence n'est à signaler à l'extérieur du site. Quatre autres interventions auraient été effectuées sur cette vanne en moins de 1 an sans réussir à stopper la fuite. Un suivi (fixations, boulons) avec enregistrement des interventions est effectué pour tous les équipements importants pour la sécurité. Une inspection générale portant sur la sous-traitance est organisée.

  **ARIA 275 - 28/01/1988 - 36 - ISSOUDUN**
 YY.0Z - Activité indéterminée
 Une canalisation sur un stockage d'hydrogène (240 m³) se rompt. Le personnel est évacué et un périmètre de protection est mis en place.



  **ARIA 324 - 04/05/1988 - ETATS-UNIS - NORCO**
 23.2Z - Raffinage de pétrole
 Dans une raffinerie, la décompression du dépropaniseur et du ballon de tête, par l'ouverture de la ligne, provoque un UVCE dans un F.C.C (craquer catalytique). Les installations (dépropaniseur, fractionnement, salle de contrôle, utilités) sont détruites. Le bilan est de: 2 800 évacués, 7 morts et 48 blessés. La corrosion d'un coude de 8 pouces en acier carbone situé à 15 m de hauteur sur la ligne du dépropaniseur par de l'hydrogène blistering serait à l'origine de l'accident.

  **ARIA 343 - 13/06/1988 - 26 - ROMANS-SUR-ISERE**
 23.3Z - Elaboration et transformation de matières nucléaires
 Dans une usine de fabrication de combustibles nucléaires, une fuite enflammée d'hydrogène (H₂) se produit sur une semi-remorque raccordée à un poste de détente, en attente de transfert. L'alerte est donnée par le personnel du restaurant d'entreprise situé à proximité. Les secours externes arrivant sur site 15 min plus tard constatent une fuite très importante de gaz enflammé à l'arrière de la semi-remorque, à proximité de la réserve de bouteilles verticales. La surchauffe au rouge-blanc de l'extrémité de la plate-forme de la semi-remorque fait craindre une détérioration des vannes des bouteilles. De plus, le poste de détente auquel est raccordé la semi-remorque (ancien poste de détente utilisé comme poste de secours) est le siège de nombreuses fuites enflammées. Quatre autres semi-remorques sont situées au niveau du poste de transfert relié à un 2ème poste de détente (nouveau poste) : 1 raccordée en attente, 1 non raccordée et 2 raccordées en service. Les premières mesures consistent à refroidir par noyage les têtes de bouteilles de la semi-remorque sinistrée et à faire évacuer les autres semi-remorques. Par ailleurs, les équipements de production d'hydrogène sont stoppés pour permettre l'isolement du réseau de distribution. Deux heures plus tard, la pression ayant baissé dans les bouteilles de la semi-remorque accidentée, les secours peuvent les approcher pour en fermer les vannes. La foudre serait à l'origine de l'accident. La suppression définitive du poste de détente sinistré (poste de secours) permettra de reprendre l'exploitation du réseau de distribution dès le lendemain. Tous les potelets de raccordement des semi-remorques seront rénovés de façon à corriger le risque de destruction par la chaleur.

  **ARIA 437 - 01/10/1988 - 69 - SAINT-FONS**
 24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base
 A 6h10, un réservoir de 3 000 l d'hydrogène gazeux datant de 1939 (L=14 m, diam.=570 mm) explose à 135 b durant des hydrogénations sur un site chimique. Des opérateurs qui notent une explosion violente suivie d'une boule de feu rouge orangée, donnent l'alerte. L'atelier d'hydrogénation est arrêté en urgence. Un départ d'incendie est rapidement maîtrisé. En fosse enterrée ouverte avec toiture en fibrociment (L=16 m, l=5 m, prof.= 4 m), située à 20 m de la limite de propriété, la centrale d'H₂ mise en service en 1986 abritait 8 bouteilles forgées de 1 000 à 3 300 l en position horizontale sur supports métalliques, reliées par des canalisations avec vannes manuelles ; toutes les bouteilles se videront. La canalisation d'alimentation unique disposait d'une vanne pneumatique à fermeture par manque d'air commandée par un arrêt coup de poing ; son alimentation en air, sectionnée par un missile (l'un de 183 kg est projeté à 22 m, un autre de 33 kg à 145 m...) isole la centrale des unités sous pression d'H₂. Il n'y a pas de victime. Des dommages matériels internes et externes sont observés jusqu'à 500 m dans l'axe du stockage, la majorité étant localisés dans un rayon de 350 m : bris de bardages et toitures en fibrociment des ateliers exposés, de vitres et de vitrines de magasin, déplacement de tuiles. A un moment moins favorable, cette explosion aurait pu occasionner des dommages corporels hors du site. Une expertise conclue à une rupture différée (fatigue statique) du réservoir par fragilisation de l'acier sous l'effet de l'hydrogène.

La bouteille recyclée avait été utilisée sur d'autres sites, notamment comme réserve d'azote. L'usine disposait de 2 centrales d'H2 prévues pour couvrir les pointes de débit lors des différents cycles d'hydrogénation, la station de compression existante ne disposant pas d'un débit suffisant.

L'exploitation du réseau et de tous les réservoirs d'hydrogène sous pression (150 b) de l'usine est suspendue, au bénéfice d'une alimentation directe sous 35 b.

     **ARIA 891 - 23/10/1989 - ETATS-UNIS - PASADENA**
24.6L - Fabrication de produits chimiques à usage industriel
 Dans une usine de fabrication de polyéthylène, l'explosion d'un nuage inflammable (isobutane, éthylène, hexène et hydrogène) échappé d'un réacteur lors d'une maintenance tue 23 personnes, dans un rayon de 75 m, et fait 314 blessés dont 185 employés et 129 sous-traitants. Les dommages matériels sont considérables, les 2 unités polyéthylène couvrant une aire de 4 000 m² sont détruites, des débris sont retrouvés jusqu'à 10 km du lieu de l'explosion, les fenêtres des constructions situées dans un rayon de 2,5 km sont brisées, les maisons et bâtiments sont endommagés dans un périmètre de 6 à 7 km.... Le coût total des dommages est évalué à 750 M\$, celui des pertes d'exploitation à 700 M\$. L'explosion est équivalente à celle de 2,4 t de TNT et comparable à un tremblement de terre de 3,5 sur l'échelle de Richter.

L'explosion principale sera suivie de multiples autres explosions (dont celles de 2 réservoirs d'isobutane) et incendies qui ne seront sous contrôle qu'après 10 h d'intervention des secours compte-tenu des difficultés d'approvisionnement en eau : le réseau incendie n'étant pas distinct de celui des eaux de procédés qui a été détruit par l'explosion, la pression du réseau incendie était insuffisante et les vannes de sectionnement inaccessibles à cause des multiples incendies ; le feu ayant détruit les câbles électriques qui alimentent les pompes incendies, celles-ci sont restées inopérantes et sur les 3 pompes diesel de secours, l'une était hors-service et une seconde est tombée en panne sèche après 1 h de fonctionnement.

L'accident survient alors qu'une opération de maintenance, effectuée par une société sous-traitante spécialisée, a débuté depuis la veille : il s'agit de nettoyer des branches de décantation reliées au réacteur de fabrication en cours de fonctionnement. Ces branches permettent de récupérer les dépôts de polymère afin que ceux-ci n'encrassent pas le réacteur. Une procédure spécifique a été définie pour cette opération, précisant notamment qu'il faut isoler les branches par les robinets à tournant sphérique (actionnés par air comprimé) placés entre celles-ci et le réacteur.

L'enquête effectuée montrera que l'accident résulte d'un rejet de 40 t de gaz de procédé à l'atmosphère (99% du contenu du réacteur) via une vanne d'isolement d'une branche de décantation restée ouverte, et qui s'est enflammé dans un intervalle de 90 à 120 sec au contact d'une des multiples sources d'ignition présentes à proximité. L'ouverture de la vanne est due à l'inversion des connexions des tuyaux d'air comprimés l'actionnant (erreur antérieure à l'opération en cours) : le robinet était ouvert alors que l'actionneur en salle de commande indiquait qu'il était fermé. Néanmoins, les standards de sécurité imposent qu'en cas d'intervention sur un réacteur en fonctionnement, le dispositif d'isolement soit constitué d'une double vanne ou d'une bride fermée, ce que ne prévoyait pas la procédure d'intervention. L'atelier était dépourvu de détecteurs de gaz.

     **ARIA 900 - 25/09/1989 - 76 - SAINT-AUBIN-LES-ELBEUF**
24.4A - Fabrication de produits pharmaceutiques de base
 Un incendie se déclare dans le box d'un hydrogénateur à la fin de la phase d'hydrogénation de l'éthylglucamine. Les employés sont évacués et l'installation est mise en sécurité (isolement des arrivées produits). Aucune conséquence n'est observée à l'extérieur de l'établissement.

     **ARIA 905 - 19/10/1989 - ESPAGNE - VANDELLOS**
40.1A - Production d'électricité
 Dans une centrale nucléaire, un défaut dans une turbine d'un turbo générateur provoque une fuite d'hydrogène au niveau du circuit de refroidissement d'un alternateur. Une explosion puis un incendie se produisent.

     **ARIA 1089 - 23/02/1989 - IRLANDE - CORK**
24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais
 Une fissure sur une tuyauterie entre deux conteneurs entraîne une fuite de 280 kg d'hydrogène qui s'enflamme immédiatement. L'accident ne fait que des dégâts limités.

     **ARIA 1361 - 07/11/1989 - 26 - PIERRELATTE**
60.2M - Transports routiers de marchandises interurbains
 Une fuite se produit dans un véhicule transportant 218 bouteilles d'hydrogène ; le contenu de 28 bouteilles, soit 90 m³ d'hydrogène, s'échappe. Un périmètre de sécurité est mis en place avec arrêt de la circulation routière et ferroviaire.

     **ARIA 1380 - 10/11/1989 - 69 - CHASSIEU**
28.5A - Traitement et revêtement des métaux
 Lors du déchargement d'un camion, un cadre contenant 9 bouteilles d'hydrogène se renverse. L'une des bouteilles fuit et 30 m³ de gaz inflammable se dispersent. Un périmètre de sécurité est mis en place et le personnel de 20 entreprises voisines est évacué. Aucune conséquence sur l'environnement n'est constatée.

-     **ARIA 1693 - 17/02/1990 - 34 - BEZIERS**
60.2 - *Transports urbains et routiers*
Une fuite se déclare sur un transport d'hydrogène gazeux au niveau d'une bride de 9 bouteilles de 80 m³. Le producteur de ces bouteilles décide de laisser fuir. Aucune conséquence n'est à signaler.
-     **ARIA 1741 - 19/02/1990 - 94 - MAISONS-ALFORT**
60.2M - *Transports routiers de marchandises interurbains*
Une fuite d'hydrogène liquide se produit sur une des bouteilles que transportait un camion. Après colmatage de la fuite, le véhicule est escorté par les pompiers et conduit à un laboratoire d'études physiques.
-     **ARIA 1792 - 16/10/1992 - JAPON - SODEGAURA**
23.2Z - *Raffinage de pétrole*
Dans une unité de désulfuration de fuel lourd (procédé VGO Isomax), une fuite d'hydrogène et une explosion surviennent sur l'un des échangeurs de réchauffage de la charge après redémarrage de l'unité à la suite d'un arrêt pour remplacer le catalyseur. Une bague fileté de 1,42 m de diamètre, déformée par le désassemblage d'une entretoise de maintien d'un joint et par les cycles thermiques, est projetée à plus de 100 m. L'hydrogène et le fuel contenus dans le circuit sont éjectés et explosent immédiatement. Un feu se déclare dans l'unité. L'explosion fait 10 morts et 7 blessés parmi les opérateurs cherchant à intervenir sur la fuite initiale d'hydrogène (130 MF de dégâts). Les causes sont établies par un collège d'experts et diffusées.
-     **ARIA 1903 - 29/04/1990 - 67 -**
24.1J - *Fabrication de produits azotés et d'engrais*
Une fuite d'hydrogène survient sur une bride de canalisation dans une unité de synthèse d'ammoniac. Un incendie se déclare immédiatement, qui est maîtrisé avant l'arrivée des pompiers.
-     **ARIA 2062 - 30/03/1970 - ETATS-UNIS - CLINTON**
24.1A - *Fabrication de gaz industriels*
Une fuite de gaz de procédé puis une explosion se produisent sur une unité de synthèse de l'ammoniac. Des éclats sont projetés à une distance de 460 m. Sept personnes sont blessées ; les dommages dans l'usine sont importants. L'accident serait dû à une erreur de conception.
-     **ARIA 2174 - 25/08/1990 - 59 - DUNKERQUE**
24.1G - *Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base*
Dans une usine pétrochimique, un incendie se déclare sur l'unité de méthanisation (95% H₂ + 5% CO --> CH₄ + H₂ + H₂O) d'un vapocraqueur. Une rupture de joint sur une bride du circuit est à l'origine de l'accident. Aucune victime n'est à déplorer. Le POI est déclenché.
-     **ARIA 2631 - 10/12/1991 - résultant - GELSENKIRCHEN - SCHOLVEN**
23.2Z - *Raffinage de pétrole*
Une explosion se produit lors du redémarrage d'un vapocraqueur dans une raffinerie. La fuite gazeuse à l'origine de l'accident est due à la corrosion d'un élément sous haute pression dans un circuit de refroidissement. La perte d'alimentation électrique déclenche la procédure d'arrêt d'urgence et la fermeture rapide des organes de sectionnement. Les produits présents dans l'unité sont estimés à 30 t d'hydrogène, 150 t d'hydrocarbures légers (C1-C4), 5,5 t de pentane, ainsi que du sulfure d'hydrogène. L'accident fait 8 blessés, mais aucun effet n'est signalé à l'extérieur de l'établissement. Les pertes matérielles sont évaluées à 50,5 M\$.
-     **ARIA 2679 - 06/03/1991 - 76 - NOTRE-DAME-DE-GRAVENCHON**
23.2Z - *Raffinage de pétrole*
Dans une raffinerie, une explosion interne survient en partie supérieure d'un four de l'unité de désulfuration de gazole. Le dôme du four s'ouvre complètement ; la cheminée de 10 m et une partie du dôme se couchent et endommagent les lignes d'alimentation de l'unité sans provoquer de fuite. Un incendie se déclare ; il est maîtrisé en 1 h, après avoir détérioré le revêtement thermique du réacteur de désulfuration voisin ; 2 petits feux se déclarent après plusieurs heures sur la ligne d'alimentation en hydrogène au niveau de 2 brides fuyardes. Un opérateur est victime d'un malaise lié au stress et au port du masque à gaz. La circulation est cependant interrompue 1 h sur la RN 10 par crainte d'émanation d'hydrogène sulfuré.
Deux hypothèses sont évoquées quant à l'origine de l'accident :
- fuite d'une des tubulures du four entraînant l'accumulation de vapeurs d'hydrocarbures en partie supérieure,
- extinction des brûleurs sans coupure de l'alimentation en gaz.

-      **ARIA 2733 - 11/07/1991 - SUISSE - SCHWEIZERHALLE**
24.1C - Fabrication de colorants et de pigments
 Une déflagration suivie d'un incendie se déclare dans une installation de remplissage d'hydrogène. L'incendie est rapidement maîtrisé. Les dégâts sont peu importants. Un employé est légèrement blessé. Aucune pollution n'est constatée.
-      **ARIA 2903 - 05/10/1991 - ALLEMAGNE - HANAU**
26.2 - Fabrication de produits céramiques
 Un dimanche matin, dans une usine de céramiques, une fuite sur un réservoir de 100 m³ contenant 370 kg d'hydrogène provoque une explosion. L'onde de pression engendrée cause d'importants dommages aux bâtiments extérieurs (vitres brisées, départ de feux) ; un fragment du réservoir est retrouvé à plusieurs centaines de mètres du lieu de l'explosion. Le bilan humain fait état de 23 personnes du public légèrement blessées. Un feu se déclare peu après sur le site et menace un stockage d'acétylène et de fluorure d'hydrogène. Un périmètre de sécurité de 500 m est mis en place, les circulations routière et ferroviaire sont stoppées, la population évacuée. Le réservoir à l'origine de l'accident avait été mis en service en décembre 1982, après avoir été modifié pour notamment augmenter sa capacité de stockage. Son premier contrôle réglementaire après 5 ans d'utilisation n'avait rien révélé d'anormal, le second devait avoir lieu quelques mois après l'accident. Fonctionnant à une pression maximale de service de 44,1 bar, le stockage était réapprovisionné dès que sa pression passait sous les 15 bar (plusieurs fois par semaines). Le dernier chargement par une entreprise extérieure avait été réalisé moins de 2 h avant l'explosion. Une corrosion par fatigue est à l'origine de la fuite qui a provoqué l'explosion. Les travaux de modifications effectués sur le réservoir et notamment l'enlèvement du toit le long de la soudure avait provoqué une ovalisation du réservoir et induit une tension du matériau. Le fréquent remplissage du stockage n'a fait qu'accélérer le processus de fragilisation du réservoir.
-      **ARIA 2915 - 06/10/1991 - 38 - LE PONT-DE-CLAIX**
24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base
 Dans une usine chimique, un disque de rupture sur un stockage d'hydrogène liquide cède pendant l'arrêt hebdomadaire. L'hydrogène s'enflamme à la sortie de la cheminée de collecte des événements. La fuite est arrêtée par simple fermeture d'une vanne.
-      **ARIA 3001 - 18/01/1991 - 68 - OTTMARSHEIM**
24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais
 Dans une unité de fabrication de NH₃, une fuite d'un mélange hydrogène-azote se produit sur une bride d'aspiration d'un compresseur. Le mélange s'enflamme au contact de l'air et l'incendie se propage à un bac d'huile. Il est maîtrisé par l'équipe de sécurité. Les pompiers se placent en protection. Les dommages restent limités au bâtiment du compresseur.
-      **ARIA 3357 - 12/05/1991 - JAPON - KAKUDA**
73.1Z - Recherche-développement en sciences physiques et naturelles
 Une explosion d'hydrogène se produit au cours d'un essai d'alimentation de moteurs dans un laboratoire au Centre de l'Agence Spatiale. Le toit du bâtiment est soufflé, ainsi que les vitres des immeubles environnants.
-      **ARIA 3383 - 09/06/1991 - 64 - PARDIES**
24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais
 Dans une usine chimique, un incendie se déclare sur une colonne d'hydrogène d'une unité de fabrication d'ammoniac. Le service de sécurité interne éteint l'incendie à l'aide de poudre et par injection d'azote. L'unité est refroidie au moyen d'eau.
-      **ARIA 3512 - 01/04/1992 - 14 - MONDEVILLE**
27.1Y - Sidérurgie
 Dans une aciérie, une lance à oxygène est coincée dans un convertisseur de fonte de 120 t à la suite de la formation d'un amalgame (loup). Les tentatives de déblocage sont inefficaces. Une découpe au chalumeau permet de dégager la partie supérieure de la lance mais lors de la découpe de l'amalgame le circuit de refroidissement est percé. De l'eau entre en contact avec le métal en fusion et provoque une explosion qui projette 2 employés : 1 mort et 1 blessé sont à déplorer. L'installation endommagée est inutilisable durant plusieurs semaines alors que le second convertisseur du site est en cours de maintenance. Une réduction d'activité est probable. Les dommages matériels et les pertes d'exploitation sont respectivement évalués à 4 et 5 MF.
-      **ARIA 3814 - 25/08/1992 - 21 - AISEREY**
60.1Z - Transports ferroviaires
 Une fuite se produit sur la soupape de sécurité d'un wagon-citerne d'hydrogène liquide d'un train de marchandises composé de 10 wagons. Le train est immobilisé plusieurs heures pendant le dégazage du wagon et le trafic ferroviaire local interrompu. Un périmètre de sécurité est mis en place et 2 garde-barrières évacués. Les voyageurs sont acheminés par autobus.

-   **ARIA 3818 - 28/08/1992 - 38 - SAINT-ALBAN-DU-RHONE**
 23.3Z - *Elaboration et transformation de matières nucléaires*
 Un incendie d'origine mécanique se produit en dehors des installations nucléaires dans l'un des
 bâtiments abritant les alternateurs d'une centrale. Il provoque une fuite d'hydrogène sur le circuit de
 refroidissement d'un alternateur. Le réacteur qui n'a subi aucun dommage est automatiquement arrêté.
 L'incendie est maîtrisé en 3 h par le service de sécurité et les pompiers.
-   **ARIA 4330 - 19/01/1993 - 58 - IMPHY**
 27.1Y - *Sidérurgie*
 Une fuite d'hydrogène liquide sur une citerne de 42 000 l est arrêtée par un raccord obturateur.


-   **ARIA 4411 - 08/04/1993 - 69 - FEYZIN**
 24.1A - *Fabrication de gaz industriels*
 Emis au niveau de la pompe à huile d'une installation de remplissage et de conditionnement, de
 l'hydrogène gazeux explose. Cet accident a pour origine une erreur humaine lors d'une manoeuvre de
 vannes (1/4 de tour) provoquant la mise en communication d'emballages non vides avec la pompe. La
 fuite d'hydrogène se produit à l'air libre mais sous un auvent, au niveau des 2 soupapes protégeant la
 pompe. L'inflammation du nuage provoque une explosion et une boule de feu de 10m de diamètre. 2 personnes sont brûlées au
 1er degré. Les dommages matériels se limitent à une porte soufflée et à un petit local endommagé.
-   **ARIA 4501 - 21/05/1993 - UKRAINE - ZAPOROJIE**
 40.1E - *Distribution et commerce d'électricité*
 Dans une centrale nucléaire, une fuite d'hydrogène se produit sur une canalisation de refroidissement
 d'un générateur électrique situé dans le bâtiment des turbines, à 200 m d'un réacteur en arrêt pour
 maintenance. Une explosion et un incendie suivent, tuant un opérateur et en blessant un autre
 gravement. L'incendie est rapidement maîtrisé par le personnel de l'usine. Aucune fuite radioactive n'est
 constatée, l'évènement se situant dans la partie non-nucléaire de la centrale.
 Des travaux de soudure étaient en cours sur la canalisation lors de l'accident ; les autorités évoquent une défaillance humaine.
-   **ARIA 4525 - 10/06/1993 - 38 - JARRIE**
 24.1E - *Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base*
 Lors du déchargement d'un four assurant la réaction du tétrachlorure de zirconium (ZrCl₄) sur du
 magnésium (Mg), une explosion se produit dans une zone de manutention d'un atelier produisant des
 éponges de zirconium.
 Les personnes présentes dans l'atelier souffrent de pertes auditives sans rupture de tympan ; les
 dommages matériels engendrés sont spectaculaires : 3000 m² de bardage et de toiture de l'atelier en fibrociment sont
 pulvérisés sous le souffle de la détonation, les grilles de couvertures de la fosse sont projetées de 3 à 5 m vers le haut, la porte
 du bâtiment est arrachée, les gonds brisés...Ces constatations indiquent que l'explosion est équivalente à celle de 1 kg de TNT.
 Les coûts des dommages sont estimés à 4.5 MF.
 L'hypothèse de l'écoulement de magnésium liquide dans une fosse contenant les eaux de lavage des matériels est avancée.
 L'explosion pourrait résulter de plusieurs phénomènes concomitants tels que la formation d'hydrogène par décomposition de
 l'eau, la vaporisation de l'eau, la pulvérisation du magnésium et sa réaction avec l'oxygène de l'air...Néanmoins, un rapport
 d'expertise conclue que l'explosion thermique (vaporisation de l'eau) peut expliquer à elle seule les dommages constatés ; les
 réactions d'oxydation du magnésium avec l'eau ou l'air ont été limitées ; le déversement de magnésium dans la fosse a généré
 de l'hydrogène en quantité proportionnelle au déversement, ce combustible ayant pu brûler au fur et à mesure de son
 dégagement au niveau de la fosse, compte tenu de la présence de feu et d'étincelles avant l'explosion.
 Les mesures prises pour éviter le renouvellement d'un tel accident sont les suivantes : création d'une rétention métallique pour
 le dépôt des paniers de réactions après déchargement dans l'attente de leur refroidissement, contrôle de la température par
 crayon thermosensible avant toute manipulation, suppression des caniveaux et fosses de lavage contenant de l'eau dans
 l'atelier...
-   **ARIA 4799 - 07/10/1993 - 13 - MARTIGUES**
 24.1G - *Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base*
 Un fuite d'hydrogène se produit sur une canalisation de 50 mm reliée à un réacteur et s'enflamme
 spontanément au contact de l'oxygène de l'air. A la suite de la fermeture des vannes, la quantité
 d'hydrogène relâchée est limitée au volume du réacteur. Le POI n'est pas déclenché.
-   **ARIA 4839 - 21/10/1993 - 69 - FEYZIN**
 60.2M - *Transports routiers de marchandises interurbains*
 Un feu se déclare sur les freins d'un camion transportant de l'hydrogène sur la CD 12 à hauteur de
 Feyzin. Redoutant un feu de citerne les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité. L'incendie
 rapidement localisé est circonscrit.

-   **ARIA 5133 - 11/07/1959 - JAPON - NC**
 24.1A - *Fabrication de gaz industriels*
 Une explosion et un incendie se produisent dans une unité de fabrication d'ammoniac ; 1 mort et 40 blessés sont à déplorer.


-   **ARIA 5136 - 13/05/1986 - 92 - GENNEVILLIERS**
 24.4A - *Fabrication de produits pharmaceutiques de base*
 Un emballage de réaction dans un atelier de chimie fine détruit l'appareillage en verre surmontant un réacteur de 3 m³. Du tétrahydrofurane enflammé (inflammation hydrogène / diborane), éjecté hors du local, retombe sur le toit bitumé d'un laboratoire voisin. Celui-ci est détruit par l'incendie qui en résulte. Le sinistre est maîtrisé en 2 h, 6 pompiers intoxiqués sont hospitalisés. Bien qu'aucun lien de causalité ne soit prouvé, plusieurs riverains situés à 500 m de l'usine sont placés en observation 6 h après la fin de l'intervention. Un arrêt de l'agitation (défaillance mécanique) lors de l'hydrogénation d'un acide organique en présence de borohydrure de sodium et de trifluorure de bore est à l'origine de l'accident.


-   **ARIA 5279 - 12/06/1978 - ETATS-UNIS - NC**
 24.1J - *Fabrication de produits azotés et d'engrais*
 Dans une usine de fabrication d'engrais, une émission d'ammoniac se produit après qu'une vanne d'un circuit de refroidissement ait été fermée par inadvertance. L'unité de synthèse est dépressurisée à l'atmosphère à la suite de la détection d'un niveau haut dans la section froid de l'unité. Le mélange gazeux émis s'est ensuite enflammé en raison de la présence probable d'hydrogène et de méthane. Neuf personnes sont blessées.


-   **ARIA 5347 - 03/01/1973 - ROYAUME-UNI - BILLINGHAM**
 24.2Z - *Fabrication de produits agrochimiques*
 Dans une usine chimique, le ciel gazeux d'un bac de 1 750 m³ contenant une solution ammoniacale explose. La liaison robe/fond se déchire sur sa quasi-totalité, le bac se soulève sur un côté, bascule et s'écrase sur une partie du mur de rétention qui est détruite. Les 1 000 m³ de solution (à 10-20 % d'NH₃) se déversent ; le flot détruit une autre partie du mur de rétention (côté opposé au basculement du bac). La solution se répand hors de la cuvette. 4 personnes sont légèrement intoxiquées (inhalations). La présence d'une atmosphère explosible constituée d'un mélange air - NH₃ / H₂ / CH₄ est fortement suspectée. La source d'ignition est inconnue (électrostatique, sulfures pyrophoriques ?). Des mesures préventives sont adoptées (inertage, mise à la terre...).


-   **ARIA 5355 - 20/05/1975 - ETATS-UNIS - NIPAK**
 24.1A - *Fabrication de gaz industriels*
 Dans une usine chimique fabricant de l'ammoniac, une ligne de transfert (échangeur - convertisseur) explose. Les dégâts matériels sont importants.


-   **ARIA 5356 - 29/06/1975 - JAPON - NC**
 24.1A - *Fabrication de gaz industriels*
 Dans une usine chimique, une fuite de gaz procédé (ammoniac 4 % et hydrogène 88 %) se produit lors d'une opération de purge. Le nuage de gaz s'enflamme et explose. Un employé est tué.


-   **ARIA 5375 - 03/12/1977 - INDE - NC**
 24.1J - *Fabrication de produits azotés et d'engrais*
 Dans une usine d'engrais, une fuite d'un mélange gazeux d'ammoniac et d'hydrogène provoque une explosion dans un convertisseur. Vingt personnes sont blessées et les dommages matériels sont évalués à 0,1 M \$ (516 KF).


-   **ARIA 5409 - 06/01/1983 - INDE - MANGALORE**
 24.1J - *Fabrication de produits azotés et d'engrais*
 Dans une usine chimique, une explosion se produit sur le reformeur primaire d'une unité de fabrication d'ammoniac.


-   **ARIA 5410 - 18/03/1983 - INDE - BARODA**
 24.1J - *Fabrication de produits azotés et d'engrais*
 Dans une usine chimique, une explosion se produit sur le reformeur d'une unité de production d'ammoniac.



           **ARIA 5427 - 06/07/1985 - ETATS-UNIS - CLINTON**
 24.1J - *Fabrication de produits azotés et d'engrais*
 Dans une unité de production d'ammoniac, une fuite à 350 bar de gaz de synthèse (ammoniac + hydrogène ?) se produit dans le local des compresseurs à la suite de la défaillance d'une soudure sur une ligne (2") en sortie d'un compresseur. L'un des moteurs électriques des 4 compresseurs présents est probablement à l'origine de l'explosion du nuage formé dans le local de 15 m x 105 m, 30 à 45 s plus tard. Un incendie perdurera une dizaine de minutes.

Le bilan fait état de 8 personnes blessées, les bâtiments alentours sont diversement endommagés, tout comme la tour de refroidissement et l'unité de production acide de l'usine ; les dommages matériels sont évalués à 13,4 millions de dollars.

           **ARIA 5428 - 06/07/1985 - NORVEGE - PORSGRUNN**
 24.1J - *Fabrication de produits azotés et d'engrais*
 Sur un site chimique, une explosion se produit sur une unité de synthèse d'ammoniac (140 kt/an) à la suite d'une fuite d'hydrogène. Un mauvais fonctionnement d'une pompe nouvellement installée est à l'origine de l'accident : la défaillance de son circuit de refroidissement a provoqué son échauffement. Un opérateur détecte le défaut (alarme lumineuse) quelques secondes avant l'explosion, mais ne peut donner l'alarme. Un employé est tué et 2 autres sont grièvement brûlés dans le local des pompes. La population est en alerte (nuage de gaz) durant 1 h. L'unité est arrêtée pour un temps indéterminé. Une unité voisine de 420 kt/an non affectée par l'explosion sera rapidement remise en service. Les dommages matériels sont évalués à 9,2 M de \$ et les pertes d'exploitation à 7,3 M de \$.

           **ARIA 5679 - 31/07/1994 - 76 - LE GRAND-QUEVILLY**
 24.1J - *Fabrication de produits azotés et d'engrais*
 Une colonne de décarbonatation sous 9 bars de pression d'une unité de synthèse d'ammoniac en arrêt depuis 24 h est vidangée dans un bac de 300 m³ à pression atmosphérique et non ancré au sol. Le bac explose 5 min après le début de l'opération, décolle du sol et retombe. Des canalisations et la colonne situées à 3 m sont endommagées. L'incendie est maîtrisé en 1h20. Un dégazage d'hydrogène dissous dans la solution carbonatée est envisagé. Le redémarrage de l'unité est conditionné à un contrôle de l'intégrité des organes de sécurité des installations proches et à la proposition de dispositions transitoires garantissant la sécurité de l'exploitation. Les dommages matériels internes s'élèvent à 5,5 MF, les pertes d'exploitation à 10 MF et les coûts de réhabilitation à 2,2 MF. Il n'y a ni victime ni pollution externe.

           **ARIA 5906 - 22/05/1994 - ROYAUME-UNI - FAWLEY**
 23.2Z - *Raffinage de pétrole*
 Dans une unité de fabrication d'huiles, la rupture d'un réacteur d'isomérisation de paraffines (23 m de hauteur, 1 m de diamètre, 64 bars, 430-480 °C) s'accompagne d'un lâcher de gaz inflammables à base d'hydrogène (70 %) et d'hydrocarbures (dont éthane et méthane). Le mélange s'enflamme immédiatement et un feu se développe dans une zone où la présence humaine est habituellement requise. Aucune victime n'est déplorée. Les premières investigations montrent des anomalies dans les indicateurs de température, dont la plage de mesure ne couvre pas le domaine de fonctionnement et dont les alarmes de niveau haut ne sont pas branchées. Les dégâts sont limités aux unités et structures adjacentes. Le feu est éteint par 4 pompiers du site après l'arrêt d'urgence.

           **ARIA 6189 - 22/03/1987 - ROYAUME-UNI - GRANGEMOUTH**
 23.2Z - *Raffinage de pétrole*
 Dans une raffinerie, un séparateur basse pression explose dans l'unité d'hydrocraquage en cours de redémarrage. L'explosion équivalente à celle de 90 kg de TNT est entendue et perçue dans un rayon de 30 km. Le gaz et les liquides inflammables rejetés (1 t d'hydrogène, 400 t d'hydrocarbure) s'embrasent et alimentent un incendie qui s'étendra sur 35 000 m². Le bilan humain fait état d'un opérateur décédé et de 7 autres blessés. Les effets missiles de l'explosion menaçaient potentiellement 200 personnes. Les dommages matériels sont très importants, ils sont estimés à 7 MEuros à l'intérieur du site et à 7 KEuros à l'extérieur (bris de vitres, toitures endommagées...)

L'accident se produit alors que l'unité d'hydrocraquage est en cours de réglage lors d'un redémarrage après un arrêt de routine. L'ouverture manuelle inappropriée d'une vanne entre le séparateur haute pression (155 bar) et le séparateur basse pression (9 bar) provoque le transfert de liquide vers le séparateur basse pression dont les soupapes sont dimensionnées uniquement en rapport au risque incendie. Celles-ci sont donc insuffisantes pour évacuer l'excès de pression dans le séparateur basse pression (10 m de long, 3 m de diamètre, 200 kg) qui explose à une pression estimée de 50 bar. Par ailleurs, la vanne incriminée ne s'est pas fermée automatiquement car l'alarme de niveau très bas dans le séparateur haute pression avait été débranchée lors d'une modification intervenue dans l'unité plusieurs années plus tôt ; de plus les opérateurs ne se fiaient pas à l'indicateur de niveau principal mais préféraient se référer au tableau d'enregistrement du détecteur de secours, le décalage de cet enregistrement les a conduits à croire que le niveau dans le séparateur haute pression était normal.

Après l'accident, plusieurs mesures correctives sont prises : reconstruction de l'unité avec des soupapes correctement dimensionnées sur le séparateur basse pression et une meilleure instrumentation, mise en place de procédures visant à vider le liquide présent dans le séparateur haute pression lors des arrêts, établissement d'un système de suivi des défaillances et des maintenances sur les équipements et de la formation du personnel, réalisation d'audits plus fréquents et plus rigoureux...

           **ARIA 6346 - 14/02/1977 - 69 - SAINT-FONS**
 24.1E - *Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base*
 Deux heures après avoir redémarré une unité d'acide perchlorique, les opérateurs entendent un bruit sourd et voient des flammèches et une fumée blanche d'odeur piquante. Un incendie et des petites

explosions se produisent durant l'appel des pompiers de l'usine et publics. Electricité coupée, l'atelier est évacué. Le piquage en verre du ballon d'une colonne (poinçonnage dû aux vibrations) se rompt ; 45 l d'acide se déversent dans une cuvette. Son revêtement ramolli se fissure. L'acier est attaqué avec dégagement d'hydrogène et l'élévation de température. Le polyéthylène s'enflamme. Eteint en 30 min, l'incendie a été aggravé par des particules de carbone (fumées) qui ont réagi avec des cristaux secs de perchlorate de soude restés dans un filtre ouvert.

 **ARIA 6390 - 01/02/1995 - 33 - PESSAC**
28.7N - Fabrication de petits articles métalliques
 Une violente réaction se produit entre du métal en fusion et de l'eau après un contact accidentel au niveau d'une lingotière en sortie de four de fusion. Le mélange métal-vapeur est projeté. Cinq ouvriers se trouvant à proximité sont brûlés, principalement aux membres supérieurs et à la tête, et sont hospitalisés.
 L'activité de fonderie est arrêtée, et une expertise judiciaire est demandée. La production de pièces n'est pas directement affectée par le sinistre. Les dégâts matériels sont évalués à 2 MF.


 **ARIA 6442 - 01/01/1976 - NORVEGE - NC**
24.1A - Fabrication de gaz industriels
 Dans une unité de production de chlore, une explosion a lieu dans une poche d'électrolyse. Le colmatage de l'alimentation en saumure de l'une des cellules d'électrolyse a provoqué une augmentation de la teneur en hydrogène à l'origine de l'explosion. L'accident n'est pas daté avec précision (jour et mois non connus).



 **ARIA 6443 - 01/01/1978 - SUEDE - NC**
24.1A - Fabrication de gaz industriels
 Dans une unité de production de chlore, un excès d'hydrogène provoque l'explosion du collecteur de chlore des cellules d'électrolyse. Du chlore gazeux se répand dans l'atelier. (Date précise et lieu de l'accident non connus).



 **ARIA 6444 - 01/01/1980 - PAYS-BAS - NC**
24.1A - Fabrication de gaz industriels
 Dans une unité de fabrication de chlore, une explosion se produit dans la salle des cellules d'électrolyse. L'accident qui survient lors de la phase de démarrage de l'unité, est dû à la présence d'hydrogène dans le collecteur à chlore des cellules. Une erreur d'ampérage (2 000 A au lieu de 0) lors de la phase d'initiation est à l'origine de la présence de ce gaz. Le collecteur est détruit et le chlore qu'il contenait s'est répandu dans l'atelier. Le mois, le jour et le lieu de l'accident ne sont pas précisés.



 **ARIA 6481 - 10/05/1929 - ETATS-UNIS - SYRACUSE**
YY.OZ - Activité indéterminée
 Une explosion due à une réaction chimique brutale liée à la présence d'hydrogène détruit un réservoir de chlore de 25 t. Une personne est tuée lors du sinistre.



 **ARIA 6511 - 20/11/1962 - ALLEMAGNE - IBBENBÜREN**
YY.OZ - Activité indéterminée
 Une explosion se produit dans un stockage de 107 t de chlore. De l'hydrogène, présent dans les canalisations d'équilibrage de pression entre un compresseur et les différentes cuves est à l'origine de l'accident. L'explosion (H₂/Cl₂) provoque un incendie chlore/fer qui détruit l'ensemble de l'installation de pressurisation des réservoirs. La fuite de chlore consécutive est estimée à 23 t. Une personne est intoxiquée avant que la fuite ne soit totalement maîtrisée 1 h plus tard.



 **ARIA 6716 - 01/01/1975 - JAPON - NC**
24.1A - Fabrication de gaz industriels
 Une explosion chlore/hydrogène due à de l'électricité statique se produit dans une tour de séchage. Un employé est tué et 12 personnes sont blessées.



 **ARIA 6759 - 18/08/1983 - 01 - SAINT-VULBAS**
90.0E - Traitements des autres déchets solides
 Une cuve reçoit, après un test de réactivité négatif avec le surnageant de fond du réservoir, 20 m³ de méthyl hydro dichlorosilane, puis 24 m³ d'un mélange d'huile et de goudron (test de réactivité négatif) et 10 m³ d'un mélange de goudron (pas de test de réactivité). Simultanément, l'exploitant alimente un four en pompant dans le réservoir. Une réaction apparaît 24 h après ces dépotages, des filtres se bouchent, le réservoir déborde, puis la réaction s'arrête. L'encadrement déclare qu'il n'y a plus de danger ; 15 j plus tard un dégagement brutal d'hydrogène se produit avec projection de polymère solide dans un rayon de 25 m. Le réservoir est retrouvé gonflé et désolidarisé de son socle, ancrages rompus.



 **ARIA 6818 - 07/11/1990 - ALLEMAGNE - BURGKIRCHEN SUR L'ALZ**
24.1 - Industrie chimique de base
 Le dépotage d'un wagon-citerne de chlore est arrêté pour réparer un tuyau d'air comprimé non étanche qui a provoqué la fermeture d'une vanne. Lors de la reprise du dépotage, la présence d'un mélange



chlore-hydrogène dans la canalisation Cl2 gaz provoque un incendie. Le fer de la conduite de refoulement de la phase gazeuse s'enflamme ensuite au contact du chlore. Un rejet de 4,6 t de Cl2 se produit. L'émission est neutralisée par les pompiers de l'usine à l'aide de rideaux d'eau mais 5 personnes sont intoxiquées. Les eaux d'extinction chargées en chlore s'écoulent l'ALZ. Une aspiration reliée à une neutralisation est installée au niveau de la fuite. L'unité est modifiée (recours à un gaz inerte pour la mise en pression des wagons).

     **ARIA 7192 - 21/01/1995 - CANADA - HERVEY-JONCTION**

60.1Z - Transports ferroviaires

   28 des 44 wagons d'un convoi ferroviaire déraillent à la suite d'une rupture de rail. Tous perdent une plus ou moins grande partie de leur contenu en H2SO4. Au total, 234 m³ d'acide sont déversés dans le Petit Lac Masketi et la rivière Towachiche. Le pH du lac descend à 2,7. Il remonte à 5,3 après le déversement de calcaire (170 t) ou de soude. Toute la faune et la flore du lac est détruite. Il n'y a pas de blessé.

L'acide déversé sur la voie est neutralisé par du carbonate de sodium. Les wagons sont vidés voire purgés de l'hydrogène résultant de l'action de l'acide sur le métal avant leur remise sur rail. Les activités récréatives sont fermées pour 8 ans sur le Lac et pour 5 ans sur la rivière.

     **ARIA 7314 - 31/01/1984 - NC -**

23.2Z - Raffinage de pétrole

   Dans une raffinerie, un accident se produit sur un des échangeurs d'une unité d'hydrodésulfuration. L'équipement, globalement situé entre les pompes de charge et le four, réchauffe la charge à l'aide des produits chauds issus du réacteur. En amont de l'échangeur, de l'hydrogène sous pression est injecté dans la charge. L'échangeur est équipé de faisceaux interchangeable montés avec des plaques déflectrices. Lors de l'arrêt, certains faisceaux sont par erreur remontés à l'envers. Lors de la remise en route de l'installation, alors que le compresseur (circuit H2) est à 75 % de sa capacité, un des déflecteurs est arraché et vient obstruer l'entrée de l'échangeur. Les sécurités déclenchent l'arrêt du compresseur et les soupapes relâchent une partie du contenu.

     **ARIA 7315 - 13/12/1984 - VENEZUELA - LAS PIEDRAS**

23.2Z - Raffinage de pétrole

   Dans une raffinerie, une ligne de 8" reliant un séparateur haute pression et un stripeur d'une désulfuration se rompt circonférentiellement dans la zone chaude environ 2" après une soudure. La charge (gazole essentiellement) à 48 bars et 343°C est projetée en aérosol sur les installations voisines. Elle est enflammée au niveau des lignes d'hydrogène. L'incendie provoque la rupture d'une ligne de gaz de 16" qui alimente le feu et cause d'autres ruptures de lignes. L'incendie dure 6 h 30. Cet accident est responsable de la destruction ou de l'endommagement de 3 unités d'hydrogène et des 4 unités d'hydrodésulfuration du site. Des vibrations constatées 9 ans plus tôt (soit 4 après mise en service de l'unité) sur la ligne en cause avaient justifié son renforcement par des goussets. Elle aurait alors subi des fatigues ajoutées au phénomène d'hydrogène blistering.

     **ARIA 7319 - 24/08/1973 - ETATS-UNIS - SAINTE CROIX**

23.2Z - Raffinage de pétrole

   Dans une raffinerie, un incendie se déclare dans une unité de désulfuration de gazoles lors de son démarrage initial. Une fissure se développe dans la ligne haute pression située entre les séparateurs haute pression (pression = 60 bar ; température = 66°C) et basse pression. Des hydrocarbures et de l'hydrogène s'échappant de la brèche s'enflamment sur une source non déterminée et provoquent un incendie qui durera 3 h. Le vent dévie les flammes vers un rack de 40 m, supportant des aéro- réfrigérants. Ces derniers, d'une tenue au feu de 1h, cèdent au bout de 20 à 35 min et tombent sur le rack. Non pourvu de vanne d'isolement, le circuit se vidange. Les secours utilisent un débit d'eau estimé à 26 500 l/min et 20 canons. L'installation est détruite et les dégâts atteignent 25 M\$ US. La cause de la fissuration serait due à de la fatigue vibratoire.

     **ARIA 7518 - 31/10/1995 - 76 - BOLBEC**

24.4A - Fabrication de produits pharmaceutiques de base

   Dans une usine de fabrication de produits pharmaceutiques, une explosion a lieu lors de la 1ère mise en service d'un réacteur d'hydrogénation durant un essai d'étanchéité des joints effectué sous atmosphère d'hydrogène à très haute pression. L'accident a pour origine la rupture de l'un des joints testés, suivie de l'auto inflammation de 30 l d'un mélange air/H2. Souffrant de brûlures et de douleurs du système auditif liées aux surpressions, 5 employés proches du réacteur et qui procédaient à l'essai, sont hospitalisés ; 2 d'entre eux resteront hospitalisés plus de 48 h (bourdonnements aux oreilles). Les dommages matériels se limitent au périmètre immédiat du réacteur. Les détecteurs H2 devant asservir à la fermeture la vanne d'alimentation d'H2 n'étaient pas encore installés, mais cette absence n'a pas été critique (réaction rapide des employés). Les essais préalables réalisés sous azote étaient insuffisants.

     **ARIA 7956 - 27/12/1995 - 38 - LE PONT-DE-CLAIX**

24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base

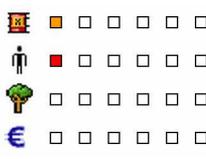
   Une explosion et un incendie se produisent la nuit dans un atelier de synthèse de toluène di-amine (TDA) par hydrogénation du dinitrotoluène (DNT) en présence de nickel de Raney, en arrêt programmé pour maintenance. Les pompiers internes maîtrisent l'incendie 35 mn plus tard ; 4 employés sont hospitalisés. L'un d'eux, qui manoeuvrait des vannes pour laver à l'isopropanol les réacteurs d'hydrogénation, est brûlé à 40-50 %, il décédera 15 jours plus tard. L'atelier est détruit : réacteur éclaté, blockhaus abritant l'atelier déformé par l'action conjointe de l'onde de souffle et la projection de fragments, mur en béton armé ouvert, ferrailles tordues, salle de contrôle endommagée... Des vitres sont cassées dans un rayon de 50 à 100 m, l'unité de distillation limitrophe au blockhaus est endommagée et laisse fuir de l'isopropanol et du TDA qui participeront à l'incendie. Des bâtiments de l'établissement industriel voisin situé à 150 m subissent des déformations des structures légères. Les eaux d'extinction sont dirigées vers le bassin

d'urgence de l'usine. Le vent disperse les polluants gazeux émis (CO₂, CO, NO_x et imbrûlés organiques). L'impact sur l'environnement est limité.

D'après l'enquête effectuée, l'explosion est la conséquence de l'envoi de dinitrotoluène pur dans un des réacteurs en cours de lavage par le circuit utilisé lors du démarrage de la fabrication. Deux vannes en série équipant cette ligne d'alimentation en DNT sont en effet retrouvées partiellement ouverte (10°) après l'accident, laissant vraisemblablement passer un débit de 500 à 700 kg/h de produit dans le réacteur. L'exothermicité de l'hydrogénation d'une petite quantité de DNT a probablement amorcé en réchauffant brutalement le milieu réactionnel la décomposition violente du DNT restant.

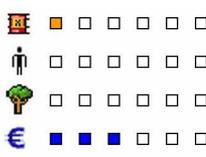
Pour éviter le renouvellement d'un tel accident, des mesures sont prises pour empêcher l'envoi de dinitrotoluène pur dans le réacteur : ajout de 2 vannes automatiques tout ou rien sur la canalisation d'alimentation en DNT pour interdire l'injection lors des phases de lavage, modification de la procédure de lavage, aménagement de l'ensemble des réacteurs pour limiter l'intervention du personnel dans le blockhaus...

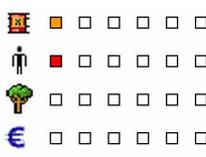
 **ARIA 8029 - 02/09/1995 - ETATS-UNIS - EAST RUTHERFORD**
51.1C - Intermédiaires du commerce combustibles, métaux, minéraux et produits chimiques
 Des incendies et des réactions en chaîne affectent plus de 100 bouteilles d'hydrogène ou d'autres gaz dans un dépôt. Le sinistre dure pendant plus de 5 h et le voisinage a été enflammé par les projections de débris.

 **ARIA 8248 - 01/02/1996 - ETATS-UNIS - MARTINEZ**
24.6L - Fabrication de produits chimiques à usage industriel
 Une explosion survient dans une unité de fabrication de l'hydrogène voisine d'une raffinerie ; elle est entendue à plusieurs miles alentours. L'incendie qui suit est éteint en 10 mn par les pompiers de la raffinerie et les secours publics. Deux ouvriers sont légèrement blessés. Les autorités recommandent d'éviter la fumée ou d'évacuer le secteur.

 **ARIA 8966 - 02/02/1980 - 73 - HERMILLON**
27.4D - Première transformation de l'aluminium
 Dans une usine transformant de l'aluminium, un feu de poussières d'Al se déclare à 8h15 sur une vis sans fin alimentant un transporteur. Des travaux (enveloppe de la vis découpée au chalumeau) génèrent des battitures qui enflamment de la poussière sur le sol. La poussière d'Al incandescente entraînée par le vent se propage vers des tunnels d'atomisation, des égouts et un puits perdu. Cette poussière et l'hydrogène formé au contact de l'eau provoquent 4 explosions violentes. L'incendie gagne un stock de poudre d'Al en sacs et en fûts. Violent jusqu'à 12 h, il est maîtrisé vers 15 h. Les dommages internes sont importants (toits soufflés, cratère, ...). Des missiles sont retrouvés dans un rayon de 50 m. Il n'y a ni victime ni dommage sur l'environnement.

 **ARIA 9065 - 07/01/1999 - 73 - LA ROCHETTE**
21.1C - Fabrication de papier et de carton
 Dans une unité de recyclage de biogaz issu de la station d'épuration anaérobie d'une papeterie, une explosion (5 kg de TNT) détruit une boudruche tampon en matériau souple de 10 m³ et les tuyauteries associées alimentant une chaudière de production de vapeur ou une torchère de sécurité. La boudruche est pulvérisée, des rambardes sont tordues dans un rayon de 3 m, des tuiles sont détruites dans un rayon de 20 m, des bardages sur l'unité et vitres jusqu'à 130 m de distance volent en éclat. Il n'y a pas de victime. La boudruche se serait bloquée en descente et mise en dépression. De l'air serait alors entré par les joints en téflon frottant sur l'axe central. Le biogaz arrivant à nouveau forme le mélange explosif qui est allumé par la flamme de la veilleuse de la torchère. Une production accidentelle d'hydrogène dans le méthaniseur et un acte de malveillance sont également évoqués. L'usine porte plainte. Des expertises sont réalisées. Des sécurités sont installées (analyseurs, clapets, etc.).

 **ARIA 9454 - 02/07/1996 - 54 - BLENOD-LES-PONT-A-MOUSSON**
27.2C - Fabrication de tubes en acier
 Dans une usine de tubes d'acier, des travaux de maintenance sont effectués sur un gazomètre de 20 000 m³ rempli de gaz de cokerie contenant 4 % de monoxyde de carbone et 65 % d'hydrogène. Une fuite de gaz se produit sur la cloche du gazomètre et s'enflamme. Une centaine de pompiers intervient. Le réservoir est refroidi puis vidangé pour immerger la fuite dans la garde d'eau. Le feu est éteint en 45 mn. Un périmètre de sécurité est mis en place, la circulation est limitée. Compte-tenu du risque toxique, le personnel de l'usine est évacué (40 personnes). Le plan d'intervention est apparu très adapté. Les dommages matériels sont évalués à 20 MF.

 **ARIA 9477 - 10/08/1977 - 69 - SAINT-FONS**
24.1C - Fabrication de colorants et de pigments
 Dans une usine chimique en arrêt saisonnier, un conteneur ayant été utilisé pour le transport d'oléums doit être rincé avant ferrailage. Lors de l'introduction d'eau, le réservoir est projeté contre un mur situé à 30 m et un brouillard sulfurique se forme. Trois employés sont blessés.

 **ARIA 9541 - 27/05/1996 - ITALIE - CAGLIARI**
23.2Z - Raffinage de pétrole
 Dans une raffinerie, une explosion se produit au niveau d'un four de préchauffage de l'unité de désulfuration peu après qu'un incendie ne se soit déclaré dans l'unité de distillation atmosphérique alors en travaux. Les dommages provoqués par l'explosion sont importants : le four est détruit ainsi que tous les équipements situés dans un rayon de 50 m. Le bilan humain fait état de 5 employés légèrement blessés.

Le premier incident se produit dans l'installation de dessalage, à proximité d'une cuve de neutralisation de la charge brute par

une solution aqueuse de soude. Le débordement de cette cuve, lors de l'opération considérée comme routinière, provoque un rejet d'hydrocarbures légers dans les égouts du site qui s'enflammeront à cause des travaux de soudures en cours. L'incendie qui suit est rapidement maîtrisé, il a pour conséquence des dommages matériels sur le réservoir et les câbles électriques à proximité. La mise en sécurité de l'installation provoque par ailleurs l'arrêt de son alimentation en électricité.

Le défaut d'alimentation électrique entraîne l'arrêt de l'alimentation en gazole de l'installation de désulfuration dont le four de préchauffage monte en pression et en température. Une conduite en sortie de four cède sous l'effet de la chaleur (1000°C) provoquant une fuite d'hydrogène qui explosera. Le défaut d'alimentation en gazole n'a pas été détecté du fait de la désactivation des alarmes installées sur les détecteurs (pression, température...) de l'unité.

Le retour d'expérience issue de cet accident conduit à un renforcement des procédures d'exploitation et d'intervention, à une amélioration de la formation du personnel, à l'établissement de règle de fonctionnement plus strictes notamment lors de travaux.

     **ARIA 9841 - 02/09/1996 - 63 - VERTOLAYE**

24.4A - Fabrication de produits pharmaceutiques de base

     Dans une usine chimique, une violente explosion se produit au cours d'une synthèse en batch de chlorobenzorex à partir d'une solution aqueuse sodée de borohydrure de sodium contenu dans une nourrice sur chariot mobile. L'atelier est dévasté : le toit est soufflé, les parois légères sont déplacées, les conduites de solvants sont coupées par les projections mais le matériel de process n'est pas

endommagé à l'exception de la nourrice détruite. Projeté contre des conteneurs par l'onde de choc, un opérateur, hors de l'atelier mais proche d'une porte, est blessé aux côtes, il sera hospitalisé pour une durée de 1 mois.

La mise en solution du borohydrure de sodium (44 kg de poudre pour 130 kg de solution) se fait 2 h avant la synthèse, dans une nourrice de 630 L fermée et agitée ; la dissolution se faisant difficilement, le mode opératoire avait été modifié depuis peu, un réchauffement de la solution étant désormais réalisé par ruissellement d'eau chaude (45-55°C). A 14 h10, le réacteur est placé sous circulation d'azote (N2) puis est relié à la nourrice dont le chauffage est stoppé. A 14h15, le piquage d'arrivée d'azote sur la nourrice est connecté au flexible d'alimentation. A 14h20, le transfert de N2 vers la nourrice débute et les vannes d'alimentation du réacteur et de fond de nourrice sont partiellement ouvertes (débit de 100 L/h - P(N2) = 2,8 bar). A 14h40, le flexible d'azote équipant la nourrice est brusquement arraché, une fuite de gaz s'échappant par l'ouverture ainsi créée. L'atelier est évacué des personnels non essentiels et une équipe d'intervention installe une vanne sur le piquage pour stopper la fuite. Les intervenants tentent alors de décompresser la nourrice dans le réacteur ; pour cela ils ouvrent au maximum la vanne du réacteur et tentent d'ouvrir la vanne de la nourrice dont l'accès est difficile. A ce moment, le trou d'homme de la nourrice cède quelques secondes avant que celle-ci n'explode.

Les investigations poussées réalisées après l'accident montreront qu'une décomposition thermique du borohydrure de sodium initiée par une température de stockage trop élevée (50°C dû au ruissellement d'eau chaude) en est à l'origine. Le maintien de la température de 50°C a stabilisé la vitesse de décomposition de telle façon que la faible quantité d'hydrogène formée pouvait s'échapper par les fuites de la nourrice. Lorsque le chauffage a été arrêté, le système a évolué de façon autonome : la température a augmenté sous l'effet de la chaleur de décomposition tout comme la pression, provoquant l'explosion thermique. La trappe de visite s'est ouverte sous une pression de 15 à 20 bar puis la nourrice s'est déchirée. La dépressurisation de l'hydrogène sous forme d'onde de choc a causé les dommages constatés sur l'atelier.

Enfin, une mauvaise connaissance des propriétés de l'hydrure et l'absence d'analyse critique des procédés par l'application des procédures de modification et la prise en compte des incidents de production est également en cause.

     **ARIA 9857 - 08/07/1996 - ROYAUME-UNI - CASTLEFORD**

24.1 - Industrie chimique de base

     Dans une usine chimique, l'explosion d'une bouteille d'hydrogène provoque un incendie.



     **ARIA 9890 - 28/08/1996 - 76 - LE GRAND-QUEVILLY**

24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais

     A la suite d'un déclenchement suivi de la mise en sécurité d'une ligne de fabrication d'ammoniac, le gaz de synthèse émis à l'atmosphère s'enflamme. L'incident n'a aucune autre conséquence que l'arrêt de l'unité dans l'attente de la vidange des capacités. Les causes de l'inflammation du gaz procédé sont recherchées.

     **ARIA 9944 - 09/04/1996 - 01 - BELLEGARDE-SUR-VALSERINE**

26.5C - Fabrication de chaux

     Dans une usine produisant du carbure de calcium ($\text{CaO} + 3\text{C} \rightarrow \text{CaC}_2 + \text{CO}$), un dépoussiéreur se colmate (formation d'une voûte) du fait d'une probable panne du dispositif de décolmatage (canons à azote). Au cours de l'intervention consistant à introduire un ringard par une trappe de visite au niveau inférieur, une petite explosion se produit et une grande quantité de poussières est éjectée par l'évent. Le nuage contenant du monoxyde de carbone et de l'hydrogène s'enflamme. L'incendie se propage aux câbles électriques alimentant l'équipement. Le sinistre est maîtrisé en 15 mn grâce à l'intervention d'une dizaine de pompiers internes.

Le bilan humain fait état d'un employé légèrement blessé par des jets de poussières incandescentes au visage. Le four est arrêté 25 h et le dépoussiéreur 15 jours, pendant lesquels 87 t de poussières (chaux) sont rejetées dans l'environnement. Les riverains sont incommodés et la circulation sur l'autoroute voisine est perturbée. L'inspection des installations classées constatent les faits.

Une intervention inadaptée car mal localisée (sous la zone de colmatage) et effectuée sans connaissance des risques liés au procédé (ouverture d'une trappe et mise en contact de poussières réactives chaudes avec l'air ambiant) est à l'origine de l'accident.

-     **ARIA 10095 - 09/01/1964 - ETATS-UNIS - JACKASS FLATS**
 35.3 - *Construction aéronautique et spatiale*
 Dans un laboratoire, des essais de propulseurs à hydrogène sont effectués. Une expérience particulière débute afin de déterminer les niveaux sonores émis par des jets puissants d'H2 gazeux. Un jet vertical (régime turbulent) est généré. Le débit est augmenté jusqu'à environ 55 kg/s. Après 23 s, alors que la diminution du débit est amorcée, l'H2 s'enflamme. Une boule de feu se forme suivie immédiatement d'une explosion. Le VCE (principalement la surpression négative) cause des dommages aux structures (murs, portes, toits) de bâtiments. La surpression est estimée à 0,035 b à 45 m et la quantité d'H2 mise en jeu dans l'explosion est de 90 kg. L'ignition semble due à l'électricité statique ou/et à une étincelle d'origine mécanique.
-     **ARIA 10316 - 04/03/1995 - ALLEMAGNE - HÜRTH**
 24.1A - *Fabrication de gaz industriels*
 Dans une unité de fabrication de chlore, une première explosion se produit dans une cellule d'électrolyse à mercure après l'arrêt du compresseur d'hydrogène sur alarme de pression provoquant la destruction du réacteur et de la conduite locale de collecte de chlore. L'installation est automatiquement arrêtée mais l'hydrogène généré par la décomposition de l'amalgame présent provoque une deuxième explosion qui détruit la canalisation externe de collecte de chlore dont 0,1 t est émise à l'atmosphère. Trois pompiers et un employé sont incommodés malgré le port de masque respiratoire. Les dommages matériels s'élèvent à 260 000 DM, aucun impact sur l'environnement n'est relevé. L'explosion fait suite à une montée en pression d'hydrogène dans la cellule due à l'encrassement du dispositif de garde hydraulique assurant la régulation en pression de l'installation : habituellement tarée à 70 mm d'eau, elle permet d'évacuer l'hydrogène en excès. Lors de l'accident, celui-ci n'a pu être évacué à cause de la contre-pression excessive engendré par le dépôt. Pour éviter le renouvellement d'un tel accident, la conception du décomposeur d'amalgame est modifiée pour empêcher l'encrassement de l'installation et des contrôles périodiques sont mis en place pour surveiller la formation d'éventuels dépôts.
-     **ARIA 10347 - 20/10/1995 - ALLEMAGNE - GELSENKIRCHEN**
 23.2Z - *Raffinage de pétrole*
 Dans l'unité de désulfuration d'une raffinerie, une canalisation de recyclage des gaz à 50 bar environ se rompt et la fuite s'enflamme. L'unité est arrêtée et rincée à l'azote. Il s'avère que l'épaisseur de la paroi de la conduite de 100 mm de diamètre été réduite par la corrosion de 6,3 à 2 mm. Les dommages matériels internes et externes à l'installation sont estimés à 3 millions et 3 000 DM. Les autres canalisations sont contrôlées pour y rechercher des anomalies similaires.
-     **ARIA 10466 - 14/09/1995 - 92 - GENNEVILLIERS**
 26.8C - *Fabrication de produits minéraux non métalliques n.c.a.*
 Dans un atelier de purification de graphite, le circuit de refroidissement d'un four électrique fuit, l'eau se décompose au contact des matériaux portés à une température de 1 800°C; le mélange gazeux (hydrogène, air...) explose. Le four et la toiture qui le recouvre sont détruits. Le carbone contenu dans le four est éparpillé et s'enflamme. Les riverains alertent les pompiers. L'incendie est éteint avec de la poudre (dont du carbone). Le circuit de refroidissement avait été vérifié peu de temps auparavant en exerçant une surpression de 20 bars pendant 2 h. Aucune victime ni impact sur l'environnement n'est à signaler.
-     **ARIA 10969 - 21/03/1997 - 03 - COMMENTRY**
 24.1G - *Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base*
 Dans une usine chimique, un cylindre de 100 m³ d'hydrogène liquéfié installé sur une dalle en béton s'affaisse. Une fuite d'hydrogène se produit au niveau de la vanne de pied du réservoir. Le POI est déclenché et un périmètre de sécurité est mis en place. Les intervenants utilisent une résine pour colmater la fuite. La vanne est ensuite dégivrée et refermée. Le POI est levé 6h30 plus tard.
-     **ARIA 11282 - 08/10/1992 - ETATS-UNIS - WILMINGTON**
 23.2Z - *Raffinage de pétrole*
 Dans l'unité d'hydrogénation d'une raffinerie, un coude en acier au carbone est impliqué dans une fuite d'un mélange d'hydrocarbure et d'hydrogène. Le nuage explose. Les dommages matériels sont importants (78,3M\$).
-     **ARIA 11292 - 03/01/1997 - 13 - MARTIGUES**
 23.2Z - *Raffinage de pétrole*
 Dans une unité d'hydrodésulfuration (2 200 t/j) d'une raffinerie, une fuite de gasoil et de gaz (H2, H2S, CH4) se produit sur l'une des vannes du rebouilleur de la colonne de stabilisation. Les produits (390 °C / 35 bars) s'enflamment. Sous l'effet de la chaleur, les autres vannes fuient. Le compresseur est arrêté et la colonne est isolée. Le feu est éteint en 35 mn. La vanne défaillante, dépourvue de bride, est insérée entre les brides de canalisation à l'instar d'autres vannes de l'équipement. Ces vannes qui subissent des à-coups thermiques et de process, ont connu divers incidents dans le passé ; elles seront remplacées par des vannes classiques à brides et protégées des contraintes mécaniques et thermiques.

-   **ARIA 11562 - 04/08/1997 - 31 - TOULOUSE**
24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais
 Dans une usine d'engrais, un atelier de synthèse d'ammoniac s'arrête à la suite de la défaillance d'un alternateur (orage). Les sécurités fonctionnent normalement, mais le gaz de synthèse (N2 / H2) émis à l'atmosphère s'enflamme à la cheminée (foudre ?). Alertés par le bruit et apercevant des flammes durant 15 mn, des riverains préviennent les pompiers. Durant ce temps, l'exploitant a coupé l'arrivée de gaz naturel alimentant l'unité et mis les installations en sécurité. Les pompiers n'auront pas à intervenir. Une recherche des causes du dysfonctionnement de l'alternateur est effectuée.
-   **ARIA 11934 - 27/01/1997 - ETATS-UNIS - MARTINEZ**
23.2Z - Raffinage de pétrole
 Dans un hydrocraqueur, une rupture de canalisation survient à la suite d'une augmentation de température au delà du point d'autoallumage du mélange d'hydrogène et de gasoil. La canalisation explose et prend feu. Une centaine de pompiers de l'entreprise combattent le sinistre pendant plusieurs heures. Il n'est complètement éteint qu'après plus de 3 jours. Un opérateur est mort ; 60 personnes sont blessées dont 3 sont transportées à l'hôpital et 1000 personnes sont confinées. Les dommages s'élèvent à plus de 50 millions de dollars. Un nouveau contrôleur de température commandant un arrêt d'urgence est mis en place.
-   **ARIA 13017 - 31/08/1994 - ALLEMAGNE - SCHÖNEICHE**
90.0E - Traitements des autres déchets solides
 Dans une fosse de stockage de déchets solides d'une usine d'incinération de déchets spéciaux, un mélange air / hydrogène se forme et explose, provoquant un incendie. Les systèmes de sécurité se mettent en marche et le personnel de l'usine combat l'incendie à l'aide de générateur fixe de mousse et d'extincteurs mobiles. Un mélange de déchets stockés composés d'hexachlorocyclohexane, de poudre d'aluminium et d'huile de paraffine serait à l'origine de cette explosion. L'hydrogène nécessaire à l'explosion du mélange a été produit par une réaction entre la poudre d'aluminium et l'eau qui a pénétré dans la fosse. Il n'y a aucun blessé ni à l'intérieur, ni à l'extérieur. Les dégâts matériels sont de 800 000 marks.
-   **ARIA 13182 - 05/09/1994 - ALLEMAGNE - MEITLINGEN**
27.3 - Autres opérations de première transformation de l'acier
 Dans une fonderie, une explosion dans un four de fusion blesse 7 employés. Après une réparation du revêtement réfractaire (garnissage) d'un four à arc électrique, une fumée grisâtre s'échappe lors de la fusion de la première charge de ferraille à la suite de l'introduction d'oxygène pour activer la fusion. L'explosion se produit après l'arrêt de l'alimentation en énergie, relevage des électrodes de fusion et du couvercle du four à fusion pour contrôle.
 La formation d'un arc électrique entre l'électrode et un gros morceau de ferraille serait à l'origine de la perforation de la paroi du four (taille d'un poing) à travers de laquelle serait passée une grande quantité d'eau issue du circuit de refroidissement intégré à la paroi. Le contact de l'eau avec la zone en fusion a provoqué l'explosion.
-   **ARIA 13392 - 14/02/1991 - COREE DU SUD - DAESAN**
23.2Z - Raffinage de pétrole
 Dans une raffinerie, une fuite d'hydrogène se produit sur un coude d'une tuyauterie reliant un réfrigérant et un séparateur d'une installation de distillation de pétrole brut. L'installation est détruite par l'explosion qui s'en suit, les dommages sont estimés à 15 millions de dollars. Deux employés sont blessés.
-   **ARIA 13574 - 01/05/1998 - 26 - PIERRELATTE**
23.3Z - Elaboration et transformation de matières nucléaires
 Dans un centre nucléaire industriel, dans un stockage d'hydrogène constitué de cylindres horizontaux sur leur remorque de transport, un écrou de raccord de canalisation à la vanne d'un récipient se rompt et 5 000 m³ de gaz s'échappent. Une expertise montre que le métal (laiton) a subi une corrosion sous tension.
 Tous les autres écrous semblables sont changés. Une étude est réalisée afin de prévenir les ruptures génériques des pièces utilisées dans l'industrie pour ce type d'application.
-   **ARIA 14002 - 06/10/1998 - 91 - ORSAY**
80.3Z - Enseignement supérieur
 Une CMIC intervient à la faculté pour neutraliser dans une enveloppe étanche un dispositif expérimental risquant de dégager de l'hydrogène. La faculté est évacuée durant l'intervention.


-   **ARIA 14162 - 25/09/1998 - COREE DU SUD - POHANG**
31.3Z - Fabrication de fils et câbles isolés
 De fortes pluies (plus de 600 mm en 1 journée) inondent une usine fabriquant des conducteurs électriques à âme de calcium. L'alimentation électrique est coupée. L'eau entre en contact du calcium stocké en fût de 150 kg, produisant de l'hydrogène (7,5 kg par fût). La chaleur de réaction enflamme le gaz. L'incendie a été combattu à l'aide de sable. Il n'y a pas de victime. Les dommages internes s'élèvent à 60000 USD et les dommages externes à 1,4 millions USD. Les pertes d'exploitation sont estimées à 1 million USD. Les fûts étaient probablement insuffisamment scellés. La quantité de calcium présent doit être limitée. Une formation au risque doit être assurée.

  **ARIA 14399 - 15/09/1998 - CANADA - BRANDON**
 24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais
 Dans une usine de fabrication d'engrais, alerté par un bruit étrange, un ouvrier déclenche l'alarme à la suite d'une fuite d'hydrogène sur une canalisation initiant un incendie. Il n'y a aucune victime. L'unité d'ammoniac est arrêtée et la production continue dans 2 anciennes unités. Trois semaines sont nécessaires pour réparer les dégâts causés par l'incendie.

  **ARIA 14530 - 03/03/1983 - NC -**
 60.2M - Transports routiers de marchandises interurbains
 Une explosion se produit dans la rue, lors du déchargement d'un camion de bouteilles contenant de l'hydrogène. Une fuite d'hydrogène est d'abord intervenue puis elle a été rapidement suivie de l'explosion. Les bouteilles étaient stockées en rack de 18 unités de 10 kg chacune. L'explosion provoque l'éclatement de vitres sur une distance de 90 m. 16 personnes sont blessées.

  **ARIA 14666 - 07/06/1996 - ALLEMAGNE - GELSENKIRCHEN**
 23.2Z - Raffinage de pétrole
 Dans une unité de fabrication d'oléfines d'une raffinerie, un séparateur explose, entraînant le dégagement d'éthane, d'éthylène, de méthane, et d'hydrogène, lors de la remise en service de l'installation de surgélation. D'autres conteneurs sous pression, des canalisations, des équipements de commande et de contrôle des procédés et la construction métallique sont endommagés. Le système d'arrêt d'urgence est déclenché, le dispositif de climatisation du poste de mesurage est dépressurisé, vidé, débranché, nettoyé et vidé. Les dommages matériels sont estimés à 3 millions de marks (soit 1,5 millions d'euros).

L'explosion résulte d'une fissure interne (1600 mm) de l'équipement le long de la ligne de soudure (le métal de base est ferritique alors que la soudure est faite de métal austénitique). La corrosion induite par l'hydrogène résulte également des cycles de démarrage et d'arrêt imposés par la production. Par ailleurs, un défaut de maintenance pourrait être en cause.

  **ARIA 14700 - 01/07/1997 - ALLEMAGNE - MINDEN**
 24.1 - Industrie chimique de base
 Un incendie se déclare dans une unité d'hydrogénation sous basse pression d'une usine chimique. Les détecteurs incendie de l'unité donnent l'alerte alors que la 1ère phase du procédé (hydrogénation de phénylacétylecarbinol avec de la benzylamine en solution d'alcool isopropylique à l'aide de catalyseur) est en cours. Immédiatement, une explosion retentit. L'employé chargé de la conduite de l'unité actionne l'arrêt d'urgence et tente vainement d'éteindre l'incendie à l'aide d'un extincteur aux halons. Il est grièvement brûlé et décèdera plus tard de ses blessures. Les pompiers internes de l'usine maîtrisent l'incendie 40 min plus tard, après que les arrivées d'hydrogène et de phénylacétylecarbinol qui alimentent l'incendie aient été coupées. Trois pompiers, incommodés par les fumées, sont hospitalisés mais regagnent leur domicile le soir même. Les dégâts matériels sont très lourds (plusieurs millions de marks), l'usine est détruite. Même si l'enquête est rendue difficile par la destruction par les flammes des principaux éléments matériels et de l'absence de témoins directs, le scénario d'accident le plus probable est le suivant : la canalisation d'isopropanol était équipée d'un by-pass présentant une discontinuité acier / verre avec un système de double-vannage pour protéger la partie de canalisation en verre. Or malgré les procédures de conduite le notifiant, la vanne côté acier n'était jamais fermée, provoquant une surpression sur la discontinuité verre / métal de 3,5 bar à chaque démarrage de la pompe. La rupture de dispositif en verre aurait provoqué une fuite d'isopropanol à l'origine de la formation d'une atmosphère explosive, qui se serait enflammée (source d'ignition indéterminée). La soudure de la canalisation d'hydrogène à proximité, soumise à la forte chaleur, aurait cédé provoquant la fuite d'hydrogène et l'explosion. L'incendie aurait par ailleurs provoqué un court-circuit à l'origine de la mise en fonctionnement de la pompe de phénylacétylecarbinol qui alimentera à son tour le sinistre. Lors de la reconstruction de l'usine, diverses modifications sont apportées à l'unité : suppression des conduites en verre lorsque cela est possible, installation d'arrêt d'urgence mettant l'installation en sécurité, installation de verrouillage automatique sur certaines vannes, amélioration de la formation du personnel liée à la sécurité...

  **ARIA 14779 - 26/07/1997 - ALLEMAGNE - MARL**
 24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base
 Dans une usine chimique, une explosion suivie d'un incendie se produit dans une unité d'hydrogénation sous haute-pression impliquant du p-tert-butylcyclohexanol et du p-tert-butylphénol. Le bilan humain fait état de 4 employés blessés dont 2 gravement : l'un souffre de brûlures au 2ème et 3ème degrés sur 35 % du corps, le second d'une fracture du pied. Les dommages matériels à l'intérieur du site sont évalués à 1 MEuros, ceux à l'extérieur de l'établissement à 0,25 MEuros.

L'accident survient alors que 2 opérateurs effectuent une maintenance de routine sur une pompe de circulation de l'unité : ayant observé un défaut d'étanchéité croissant sur cette pompe, il procède au resserrage de sa garniture d'étanchéité après l'avoir arrêtée. Au moment de la remise en route de la pompe, un opérateur reste à proximité pendant que l'autre se rend en salle de contrôle pour en ajuster le débit. Une brutale dépressurisation se produit alors au niveau de la pompe et provoque la rupture de tout le système sous l'effet de la pression (300 bar). L'opérateur situé à proximité est brûlé par des projections de produits et se précipite sous une douche de sécurité. L'opérateur au pupitre arrête l'installation en urgence (alimentation en hydrogène, pompes...) mais l'explosion se produit peu après suivie d'un incendie.

Une double vanne restée ouverte du côté de l'aspiration de la pompe tandis que le réducteur de pression intermédiaire était restée fermé est à l'origine de l'accident. Au titre du retour d'expérience, la formation du personnel et les procédures d'intervention liées au resserrage des garnitures d'étanchéité sont améliorées, ainsi que l'information sur les risques liés aux équipements sous pression.

     **ARIA 14780 - 30/06/1997 - ALLEMAGNE - DORMAGEN**

24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base

   Dans une usine chimique, une conduite de dinitrotoluène (DNT) explose dans un réacteur d'hydrogénation destiné à la fabrication de toluènediamine (TDA). Le contenu de réacteur constitué de TDA, d'eau, de catalyseur et d'hydrogène est rejeté à l'atmosphère sous forme liquide pendant 20 min (dégazage de 25 bar à 4,5 bar) et sous forme gazeuse (vapeur d'eau + hydrogène) pendant 40 min. Les secours internes interviennent aussitôt pour installer des rideaux d'eau et ainsi limiter les rejets de produits. Les égouts du site sont obturer pour récupérer les eaux d'interventions. La circulation sur la route proche de l'usine est stoppée. Un tramway passant à proximité au moment de l'accident est arrêté et doit faire l'objet de prélèvement pour déceler la présence éventuelle de dépôt de produits.

La majeure partie du TDA rejeté s'est déposée au sol, sur les équipements et les bâtiments avant de se solidifier pour former une masse dure et noire de polymère oxydé par l'oxygène de l'air. Sur le parking de l'établissement, 270 voitures sont contaminées. Des traces de TDA sont ainsi détectées dans un rayon de 250 m autour de l'usine. Aucune victime n'est à déplorer, les dommages matériels sont évalués à 3 M DM au sein de l'usine et 1,5 M DM à l'extérieur.

La présence de dépôts (type nitrocresols) dans la canalisation de DNT est à l'origine de l'obturation des tubes ramifiés plongeant dans le réacteur ; le DNT ainsi bloqué s'y est décomposé, provoquant l'explosion.

Pour éviter le renouvellement d'un tel accident, les mesures suivantes sont mises en oeuvre :

- révision du dimensionnement de la conduite de DNT pour éviter la formation de dépôt,
- mise en place d'un contrôle continu de passage de DNT dans les conduites d'arrivée,
- instauration d'un rinçage des canalisations de DNT après chaque interruption de transfert...

     **ARIA 14870 - 28/10/1979 - ETATS-UNIS - TACOMA**

YY.OZ - Activité indéterminée

   Une explosion se produit sur un compresseur d'hydrogène du fait d'une entrée d'air ; les projectiles émis endommagent un réservoir d'ammoniac dont une partie du contenu s'échappe. Trois personnes sont blessées.

     **ARIA 14987 - 11/09/1991 - 13 - MARTIGUES**

24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base

   Sur un site de production de chlore, une explosion a lieu lors du démarrage d'une installation à la suite du colmatage d'une garde hydraulique par les produits d'extinction d'un feu qui s'était déclaré au niveau de l'évent du circuit d'évacuation d'hydrogène. Le colmatage a provoqué une montée en pression du collecteur d'hydrogène et le passage, à travers les diaphragmes, du gaz inflammable dans celui du chlore. Le mélange Cl₂ / H₂ a ensuite rejoint l'unité de dessiccation Cl₂ avant d'exploser. L'explosion aurait été initiée par une décharge d'électricité statique ou le rayonnement d'UV. Le POI est déclenché. Aucune victime n'est à déplorer mais les tours de dessiccation sont détruites et le collecteur chlore est endommagé. L'augmentation de la teneur en hydrogène du chlore avait été détectée par un analyseur en ligne 15 min avant l'explosion. L'accident met en évidence des moyens inappropriés d'extinction d'un feu d'hydrogène ou insuffisants en ce qui concerne la détection de surpressions dans le collecteur d'hydrogène et l'analyse de ce gaz dans le chlore, ainsi que des procédures de conduite inadéquates quant aux modalités d'intervention en cas de surpression d'H₂ ou de pollution du chlore par le gaz inflammable. Des mesures correctives sont mises en place : élimination des causes de montées en pression dans le collecteur H₂, renforcement et fiabilisation des détections de surpression d'hydrogène et de présence de ce dernier dans le chlore, adaptation des procédures de conduite aux initiateurs (surpression d'H₂ et pollution du chlore par l'hydrogène).

     **ARIA 15018 - 26/02/1999 - 73 - SAINT-MARCEL**

24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

   Une usine d'électrolyse ignée du chlorure de sodium, comprend une partie basse pour l'électrolyse et, reliée par un sodioduc, une usine haute où sont chargées les citernes ferroviaires et dans laquelle 2 réservoirs tampons de 60 m³, sous azote et équipés de 3 alarmes de niveaux, sont implantés dans un bâtiment. Le remplissage des réservoirs qui dure 2 h 00, est commandé depuis l'usine basse. Un opérateur de l'usine haute surveille l'opération et doit informer l'usine basse lorsque la 1ère alarme sonne. Occupé ailleurs le jour de l'accident, l'opérateur n'entend pas l'alarme. Du sodium sort par l'évent azote d'un réservoir qui débouche hors du bâtiment. Son explosion au contact de la neige alerte l'opérateur de l'usine basse qui arrête le transfert de sodium. Le POI est déclenché. Le bardage du bâtiment est endommagé, mais il n'y a aucune conséquence humaine ou environnementale. Le transfert du sodium est asservi aux alarmes, un piège froid est installé sur l'évent et des consignes sont modifiées.

     **ARIA 15083 - 15/03/1999 - 57 - FLORANGE**

27.1Y - Sidérurgie

   Dans la station d'affinage d'une aciérie électrique, une explosion se produit sur la cloche couvrant une poche contenant 240 t d'acier en fusion. Sept ouvriers sont blessés dont un grièvement brûlé est évacué. Les dégâts matériels sur la station et la salle de commande sont très importants. La production est arrêtée. La rupture de l'anneau torique de refroidissement (perforation elliptique de 15 x 7 cm) de la base de la voûte de la station d'affinage serait à l'origine de l'arrivée d'eau dans l'acier liquide ayant provoqué l'explosion. Les dommages s'élèvent à 0,6 MF et les pertes d'exploitation à 29,3 MF.

-            **ARIA 15140 - 14/06/1984 - 76 - BOLBEC**
24.1 - Industrie chimique de base
Une réaction chimique s'emballé dans un réacteur contenant du méthanol et une substance à hydrogéner. De l'hydrogène se dégage en quantité importante un ballon contenant un borohydrure explose. Deux opérateurs sont hospitalisés, la toiture de l'atelier est soufflée.
-            **ARIA 15339 - 08/04/1999 - ETATS-UNIS - HILLSBOROUGH**
40.3Z - Production et distribution de chaleur
Une explosion suivie d'un incendie se produit dans une centrale thermique au charbon de 1 200 MW sur l'un des 6 générateurs en cours d'entretien. Trois ouvriers sont tués et 50 autres sont blessés, 38 d'entre eux grièvement brûlés sont hospitalisés. Une explosion due à la présence d'hydrogène serait à l'origine du sinistre. En effet, l'hydrogène sous pression, utilisée normalement pour refroidir le système, aurait dû être vidangé avant les travaux de maintenance. 2 des 6 chaudières sont arrêtées pendant plusieurs semaines. Des investigations approfondies sont en cours.
-            **ARIA 15508 - 25/04/1998 - 26 - ROMANS-SUR-ISERE**
23.3Z - Elaboration et transformation de matières nucléaires
Dans une usine fabriquant des pastilles d'uranium, une fuite d'hydrogène se produit sur un four de frittage en phase de redémarrage après des opérations de maintenance. Elle s'enflamme, au niveau d'une traversée électrique permettant l'alimentation des résistances de chauffage. La flamme résultante endommage l'alimentation en eau de refroidissement du four et 300 l se répandent dans l'atelier. La fuite s'interrompt après coupure de l'alimentation du four.
-            **ARIA 15532 - 23/05/1999 - 76 - ROGERVILLE**
37.1Z - Récupération de matières métalliques recyclables
Dans un établissement recyclant des piles et stockant des déchets spéciaux divers (tubes d'éclairage fluorescent, filtres à huile, etc.), un feu se déclare dans un entrepôt abritant 15 t de toiles métalliques (Al, Cu) et 10 t de piles au lithium. La combustion des déchets et des emballages dégage une abondante fumée. Une autoroute est coupée 1 h. Les pompiers isolent les stockages pour limiter l'extension du sinistre. Les eaux d'extinction sont confinées sur le site. Une CMIC effectue des mesures de toxicité qui sont négatives. Le feu s'est déclaré au niveau des toiles filtrantes à base d'aluminium et s'est propagé (big-bags contenant les piles, etc.) en raison notamment d'une séparation insuffisante des déchets. Le risque d'auto inflammation des toiles (réaction exothermique Al / oxydes métalliques) avait été sous-estimé. De petites explosions durant l'intervention font suite au contact des eaux d'extinction avec le lithium (émission d'hydrogène, etc.). Les dommages matériels sont limités.
-            **ARIA 15666 - 01/01/1921 - ROYAUME-UNI - HULL**
YY.0Z - Activité indéterminée
De l'hydrogène explose (UVCE). Les fenêtres sont brisées dans un rayon de 3 km. Le souffle est ressenti dans un rayon de 7 km et des tremblements jusqu'à 70 km. La date et le mois de l'accident sont inconnues.
-            **ARIA 15757 - 29/11/1987 - 38 - MOIRANS**
31.2B - Fabrication de matériel de distribution et de commande électrique pour haute tension
A la suite d'une coupure électrique, la défaillance d'une batterie de secours provoque le déclenchement d'alarmes dans un dépôt d'hydrogène. Une soupape située sur un circuit de purge s'ouvre et 30 m³ d'hydrogène sont rejetés à l'atmosphère.
-            **ARIA 15808 - 07/05/1999 - INDE - PANIPAT**
23.2 - Raffinage de pétrole
Un incendie soudain se déclare dans l'unité d'hydrocraquage de la raffinerie tôt le matin, au niveau du compresseur d'hydrogène. Les équipes de secours internes interviennent et le feu est maîtrisé en quelques minutes. L'incendie a causé la mort de 5 personnes. Les autres unités de la raffinerie fonctionnent, seul l'hydrocraqueur est arrêté pendant le temps des premières investigations. La raffinerie est de construction récente.
-            **ARIA 16467 - 10/08/1999 - 76 - FECAMP**
24.1N - Fabrication de caoutchouc synthétique
Dans une usine de caoutchouc, une explosion a lieu dans une cuve de lubrifiant, habituellement brassée et maintenue à 45°C, contenant 18 t de trinonyl phénylphosphite (TNPP ou TNPA) et dont le circuit de chauffage s'est rompu 7 jours plus tôt. Le TNPP pollué devant être éliminé, l'accident a lieu lors de travaux de sciage pour enlever une passerelle gênant l'ouverture du trou d'homme. Le TNPP s'est hydrolysé au contact de l'eau fuyant par le serpentin rompu, l'acide phosphoreux formé a attaqué l'acier de la cuve provoquant la formation d'hydrogène. L'hydrolyse relativement lente a sans doute été catalysée par des particules de métal (rouille, etc.). Un opérateur est grièvement blessé lors d'une chute. La nouvelle installation sera naturellement ventilée et protégée de la pluie ou de toute autre entrée d'eau potentielle. Une ceinture chauffante (avec T max. < T de dégradation du TNPP) remplace le serpentin. Une consigne rappelant la sensibilité du produit à l'eau est affichée.

-      **ARIA 17070 - 06/01/2000 - 80 - HARBONNIERES**
24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base
 Une explosion endommage des cellules d'électrolyse de chlorures alcalins à cathode de mercure. La canalisation d'acidification de la saumure de chlorure de potassium alimentant une cellule s'est colmatée à la suite d'une défaillance de la régulation pH et de l'acide chlorhydrique s'est accumulé dans une cuve tampon. L'électrolyse différée du mélange saumure/acide a formé de l'hydrogène et du chlore à l'origine peu après d'une brutale réaction exothermique avec formation d'HCl. Les dommages matériels sont limités (joints de couvercles de cellules ou de réglage des anodes), une cuve en s'ouvrant a libéré de la saumure qui est retenue dans le circuit des eaux chargées en mercure de la salle et quelques vannes PVC ou PTFE sont à remplacer. Les fluides libérés (saumure, Hg, eaux de lavage) sont recyclés en fabrication. L'unité est modifiée : retour au dispositif initial d'injection d'acide qui avait été modifié pour canaliser des effluents gazeux, acidification générant les effluents gazeux déplacée dans un autre local, contrôle de pH doublé.
-      **ARIA 17608 - 15/04/2000 - ETATS-UNIS - BURNS HARBOR**
60.2M - Transports routiers de marchandises interurbains
 Le chauffeur d'un camion transportant de l'hydrogène liquide détecte des inflammations au niveau de la cheminée du camion. Quelques minutes plus tard, les secours arrivent sur les lieux et procèdent à l'évacuation des riverains dans un rayon de 800 m. Le trafic de l'autoroute est détourné, 300 personnes résidant dans des mobiles-homes à proximité sont également évacuées. Le trafic ferroviaire est réduit de manière à permettre aux pompiers d'intervenir en utilisant la zone réservée aux voies ferrées. Au final, il n'y a pas eu de blessé. Le risque était la génération d'une violente explosion. Par ailleurs, le produit à l'intérieur du réservoir était maintenu à une température de moins 224°C. En cas de fuite, des brûlures peuvent être à craindre au contact. La défaillance est imputée au frein mécanique et une enquête est engagée pour en déterminer la cause précise.
-      **ARIA 18179 - 30/06/2000 - ETATS-UNIS - PHILADELPHIA**
23.2Z - Raffinage de pétrole
 Une canalisation d'usine transportant de l'hydrogène prend feu dans une raffinerie. Un employé est blessé et la voie express située à proximité est coupée pendant 90 min. L'employé blessé a été soigné sur place pour des blessures mineures. Les équipes de secours internes et externes au site maîtrisent l'incendie au bout de 2h30.
-      **ARIA 18194 - 05/07/2000 - 52 - SAINT-DIZIER**
27.3C - Laminage à froid de feuillards
 Une fuite de gaz se produit sur des bouteilles d'hydrogène de 15 m³. L'usine dispose d'un rack comprenant au total 250 m³ d'H2. La moitié de l'usine et 3 rues sont évacuées. La circulation est interrompue dans une rue connexe à l'atelier. Un intervenant d'une société spécialisée intervient sur le site pour régler le problème technique posé. Les pompiers mobilisent 2 CMIC lors de cet incident.
-      **ARIA 18237 - 06/04/2000 - 76 - GONFREVILLE-L'ORCHER**
23.2Z - Raffinage de pétrole
 En début d'après-midi, un feu se déclare dans l'unité de désulfuration des gazoles d'une raffinerie. Cette unité a pour rôle de séparer le soufre des hydrocarbures et pour ce faire ces derniers sont portés à 340°C, en présence d'hydrogène et d'un catalyseur. Les pompiers internes maîtrisent rapidement l'incendie. Les secours externes mobilisés (environ 40) n'auront pas à intervenir. L'exploitant a arrêté l'unité de manière à diminuer puis annuler la fuite. Un joint d'étanchéité serait à l'origine de l'émission du gaz qui s'est ensuite enflammé. Une expertise interne est réalisée. L'unité doit suspendre ses activités durant 36 à 60 h.
-      **ARIA 18298 - 20/07/2000 - 76 - ROGERVILLE**
37.1Z - Récupération de matières métalliques recyclables
 Lors d'une manutention dans une usine retraitant des piles usagées, des explosions et un feu ont lieu dans 2 conteneurs de piles de lithium. Les pompiers et 3 CMIC interviennent. L'abondante fumée émise conduit à mettre en place un périmètre de sécurité. Des rideaux d'eau évitent une propagation de l'incendie aux autres conteneurs. Un nuage odorant dérive au-dessus d'HONFLEUR. Les mesures effectuées ne révèlent aucune concentration toxique alarmante, mais quelques habitants se plaindront de picotements. Un employé est brûlé aux mains et au visage, un pompier est atteint aux yeux. Les conteneurs étaient ouverts pour ventilation. Des piles tombées au sol lors de leur manutention, endommagées par les fourches du chariot élévateur, avaient été déposées dans un cubitainer à proximité des conteneurs. Les opérateurs notent une fumée blanche sortant de ce dernier et une pile qui fuyait. Peu après une pile éclate (piles en court-circuit, H2 formé par réaction entre Li et humidité de l'air, échauffement piles), puis d'autres, le feu se propage ensuite aux conteneurs. La cinétique de l'événement a été rapide et l'information tardive, l'intervention s'est avérée longue et difficile. L'évaluation des effets sanitaires éventuels du sinistre sur la population locale ne révèle rien d'anormal. Les autorités locales mettent en place un protocole interdépartemental d'échanges d'informations et d'aide mutuelle pour faire face à tout futur événement accidentel qui pourrait survenir dans l'un des 3 départements concernés avec conséquences dans l'un des 2 autres.
-      **ARIA 18302 - 14/07/2000 - ETATS-UNIS - LAWRENCE**
24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais
 Une violente explosion se produit dans une usine fabriquant des engrais azotés. Les témoins présents dans les alentours rapportent la présence d'un nuage de fumées jaunes et d'une boule de feu à sa base. L'incendie qui suit, alimenté par une canalisation d'hydrogène (5,5 t de H2 présentes dans l'installation) est contenu par les pompiers jusqu'à son extinction naturelle. De faibles quantités d'ammoniac ont probablement été émises à l'atmosphère. Aucun blessé n'est relevé mais les dégâts matériels sont importants. L'usine est

fermée pour environ une semaine. Des travaux de désamiantage sont effectués, l'explosion ayant détruit un mur à l'origine d'une dissémination d'amiante.

L'explosion, qui s'est produite dans le local des compresseurs, fait suite à une succession d'incidents survenus au cours de 7 jours précédents ; une semaine plus tôt, des dysfonctionnement d'un compresseur et d'une chaudière auxiliaire avaient entraîné l'arrêt de l'usine et le rejet d'ammoniac à l'atmosphère ; puis lors du redémarrage, la rupture d'un joint d'étanchéité avait provoqué une fuite d'hydrogène et une petite explosion sans faire de dégâts apparents. L'installation avait redémarré 2 jours plus tard pour s'arrêter à nouveau le lendemain suite à l'emballlement d'un compresseur. Après une journée entière passée à vérifier l'unité, celle-ci est redémarrée peu avant l'accident.

Une enquête est effectuée ; la partie soudée sur la conduite d'hydrogène à l'origine du premier incident avait été retirée pour être analysée, notamment en terme de fatigue du métal.

     **ARIA 18497 - 13/08/2000 - 33 - BRAUD-ET-SAINT-LOUIS**

40.1 - Production et distribution d'électricité

    Le réacteur N1 d'une centrale nucléaire s'arrête en raison d'une fuite d'hydrogène interne aux circuits de refroidissement du matériel situé sur la partie non nucléaire (la partie électrique).

     **ARIA 18569 - 13/02/1994 - ALLEMAGNE - SCHWEDT**

23.2 - Raffinage de pétrole

    Dans une unité de raffinage, pendant la phase de chauffage dans l'échangeur de chaleur de produit gazeux, un mélange de produit gazeux s'échappe à l'air libre à la suite d'un défaut d'étanchéité de la conduite. Le nuage de gaz formé s'enflamme et un incendie se déclare à l'endroit de la fuite. Les pompiers étendent un tapis de mousse sur tout le secteur de l'unité. Par mesure de sécurité, la chaudière, le compresseur rotatif de gaz et la pompe à injection sont arrêtés d'urgence. La vanne de décompression est ouverte et de l'azote est injecté dans le circuit. La mauvaise étanchéité de la conduite serait due à un défaut de matériau. Les dommages matériels s'élèvent à 1 million de marks suite à la destruction partielle des équipements.

     **ARIA 19080 - 14/09/2000 - 64 - PARDIES**

24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais

    Dans une usine d'engrais, une fuite d'un mélange gazeux composé de 69 % d'hydrogène, de 23 % d'azote et de 8 % d'ammoniac a lieu sur la boucle de synthèse d' NH_3 (volume 20 m³, 30 °C et 300 bars). Située au niveau d'une bride à la partie supérieure de l'échangeur gaz-gaz de l'unité, la fuite s'enflamme aussitôt et une forte explosion se produit. Les opérateurs perçoivent un bruit sourd, alertent les pompiers

d'une usine attenante et mettent les installations en sécurité en arrêtant les compresseurs et les pompes de circulation. Le POI de l'établissement est déclenché. L'incendie est maîtrisé en 45 min par injection d'azote sous pression. Les pompiers internes et les secours externes éteignent ensuite les calorifugeages qui continuaient à se consumer. Le POI est levé après 2 h d'intervention. La fuite est due à une canalisation fissurée ; des expertises métallurgiques sont réalisées. L'activité de l'unité est suspendue 5 semaines ; dommages matériels et pertes d'exploitation sont évalués à 3 et 8 MF.

     **ARIA 19325 - 21/10/1993 - ALLEMAGNE - IBBENBÜHREN**

24.1A - Fabrication de gaz industriels

    Une explosion dans une usine chimique fait 1 blessé grave parmi les employés et plus de 6 millions de DM de dommages matériels.

    Des travaux sur le réseau électrique d'une unité de production d'hydrogène provoque la fonte d'un fusible, entraînant la fermeture d'une vanne d'arrêt montée sur le manifold des compresseurs à piston, à la sortie d'une cloche de gazomètre (ce dispositif permet d'augmenter la pression de l'hydrogène issu de l'électrolyse de 50 mbar à 250 bar).

La cloche du gazomètre se remplit d'hydrogène jusqu'au niveau maximal puis la vanne de régulation du réservoir se ferme. Une dépression se produit alors dans la conduite d'aspiration du compresseur mis hors service par le dispositif de sécurité. Une entrée d'air dans les compresseurs à haute pression forme un mélange explosif avec l'hydrogène à l'origine de l'explosion.

Le contrôleur de l'unité situé dans le bâtiment annexe est grièvement blessé par la projection d'un morceau de fer. Le bâtiment de stockage, 2 compresseurs, les conduites et autres composantes de l'unité sont détruits. L'alimentation électrique de l'unité est déconnectée et les conduites d'alimentation en énergie auxiliaires fermées.

La reconstruction du bâtiment abritant le compresseur d'hydrogène se fera en construction légère.

     **ARIA 19461 - 24/09/1998 - ALLEMAGNE - BERGKAMEN**

24.1 - Industrie chimique de base

    Dans un centre de lavage des citernes de transport d'une unité de fabrication de composés organiques métalliques, une citerne ayant transporté de l'alkyle d'aluminium explose au cours de son nettoyage par de la lessive de soude. La cuve se fend dans le sens de la longueur et une de ses extrémités bombée est arrachée par l'explosion et projetée contre un conduit d'heptane qui se rompt. L'heptane ainsi libéré s'enflamme et provoque l'incendie du bâtiment.

Le bilan humain de l'accident fait état de 2 employés grièvement brûlés dont l'un décèdera des suites de ses blessures. Les dommages matériels sont très importants, ils sont évalués à plus de 3,6 M de DM.

La citerne accidentée avait fait l'objet de plusieurs nettoyages qui n'avaient pas permis d'éliminer les incrustations présentes sur sa paroi intérieure. Les tests visant à révéler la présence d'alkyle réactif s'étant montrés négatifs, de la lessive de soude est versée sur les incrustations sans qu'aucun dégagement de gaz ou de chaleur ne soit observé pendant plusieurs heures. Pour améliorer l'efficacité du nettoyage, la citerne est alors fermée et agitée grâce un support à rouleaux la faisant tourner autour de son axe longitudinal. L'explosion se produit peu après.

La formation de gaz inflammable et notamment d'hydrogène lors de la réaction chimique entre la lessive de soude et les résidus

d'alkyle d'aluminium est à l'origine de la formation d'une atmosphère explosive au sein de la citerne. La consigne d'exploitation relative à cette opération précisait la nécessité de ne pas fermer le réservoir.

Les mesures prises pour éviter le renouvellement d'un tel accident sont les suivantes :

- le lavage des réservoirs doit s'effectuer au moyen d'agent de nettoyage non réactif avec les incrustations du réservoir, comme par exemple l'heptane,
- le centre de lavage sera équipé de balances pour déterminer les quantités d'impuretés présentes et éviter tout surremplissage,
- la formation des employés sur la sécurité est renforcée,
- les plans d'alertes du site sont vérifiés....

     **ARIA 19490 - 15/07/1998 - ALLEMAGNE - BÖHLEN**

24.1A - Fabrication de gaz industriels

-      Au cours de tests de fonctionnement complexes, une fuite d'hydrogène suivie d'une inflammation instantanée du mélange gazeux se produit sur un appareil d'absorption. Après déclenchement de l'alarme, l'alimentation en hydrogène est fermée et le dispositif de sprinklage se déclenche.
-      Un employé est légèrement blessé. Les dommages matériels sont de 167,7 KF.

Une erreur de montage entraînant une défectuosité d'un joint (strié) de la bride de tête de l'appareil d'absorption serait à l'origine du sinistre. Une modification du système d'étanchéité (centrage) est effectuée pour éviter le renouvellement d'un tel accident.

     **ARIA 20066 - 14/03/2001 - 01 - BELLEGARDE-SUR-VALSERINE**

27.4M - Métallurgie des autres métaux non ferreux

-      Dans un four de fabrication de carbure de calcium, un incendie se déclare dans une trémie d'alimentation en coke. Une explosion se produit lors de l'intervention des pompiers. Un incendie survenu 1 semaine plus tôt avait porté au rouge les tôles des trémies créant vraisemblablement un point chaud dans le coke.
-      Lors du soutirage, au redémarrage de l'installation, le système de séchage a activé l'incendie dans la trémie. L'arrosage du coke par les pompiers a créé une croûte étanche et a favorisé l'apparition de gaz à l'eau qui s'est évacué par l'évent du système de séchage et a explosé à l'air libre en ne faisant que quelques dégâts matériels.

     **ARIA 20274 - 25/04/2001 - 68 - CHALAMPE**

24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base

-      Une explosion non suivie d'un feu ou d'une émission de gaz se produit sur le laveur de l'unité d'activation du catalyseur annexe à l'atelier de synthèse d'hexaméthylène diamine (HMD) d'une usine chimique. Le souffle de l'explosion blesse 3 ouvriers d'une entreprise de maintenance extérieure intervenant sur le laveur pour en examiner l'état et le nettoyer éventuellement avec de l'eau sous pression ; l'un d'eux gravement atteint sera évacué par hélicoptère. Les dommages matériels sont limités (2 cloisons légères défoncées) et la marche de l'atelier d'HMD n'est que faiblement perturbée. Aucune pollution n'a été observée.

Le mélange nickel-aluminium en poudre est activé à la pression atmosphérique par ajout de soude qui capte l'Al et produit du Ni Raney pyrophorique et de l'hydrogène évacué de l'activateur par ventilation. Le Ni est lavé et stocké avant utilisation dans l'unité de production d'HMD.

L'explosion se produit alors que les appareils sont à l'arrêt, matériels isolés et trou d'homme du laveur venant d'être ouvert, au moment où l'un des intervenants regarde l'intérieur de l'équipement. Le POI est déclenché, les pompiers internes secourent les victimes. Les ouvriers disposaient d'une autorisation d'intervention, mais aucun détecteur d'atmosphère explosive n'avait été mis en place, les opérations à exécuter ne faisant appel à aucun matériel sensible particulier (électricité, feu, etc.).

Selon l'exploitant, l'accident pourrait être dû à une explosion d'hydrogène liée aux dépôts dans le laveur sinistré ou, hypothèse la plus probable, à une réaction d'activation ou une réaction secondaire se poursuivant après le transfert dans le laveur.

Le risque d'arrivée accidentelle d'hydrogène provenant du reste des installations est supprimé en séparant la garde hydraulique du laveur des autres appareils. Les plans de préventions de l'usine sont améliorés : grilles complémentaires d'analyse des dangers dans la zone des travaux et dans les zones limitrophes, extension des analyses aux ordres de maintenance et autorisations supplémentaires liées aux plans de prévention, amélioration du suivi des évacuations de chantiers lors des déclenchements d'alerte...

     **ARIA 20351 - 12/03/1998 - 06 - SAINT-LAURENT-DU-VAR**

24.1A - Fabrication de gaz industriels

-      Dans une installation d'électrolyse de l'eau, une explosion a lieu à la suite de l'entrée d'hydrogène dans un gazomètre d'oxygène. Le dôme du gazomètre (1 060 kg) est projeté à 135 m, la virole supérieure (1 150 kg) à 33 m et les éléments en béton servant de compensation de pression sur le dôme à 80 m.

     **ARIA 20356 - 10/10/1998 - 13 - CHATEAUNEUF-LES-MARTIGUES**

23.2Z - Raffinage de pétrole

-      Dans une raffinerie, à la suite d'une rupture de canalisation de 250 mm de diamètre, 350 kg d'un mélange contenant de l'hydrogène (environ 80%), du sulfure d'hydrogène (environ 5%), de l'eau (environ 4%) et des hydrocarbures sont émis en 11 min dans l'atmosphère. Le mélange est à la fois toxique et inflammable. Les détecteurs d'H₂S et les explosimètres se déclenchent et le personnel d'exploitation, ainsi alerté, coupe l'arrivée du produit. Le nuage se disperse : la zone des effets irréversibles pour le H₂S est restée à l'intérieur du site. Le POI a toutefois été déclenché. Il n'y a pas de blessé et peu de conséquences environnementales. Quelques personnes perçoivent l'odeur d'H₂S à l'extérieur de la raffinerie. Selon les premiers éléments, il semblerait que la configuration particulière (2 coudes successifs en 3 dimensions) ayant conduit à l'incident de ce tronçon, ajoutée à la présence de produit corrosif (H₂S), ait provoqué la formation d'une zone de corrosion atypique. En application du plan d'inspection du site, cette zone aurait dû être contrôlée avant la fin 2000 (soit 2 ans plus tard) mais l'exploitant avait avancé le contrôle à la fin de l'année en cours.

     **ARIA 20522 - 19/12/2000 - NC -**

75.2C - Défense

    Lors du démontage par perçage d'un panier lance-bombettes d'un sous-marin, 4 de celles-ci s'échauffent. Les seules conséquences de cet incident sont matérielles, 6 bombettes doivent être neutralisées.

 Ce phénomène d'échauffement résulte de la réaction entre la composition anti-sonar de l'équipement et de l'eau, produisant de l'hydrogène. Cette entrée d'eau dans les tubes de lancement s'est probablement produite lors de la mission du sous-marin. Deux causes possibles sont identifiées :

- une mauvaise étanchéité du dispositif de lancement,
- un perçage de la calotte des bombettes lors du démontage.

Pour éviter le renouvellement d'un tel incident, l'étanchéité des tubes de lancement est améliorée et le mode opératoire de démontage des paniers est modifié.

     **ARIA 21196 - 08/10/2001 - 62 - HARNES**

24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base

    Un feu se déclare sur le réacteur d'hydrogénation primaire d'une usine chimique synthétisant alcools et acides par réactions d'oxonisation entre oléfines et mélanges gazeux H₂ / CO. Les alcools sont ainsi synthétisés en 3 étapes : oxonisation HP (280 b) / BP (<3 b), hydrogénation primaire (63 b), distillation sous vide et hydrogénation finale (63 b).

A 2h35, une chute de pression est notée sur l'unité d'hydrogénation ; une tuyauterie tracée et calorifugée (DN 50, ép. 3,6 mm,) connexe à un séparateur et contenant de l'H₂ à 40 bar fuit. L'unité est dépressurisée à 2h40, mais 15 mn plus tard l'H₂ s'enflamme par autoéchauffement générant un feu de chalumeau dirigé vers l'intérieur de l'unité. Le POI est déclenché, 4 lances refroidissent l'unité et le feu est maîtrisé à l'aide d'extincteurs à 3h15. Sur les lieux avec d'importants moyens à 3h10, les pompiers n'interviennent pas et le POI est levé à 3h30.

Les dommages matériels et l'impact sur l'environnement (fumée) sont limités.

Une expertise de la tuyauterie révèle une fissure (30 mm) perpendiculaire à l'axe de la canalisation dans l'extrados d'un coude, une corrosion vers la portée de joint de la bride d'assemblage avec le condenseur et une corrosion interne du coude. La canalisation a subi une corrosion / érosion et les contraintes dues à un supportage insuffisant qui ont fragilisé le coude. Des contrôles d'épaisseurs sont effectués, la canalisation est remplacée (ép. 5,6 mm) et un supportage adapté est mis en place.

     **ARIA 21760 - 19/12/2001 - ETATS-UNIS - CHEYENNE**

23.2Z - Raffinage de pétrole

    Une explosion suivie d'un incendie se produit dans une raffinerie. 3 employés sont blessés et hospitalisés. Les pompiers maîtrisent le sinistre en 10 à 15 min. L'origine de l'accident résiderait dans une fuite au niveau d'un compresseur d'hydrogène. Le nuage aurait ensuite explosé. Les dégâts semblent limités. Les autres unités ne sont pas impactées. L'exploitant effectue une enquête sur la cause précise de l'accident. L'OSHA procède également à des investigations.

     **ARIA 21965 - 11/05/2001 - BELGIQUE - TESSENDERLO**

25.2 - Transformation des matières plastiques

    Dans une unité de polymérisation, les mouvements intempestifs et violents d'un flexible relié au dispositif de refroidissement de l'unité fauche un opérateur, le blessant sérieusement aux jambes et endommagent plusieurs petites canalisations situées à proximité, entraînant le rejet à l'atmosphère d'hydrogène et de butène. L'isolement des conduites accidentées et le déclenchement du réseau sprinklers permettent de

stopper la fuite en 5 min et d'éviter l'ignition du nuage inflammable.

La production de l'unité est stoppée pour une durée de 7 jours.

L'accident se produit pendant une tentative de débouchage du circuit de refroidissement de l'unité au moyen d'eau à haute pression. Le déblocage soudain et rapide d'un "bouchon d'azote" formé dans la journée au cours d'une connexion temporaire de l'alimentation en N₂ est probablement à l'origine de l'accident.

La dérogation à des modes opératoires prédéfinis sans étude de risques préalable est également en cause.

     **ARIA 22101 - 26/06/1995 - 80 - HARBONNIERES**

24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

    Une explosion se produit dans la salle d'électrolyse d'un site produisant du chlore (Cl₂) et ses dérivés. Un disjoncteur départ auxiliaire s'ouvre à la suite d'une surcharge du transformateur des auxiliaires, d'un vieillissement du disjoncteur et d'une température élevée. Les pompes à mercure et à saumure, ainsi que les compresseurs chlore non alimentés s'arrêtent. Les disjoncteurs des 3 transfos d'alimentation du

courant d'électrolyse s'ouvrent normalement automatiquement par coupure de l'alimentation de la bobine. Mais lors de l'accident le disjoncteur n°2 est resté fermé et la salle d'électrolyse n°2 a continué à être alimentée en 20 KA. L'explosion a lieu lorsque le transfo auxiliaire est enfin refermé 15 min plus tard après plusieurs tentatives. Le collecteur général Cl₂ en amont des compresseurs est détruit, 15 cellules de la salle d'électrolyse n°2 sont gravement endommagées, mais aucune victime n'est à déplorer. Une expertise confirme le très bon état du disjoncteur n°2 en service depuis 2 ans. Son fabricant émet plusieurs hypothèses, dont la formation d'un fort champ magnétique en présence de conducteurs 50 KA proches qui aurait, soit excité la bobine, soit induit une magnétisation rémanente du noyau. Le disjoncteur qui était fermé, a maintenu un courant de 20 KA sur les conducteurs et donc un champ magnétique suffisant. Ne s'apercevant pas que le disjoncteur n°2 n'est pas fermé, l'opérateur n'interdit pas comme il aurait dû le faire le réenclenchement du disjoncteur des auxiliaires. De l'hydrogène (H₂) s'est sans doute dégagé à la suite de l'attaque des fonds de cellules par l'acidité du milieu et de la production d'hypochlorite de soude et de potasse. L'H₂ a réagi avec le Cl₂ restant dans les canalisations lors de la remise en circulation du chlore et des saumures après mise sous tension des auxiliaires. La montée en pression faible des cellules (les caisses d'entrées n'ont pas été vidées de leur saumure) confirme les faibles quantités de Cl₂ formées. L'absence d'explosion de ces cellules en présence

du mélange H₂ / Cl₂, confirme la formation d'hypochlorite et d'H₂ par réaction du sel et de l'eau composant la saumure rendue possible en l'absence de mercure pour fixer le sodium ou le potassium au fond des cellules. Des consignes sont modifiées, des dispositifs évitant la magnétisation des composants des disjoncteurs du transfo n° 2 sont installés, un délestage en puissance du disjoncteur des auxiliaires est prévu.

      **ARIA 22211 - 12/04/2002 - 68 - HUNINGUE**

      *24.1C - Fabrication de colorants et de pigments*

      Dans une usine de pigments et d'additifs divers, un rejet d'hydrogène et d'acétate de butyle s'enflamme au niveau de l'évent d'un réacteur d'hydrogénation. L'accident a lieu après ouverture d'une soupape de sécurité ; l'évent situé en toiture était équipé d'un pare-flamme. La montée en pression du réacteur résulte d'un excès d'hydrogène à la suite d'une mesure de la pression défaillante due au colmatage du piquage de prise de pression implanté sur le réacteur. L'alimentation en hydrogène du réacteur et l'injection d'azote dans l'installation sont arrêtées. L'inspection des installations classées constate lors d'une visite post-accident que l'exploitant n'avait pas défini de zone explosive au voisinage de l'évent malgré la présence de matériels électriques aux abords de ce dernier (éclairage, ventilation, climatiseurs) ; certains de ces équipements sont anti-déflagrants, mais il ne pourra être établi avec certitude si la classe des gaz pour laquelle ces matériels sont conçus intègre ou non l'hydrogène. L'inspection des IC note également que l'ouverture de la soupape et le rejet de gaz et de vapeurs inflammables ont été détectés tardivement. L'exploitant doit mettre en place un programme d'amélioration de la sécurité : mesures techniques et organisationnelles pour éviter le renouvellement d'un tel événement, détermination des zones explosives au sens de l'arrêté ministériel du 31 mars 1980 autour de tous les événements du bâtiment susceptibles de rejeter à l'atmosphère gaz ou vapeurs inflammables et vérifier l'existence de telles zones pour les autres installations du site, vérification de la compatibilité du matériel anti-déflagrant existant à proximité de l'évent en cause avec l'hydrogène. Plusieurs dispositions techniques sont réalisées avant le redémarrage de l'atelier : doublement des sécurités pour interrompre l'arrivée d'hydrogène en cas de suppression, amélioration du piquage de prise de pression et mise en place d'une maintenance préventive de ce dispositif.

      **ARIA 22229 - 15/06/1992 - BELGIQUE - KAAIEN**

      *23.2Z - Raffinage de pétrole*

      Dans une raffinerie, une fuite de gaz de procédé (80% d'hydrogène, 14% de méthane, 1,8% de sulfure d'hydrogène, gaz C₂, C₃ et C₄, sous 50 bar et 300°C) se produit au niveau d'un coude d'une canalisation de l'unité de désulfuration. Le nuage inflammable ainsi émis à l'atmosphère explose et provoque un incendie. La raffinerie est arrêtée, une grande partie des installations est détruite. La circulation sur les routes avoisinantes et l'ESCAUT est interrompue pendant 1 h.

L'installation construite en 1974 avait subi une révision complète en 1989 qui avait mis en évidence une corrosion au niveau d'un coude ; celui-ci avait alors été remplacé. Les autres coudes de cette même canalisation ne présentait pas de corrosion. Entre 1989 et 1992, l'épaisseur de la canalisation et l'état des coudes étaient régulièrement contrôlés sans laisser apparaître d'anomalies. L'enquête effectuée après l'accident montre qu'une fissure spontanée du coude de 90° sur la canalisation de 8" est à l'origine de la fuite.

L'installation sera reconstruite en limitant l'utilisation de coude de 90° et en diminuant la vitesse de transfert des gaz par augmentation du diamètre des canalisations.

      **ARIA 22249 - 23/12/1987 - IRLANDE - COBH**

      *24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base*

      Dans l'unité de synthèse d'ammoniac d'une usine pétrochimique, une canalisation de 24" transportant du gaz de synthèse (43% d'hydrogène, 14% d'azote, 12% de dioxyde de carbone, 29% d'eau) se rompt entraînant l'explosion du nuage d'hydrogène (60 kg) ainsi formé. L'explosion est entendue jusqu'à 2,5 km du site mais ne provoque à l'extérieur que peu de dégâts (bris de vitres, une toiture endommagée). Sous l'effet de la dépression, la conduite aval de 8 m de long fait une rotation de 380° tandis que celle en amont de 12 m de long tourne de 90° endommageant un rack situé à proximité et détruisant le collecteur d'événements de l'unité de désulfuration de la raffinerie d'où s'échappe 600 kg de méthane qui s'enflammeront. L'hydrogène issu de la canalisation amont s'enflamme également, formant un jet de 70 m de long.

L'alerte est donnée et les unités sont mises en sécurité une à une. L'incendie est éteint 5 min plus tard grâce à l'arrêt des alimentations en gaz de l'usine. Du fait de cet arrêt d'urgence, de l'ammoniac est rejeté à l'atmosphère sans qu'aucune conséquence sur la population ou l'environnement ne soit relevée. Les dommages matériels de l'accident sont estimés à 0,65 MEuros.

La rupture de la canalisation serait due à un phénomène de fatigue engendré par les cycles thermiques ; la zone de rupture de la conduite qui relie un convertisseur à l'absorbeur de CO₂ de l'unité ammoniac se situe en effet à proximité du point d'injection d'eau servant à refroidir le gaz de synthèse de 230°C à 179°C sous 28 bar. L'examen de la zone de rupture montre de nombreuses fissures de fatigue au niveau de la paroi interne de la conduite sur une longueur de 3 m à partir du point d'injection d'eau. La buse d'injection d'eau avait, par ailleurs, probablement été distordue avant l'accident modifiant ainsi la direction du jet, mais aucune preuve ne permet d'affirmer qu'il s'agit d'une des causes de l'accident. Enfin, de multiples fuites (dues au même phénomène) avaient été identifiées sur cette canalisation depuis 2 ans mais avaient fait l'objet d'un diagnostic erroné, l'exploitant considérant qu'une corrosion par tension externe était en cause.

Au titre du retour d'expérience, l'installation est modifiée : le dispositif d'injection d'eau est remplacé par un système de rebouilleur ; l'installation subit une inspection générale dans le but d'identifier d'éventuels phénomènes similaires ; un plan de maintenance préventive est mis en place.

      **ARIA 22251 - 30/04/1987 - IRLANDE - SHANNON**

      *24.4A - Fabrication de produits pharmaceutiques de base*

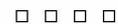
      Dans une usine chimique, une explosion, suivie d'un incendie, se produit à minuit à proximité d'un réacteur d'hydrogénation d'un intermédiaire pharmaceutique chargé mais isolé, alors que les opérateurs en fin de poste se changent aux vestiaires. Les sprinklers équipant la zone de production se

déclenchent automatiquement, les opérateurs évacuent les lieux et alertent les secours. Ceux-ci n'auront qu'à intervenir sur des foyers localisés, les systèmes d'extinction automatique ayant fonctionné efficacement.

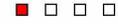
Les conséquences de l'accident sont essentiellement matérielles et s'élevèrent à 0,39 MEuros. Le réacteur d'hydrogénation est fortement déformé et fuit au niveau de sa vanne, les vitres sont brisées dans un rayon de 30 m, les câbles électriques de l'atelier sont endommagés...

L'accident se produit après qu'un opérateur ait stoppé la production commencée à 8h00 le matin même et isolé le réacteur à 23h30. La réaction d'hydrogénation qui dure plus de 30 h (elle n'est donc pas réalisable entièrement sur 1 seul poste), consiste à faire buller l'hydrogène dans le milieu réactionnel constitué de l'intermédiaire pharmaceutique, de l'acétone utilisé comme solvant et d'un catalyseur de palladium. Pour arrêter la production, l'opérateur stoppe l'alimentation en H₂ et ferme la vanne du stockage d'hydrogène puis arrête l'agitateur. Le réacteur est laissé ainsi, isolé sans inertage à l'azote, avec une atmosphère d'hydrogène au dessus du milieu réactionnel. Les valeurs de température et de pression à l'intérieur du réacteur sont vérifiées, elles sont correctes. L'explosion survenue 30 min plus tard, serait due à une défaillance de l'agitateur à l'origine d'une fuite d'hydrogène dont le nuage formé dans l'atelier aurait explosé au contact d'un des multiples équipements non conçus pour les atmosphères explosives (l'atelier abrite une douzaine de réacteurs polyvalents). L'agitateur en cause avait fait l'objet de nombreuses réparations avant l'accident.

Les mesures prises pour éviter le renouvellement d'un tel accident sont les suivantes : les hydrogénations se feront désormais dans un atelier séparé équipé de matériels électriques adaptés aux atmosphères explosives, des détecteurs de fuite seront mis en place, la maintenance préventive des équipements devra être renforcée, les procédures d'exploitation seront revues pour garantir la sécurité des réacteurs laissés en attente pendant la nuit, notamment par utilisation de l'inertage à l'azote...

   **ARIA 22278 - 10/10/1985 - ITALIE - RIPALTA IRPINIA**

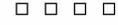
24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais

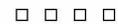
   Dans une usine de production d'engrais, un réservoir d'acide sulfurique (H₂SO₄) explose alors que 2 opérateurs effectuent des découpes à la flamme oxyacétylénique à proximité pour retirer des plaques fixées par des écrous. Ils sont tués par l'explosion. Le réservoir projeté à travers l'atelier détruit 2 autres stockages de H₂SO₄ dont le contenu se déverse dans une capacité de rétention. Le nuage acide qui s'évapore de cette flaque se dissipe rapidement sans avoir la moindre conséquence pour la population riveraine. Du carbonate de sodium est épandu pour neutraliser l'acide et éviter la corrosion des canalisations d'ammoniac passant dans la rétention.

L'ignition d'hydrogène accumulé dans le réservoir par la flamme oxyacétylénique est à l'origine de l'explosion. Cet hydrogène est le produit de la corrosion de l'acier du réservoir par l'acide sulfurique due à un entretien insuffisant du parc de stockage.

   **ARIA 22301 - 23/12/1994 - PAYS-BAS - GELEEN**

24.1 - Industrie chimique de base

   Dans une usine chimique, la rupture d'un réacteur entraîne une fuite d'un mélange d'hydrogène, de 12 t de benzène et de catalyseur qui s'enflamme au contact de l'air. Les pompiers maîtrisent le sinistre après 45 min d'intervention. Aucun blessé n'est à déplorer. La production est arrêtée en raison de dommages sur l'installation. L'exploitant effectue des recherches pour déterminer les causes de l'accident.

   **ARIA 22319 - 09/01/1992 - ROYAUME-UNI - NC**

23.2Z - Raffinage de pétrole

   Dans une raffinerie, une explosion dans un régénérateur de catalyseur d'une unité de craquage catalytique en lit fluidisé en arrêt technique fait 24 blessés parmi le personnel ; 8 sont hospitalisés dont 2 souffrant de sévères brûlures. Quelques secondes plus tard, une seconde explosion est perçue, il s'agit de l'onde de pression de la première explosion qui a atteint la chaudière de récupération du site distante de 30 m et connectée au régénérateur par conduite. Les dommages matériels sont importants, notamment au niveau de cette chaudière.

L'unité avait été placée en arrêt après la défaillance du ventilateur fournissant de l'oxygène pour la régénération du catalyseur (aluminosilicate). L'exploitant avait alors décidé de profiter de cet arrêt pour effectuer des opérations de maintenance et contrôler la configuration de nouveaux équipements récemment installés sur le régénérateur.

Pour permettre l'inspection du régénérateur, le catalyseur doit être retiré par un système de réduction à la vapeur sous flux d'azote. Le réacteur est préalablement isolé, ce qui implique la mise en place de quelques 270 brides pleines. Ces opérations sont décrites dans une procédure qui a été utilisée avec succès lors des précédents arrêts.

A 17h30, les ajusteurs procèdent au retrait des couvercles des 2 trous d'homme ; le 1er couvercle de 30" est retiré sans difficulté, aucun test de gaz n'est effectué à l'intérieur du réacteur car celui-ci est considéré comme ouvert à l'atmosphère de part l'exutoire relié à la cheminée. Le 2ème couvercle n'est tenu que par 2 boulons et 1 palan à moufles. Après le retrait du premier boulon, un important grondement à l'intérieur régénérateur est entendu par les opérateurs, suivi immédiatement d'un flash rouge-orangé issu de la bride du trou d'homme, frappant les opérateurs à proximité.

L'accident résulte probablement de la formation d'une atmosphère explosive à l'intérieur du réacteur après l'apport d'oxygène par l'ouverture des trous d'homme. Un mélange d'hydrogène, de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures gazeux formé à partir du catalyseur non-régénéré dans une atmosphère pauvre en oxygène aurait stagné dans le réacteur du fait des dernières modifications apportées à l'unité qui empêchent la bonne évacuation des gaz vers la cheminée. Cette formation de gaz issus du catalyseur aurait été favorisée par l'action de la vapeur injectée sur le catalyseur après l'arrêt du ventilateur pour le régénérer et le maintenir en lit fluidisé. La procédure appliquée pour l'intervention n'était par ailleurs pas adaptée car elle ne prévoyait pas la présence d'une quantité aussi importante de catalyseur non-régénéré dans le réacteur.

Après l'accident les mesures suivantes sont prises : refroidissement obligatoire du catalyseur à 400°C avant déchargement, test de l'atmosphère du réacteur avant ouverture des trous d'homme, entrée interdite dans tout équipement du circuit de catalyse sans une purge complète du régénérateur...

          **ARIA 22482 - 03/04/2002 - ETATS-UNIS - ORMOND BEACH**
 28.5 - *Traitement des métaux, mécanique générale*
 Une explosion d'hydrogène souffle le couvercle d'un conteneur dans une usine de traitement thermique et de brasage. Un ouvrier préparant un réservoir cylindrique pour chauffer des pièces métalliques a ouvert par erreur une vanne d'hydrogène à la place de la vanne d'azote utilisée normalement pour évacuer l'air. L'hydrogène explose lors du mélange avec l'air. Employé dans l'entreprise depuis 6 ans, l'ouvrier a la main écrasée.

          **ARIA 22518 - 21/06/2001 - NC -**
 24.6A - *Fabrication de produits explosifs*
 Dans une usine pyrotechnique, le stockage de composition photogène fabriquée en 1979, avant destruction, provoque une réaction avec rejet de gaz. Les matières sont contenues dans 30 sachets contenant 300 g de mélange photogène constitué de poudre noire, d'aluminium et de poudre de magnésium. Dans l'optique de leur destruction, ils sont versés dans 2 bidons d'eau couverts. Quelques heures plus tard, un opérateur aperçoit un dégagement de gaz sur l'un des 2 bidons et sent une odeur d'oeuf pourri. Un refroidissement à l'aide d'une lance à incendie est mis en place ce qui diminue le dégagement gazeux. Le contenu des bidons est versé à distance dans des bacs. L'analyse en laboratoire de la composition ne révèle rien d'anormal. Il est probable qu'une réaction de décomposition chimique des molécules d'eau au contact des poudres de magnésium et d'aluminium se soit produite. Cette décomposition a généré un dégagement d'hydrogène qui s'est recomposé avec le soufre provenant de la poudre noire pour former l'hydrogène sulfuré (H₂S dont l'odeur caractéristique a été détectée par l'opérateur). Cet incident met en lumière la dangerosité des produits anciens dont l'évolution n'est pas toujours bien connue. Par ailleurs, lors de la préparation de l'élimination des produits, une consigne visant la poudre noire a été utilisée alors que les produits correspondaient en réalité à un mélange. Une analyse de sécurité préalable aurait dans ces conditions été nécessaires pour permettre la mise en place des parades adéquates.

          **ARIA 23017 - 04/09/2002 - 17 - MARANS**
 24.1G - *Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base*
 Dans une usine de chimie fine employant 70 personnes, un réacteur émaillé de 1 500 l monte en pression et explose lors de l'oxydation de 200 kg de dichloro-dicyano-hydroquinone (DDHQ) en dichloro-dicyano-quinone (DDQ) par de l'acide nitrique et de l'oxygène en milieu solvant (dichlorométhane). Cette réaction est mise en oeuvre sur le site depuis de nombreuses années sans incident connu. L'explosion, audible à plusieurs kilomètres à la ronde, a lieu lors de la 2^{ème} introduction d'oxygène dans le réacteur en phase d'oxydation. Les pompiers et la gendarmerie interviennent rapidement, 2 employés sont hospitalisés : le 1^{er} choqué par l'explosion reprend son poste 2 h plus tard, le 2^{ème} souffrant de brûlures légères, d'une irritation des yeux et d'un traumatisme léger aux tympans regagnera son domicile après être resté une nuit en observation. La rupture du disque de sécurité du réacteur a permis de limiter les effets de l'explosion à un périmètre de quelques mètres autour du réacteur : toit et bardages latéraux du bâtiment de fabrication déformés, projection des tuyauteries en plastique (PVDF) et des brides situées en aval du disque. Selon la presse, un débris dont la masse était voisine du kg (raccord avec 4 boulons) aurait ainsi été retrouvé chez un riverain à 70 m du lieu de l'explosion. Le lot en cours de fabrication est détruit. La production est arrêtée et l'installation est mise en sécurité dans l'attente des conclusions de l'enquête technique effectuée pour déterminer l'origine et les circonstances exactes de l'explosion. Celle-ci montrera que la déflagration n'a concerné que la phase gazeuse du milieu réactionnel mais n'identifiera pas formellement le phénomène initiateur de l'explosion. L'hypothèse la plus probable est celle d'une auto détonation, dans un recoin du réacteur créé par une tubulure, du mélange dichlorométhane / hydrogène (résultant d'une corrosion acide d'une surface métallique non protégée) enrichi en oxygène du fait des multiples dégazages. Un point de corrosion a été observé en haut de l'axe d'agitation. Ce défaut sur le revêtement émaillé résulterait d'un choc lors de la remise en place de l'agitateur après contrôle. D'autre part, si les disque et soupapes de rupture ont joué leur rôle, ils n'étaient pas dimensionnés pour une telle déflagration, tout comme les tuyauteries de transfert vers le crash-tank.

          **ARIA 23111 - 09/09/2002 - ETATS-UNIS - INDIANTOWN**
 40.1E - *Distribution et commerce d'électricité*
 Dans une centrale électrique, une fuite d'hydrogène provenant d'un réservoir explose et forme une boule de feu. Une des 4 unités génératrices de courant qui composent le site (800 MW chacune) est endommagée, mais aucun blessé n'est à déplorer. Plusieurs dizaines de pompiers se rendent sur place munis de gros équipements. La situation est maîtrisée en moins d'une heure. Le bilan des dégâts prendra quelques jours. Selon les premiers éléments de l'enquête, la cause de l'accident serait purement mécanique.

          **ARIA 23137 - 22/01/1987 - ROYAUME-UNI - NC**
 23.2Z - *Raffinage de pétrole*
 Dans une unité d'hydrodésulfuration d'une raffinerie, une fuite sur une ligne d'hydrogène s'enflamme et endommage les lignes environnantes dont une au gaz acide. Les conditions météorologiques (brouillard et très peu de vent) font croître des risques d'intoxication au personnel des unités. Le feu a cependant été localisé et n'a pas détruit de lignes vitales.

          **ARIA 23138 - 01/06/1977 - NC -**
 23.2Z - *Raffinage de pétrole*
 Dans une unité d'hydrodésulfuration d'une raffinerie, un opérateur effectuant une tournée entend des bruits et des claquements sur le compresseur hydrogène et l'arrête. Ce dernier est de type alternatif à 2 cylindres opposés à double effet (1 étage) et fonctionne à 60 bar. Lors de son arrêt, le cylindre se rompt et laisse échapper du gaz riche en hydrogène qui s'enflamme 15 à 20 secondes plus tard. Le ballon séparateur à l'aspiration était équipé de 2 alarmes de niveau dont une couplée à une sécurité d'arrêt d'urgence. Leur bon

fonctionnement a été testé et excluait l'arrivée massive de liquide. Aucun indice précurseur n'a pu être relevé en salle de contrôle. De l'huile a été retrouvée dans le collecteur de refoulement et une présence de dépôts gras sur la face extérieure du piston et sur le fond du cylindre. Par ailleurs, les clapets étaient fortement encrassés et le filtre d'aspiration partiellement bouché par des dépôts. Un non-respect de procédures serait une des composantes à l'origine de l'accident.

  **ARIA 23140 - 07/10/1997 - ALLEMAGNE - LEUNA**

 *23.2Z - Raffinage de pétrole*

 Dans une raffinerie, un incendie se déclare lors du démarrage initial d'une nouvelle unité d'hydrodésulfuration haute pression. Une fuite se produit et s'enflamme au niveau d'un joint situé sur le premier échangeur en sortie de réacteur (mélange gazole-hydrogène). Ce joint était d'une nouvelle conception suite au bannissement des joints klingérite contenant de l'amiante. Il s'ensuit un feu sous et dans le calorifuge qui nécessite l'arrêt de l'installation pour remplacement du joint. Le type sera changé : joint mince en inox graphité. L'analyse montre que le joint se dilatait de manière différente par rapport à la calandre et qu'un choc thermique avait pu avoir lieu lors du réchauffage de l'unité. Lors du démarrage de la seconde unité HDS quelques jours plus tard, le même phénomène se produira mais l'incendie, dans ce cas, durera près de 4 heures, sous contrôle, avant de pouvoir être éteint par décompression de l'unité. Ces événements sont imputables à une anomalie de conception.

  **ARIA 23174 - 28/01/1994 - JAPON - NC**

 *23.2Z - Raffinage de pétrole*

 A la suite d'une fuite d'hydrogène, un incendie se produit sur une unité de désulfuration d'une raffinerie à la suite d'essais de commissionnement lors de la réception d'un nouveau compresseur. Le feu a duré plus d'1 heure jusqu'à ce que l'unité soit décompressée. L'accident fait 2 blessés. L'unité est temporairement arrêtée.

  **ARIA 23175 - 08/12/1998 - NC -**

 *23.2Z - Raffinage de pétrole*

 Une fuite se déclare sur une ligne reliant le séparateur chaud au séparateur froid d'une désulfuration de gasoil d'une raffinerie. L'alerte est donnée par l'activation du détecteur fixe d'H₂S. La ligne sous pression de 30 bars contenait essentiellement de l'hydrogène avec une forte concentration d'H₂S. Les opérateurs arrêtent l'unité et isolent la fuite en une dizaine de minutes. La ligne était percée à l'extrado d'un coude à 135°C faisant suite à un coude à 90 °C. Les contrôles effectués ont mis en évidence que la présence des coudes a entraîné une turbulence qui a créé une dépression localisée : cette configuration a favorisé la formation de dépôts (en particulier lors des arrêts de la pompe de lavage à l'eau). Une corrosion sous dépôt s'est développée jusqu'au percement de la ligne. Une vérification avait été réalisée sur le coude à 90 °C par le service inspection du site mais pas sur celui à 135 °C.

  **ARIA 23317 - 15/10/2002 - 52 - BROUSSEVAL**

 *27.5A - Fonderie de fonte*

 Dans une fonderie, lors du transfert d'une poche de fonte en fusion entre 2 bâtiments de production, l'engin de manutention bascule dans le canal des MOULINS. Une explosion se produit sous le pont situé à proximité. Des projections et l'effet de souffle endommagent les bâtiments voisins (fenêtres brisées, bardage et toiture partiellement soufflés, pont détruit. Quatorze personnes sont blessées dont 2 hospitalisées. L'explosion est due au contact du métal en fusion avec l'eau.

  **ARIA 23358 - 28/01/1986 - ETATS-UNIS - CAP KENNEDY**

 *62.3Z - Transports spatiaux*

 La navette spatiale américaine CHALLENGER explose en plein vol à 11h39, 73 s après son lancement de CAP KENNEDY. Les 7 membres de l'équipage à son bord sont tués. La navette se compose d'un orbiter prévu pour 7 personnes et de 30 t de charge utile, du réservoir contenant 100 t d'oxygène liquide et 600 t d'hydrogène liquide et de 2 boosters contenant 500 t de poudre chacun. L'enquête établit que la cause directe de l'accident est une fuite sur le joint O-ring de l'un des boosters. Ces joints sont répertoriés comme facteurs de criticité 1 (point de défaillance sans redondance de secours et pouvant provoquer la perte en vol de la navette). Dès juillet 1985 avait été observée une érosion au niveau de ces joints et les niveaux hiérarchiques les plus élevés de la NASA avaient demandé leur vérification systématique ; cette consigne ne sera pas respectée et son application non contrôlée. Une analyse des causes de l'érosion aurait montré une corrélation avec les basses températures. La veille, des techniciens de la société fabriquant les boosters recommandent à la NASA de ne pas procéder au lancement en raison de température de 1 °C (le booster est qualifié entre 4 et 32 °C). A la suite de téléconférences entre experts, la décision de procéder au lancement est finalement prise ; les niveaux hiérarchiques supérieurs ne sont pas informés de ces discussions.

  **ARIA 23600 - 28/11/2002 - 67 - MARCKOLSHEIM**

 *15.6D - Fabrication de produits amylicés*

 Dans une industrie agroalimentaire, une fuite enflammée se produit de nuit sur un réservoir de 25 m³ d'hydrogène lors d'un transfert du catalyseur vers une cuve tampon. La gendarmerie établit un périmètre de sécurité. Le personnel de l'usine maîtrisent rapidement le sinistre en inertant l'installation à l'azote, avant l'arrivée des pompiers.

Après analyse des causes de l'accident, l'exploitant apporte des modifications à l'unité : avant chaque transfert, la cuve tampon est placée sous ciel d'azote et une sécurité est ajoutée en sortie de cuve.

  **ARIA 23731 - 03/12/2002 - ETATS-UNIS - DEER PARK**

 *60.3 - Transports par conduites*

 La rupture d'une canalisation en galerie entraîne une émission d'hydrogène qui provoque un incendie et plusieurs petites explosions. Les autres canalisations circulant dans la galerie à 2 m sous terre, dont



certaines transportent des produits inflammables, restent en service. Aucune victime n'est à déplorer. Le sinistre est circonscrit en 5 min. Des investigations sont menées pour connaître les causes de cette rupture.

  **ARIA 23739 - 09/09/2002 - PAKISTAN - KARACHI**
 15.5B - Fabrication de beurre
 Deux personnes sont tuées et 12 autres, dont 6 employés, sont blessées lors d'une explosion survenue dans une usine de fabrication de beurre. L'explosion est due à la rupture d'un cylindre d'hydrogène durant la stérilisation à très haute température (traitement UHT). Elle a soufflé le toit de l'unité et sévèrement endommagé les installations de l'usine.



  **ARIA 23820 - 05/01/2003 - 68 - CHALAMPE**
 24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base
 Dans une usine chimique, une émission d'hydrogène s'enflamme durant quelques instants au niveau d'une garde hydraulique. Il n'y a pas de victime et aucune pollution notable n'est observée. Le procédé est analysé pour déterminer les causes de l'incident.



  **ARIA 23968 - 27/01/2003 - 03 - DOMPIERRE-SUR-BESBRE**
 27.5E - Fonderie de métaux légers
 Une explosion se produit sur un four dans une usine fabriquant des blocs-moteurs de voiture. L'incendie qui suit est maîtrisé par le service d'intervention de l'établissement ; 3 employés sont victimes de brûlures, l'un deux est plus grièvement atteint au visage et dans le dos. Des répercussions sur le fonctionnement de la chaîne de production sont redoutées. L'exploitant effectue une expertise de l'accident. Un défaut de refroidissement serait à l'origine de l'explosion avec une réduction eau - métal donnant lieu à dégagement d'hydrogène explosant au contact de l'air.



  **ARIA 24741 - 09/06/2003 - 50 - FLAMANVILLE**
 40.1E - Distribution et commerce d'électricité
 Dans la salle des machines (zone non nucléaire) d'une centrale nucléaire, une fuite d'hydrogène se produit sur une vanne d'alternateur et s'enflamme. La portion de circuit d'hydrogène est purgée de manière à éteindre la fuite par manque de gaz. Environ 1h est nécessaire pour maîtriser le sinistre. Une campagne de contrôle de l'explosimétrie réalisée ne révèle aucune anomalie.



  **ARIA 24767 - 01/11/2000 - ALLEMAGNE - HANAU**
 90.0A - Collecte et traitement des eaux usées
 Dans une station d'épuration industrielle, une atmosphère explosive se forme à l'intérieur d'un réservoir d'eaux usées suite à un rejet d'hydrogène. Le nuage explosif est rejeté à l'atmosphère via le trop plein du réservoir et la garde hydraulique associée. Il s'enflamme au contact d'activités proches, puis un retour de flamme atteignant le réservoir provoque l'explosion. L'alarme est déclenchée par pression d'un bouton poussoir. La zone est évacuée et un périmètre de sécurité est mis en place ; 13 employés sont blessés. Les vapeurs acides émises par l'incendie sont abattues par des rideaux d'eau mis en place par les pompiers. L'hydrogène, à l'origine de l'accident, aurait été produit, soit au cours du traitement des eaux usées, soit par la réaction entre le borohydride de sodium (présent dans la quantité d'eau usée restante dans la citerne) et l'eau usée alimentant le réservoir. D'autre part, il semble que le pH de l'eau usée n'avait pas été correctement ajusté lors du remplissage du collecteur. A la suite de cet incident, l'exploitant modifie la procédure de traitement des eaux usées.



  **ARIA 24977 - 02/07/2003 - 91 - MORSANG-SUR-SEINE**
 41.0Z - Captage, traitement et distribution d'eau
 Dans une usine de traitement des eaux, une réaction exothermique provoque l'explosion d'une cuve de rétention puis l'émission de vapeurs acides. Un périmètre de sécurité de 50 m est établi autour de l'usine, les habitations les plus proches se trouvant à 300 m. Une cinquantaine de pompiers localise la fuite ; les gaz formés se sont échappés par le système de ventilation desservant le local où a eu lieu l'explosion. Les produits contenus dans la cuve détruite sont récupérés dans le bac de rétention qui l'entoure. Ils sont pompés et évacués vers un centre de traitement extérieur. L'accident est sans conséquence sur la production d'eau assurée par les 2 tranches restantes et n'a provoqué aucun rejet dans le milieu naturel. L'explosion s'est produite dans une cuve en acier au sous-sol du bâtiment de stockage du site ; elle servait de rétention déportée provisoire au stockage d'acide sulfurique (H2SO4) durant la remise en état de la capacité de rétention habituelle. L'accident pourrait être dû, soit à l'arrivée brutale d'acide dans la cuve entraînant une réaction violente avec l'acier puis une production d'hydrogène, soit à une réaction violente causée par un mélange de l'H2SO4 avec un produit contenu dans la cuvette ou avec un produit jeté dans l'avaloir par un tiers.



  **ARIA 25112 - 26/06/2003 - 38 - LE PONT-DE-CLAIX**
 24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base
 Deux incendies successifs se déclarent à quelques minutes d'intervalle au niveau de 4 cellules (1 isolée + 3 consécutives) dans la salle d'électrolyse d'une usine de production de chlore. Ces feux sont maîtrisés par les opérateurs grâce aux moyens anti-incendie proches. La présence simultanée d'hydrogène (H2) et d'une étincelle due à un court-circuit est responsable des 2 accidents. Dans le 1er cas, la fuite d'H2 résulte du débranchement manuel du raccordement caoutchouc-plastique au collecteur d'H2 ; cette action objet d'une procédure est exécutée lorsque l'H2 est de qualité insuffisante pour être collecté. Lors du 2ème incendie, un manchon percé par la corrosion est à l'origine de la fuite d'H2. Plusieurs causes sont identifiées pour expliquer l'amorçage des court-circuits : isolants défectueux ou inadaptés (leurs caractéristiques n'ont pas été étudiées), non-étanchéité anode / cathode, rapprochement de l'anode et de la bride H2 à la suite d'une modification de la sortie de l'H2 et à une dérive de l'alignement des



cellules. L'analyse des causes de l'accident et les actions correctives retenues sont présentées en CHSCT avant la reprise de l'exploitation : définition d'un isolant plus adapté, amélioration des diaphragmes du procédé pour limiter la présence de chlore dans l'hydrogène et éviter ainsi le débranchement du raccordement au collecteur, amélioration du contrôle qualité et de la surveillance par le chef d'équipe, rabotage des brides H2 pour diminuer leur proximité avec l'anode, large diffusion des enseignements de l'accident au personnel, amélioration des procédures et consignes, réalisation d'un inventaire de toutes les anomalies d'isolement de l'ensemble des cellules...

  **ARIA 25494 - 12/08/2003 - 38 - SALAISE-SUR-SANNE**

24.1A - Fabrication de gaz industriels

 Dans une usine de production de gaz industriels, une fuite sur un cadre de 28 bouteilles d'hydrogène (H2) s'enflamme, sans provoquer de dégâts importants.

 Un opérateur déplace le cadre en cours de remplissage sur le poste extérieur annexe, le poste principal étant à l'arrêt pour cause de travaux à proximité. Ce déplacement, alors que le flexible était toujours connecté au cadre, provoque la rupture de la lyre et une fuite d'H2 dirigée contre le fût des bouteilles. Immédiatement, les capteurs de gaz de l'atelier de conditionnement détectent l'anomalie et provoquent l'arrêt d'urgence de l'atelier : la vanne d'alimentation en H2 est automatiquement fermée. L'opérateur dévisse le flexible pour éloigner le cadre de l'atelier et l'amener vers un point d'eau, en contournant le bâtiment. Sur le trajet, la fuite d'H2, s'enflamme ; l'opérateur immobilise le cadre sur le sol et donne l'alerte.

L'équipe de sécurité débute l'arrosage du cadre au moyen de la lance incendie, alerte les secours externes et déclenche manuellement l'arrêt d'urgence : la production d'H2 est interrompue et l'inertage à l'azote des parties sensibles de l'installation est engagé. Lorsque les pompiers arrivent, 15 min plus tard, le cadre s'étant vidé, le feu s'éteint. L'arrosage est néanmoins maintenu du fait de la température très élevée des bouteilles dont le fût est incandescent, et ce, jusqu'à ce qu'un pyromètre à infrarouge soit disponible sur site pour évaluer la température des parois des bouteilles. Le site de l'usine est évacué. Une heure plus tard, la température du cadre chute à 25 °C, l'alerte est levée.

L'analyse formelle de l'accident en a révélé les causes : la configuration du poste de remplissage annexe ne permet pas la visualisation claire de la connexion du flexible de remplissage ; lorsque l'opérateur a déplacé le cadre pour le ranger, le câble anti-fouet du flexible étant accroché à la lyre, le déplacement a provoqué la rupture de celle-ci. Les actions correctives prises sont les suivantes : suppression du poste de remplissage annexe ; modification du poste de remplissage principal de façon à rendre visible le raccordement cadre/flexible ; ajout sur les cadres d'un anneau d'accrochage pour le câble anti-fouet ; achat d'un pyromètre infrarouge ; aménagement d'une zone permettant l'isolement d'emballages défectueux, loin des zones de production et de stockage.

  **ARIA 25605 - 22/09/2003 - 59 - CUINCY**

60.2M - Transports routiers de marchandises interurbains

 Une fuite de gaz se produit sur un râtelier de 6 bouteilles contenant un mélange argon / hydrogène tombé d'un camion sur une route nationale. Un périmètre de sécurité est mis en place. Les services de l'équipement prennent en charge les bouteilles.





  **ARIA 25689 - 05/10/2003 - 26 - ROMANS-SUR-ISERE**

27.4M - Métallurgie des autres métaux non ferreux

 Dans la cour d'une usine de production et de négoce de poudre de magnésium, une explosion suivie d'un feu se produit à 2h25 dans des déchets métalliques stockés en vrac sur une aire extérieure. Dans l'après-midi, un employé avait regroupé sur cette zone de stockage 2 m³ de déchets de nettoyage (granules et poussières de magnésium) et un sac éventré de chaux pour conditionner l'ensemble dans un big bag. En fin de journée, cette opération n'est toujours pas réalisée et le dépôt est abandonné en l'état. L'explosion endommage un établissement voisin, sans faire de victime compte tenu de l'heure des faits. L'une des hypothèses émises fait suite aux précipitations du début de soirée qui en tombant sur le tas ont pu entraîner la formation d'hydrogène, son inflammation ayant été initiée par un impact de foudre. Les déchets n'auraient pas dû être stockés dans ces conditions ; l'inspection constate les faits. A la suite de l'accident, l'exploitant doit prendre plusieurs dispositions : mise sous abri des bidons et big bag de déchets, renouvellement du stock de magnésie (substance utilisée pour l'extinction de ce type de sinistre), surveillance du tas qui continue à se consumer, nettoyage de la grille d'évacuation des eaux pluviales située à proximité afin d'éviter la formation d'une flaque.

  **ARIA 25777 - 20/10/2003 - 38 - JARRIE**

24.1L - Fabrication de matières plastiques de base

 Dans l'atelier 'chlorate de sodium' d'une usine chimique, un court-circuit enflamme un mélange oxygène/hydrogène dans une cellule d'électrolyse et provoque une déflagration. Le couvercle de la cellule est constituée par une très mince membrane en polymère plastique qui se rompt comme prévu.

 Un opérateur arrête la production. Après analyse, l'accident serait dû à un colmatage de l'alimentation en liqueur d'électrolyse ; ce dernier aurait provoqué la montée en température du contenu de la cellule et une augmentation de la production d'oxygène. D'autre part, le système de surveillance de la température relié à une alarme n'a pas fonctionné. L'exploitant met en place sans délai une surveillance régulière du système avec des enregistrements par des équipes postées. Ce dispositif sera complété par une alarme de surveillance sur le système de multiplexage des mesures. Enfin, une étude complète du système de surveillance est effectuée pour fiabiliser l'installation.



  **ARIA 25991 - 29/11/2003 - 73 - LA CHAMBRE**

24.1L - Fabrication de matières plastiques de base

 Dans une usine chimique, un feu se déclare sur le filtre d'un autoclave à la fin de la synthèse catalytique d'une amine, lors du débâtissage du filtre. L'incendie reste localisé au niveau du filtre. L'arrosage de sécurité du bâtiment se déclenche et les opérateurs tentent en vain d'éteindre le feu au moyen d'abord



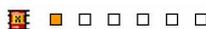


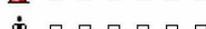
d'un tuyau d'arrivée d'eau brute puis de deux lances incendie. Finalement, l'injection d'eau brute à l'intérieur du filtre par l'orifice d'entrée et la fermeture de la vanne de sortie du filtre vers le bac de récupération des produits de la réaction permettent de maîtriser l'incendie : dès la fermeture de cette vanne, le feu s'éteint instantanément.

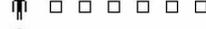
Les dégâts sont limités : seuls le manomètre situé au-dessus du filtre et sa vanne d'isolement sont endommagés.

La présence simultanée de produits inflammables (hydrogène issu du ciel du bac et en contact avec le filtre du fait de la non-fermeture de la vanne de sortie du filtre) et d'une ignition (due au caractère pyrophorique du catalyseur réduit sec) est à l'origine de l'incendie. Pour éviter un séchage trop intensif du catalyseur et la formation d'étincelles, le mode opératoire prévoit un lavage important à l'eau, puis un soufflage d'azote. Le jour de l'accident, le séchage à l'azote a duré plus longtemps que prévu.

Plusieurs actions correctives sont envisagées pour éviter qu'un tel incident ne se reproduise : diminution du temps de soufflage d'azote avec mise en place d'un minuteur, maintien du filtre sous eau pendant son ouverture et l'évacuation des poches filtrantes contenant le catalyseur et constitution d'une garde hydraulique suffisante pour éviter un retour de gaz en cas de non-fermeture de la vanne de sortie, rappel des consignes... A moyen terme, l'exploitant prévoit l'asservissement d'une vanne TOR placée sur l'envoi au bac à l'ouverture du filtre.

 **ARIA 26208 - 13/01/2004 - 68 - VIEUX-THANN**

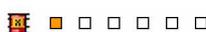
 **24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base**

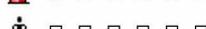
 Lors de la phase de redémarrage de l'atelier d'électrolyse d'une usine chimique, une fuite de chlore (Cl₂) gazeux se produit sur une canalisation dans l'unité confinée de liquéfaction de chlore. Les opérateurs stoppent les installations et quittent les lieux. Le POI de l'établissement est déclenché, puis levé 1h30 plus tard. Selon l'exploitant, sur les centaines de kg de Cl₂ rejetées dans le bâtiment, seulement 3 kg ont été rejetés à l'atmosphère, le système de confinement dynamique qui débouche sur une tour de neutralisation ayant joué son rôle. Les détecteurs de Cl₂ signalent un dépassement du seuil de 5 ppm pendant 20 s en limite de site et durant 20 min à proximité du local. Cet accident n'a pas eu de conséquence identifiée sur l'environnement, les riverains ou le personnel de l'usine. Une fuite, liée à la disparition de la canalisation sur quelques dizaines de cm de long (canalisation véhiculant le chlore dit 'résiduaire' d'un séparateur gaz / liquide à l'unité de fabrication d'eau de Javel) est à l'origine de l'accident. Cette disparition est due à une combustion de l'acier de la conduite par le chlore, elle-même semble-t-il causée, selon l'exploitant, par la présence d'hydrogène (H₂) dans la canalisation, du fait d'un défaut de surveillance. La teneur en H₂ dans le chlore résiduaire qui doit rester inférieure à la LIE (4,6 %), est pilotée manuellement par le taux d'évaporation du chlore dans le séparateur gaz/liquide et surveillée par analyse. Lors de l'accident, un défaut de réaction de l'opérateur face à une élévation du taux d'H₂ a conduit au dépassement de la LIE qui a atteint une teneur de 6,7 %. Pour diminuer cette teneur, le taux d'évaporation de chlore a été augmenté provoquant ainsi une élévation de débit de chlore résiduaire, qui a probablement fourni la faible énergie suffisante à initier la combustion. La flamme, stabilisée à proximité d'une vanne et d'un débitmètre, a entraîné la combustion fer / chlore lorsque la température a atteint 130 °C. Pour éviter le renouvellement d'un tel accident, l'exploitant décide de renforcer la surveillance de la teneur en H₂ et de stopper l'atelier électrolyse dès que le taux d'H₂ dépasse 3,5 % dans le chlore résiduaire. Cette teneur sera par ailleurs garantie par la réalisation en continu d'un bilan matière sur le chlore natif.

 **ARIA 26429 - 30/05/2003 - 13 - FOS-SUR-MER**

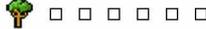
 **24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base**

 Dans une usine pétrochimique, des fumées sous le calorifugeage d'un échangeur thermique fonctionnant sous pression d'hydrogène, sont détectées lors d'une inspection visuelle, à 16h. L'équipe de première intervention est mobilisée, l'unité est arrêtée pour dépressurisation et refroidissement. Une analyse de risque est conduite avant de monter un échafaudage, décalorifuger l'échangeur et l'inspecter en sécurité. Après avoir défini la stratégie de protection et de lutte incendie en cas de reprise de feu, l'exploitant décide de remettre l'unité en pression. Lors de cette montée en pression, une reprise du feu sur la bride justifie le déclenchement du POI, à 21h30. L'équipe d'intervention maîtrise l'incendie. Aucun blessé, ni aucun impact à l'extérieur du site ne sont à déplorer. Au moment de l'accident, l'usine est à l'arrêt du fait d'une grève du personnel. L'unité, habituellement exploitée sous mélange de butane et d'hydrogène, se trouve alors, conformément aux recommandations du fournisseur, uniquement sous hydrogène. Un joint fuyard sur une bride est à l'origine de l'accident. Un plan d'action est mis en place afin d'éviter le renouvellement d'un tel accident : étude de la possibilité de refroidir puis re-pressuriser ces échanges sous hélium ou azote, remplacement à titre préventif des joints d'équipements sous hydrogène et réalisation d'une inspection technique.

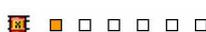
 **ARIA 26615 - 12/09/1991 - NC -**

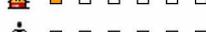
 **23.2Z - Raffinage de pétrole**

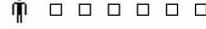
 Dans une raffinerie, un test d'étanchéité à l'azote est effectué dans une unité de reforming après le remontage d'appareils et d'équipements. L'opération dure 3 heures et la pression d'azote est alors à 8 bar.

 Lors du redémarrage et lors de la phase de montée en pression, l'opérateur entend un sifflement alors que la pression de l'unité est à 11 bar. Il se dirige vers la source et voit une flamme d'1 m sur un échangeur situé sur une plate forme vers le 4ème étage de la structure. Il exécute alors les manoeuvres d'isolement puis met en place 2 RIA pour refroidir les structures et les équipements pendant la décompression du système. La pression atteint alors 15 bar ; la flamme perdure pendant 10 min.

Seul le calorifuge est endommagé. Une bride à double emboîtement, mal remontée sur l'échangeur après la visite réglementaire, serait à l'origine de l'accident.

 **ARIA 26616 - 14/10/1971 - NC -**

 **23.2Z - Raffinage de pétrole**

 Dans une raffinerie, un incendie se produit sur les joints de la plaque tubulaire de 3 des 4 échangeurs chargés d'effluents d'un reforming catalytique. Le combustible (500°C environ et p=30 bar) était un mélange de 30% d'hydrocarbures et 70% d'hydrogène. L'accident serait dû à un mauvais serrage des tiges filetées; seulement 1/5 étaient serrés correctement sur l'un des échangeurs en cause. Après détente de l'unité et chasse à l'azote (quelques problèmes pour accéder aux vannes), les échangeurs étant refroidis (débit

global 600m³/h sur 3 appareils), le feu est contrôlé jusqu'à extinction par injection d'azote. On constate la rupture de 3 tiges filetées et un mauvais surfaçage des portées de joints. La procédure de serrage est revue (procédure de serrage à chaud : 340°C et 8 bar) avant introduction de la charge.

        **ARIA 26617 - 09/03/1975 - NC -**

23.2Z - Raffinage de pétrole

Dans une raffinerie, un incendie se déclare sur les brides d'un échangeur, au niveau calandres/boite de distribution, dans une unité de reformage des essences. Les brides de l'échangeur étaient munies d'anneaux de vapeur qui n'ont pas été utilisés. Le feu se propage aux échangeurs d'une unité d'hydrotraitement voisine. Il est alimenté par un mélange de 52% d'hydrogène. A la suite de l'accident, l'unité est arrêtée temporairement. Après recherche, le joint sur les brides à l'origine de l'incendie présente un mauvais portage et est desserré sur 50% environ de sa circonférence. Les joints métalloplastiques ordinaires sont remplacés par des joints en inox (18/8). Par ailleurs, 4 tiges filetées sont trouvées cassées. Les tiges sont remplacées par d'autres de dimension différente (B7 en B16).

        **ARIA 26618 - 04/12/1991 - 27 - VERNON**

35.3C - Construction de lanceurs et engins spatiaux

Le 4 décembre 1991, une combustion interne se produit dans un réservoir d'essai d'hydrogène (H2) liquide sous haute pression de 12 m³ (700 kg de H2 liquide), sur un site d'essai de matériels spatiaux. Les détecteurs ayant repéré l'anomalie, l'essai est stoppé. Aucune conséquence n'est à signaler. Le réservoir, mis en service en 1988, est associé à des réservoirs de stockage d'H2 gazeux et d'oxygène (O2) liquide. Il possède une structure à double enveloppe avec vide inter-parois. De structure multicouche, la paroi interne est en acier austénitique et d'une épaisseur totale de 157 mm. Sa pression maximale supportée est de 400 bar, sa pression d'utilisation de 250 bar.

En octobre 1990, une suspicion de pollution du réseau d'H2 gazeux suite à une prise d'air en amont d'un compresseur, conduit à la vidange et l'assainissement (par injection d'hélium) du réservoir d'essai en juillet 1991.

Le 4 décembre 1991, un essai est effectué : le réservoir d'H2 liquide est mis en pression par un dispositif de régulation (+ 250 bar en 30 sec). Alors que la pression dans le réservoir atteint 160 bar, un bruit de chute est perçu et les détecteurs enregistrent un saut de pression de 10 bar. Les variations importantes et rapides des paramètres mesurés (températures de paroi, pression, débit) entraînent l'arrêt de l'essai. La combustion d'un glaçon d'O2 présent dans le bras mort de la conduite de vidange du réservoir est à l'origine de l'incident. Ce glaçon d'O2 résulte de l'introduction régulière d'air du fait des impuretés nominalement présentes dans l'H2 et de la pollution accidentelle du réseau en octobre 90, de la présence d'air dans le bras mort lors de l'assainissement de juillet 91 (l'hélium est moins dense que l'air), de la re-solidification de l'air lors du remplissage du réservoir en H2 liquide. Ainsi, le bras mort était obstrué par un glaçon d'air piégeant un mélange air / H2 dans la partie aval du bras mort. Plusieurs foyers de combustion ont été localisés : en phase condensée, entre l'O2 solide et l'H2 gazeux, en phase peu dense, entre l'H2 et l'O2 gazeux. L'initiation de la combustion s'est sans doute effectuée par la friction des glaçons contre les parois et la compression adiabatique du mélange H2/O2 gazeux. La remise en service du réservoir s'effectuera après 4 mois d'arrêt, après investigation et mise en place d'une vanne de purge permettant le drainage régulier du bras mort et évitant ainsi l'accumulation de particules d'O2.

        **ARIA 26619 - 06/06/1969 - NC -**

23.2Z - Raffinage de pétrole

Un incendie se déclare dans un reforming à la suite d'une fuite de joint d'échangeur (amiante recouvert métal). Le mélange riche en hydrogène a provoqué une inflammation spontanée. Le feu a duré pendant 30 min. L'accident serait consécutif à une série de démarrages/arrêts. Le traitement par recuit a dû être effectué sur 2 points qui avaient été arrosés pendant le sinistre.

        **ARIA 26621 - 20/03/1968 - NC -**

23.2Z - Raffinage de pétrole

Dans une unité de réformage d'une raffinerie, un incendie se produit dans un four de platforming arrêté depuis peu. La cheminée est chauffée au rouge mais son revêtement intérieur n'est endommagé que sur la première virole ; la cheminée haubanée est seulement déformée. L'ouverture d'un serpentin à la suite d'une surchauffe locale due à une mauvaise circulation des fumées, alors à 350 °C, serait à l'origine de l'accident. L'ouverture du serpentin serait due à une attaque chimique par hydrogène (H2).

        **ARIA 26625 - 18/05/1965 - NC -**

23.2Z - Raffinage de pétrole

Dans une raffinerie, un incendie se déclare dans un four vertical d'une unité de reforming récemment mise en service. Les opérateurs éprouvent des difficultés pour couper l'arrivée de naphtha. La vidange du collecteur est réalisée. L'accident ne fait pas de blessé mais le four est détruit. L'accident est dû à la rupture d'un tube du four, probablement provoquée par une corrosion accélérée par l'hydrogène. Par ailleurs, la situation a été aggravée par l'inétanchéité d'une vanne d'hydrogène dans la partie haute qui a alimenté l'incendie.

        **ARIA 26983 - 27/12/2002 - ITALIE - ROME**

23.2Z - Raffinage de pétrole

Un incendie se produit dans une unité d'isomérisation d'une raffinerie, qui assure la transformation des pentanes et hexanes. Il touche également l'unité de saturation du benzène, qui permet de convertir les aromatiques en composés saturés. La défaillance mécanique d'un compresseur de l'unité d'isomérisation conduit au dégagement d'un mélange de gaz composé de d'hydrogène (70%), de méthane et de GPL, qui, au contact de l'air, s'enflamme immédiatement. Le feu-torche ainsi engendré est orienté vers l'unité de saturation des benzènes, située à 14 m, qui est détruite et contribue grandement à l'extension du sinistre. Le compresseur, en fonctionnement

depuis 20 ans, était utilisé pour le recyclage et la circulation du mélange de gaz dans l'unité. Il fonctionnait en parallèle avec un autre compresseur du même type qui, lui, n'a pas été impliqué dans l'accident. La défaillance mécanique du compresseur a consisté en la rupture du bas de la virole qui a été éjectée à plusieurs mètres. Environ 3 t de gaz particulièrement inflammable ont été émises à travers la section de la fuite et environ 12 t d'essence ont brûlé dans l'incendie. Les plans interne et externe (équivalents des POI et PPI) ont été activés sans délai. L'accident n'a pas fait de blessé ni de dommage sur l'environnement mais est à l'origine de 3 Meuros de dommages matériels.

L'étude de danger de l'unité avait analysé le risque de feu chalumeau mais ne provoyait pas d'effet domino possible sur les autres unités. L'étude de danger devra donc être revue en tenant compte d'hypothèses plus réalistes au regard de la cinétique des phénomènes, des durées d'intervention...

Au titre du retour d'expérience, l'exploitant prévoit de substituer les 2 compresseurs opposés à plat par des compresseurs centrifuges simples afin de fiabiliser l'unité d'isomérisation, de revoir les emplacements des moyens de lutte contre l'incendie, d'améliorer la formation et l'entraînement du personnel aux situations d'urgence, de réviser les procédures d'arrêt et d'intervention en situation d'urgence.

  □ □ □ □ □ □ **ARIA 27273 - 08/06/2004 - JAPON - AKITA**
 24.2Z - *Fabrication de produits agrochimiques*
  □ □ □ □ □ □ Dans une usine agrochimique, une explosion se produit au niveau d'un réservoir d'acide fluorhydrique vidangé alors que 4 ouvriers effectuent des travaux de soudure sur des canalisations à proximité. Un des opérateurs meurt de ses brûlures, les 3 autres sont blessés. Selon l'exploitant, les mesures de pollution d'air effectuées autour de l'usine n'ont pas révélé la présence de produits toxiques et les conséquences sur l'environnement et les riverains de l'usine seraient faibles. Une enquête est effectuée pour déterminer les causes de l'accident. La présence d'hydrogène pourrait en être à l'origine. A l'exception de l'unité déjà à l'arrêt pour maintenance, l'activité de l'usine n'est pas interrompue.

  □ □ □ □ □ □ **ARIA 27407 - 21/06/2004 - 67 - VILLE**
 92.6A - *Gestion d'installations sportives*
 □ □ □ □ □ □ Dans un centre nautique, un bidon de 35 l de soude caustique se répand dans un escalier métallique en aluminium desservant un local technique abritant d'autres produits chimiques et des armoires électriques. Un dégagement d'hydrogène se produit lorsque la soude entre en contact avec l'aluminium. Les secours redoutent une pollution d'un puisard dans lequel est immergée une pompe de relevage reliée à la GIESSEN, ainsi que d'un système de neutralisation. Des absorbants sont déversés sur la flaque. Une entreprise privée récupère le produit. Le centre nautique est fermé au public.

  □ □ □ □ □ □ **ARIA 27556 - 15/07/2004 - 38 - GRENOBLE**
 27.2C - *Fabrication de tubes en acier*
 □ □ □ □ □ □ Une fuite d'hydrogène se produit dans une zone de montage d'une usine de fabrication de tubes en acier. L'alarme de détection se déclenche. Le personnel est évacué durant l'intervention des secours.
 □ □ □ □ □ □
 □ □ □ □ □ □

  □ □ □ □ □ □ **ARIA 27877 - 26/07/2004 - 30 - ALES**
 10.1Z - *Extraction et agglomération de la houille*
 □ □ □ □ □ □ Un feu de forêt qui se propage le 26 juillet à 2 terrils des quartiers de Rochebelle (450 000 m³ de schistes de lavoir et de cendres, arrêt : 1940) et du Mont Recato (1 750 000 m³ de schistes de lavoir, arrêt : 1960), est rapidement maîtrisé par les secours. Entre le 2 et le 10 août, les pluies activent une combustion interne, non détectée jusque là (formation gaz à l'eau lors de la combustion incomplète de déchets charbonneux). Une surveillance à partir du 11 août montre que la combustion interne se poursuit. Des solutions sont recherchées avec un expert pour déterminer les moyens les mieux adaptés, le feu ne menaçant pas les riverains de manière immédiate. Sept canadiens et un convair effectuent 60 largages sans parvenir à stopper la combustion par "noyage", la combustion incomplète se poursuivant avec formation de CO et H₂ (gaz à l'eau). L'opération de défournement, initialement prévue puis retardée, est finalement réalisée par un organisme gestionnaire des forêts. Plusieurs experts suivent les travaux, des éboulements étant redoutés. Fin août, la profondeur de défournement est de 6 m et les températures atteintes de 500 °C. Les travaux pourraient durer tout le mois de septembre. Lors du chantier sur le terril de Rochebelle, l'envol des poussières conduit au transfert de 67 lits d'une clinique proche vers le centre hospitalier du centre ville. Ces poussières peuvent contenir un champignon, l'aspergillus, qui peut être dangereux pour les personnes fragiles.

  □ □ □ □ □ □ **ARIA 28007 - 09/09/2004 - 59 - DOUAI**
 24.1A - *Fabrication de gaz industriels*
 □ □ □ □ □ □ Une déflagration liée à une fuite et à l'inflammation immédiate d'hydrogène gazeux (H₂) se produit sur une installation de conditionnement de ce gaz. Les opérateurs maîtrisent le feu à l'aide d'extincteurs à poudre BC et arrêtent l'alimentation en H₂. L'installation est stoppée et mise en sécurité par inertage à l'azote. Les dommages se limitent à l'arrière du tableau de répartition de l'H₂ gazeux sur une canalisation de liaison dotée d'un poste double détente (220 bars-50 bars et 50 bars-3 bars), soit une surface au sol de 4 m². La rupture mécanique de la membrane d'un détendeur sur un tronçon de canalisation comprenant le poste double détente, des vannes d'obturation et des brides de raccordement, est à l'origine de l'accident. Cette canalisation permet d'acheminer l'H₂ gazeux détendu de 220 bars à 3 bars vers une zone de mise en condition de semi-remorques.

  □ □ □ □ □ □ **ARIA 28513 - 08/11/2004 - 86 - CHAUVIGNY**
 37.2Z - *Récupération de matières non métalliques recyclables*
 □ □ □ □ □ □ Dans une usine de collecte et démantèlement d'ordinateurs et autres appareils électroménagers, un fût de 57 kg de piles au lithium explose à la suite d'une erreur de manipulation dans le conditionnement des
 □ □ □ □ □ □
 □ □ □ □ □ □

piles en vrac. L'explosion résulterait du mélange lithium/eau/chaleur ayant dégagé de l'hydrogène et d'un court-circuit engendré par les piles. Des centaines de piles sont violemment projetées à plus de 30 m, certaines perforent les murs en tôle d'un bâtiment, d'autres enflamment des déchets plastiques. L'incendie dégage une épaisse fumée. Les secours ventilent les locaux. Les piles qui n'ont pas explosé sont reconditionnées dans leurs emballages d'origine et stockées hors du bâtiment. Les pompiers noient le fût à l'origine de l'explosion.

     **ARIA 28569 - 26/10/2004 - 47 - LAVARDAC**

28.3C - Chaudronnerie-tuyauterie

     Une explosion se produit dans une usine de rénovation et d'entretien de chaudières lors de travaux sur un appareil en réparation. Un opérateur avait préalablement détartré à l'acide chlorhydrique, puis neutralisé à la soude et vidangé l'acide passivé utilisé. L'entartrage important nécessite une 2ème injection d'acide, puis des travaux de soudage sont effectués sans vidange cette fois de la chaudière. De l'hydrogène résultant d'une réaction métal + acide serait à l'origine de l'accident. Un employé dans le coma est hospitalisé. L'inspection du travail note des conditions d'exploitation défavorables à la protection de l'environnement : absence de contrôle du pH des rejets, de procédures... Le service des installations classées inspecte l'établissement et demande à l'exploitant un rapport d'accident.

     **ARIA 28737 - 06/12/2004 - 56 - VANNES**

28.7E - Fabrication d'articles en fils métalliques

     Un feu se déclare durant la nuit sur l'installation de production d'hydrogène d'un sous-traitant dans une entreprise de fabrication d'articles en fils métalliques. Le dysfonctionnement d'un électrolyseur est à l'origine du sinistre. La production de l'usine est interrompue pendant 17 h. Un arrêté d'urgence conditionne le redémarrage des installations à la remise d'un rapport sur les circonstances de l'accident avec propositions techniques / organisationnelles pour en éviter le renouvellement.

     **ARIA 28822 - 29/12/2004 - 86 - POITIERS**

31.5B - Fabrication d'appareils électriques autonomes de sécurité

     Dans une usine de fabrication d'appareils électriques, un dégagement d'hydrogène déforme un récipient étanche contenant depuis 6 jours une batterie usagée. Les pompiers équipés d'appareils respiratoires ouvrent le bidon à distance ; une détonation sans conséquence se produit. Le fût et la batterie sont laissés à la disposition de l'exploitant.

     **ARIA 29011 - 25/01/2005 - 70 - CORBENAY**

20.2Z - Fabrication de panneaux de bois

     Dans une usine de fabrication de panneaux, une explosion de poussières de bois se produit à 6h10 dans un silo de 360 m³ contenant 30 m³ de copeaux secs (silo A). L'accident se produit lors de la vidange du réservoir, 5 jours après qu'il ait été le siège d'un incendie (n°ARIA 28990). Le silo sinistré est contigu à un second silo de copeaux secs (silo B) d'une contenance de 360 m³. L'équipe de production et les pompiers du site enclenchent les injections manuelles d'eau à l'intérieur et autour des silos A et B et à l'intérieur des readlers d'alimentation du silo A. Les 30 pompiers externes, appelés en renfort, mettent en place une lance canon sur le silo A à 6h24, le refroidissement provoque une 2ème explosion (vapeurs, gaz à l'eau, poussières en suspension ?). L'incident provoque l'ouverture des événements du silo et la projection de poussières et de flammes sur le bâtiment de production contigu. L'incendie se propage par l'intermédiaire des fils électriques avant d'être contenu par le réseau sprinkler du bâtiment et éteint par les secours. L'exploitant contrôle par caméra thermique l'absence de foyers résiduels dans le silo sinistré et vidange le silo B, également touché par les flammes 5 jours plus tôt, afin de le soumettre aux mêmes tests. Un pompier du site surveille les installations jusqu'au lendemain midi. Les eaux incendie sont récupérées dans un bassin d'avarie, analysées et traitées. L'arrêt de la chaîne de production durant 14 h occasionne des pertes d'exploitation estimées à 45 Keuros. Les événements du silo doivent être remplacés et les installations électriques du bâtiment de production réparées. Selon le rapport d'accident, des feux couvants auraient subsisté après l'incendie du 20 janvier sous la tourelle d'extraction, une pièce de 2 t en forme de cloche située en fond de silo. Lors de ce sinistre, le réservoir avait été vidé de son contenu, arrosé et nettoyé mais cette pièce n'avait pas été soulevée. L'exploitant prévoit une tierce expertise des installations, des systèmes de sécurité et des procédures d'intervention ainsi que l'utilisation d'une caméra thermique pour vérifier les installations avant, pendant et après un sinistre. Par ailleurs, il modifie la procédure d'intervention et de remise en production des silos ; en cas de détection de braisons, la tourelle d'extraction sera soulevée pour être nettoyée.

     **ARIA 29864 - 21/05/2005 - 38 - CHAMPAGNIER**

24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

     Une explosion se produit sur un pipeline transportant du chlore gazeux entre une plate-forme chimique (producteur) et un fabricant d'élastomères (utilisateur). La canalisation, construite en 1961 pour transporter de l'acide chlorhydrique (HCl), est exploitée depuis 1986 pour le transport de Cl₂ désoxygéné et séché. D'un diamètre de 200 mm et de 3 600 m de long, en acier peint, calorifugée et tracée sur la partie externe supérieure par un tube de chauffage par effet de peau, elle fonctionne à 4 bar relatifs et 30 °C. Depuis la veille, la production étant stoppée pour un arrêt de maintenance de 10 j, la pression dans le 'chloroduc' a été ramenée à 0,25 bar.

L'explosion se produit à 150 m du point de livraison, hors du site utilisateur. Sur 70 m de long, la canalisation rompue en 4 points porte des traces d'ondes de choc internes. Malgré de nombreuses projections de débris de canalisation dans un rayon de 150 m, aucune victime n'est à déplorer. La quantité de Cl₂ émise est estimée à 475 kg. Les dégâts relevés (rupture en hélice, onde de pression...) indiquent le caractère détonant de l'explosion. Les conséquences matérielles sont importantes sur les 4 autres canalisations (diam. 100 mm) du rack aérien : les 2 conduites d'azote (13 b, 2 à 3 000 m³/h) sont déformées mais ne présentent pas de fuite, leur pression est ramenée à 10 bar ; celle d'oxygène (10 b), aussi endommagée est vidangée ; la dernière, désaffectée, est sous N₂ à pression atmosphérique.

L'analyse de l'accident montre qu'une explosion H₂/Cl₂ en serait à l'origine, la formation de H₂ (20%) s'expliquant par la combinaison de plusieurs éléments : l'introduction accidentelle dans la conduite d'humidité lors d'une opération de maintenance ancienne a entraîné l'hydratation du chlorure ferrique présent. Le changement de phase cristalline du dépôt, attribué par l'exploitant, au chauffage excessif de la conduite (80 à 90 °C) a favorisé l'attaque de l'acier (par l'acide hypochloreux) et la formation de H₂. Ce chauffage résulte d'une perte d'alimentation électrique d'un capteur de température suite à la rupture d'un câble sur le site de l'utilisateur lors de la manipulation mal maîtrisée d'une dalle de protection de l'ouvrage, 3 jours plus tôt.

En fait, la proportion d'hydrogène (20%) dégagée dans le chlore gazeux contenu dans la canalisation isolée à chaque extrémité, à faible pression (0,25 bar) constituait un mélange explosif qu'une très faible énergie d'initiation (de l'ordre de la dizaine de microjoules) suffisait à allumer.

L'exploitant nettoie l'intérieur de l'ouvrage (2,5 à 3 t de résidus minéraux et organiques extraits), et prévoit la mise en place de sondes de température tous les 500 m avec sécurités basse et haute, la révision et la sécurisation du traçage électrique, des contrôles endoscopiques réguliers...

    **ARIA 30221 - 15/06/2005 - 13 - CHATEAUNEUF-LES-MARTIGUES**

23.2Z - Raffinage de pétrole

   Un feu se déclare vers 19h30 sur une bride d'un échangeur de chaleur de l'unité de réformage catalytique des essences d'une raffinerie. Cet échangeur permet de réchauffer la charge d'essences lourdes mélangée à une grande quantité d'hydrogène par récupération de la chaleur de la charge ayant traversé les réacteurs. Aucune flamme et aucune fumée ne sont visibles de l'extérieur. L'unité est arrêtée et dépressurisée. Le personnel refroidit les équipements avec de l'eau et crée un tapis de mousse en attendant la dépressurisation complète. L'incendie qui n'est alors plus alimenté, sera maîtrisé vers 22h30. Les pompiers sont alertés vers 20h30 sans demande d'intervention. La quantité de produit brûlée est inférieure à 1 t.

    **ARIA 30226 - 12/03/2005 - 13 - FOS-SUR-MER**

24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base

   Dans une usine chimique, les capteurs détectent la présence de chlore (Cl₂) dans un atelier. Les 2 salles d'électrolyse sont stoppées et l'origine de la fuite est recherchée. Il s'agirait d'un dysfonctionnement au niveau de la synthèse d'acide chlorhydrique (HCl), sans doute dû à la présence d'azote dans l'hydrogène alimentant le brûleur de l'unité HCl : cette combustion incomplète du Cl₂ est à l'origine d'un titre d'HCl faible et du rejet à l'évent de 100 kg de Cl₂ en excès. La mauvaise dispersion du Cl₂ émis à l'évent serait due aux conditions climatiques. De plus, le capteur situé sur l'évent était inopérant du fait de la présence de liquide dans le circuit d'échantillonnage. Aucune autre conséquence n'est relevée. L'exploitant étudie les modifications à apporter à la centrale d'alarme et à la détection de chlore à l'évent (doublage par un détecteur extérieur) pour fiabiliser le système.

    **ARIA 30365 - 25/07/2005 - 62 - DESVRES**

27.1Y - Sidérurgie

   Dans une usine sidérurgique spécialisée dans la galvanisation, une explosion se produit vers 11 h dans un four de préchauffage de tôles, à l'arrêt depuis la veille au soir pour des travaux annuels de maintenance. Le vidage du creuset de zinc était terminé et la purge d'hydrogène (gaz utilisé avec du N₂ pour constituer l'atmosphère réductrice du four), débutée 6 h auparavant, était en cours lorsque l'accident est survenu. Les 4 employés présents, hospitalisés pour des examens auditifs, ne sont pas blessés. Aucun impact à l'extérieur du site n'est constaté. L'absence de fermeture de la vanne du réservoir de secours d'H₂ et du by-pass installé sur le circuit d'alimentation du four est à l'origine de la déflagration ; des points chauds ont allumé l'atmosphère explosive. A la suite de l'accident, l'exploitant modifie le mode opératoire de ces travaux (platinage du by-pass et test d'étanchéité, modification de la vanne du circuit H₂ secours pour permettre sa consignation...) et complète la procédure d'intervention.

    **ARIA 30637 - 05/09/2005 - 38 - LE PONT-DE-CLAIX**

24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

   Dans une usine chimique, une explosion se produit au niveau d'une cellule d'électrolyse d'un atelier de production de chlore, soufflant le chapeau de la cellule (rôle d'évent) et sectionnant une canalisation de chlore gazeux basse pression. La quantité de chlore ainsi rejetée à l'intérieur de l'atelier est comprise entre 2 et 3 kg. La série de 132 cellules d'électrolyse concernée est mise à l'arrêt puis l'ensemble de la chaîne de production. Les 2 opérateurs présents sont choqués par l'accident mais ne sont que très légèrement blessés aux jambes (irritations) par des projections d'électrolyte (pH = 3). L'accident est survenu lors de leur intervention sur la cellule pour 'vaccination' (renforcement de l'imperméabilité du diaphragme séparant les 2 ciels gazeux (chlore et hydrogène) par injection de silice en suspension et de chlorure de magnésium ou de fibres de verre) à la suite d'un dysfonctionnement observé lors de contrôles de routine. Une réaction entre H₂ et Cl₂ dans le ciel gazeux de la cellule est à l'origine de l'explosion. La migration de l'hydrogène vers le chlore constituant ainsi un mélange explosif est due à un excès de pression dans le compartiment cathodique. Ce phénomène peut résulter de 3 situations : mauvais positionnement de la canne à soude impliquant un niveau de soude trop haut dans la cellule, bouchage de la canalisation de sortie de soude, bouchage de la canalisation de sortie d'H₂. Par ailleurs, l'analyse des causes de l'accident a mis en évidence une mauvaise qualité du diaphragme de la cellule : celui-ci fait partie de lots de diaphragmes dont la fabrication ne s'est pas réalisée dans les standards habituels (température de réticulation de 275 °C au lieu de 355 °C à cause d'une défaillance de la régulation du four) et qui a posteriori présentaient un problème de vieillissement prématuré. Les mesures correctives mises en place concernent le remplacement des cellules dont les diaphragmes ont été produits dans les mêmes conditions de température, la clarification des consignes d'intervention liées à la 'vaccination' des cellules, la modification des canalisations de sortie d'hydrogène pour faciliter les contrôles et le nettoyage et limiter ainsi le risque de bouchage...

  □ □ □ □ □ **ARIA 30679 - 08/06/2005 - 69 - NEUVILLE-SUR-SAONE**

24.4A - Fabrication de produits pharmaceutiques de base

 □ □ □ □ □ A 16h45, un feu embrase 7 palettes de bois et d'emballages plastiques ayant contenu des produits chimiques déposées sur une aire de stockage de déchets d'une usine pharmaceutique. Ces déchets étaient en attente de chargement vers des centres de traitement externes agréés. Les fumées noires  □ □ □ □ □ sont poussées par un vent du nord soutenu en direction des la SAÔNE. Le pré-POI est déclenché.  □ □ □ □ □

petites explosions sont constatées par les premiers intervenants. A 16h50, les pompiers du site maîtrisent l'incendie mais la zone reste sous surveillance pendant quelques heures avant d'être débarrassée des résidus de combustion. A 17 h, le pré-POI est levé. Après examen des lieux, aucune trace d'initiateur physique susceptible d'avoir apporté une énergie suffisante à la combustion des saches et palettes n'est retrouvée. La prise en compte des expériences menées sur différents sites laisse à penser que l'origine de l'incendie serait liée à la présence de réactifs tels que des hydrures dont la décomposition libère de l'hydrogène au pouvoir inflammable et explosif important en présence d'air. Cette hypothèse paraît d'autant plus plausible que l'instabilité des hydrures avec la température est démontrée même lorsqu'ils sont stabilisés en milieu alcalin. La procédure relative à la collecte, au stockage et au traitement des emballages souillés fera l'objet d'une révision complète et sera complétée à minima par une liste exhaustive de réactifs devant être traités avec précaution. Les consignes actuelles seront rappelées à l'ensemble des salariés du site et des entreprises extérieures afin d'insister sur les spécificités des déchets et leurs règles de sélection de ces derniers. Une information générale sera présentée sur l'importance du respect des consignes en vigueur pour le tri et la gestion des déchets et sur les conséquences potentielles que peut engendrer ce type d'accident. Une communication sera également effectuée sur les autres sites du groupe.

ARIA 30720 - 20/10/2003 - 77 - GRANDPUITS-BAILLY-CARROIS

24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais

Dans une usine chimique, une fuite enflammée de gaz de synthèse se déclare au niveau d'un réacteur de l'unité ammoniac (NH3) lors de son redémarrage à la suite d'un arrêt technique. Le POI de l'établissement est activé, le dispositif d'extinction à la vapeur d'eau est déclenché entraînant l'extinction quasi-immédiate de la flamme. L'unité est arrêtée, vérifiée et remise en service 4 jours plus tard. L'arrêt technique préalable à l'accident résultait d'un incident sur le circuit de lubrification du turbocompresseur d'air de l'unité NH3 stoppant la machine puis presque totalement l'unité. Après remise en ordre du circuit de lubrification, l'atelier est remis en production et 14 h plus tard la synthèse est remise en route. C'est au redémarrage du compresseur de synthèse que la fuite de gaz s'est déclarée au niveau du joint supérieur du réacteur, s'enflammant spontanément. Une différence de dilatation thermique entre le joint (refroidi par le gaz à la mise en service de la synthèse) et le corps du réacteur (resté chaud) est à l'origine de la fuite, la forte teneur en hydrogène du gaz de synthèse expliquant son inflammation spontanée. Par ailleurs, les modalités de mise à l'air rapide et complète du contenu de la boucle de synthèse, par ouverture systématique de toutes les vannes de sectionnement, même en cas d'arrêt court, accentue la propension de l'unité à ce type d'incident. Les actions correctives entreprises sont le maintien du réacteur en pression par injection d'azote (80 - 100 bar) lors des arrêts courts et la fermeture automatique de la liaison au compresseur de synthèse pour réduire la vitesse de la chute de pression.

  □ □ □ □ □ **ARIA 30857 - 19/10/2005 - 05 - LA ROCHE-DE-RAME**

27.1Y - Sidérurgie

 □ □ □ □ □ Dans le bâtiment de concassage d'une usine de production de métaux non ferreux, un feu se déclare  □ □ □ □ □ vers 9h30 dans une trémie fixe contenant 800 kg de calcium provenant de fours de fusion et en cours de refroidissement avant broyage. Le personnel de l'établissement est évacué. Les pompiers équipés d'ARI  □ □ □ □ □ éteignent l'incendie en 1h30 avec des extincteurs à poudre. La trémie, le concasseur, la bande transporteuse, le faux-plafond, certains appareillages électriques et des chemins de câbles sont endommagés ou détruits ; 600 kg de calcium se sont consumés. L'activité de l'établissement est arrêtée. L'inflammation du calcium, très réactif à l'eau, est due à l'humidité ambiante à la suite d'une longue période de pluie. L'inspection des installations classées demande à l'exploitant de ne plus utiliser le système de trémies fixes.

  □ □ □ □ □ **ARIA 31082 - 26/11/2005 - 69 - PIERRE-BENITE**

24.1E - Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

 □ □ □ □ □ Une explosion se produit sur un site chimique, provoquant l'ouverture partielle du dôme d'un bac de  □ □ □ □ □ stockage d'acide sulfurique à 99,2 % (rempli à 300 t sur une capacité de 1500 t). L'ouverture s'est effectuée selon la circonférence du bac au niveau du raccord dôme/virole. Le POI est déclenché. Aucune  □ □ □ □ □ émission ou écoulement n'est constaté, seules des fumerolles sont observées au droit de l'ouverture.

Aucune conséquence humaine ou environnementale n'est relevée, les dégâts matériels sont limités aux seuls équipements situés au-dessus du bac (tuyauteries d'arrivée d'acide, ligne de respiration vers le sécheur, passerelle, ligne vapeur...). La présence d'hydrogène (quelques dizaines de grammes), généré par corrosion de l'acier du bac par de l'acide faible, serait à l'origine de l'explosion. L'accident fait suite à une série d'incidents sur l'unité de production de H2SO4 par absorption de SO3 sur colonnes garnies : 2 perçages successifs des échangeurs thermiques eau/acide de la colonne de transfert, la veille de l'accident, ont entraîné l'envoi dans le bac de stockage d'acide à un titre de l'ordre de 85 % (1er incident), puis d'acide de titre pratiquement nul (2ème incident). Avant l'explosion, le bac contenait un mélange non homogène avec un titre plus faible en surface. C'est 1h15 après la mise en service de l'agitation du bac que l'explosion s'est produite, l'ignition de H2 (qui nécessite une énergie très faible) étant probablement d'origine électrostatique. Les 2 perçages de l'échangeur thermique sont dus à un phénomène de corrosion par piqûre près des cordons de soudure du côté eau de refroidissement. La modification du traitement biocide anti-légionelles depuis 1 an aurait favorisé la corrosion par piqûre de l'installation : l'utilisation d'eau de Javel à la place du brome a fortement augmenté le pouvoir oxydant de l'eau et a donc fait chuter la température d'amorçage des piqûres de corrosion. La diminution des vitesses de passage de l'eau (due à la baisse d'activité de l'atelier sur une longue période), contribuant à l'augmentation de température du milieu, est un autre facteur aggravant à l'origine de l'accident. Les mesures prises concernant le traitement de l'eau (utilisation temporaire d'un biocide non oxydant et étude d'un traitement continu chlore-brome), la détection d'arrivée anormale d'eau dans le procédé (sonde de température alarmée, 2 trimètres), les procédures

d'exploitation (interdiction d'envoi d'acide faible dans les stockages).

  **ARIA 31125 - 07/12/2005 - 76 - PETIT-COURONNE**
 23.2Z - Raffinage de pétrole
 Une explosion suivie d'un incendie se produit vers 5h30 dans l'unité d'hydrotraitement du complexe
 Huiles CHP d'une raffinerie. L'accident impacte principalement un four de l'unité : rupture de l'un des tubes et ruine de l'enceinte, le four étant éventré sur 1 m de large et sur toute sa hauteur. Le POI est déclenché. L'inspection des installations classées se rend sur les lieux. Le four, arrêté 3 h avant l'explosion, contenait uniquement des produits gazeux et principalement de l'hydrogène. Il n'y a pas de conséquence humaine. Les pompiers maîtrisent l'incendie vers 6h10 et l'éteignent à 6h45. Les eaux d'extinction sont collectées dans les réseaux des eaux huileuses. Un barrage sur la SEINE contient la mousse utilisée lors de l'intervention. L'unité d'hydrotraitement est arrêtée et mise en sécurité (moyens d'extinction en place de manière préventive, isolation, dégazage et mise sous azote du four). Elle ne sera pas remise en fonctionnement avant l'arrêt pour maintenance du complexe en janvier 2006. Le PC de crise de l'établissement sera définitivement levé à 9h25 après vérification de l'intégrité de tous les équipements implantés à proximité du lieu de l'explosion. Le redémarrage est conditionné par la réalisation d'une enquête et la mise en oeuvre de mesures appropriées.

  **ARIA 31237 - 08/10/2005 - 44 - MONTOIR-DE-BRETAGNE**
 24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais
 Près de 1,7 t d'ammoniac (NH3) sont émis à l'atmosphère lors du redémarrage de l'atelier de production
 d'acide nitrique d'une usine d'engrais. Plusieurs riverains incommodés par l'odeur, alertent la gendarmerie et l'usine. La 1ère phase de fabrication d'acide nitrique est la synthèse de monoxyde d'azote (NO) par oxydation catalytique d'NH3 gazeux. L'allumage des brûleurs servant à cette réaction est réalisé par injection d'hydrogène (H2) au niveau des toiles de catalyse lorsque le débit de NH3 mélangé à l'air primaire est optimal et stabilisé. Le démarrage de la catalyse de l'atelier de fabrication d'acide nitrique implique systématiquement un rejet à l'atmosphère de NH3 durant 5 à 10 min (temps nécessaire à la stabilisation des débits gazeux), évalué entre 350 à 700 kg. Un défaut d'alimentation en H2 a retardé l'allumage des brûleurs et allongé la durée du rejet à l'atmosphère du mélange NH3 / air primaire. L'alimentation en H2 est réalisée par un dispositif constitué de 3 bouteilles, un détendeur et une électrovanne. Ce dispositif avait été vérifié la veille, mais le jour du démarrage la pression en H2 était insuffisante pour permettre la mise en service des rampes d'allumage. Il fut donc décidé de remplacer les bouteilles d'H2 en maintenant l'évaporation de NH3 au minimum. La chute de pression dans les bouteilles d'H2 est sans doute due à leur mauvaise fermeture. Plusieurs mesures sont mises en oeuvre pour éviter le renouvellement de ce type d'incident et diminuer le temps de stabilisation de l'installation et donc le temps de rejet à l'atmosphère : dispositif d'alimentation en H2 désormais constitué de 2 bouteilles en service et d'une en réserve pour palier une insuffisance de la ressource en H2, étude effectuée pour améliorer l'évaporation d'NH3, révision des moyens et modes d'alerte des autorités locales...

  **ARIA 31267 - 04/01/2006 - 80 - CACHY**
 60.2M - Transports routiers de marchandises interurbains
 Une collision survient sur l'autoroute A29 entre deux camions, l'un transportant de l'hydrogène liquide et l'autre du dioxyde de manganèse. En raison d'une légère fuite d'hydrogène, un périmètre de sécurité de 600 m est mis en place et le trafic autoroutier est interrompu durant 4 h. Les experts appelés sur place isolent la citerne routière et en réparent les organes de sécurité.

  **ARIA 31355 - 15/06/1990 - 27 - VERNON**
 35.3C - Construction de lanceurs et engins spatiaux
 Une explosion d'hydrogène gazeux se produit sur une banc d'essai d'une usine spécialisée dans la conception, la construction et la mise en oeuvre de bancs d'essais de moteurs-fusées. L'explosion est perçue à plusieurs kilomètres, les tôles de bardages sont soufflées et des débris de tôle sont projetées dans un rayon de 100 autour du banc. Aucune conséquence humaine n'est heureusement relevée, même parmi les 6 salariés travaillant dans un rayon de 10 à 50 m du lieu de l'explosion.

L'explosion est due à 8 kg d'hydrogène (soit 100 m³ de gaz) échappés d'un tronçon de circuit en maintenance par une bride de 6' restée ouverte, ainsi qu'à l'ouverture intempestive d'une vanne commandée à distance. Une fuite enflammée de 16 kg d'hydrogène gazeux (200 m³) a suivi l'explosion.

Dans la journée, le banc d'essai accidenté, dont la fonction principale est de réaliser des essais de turbopompes et de générateurs, avait été utilisé pour une de ses fonctions annexes : la fourniture d'hydrogène gazeux à 200 bar à un autre banc d'essai à partir d'hydrogène liquide réchauffé puis comprimé à 800 bar.

  **ARIA 31377 - 01/02/2006 - 27 - VERNON**
 35.3C - Construction de lanceurs et engins spatiaux
 Sur le site d'essais d'une usine fabriquant des moteurs de lanceurs spatiaux, une fuite d'hydrogène estimée à 10 g/s se produit vers 13 h sur une bride d'une canalisation reliée à un réservoir de 35 m³. Le personnel de l'établissement est confiné et le POI déclenché. Une modélisation de l'exploitant évalue le rayon des dommages potentiels en cas d'explosion (effets thermiques et de surpression) à quelques mètres. Pour maîtriser la fuite, de l'hélium est injecté dans le réservoir puis un opérateur sous ARI ferme la vanne entre cette capacité de stockage et la bride défailante. Le POI est levé vers 18 h. Aucune victime n'est à déplorer. Le personnel maintient une surveillance des lieux durant la nuit.

  **ARIA 31605 - 03/04/2006 - 05 - LA ROCHE-DE-RAME**
 27.1Y - Sidérurgie
 Une explosion se produit vers 13 h sur un conteneur de 600 l de calcium en cours de remplissage et
 provoque un départ de feu dans une usine sidérurgique. Les pompiers maîtrisent le sinistre avec des


extincteurs à poudre et du sable. Le bâtiment (toiture, vitres, faux plafonds) et les installations (machine à enrober, conteneur...) sont gravement endommagés ; 43 employés pourraient être en chômage technique. Selon l'exploitant, un dégagement gazeux d'hydrogène s'est produit lors de l'introduction du calcium dans le conteneur (présence probable d'eau) alors que celui-ci avait été séché avec de la silice. L'inspection des installations classées demande une analyse de l'accident par un tiers expert. Des élus locaux, un représentant de la préfecture et la gendarmerie se sont rendus sur les lieux.

  □ □ □ □ □ **ARIA 31715 - 20/04/2006 - 77 - GRANDPUITS-BAILLY-CARROIS**

 □ □ □ □ □ *24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais*

 □ □ □ □ □ Une déflagration se produit dans une usine de fabrication de produits azotés, lors d'une mise à disposition du réacteur de synthèse d'ammoniac. Une fuite d'hydrogène au niveau des joints inférieurs puis supérieurs de l'autoclave, à une pression de 15 à 20 bar, serait à l'origine de l'explosion, puis de la fuite enflammée. Le POI de l'établissement est déclenché puis levé 1h50 plus tard. Aucun blessé n'est à

déplorer, les dégâts matériels sont limités à des vitres brisées sur une construction modulaire située à une dizaine de mètres du réacteur (une des façades est également enfoncée).

  □ □ □ □ □ **ARIA 31936 - 13/06/2006 - ETATS-UNIS - SHREVEPORT**

 □ □ □ □ □ *23.2Z - Raffinage de pétrole*

 □ □ □ □ □ Dans une raffinerie, une émission accidentelle d'hydrogène au niveau d'une soupape nécessite une intervention d'urgence pour abaisser la pression de 140 à 0 bar dans un réservoir. La police interdit la circulation routière aux alentours du site jusqu'à la fin de l'intervention des équipes de l'usine en présence des pompiers. L'incident n'a pas eu de conséquence humaine et n'a pas nécessité d'évacuation.

  □ □ □ □ □ **ARIA 32145 - 31/07/2006 - 13 - CHATEAUNEUF-LES-MARTIGUES**

 □ □ □ □ □ *23.2Z - Raffinage de pétrole*

 □ □ □ □ □ Vers 17h30, une fuite d'un mélange hydrogène+hydrocarbures s'enflamme au niveau du joint situé entre le fond et le corps d'un échangeur d'une unité de désulfuration d'une raffinerie. Le POI est déclenché. Le feu est alimenté sous pression pendant une vingtaine de minutes provoquant l'émission d'un panache de fumées noires. La mise en décompression de l'unité, retardée par le dysfonctionnement d'un

automatisme, permet néanmoins la maîtrise de l'incendie puis son extinction complète vers 2h du matin après vidange du réacteur situé en amont. L'intervention est assurée par les services de secours de l'exploitant sans recours aux pompiers de la commune mis toutefois en alerte préventive. Les eaux d'extinction collectées sont dirigées directement vers la station de traitement. Le POI est levé à 20h22. L'unité sinistrée est arrêtée puis platinée le lendemain et ne redémarrera que 4 semaines plus tard. L'analyse des causes réalisée par l'exploitant révèle une défaillance du joint monté, différent du joint préconisé à cet endroit, mal positionné et serré de manière non homogène.

  □ □ □ □ □ **ARIA 32174 - 24/04/2006 - 76 - GONFREVILLE-L'ORCHER**

 □ □ □ □ □ *24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais*

 □ □ □ □ □ Lors du redémarrage de l'unité de fabrication d'ammoniac d'une usine chimique à la suite d'un arrêt de 1h30 pour défaillance technique, une fuite de gaz de synthèse (50 % hydrogène, méthane, azote et 17 % ammoniac) s'enflamme sur une bride (joint O-ring) en aval immédiat du réacteur de synthèse.. Alerté par l'alarme incendie de l'unité, l'exploitant déclenche l'arrêt d'urgence, isolant et dépressurant la boucle de synthèse. De la vapeur est projetée sur la fuite à l'aide de lances portables pour étouffer l'incendie qui sera maîtrisé 55 min après son déclenchement.

Les dommages matériels, estimés à 60 keuro, concernent les calorifuges des canalisations, les persiennes de protection du réacteur contre les intempéries, le béton d'ignifugeage de la charpente du réacteur et les câbles d'instrumentation dans un rayon de 3 m. Les flammes n'ont cependant pas impacté le réacteur, protégé par un déflecteur. Les pertes d'exploitations sont évaluées à 300 keuro.

Les couples de serrage de la boulonnerie sur la bride sur laquelle s'est produite la fuite sont à l'origine de l'accident : ils étaient inadaptés aux conditions exceptionnelles de fonctionnement en cours lors de l'accident (importante différence de température entre la boulonnerie et la bride due à la variation rapide de la température du fait de l'arrêt technique de courte durée).

Les actions correctives mises en oeuvre concernent la redéfinition des couples de serrage, l'amélioration de l'éanchéité des colliers collecteurs de fuite sur les brides (défaillants lors de l'accident), la création d'un système d'injection d'azote dans les colliers collecteurs et l'installation d'une couronne d'injection de vapeur pour la protection du fond du réacteur de synthèse.

  □ □ □ □ □ **ARIA 32796 - 12/02/2007 - 06 - GILETTE**

  □ □ □ □ □ *24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base*

 □ □ □ □ □ Vers 6 h, un flash se produit lors de travaux effectués dans une usine chimique. L'accident se déroule entre 2 campagnes de production : les 7 et 8/02, le réacteur d'hydrogénation est nettoyé, désodorisé et séché pour éliminer les résidus de la production précédente et préparer l'appareil à la synthèse suivante. Le 12/02 à 5 h, le contremaître de fabrication distribue les consignes spécifiques à la nouvelle fabrication

à un opérateur. Ce dernier ne suit pas l'ordre chronologique que prévoient les consignes de vérification avant démarrage de la synthèse : pour gagner du temps lors de la mise sous pression de l'appareil à 9 bar d'azote, il lance en parallèle plusieurs réglages et vérifications (ouverture des vannes manuelles hydrogène du stockage, de celle d'arrêt d'urgence en amont des ateliers...). La vanne du réacteur et celle de sécurité process située en amont et protégée par un clapet anti-retour, restent fermées. Le réacteur est sous pression d'azote. L'opérateur détecte une fuite d'N2 au niveau du trou d'homme. Il décomprime alors l'appareil et déboulonne les fixations du couvercle pour changer le joint. Pendant cette opération, il entend un bruit de fuite au niveau du joint. Pensant à une fuite d'H2, il bloque la vanne du réacteur et enclenche l'arrêt d'urgence de l'atelier. Persuadé que le réacteur est propre et que le volume résiduel dans la canalisation est faible, il poursuit le changement du joint et demande de l'aide à un collègue. Ces 2 personnes sont projetées en arrière lors de l'explosion. Le POI et le plan ETARE sont déclenchés. Les 2 opérateurs, brûlés au visage et aux mains, sont transférés dans un hôpital niçois puis dans un établissement

spécialisé sur Toulon. L'atelier est mis en sécurité. Une enquête de gendarmerie est effectuée pour en déterminer les causes. La presse relaie l'information. L'exploitant décide de fermer le site pour 48 h. L'expert mandaté explique que l'explosion résulterait de l'inflammation d'une faible quantité d'H2 par du catalyseur en présence d'oxygène provenant de l'ouverture du trou d'homme. Il remarque par ailleurs que la vérification de l'étanchéité de l'appareil et la mise sous pression de la ligne sont réalisées simultanément sans suivre les consignes, qu'aucun test d'étanchéité n'est prévu pour les vannes de la ligne H2 et qu'aucune consigne spécifique n'existe pour l'ouverture du trou d'homme en mode normal ou dégradé ainsi que pour le changement du joint. Le montage existant d'échantillonnage et d'introduction d'H2 favorise le risque de fuite sur les vannes en amont du réacteur et la présence de catalyseur dans le réacteur. Les conditions de séchage auraient augmenté le caractère pyrophorique du catalyseur. Des modifications sont envisagées pour les équipements d'hydrogénation (mise en place de capteurs de pression, de pare-flamme sur les événements des détendeurs...) et les procédures (analyse des risques, vérification des lignes H2, consignation ligne H2 avant ouverture du trou d'homme...).

     **ARIA 32817 - 29/11/2006 - 77 - GRANDPUITS-BAILLY-CARROIS**

24.1J - Fabrication de produits azotés et d'engrais

    Dans une usine chimique, une explosion et une fuite enflammée se produisent au niveau de la bride d'une soupape sur le turbocompresseur de l'atelier de fabrication d'ammoniac (NH3) en cours de redémarrage. Les détecteurs hydrogène et l'alarme incendie alertent la salle de contrôle qui met aussitôt l'atelier en sécurité. L'équipe d'intervention éteint rapidement le sinistre. Le POI n'est pas déclenché.

L'accident ne fait pas de victime, l'opérateur présent à proximité ayant pu fuir juste avant l'explosion, après avoir entendu le sifflement dû au rejet de gaz de synthèse composé à 70 % d'hydrogène (débit de 15 000 Nm³/h). Les conséquences matérielles concernent l'environnement direct du turbocompresseur : cablages électriques, bardages fondus, calorifuge de canalisations fortement endommagé... L'unité de fabrication d'ammoniac sera arrêtée pendant plus d'un mois.

Cinq jours avant l'accident, un problème lié au défaut d'absorption de CO2 au niveau de la colonne de décarbonatation de l'unité de production de NH3 alors en redémarrage conduit les opérateurs à ouvrir la mise à l'air en aval de la colonne avant le déclenchement de la sécurité de température haute. Cette mise à l'air trop importante (erreur opératoire), entraîne la chute de la pression d'aspiration du turbocompresseur de synthèse de NH3 et l'activation de l'arrêt d'urgence de l'atelier. La soupape sur la ligne entre le turbocompresseur et le réacteur de méthanisation est alors sollicitée sur pression haute et s'ouvre sans que les opérateurs ne le remarquent.

Les jours suivants, la production reprend mais un bilan des gaz de synthèse anormal conduit l'exploitant à mener de plus amples investigations et découvre que la soupape précédemment sollicitée n'est plus étanche : elle laisse s'échapper les gaz via une cheminée haute de 47 m. L'atelier est arrêté une nouvelle fois pour permettre le remplacement de la soupape incriminée.

L'unité redémarre une nouvelle fois. L'amorçage de la réaction de méthanation intervient à 22 h ; le turbocompresseur de synthèse démarre à 1h30 ; l'accident se produit à 3h14 sur la bride de la soupape nouvellement en place (diamètre 6" soit environ 150 mm).

L'accident serait dû à un sous-tarage de la soupape qui, sollicitée lors du démarrage, aurait "battu", entraînant des vibrations à l'origine du desserrage rapide des écrous de la bride. Par ailleurs, ceux-ci étaient vraisemblablement insuffisamment serrés. Le défaut de traçabilité des opérations de jointage (couple de serrage) est également mis en avant.

Au titre du retour d'expérience, la société en charge du retarage des soupapes devra faire l'objet d'un agrément par le service inspection de l'usine, les procédures de jointage sont améliorées, les cahiers des charges concernant le jointage et la révision des soupapes sont renforcés, un capteur de pression supplémentaire est mis en place...

     **ARIA 32897 - 11/04/2007 - 64 - ACCOUS**

27.4D - Première transformation de l'aluminium

    Une réaction chimique se produit sur l'un des 60 fûts de 200 l de déchets de pâte d'aluminium (mélange de white-spirit, poudre d'Al et acide gras) stockés sur 3 niveaux dans un bâtiment de 150 m² d'une entreprise de transformation d'aluminium. Le récipient est isolé et les secours publics sont alertés. La température du produit mesurée avec un thermomètre laser est de 83 °C. Une surveillance du fût et du local de stockage est mise en place. Une faible teneur d'eau dans le fût (1,44 %) aurait réagi avec l'aluminium provoquant un dégagement d'hydrogène.

     **ARIA 33030 - 25/05/2007 - 59 - DUNKERQUE**

23.2Z - Raffinage de pétrole

    Dans une raffinerie, une fuite enflammée d'hydrogène se produit à 11h45 sur l'unité DGO basse pression. Le pré-POI est déclenché, les moyens de secours sont mis en place et l'unité est mise en décompression. Aucune victime n'est à déplorer. L'exploitant informe l'inspection des installations classées. L'alerte est levée à 12h44 après maîtrise du sinistre et isolement de la fuite par l'équipe de secours interne. L'exploitant effectue une analyse de l'accident.

     **ARIA 33071 - 03/06/2007 - 76 - NOTRE-DAME-DE-GRAVENCHON**

23.2Z - Raffinage de pétrole

    Vers 17h10, une explosion suivie d'un incendie affecte une unité de désulfuration des gazoles d'une raffinerie. Le POI est déclenché, un périmètre de sécurité est mis en place autour de l'unité et une route départementale est momentanément coupée.

    Une équipe d'intervention maîtrise le feu principal en 50 min environ sans l'appui des moyens de secours externes présents à titre préventif. Le POI est levé à 22h35.

Cette unité était en phase d'arrêt pour le nettoyage programmé d'un aéroréfrigérant avec une mise en recirculation d'un gaz riche en H2. L'accident a pour origine la rupture franche d'une canalisation de 8" située en hauteur dans un rack et alimentée par un mélange hydrocarbures/hydrogène. Cette rupture est probablement due à une corrosion externe localisée au niveau du supportage de canalisation. A cet endroit en effet, un ruissellement d'eau venant des structures supérieures a permis une accumulation qui a déformé le calorifuge et constitué une cuvette.

L'accident a donné lieu à une explosion dont la surpression a été évaluée par l'exploitant à environ 60 mbar à 10m. La fuite étant alimentée, l'incendie a affecté d'autres canalisations ainsi que les soupapes en liaison avec le réseau torche, d'où la persistance de plusieurs foyers secondaires éteints vers 3h30. Les quantités relâchées sont estimées par l'exploitant à moins de 2 t d'hydrocarbures liquides et 50 kg d'hydrogène.

Aucune victime n'est à déplorer. Les conséquences économiques sont évaluées à 500 000 euros de dégâts matériels et 2 millions d'euros de perte de production.

Un arrêté préfectoral de mesures d'urgence demande à l'exploitant des investigations pour déterminer les causes de cette rupture franche et fixe les conditions de remise en service de l'unité impliquée.

  □ □ □ □ □ **ARIA 33330 - 01/06/2005 - 76 - GONFREVILLE-L'ORCHER**

 □ □ □ □ □ *23.2Z - Raffinage de pétrole*

 □ □ □ □ □ Les contrôles d'inspection effectués lors d'un grand arrêt du reformeur d'une raffinerie, utilisant notamment des contrôles par AUBT (Advance Ultrasonic Backscat-tering Technique) des tôles, des contrôles de soudure par TOFD (Time Of Flight Diffraction) et par magnétoscopie sur les calendres en acier faiblement allié à 0,5 % Mo, visent à la recherche d'attaque par hydrogène à chaud sur le train d'échange charge/effluent.

Les premiers contrôles AUBT réalisés à partir de l'extérieur mettent en évidence des dégradations. Ces constatations sont confirmées à l'ouverture des équipements par l'apparition des blisters (cloques) en pleine tôle et des fissurations au niveau des soudures longitudinales. L'exploitant prévoit la construction et le remplacement en urgence des équipements corrodés par 4 calendres en acier 1,25 % Cr.

La tenue des aciers 0,5 % Mo à l'attaque par hydrogène à chaud a été progressivement remise en cause depuis les années 1970. Elle est actuellement considérée comme similaire à celle des aciers carbone non alliés. Sur les unités anciennes, ces matériaux ont été choisis conformément aux courbes de Nelson en usage à l'époque de la construction mais ils sont potentiellement sensibles à l'attaque par hydrogène à chaud. Les équipements en 0,5 % Mo travaillant sous hydrogène doivent donc être identifiés et classés selon leur criticité, inspectés par AUBT et contrôle des soudures (TOFD, Magnétoscopie) pour rechercher des dégradations hydrogène et remplacés systématiquement pour les plus critiques en cas d'apparition de dégradations.

  □ □ □ □ □ **ARIA 33838 - 17/01/2006 - 69 - SAINT-FONS**

 □ □ □ □ □ *24.1G - Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base*

 □ □ □ □ □ Dans une usine chimique, un dégagement enflammé d'hydrogène se produit sur un bac coupe-feu associé un réacteur à tête cyclonique de l'atelier d'hydrogénation de l'adiponitrile destiné à la fabrication de l'hexaméthylènediamine (HMD).

 □ □ □ □ □ Au cours de l'arrêt du réacteur pour lessivage du catalyseur (nickel) et pour une raison inexpliquée, le niveau mesuré par un des capteurs (système plongeur) implantés dans le pot de soutirage du réacteur indique soudainement un niveau de 100 %, tandis que la mesure par gammagraphie reste stable. Cette brusque variation de mesure de niveau dans le pot entraîne l'ouverture complète de la vanne de régulation asservie à la mesure par plongeur et la vidange du pot de soutirage. Le niveau indiqué par la mesure par plongeur reste bloquée à 100 %, celle par gammagraphie descend à un niveau de remplissage de 12 % (décalage du zéro).

Cette vidange complète du pot de soutirage génère une aspiration d'hydrogène en provenance du dôme du réacteur par la ligne de dégazage associée au pot (ligne qui permet en fonctionnement normal le retour vers le sommet du réacteur d'une partie de l'hydrogène soutirée avec l'HMD et l'eau). L'augmentation de la consommation d'hydrogène induite (5 000 Nm³/h pendant 10 minutes) est détectée par l'exploitant de l'unité de fabrication d'hydrogène de la plate-forme qui alerte la salle de contrôle de l'atelier.

Les opérateurs n'actionnent alors pas l'arrêt coup-de-poing (qui aurait entraîné la fermeture de la vanne TOR totalement étanche contrairement à la vanne de régulation) mais passent la vanne de régulation en mode manuel et la ferment. C'est alors qu'ils entendent un bruit et constatent en sortant du bâtiment un dard enflammé d'hydrogène au niveau du bac coupe-feu associé au réacteur.

Les pompiers alertés n'auront pas à intervenir, le feu s'éteignant par arrêt de l'alimentation en hydrogène. Aucun blessé n'est à déplorer.

L'inspection des Installations Classées constate que l'installation fonctionnait depuis au moins 72 h (période d'enregistrement des données disponibles) avec un décalage entre les 2 mesures de niveau dans le pot de soutirage de plus de 10 %. Par ailleurs, sachant que le système de sécurité n'est actionné que lorsque la mesure par gammagraphie indique un niveau dans le pot inférieur ou égal à 10 % et que le décalage du zéro de la mesure était supérieur à cette valeur seuil, l'installation fonctionnait avec un système de sécurité inopérant.

Un même départ de feu sur un bac coupe-feu sur un autre site de l'exploitant avait conduit à remplacer le bac ouvert par un bac fermé. Cette solution n'avait pas été retenue sur le site à l'époque car l'exploitant préférait développer la mise en place de barrière en amont du dysfonctionnement plutôt qu'en aval. L'inspection signale que les démarches de développement de barrières pour limiter l'occurrence des accidents et celles pour limiter leur gravité ne sont pas incompatibles mais complémentaires.

  □ □ □ □ □ **ARIA 33966 - 01/09/2005 - ITALIE - BUSULLA**

 □ □ □ □ □ *23.2Z - Raffinage de pétrole*

 □ □ □ □ □ Dans une raffinerie, une fuite enflammée se produit dans l'unité de désulfuration des fiouls lourds, formant un jet descendant de 6 m de long, à 18 m du sol. Le plan d'intervention interne du site est activé et les secours externes alertés. Une canalisation de 3" d'hydrogène (H₂) se rompt sous l'effet du flux thermique 7 min plus tard ; l'hydrogène ainsi libéré alimente l'incendie. Une canalisation de 8" d'hydrocarbures se rompt à nouveau 30 min après le début de l'incendie. Ce dernier est maintenu sous contrôle jusqu'à la complète combustion des carburants après que l'alimentation de ceux-ci ait été interrompue. Le feu est ainsi éteint après 3h40 d'intervention.

Le bilan de l'accident ne fait état d'aucune conséquence humaine, aucun impact sur l'environnement n'est relevé. Les

dommages matériels sont importants, ils sont estimés à 5 MEuros pour les dommages aux structures et à 7,6 MEuros pour les coûts de reconstruction et les mesures de réhabilitation.

La rupture d'un piquage de mesure de pression sur un réacteur serait à l'origine du rejet du mélange H2 / hydrocarbures qui s'est rapidement enflammé.

Au titre du retour d'expérience, l'unité sera reconstruite en veillant à mieux séparer les unités de traitement des fiouls lourds et des fiouls légers pour éviter les effets dominos, en rationalisant l'ensemble des canalisations pour minimiser les contigüités et réduire les piquages...

Accidentologie

(Edité le 24/12/2019)

Source : www.aria.developpement-durable.gouv.fr

Nombre d'événements : 30

Nombre d'événements retenus : 13

Critères :

Mot clé : Hydrogène

Activité(s) : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Pays :

Type d'accident(s) :

Type d'événement(s) :

Mention(s) CLP :

Dates :

N° ARIA : 33988

Survenu le : 11/12/2007

Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : JARRIE

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Départ de feu sur une cellule d'électrolyse

Dans une usine chimique, un départ de feu se produit sur un pot perleur d'une cellule d'électrolyse de l'atelier chlore-soude. Cet équipement permet par perlage de la soude de rompre la charge électrique entre la cellule d'électrolyse et le reste de l'installation. Alertés par la détection incendie de l'atelier, les opérateurs éteignent le feu à l'aide d'extincteurs CO2. La présence d'hydrogène au niveau du pot perleur est à l'origine de l'incendie ; la différence de potentiel électrique aurait provoqué son inflammation. Une enquête est effectuée pour déterminer les causes et circonstances précises de l'accident.

N° ARIA : 35501

Survenu le : 12/08/2008

Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : JARRIE

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Fuite d'hydrogène dans une usine chimique.

Une fuite d'hydrogène s'enflamme à 15h45 sur un analyseur de l'atelier de fabrication de chlorate de sodium d'une usine chimique. Le POI est déclenché et les équipes internes de sécurité interviennent. Le personnel de l'unité isole la fuite. Cet incident n'a causé aucun dommage corporel ni matériel et n'a pas eu de conséquence notable sur l'environnement. La fuite ayant été très rapidement isolée, la quantité d'hydrogène émise est négligeable. L'exploitant diffuse un communiqué de presse.

N° ARIA : 38488

Survenu le : 18/06/2010

Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : JARRIE

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 1 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Explosion d'hydrogène lors de travaux dans une salle d'électrolyse

Dans une usine chimique, une unité de production de chlorate de sodium redémarre en milieu de matinée, après une phase d'arrêt pour maintenance. Les cellules d'électrolyse à mercure sont sous balayage d'azote depuis le début de l'arrêt afin d'éviter la présence d'oxygène (prévention du risque d'explosion du mélange oxygène, hydrogène). A 12h20, la détection d'une nouvelle fuite d'hydrogène sur le piquage d'un collecteur de cellule qui vient d'être réparé entraîne l'arrêt du balayage, pour permettre à la maintenance d'intervenir en sécurité (risque d'anoxie). A 14h40, une forte explosion se produit dans la salle d'électrolyse. Le POI est déclenché et les deux opérateurs présents dans l'unité sont évacués ; légèrement blessés aux oreilles, ils seront arrêtés 5 jours. Dix minutes après, l'exploitant constate que les cellules d'électrolyse sont toujours sous tension alors que la procédure de mise à l'arrêt de l'unité prévoit la coupure de leur alimentation électrique. Il met alors l'unité en sécurité et vidange les installations, puis avertit les autorités. Des dégâts matériels sont relevés dans la salle d'électrolyse : tapis des cellules, disques de rupture des collecteurs, destruction des plaques en fibrociment de la toiture et des bardages dont certaines sont projetées quelques mètres plus loin, canalisations endommagées. L'enquête interne montre que les potentiomètres des cellules d'électrolyse affichaient une intensité nulle lors de l'arrêt à 8h05, ce qui a conduit l'opérateur de quart à ne pas couper leurs alimentations. Lors du redémarrage de l'unité vers 10 h, l'arrivée de liqueur dans les cellules toujours sous tension a provoqué la production d'hydrogène et d'oxygène. Quand le balayage à l'azote des cellules a été arrêté à 12h20 pour les travaux de maintenance, ces deux gaz se sont alors accumulés et mélangés au delà de leur limite inférieure d'explosivité. Une source de chaleur non identifiée a ensuite allumé le mélange explosible et créé la déflagration au sein d'une des cellules. Un plan de retrait amiante est mis en place pour éliminer les plaques en fibrociment du bâtiment accidenté et des bâtiments voisins (5 500 m²), ainsi que les débris de fibrociment projetés autour du bâtiment.

N° ARIA : 39104

Survenu le : 14/10/2010

Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : LE PONT-DE-CLAIX

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 1 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Début d'incendie dans une usine chimique.

Un isolant thermique s'enflamme vers 10 h lors d'une opération de maintenance sur l'unité de production d'hydrogène (H₂) et de monoxyde de carbone (CO) d'une plate-forme chimique spécialisée dans la production de chlore et d'isocyanate. Le personnel alerte les équipes de sécurité de la plate-forme qui éteignent le feu en quelques minutes et prennent en charge un employé incommodé. Les mesures de sécurité sont levées à 10h45. Aucun impact sur l'environnement n'est relevé selon l'exploitant qui publie un communiqué de presse et informe les autorités.

N° ARIA : 40267

Survenu le : 02/05/2011

Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : JARRIE

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Fuite enflammée d'hydrogène dans une usine chimique

A 14h45, 2 employés réalisent des travaux sur une tuyauterie d'hydrogène (H₂) dans l'atelier de production de chlorate d'une usine chimique quand une fuite enflammée d'H₂ se produit. L'exploitant déclenche le POI et arrête l'atelier pendant que l'équipe d'exploitation maîtrise la fuite en quelques minutes. Il diffuse un communiqué de presse. Il n'y a ni victime, ni dommage sur l'environnement.

N° ARIA : 41599

Survenu le : 25/06/2011

Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : JARRIE

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Fuite enflammée d'hydrogène sur un site chimique

Une fuite enflammée d'hydrogène (H2) a lieu à 12h20 sur une cellule de l'atelier chlorate de sodium d'une usine de produits chlorés. L'exploitant déclenche son plan d'opération interne (POI) et les pompiers internes maîtrisent le départ de feu en 10 min. Il n'y a ni victime, ni dommage à l'environnement. L'exploitant informe les communes voisines, les services de secours publics et envoie un communiqué de presse.

N° ARIA : 43523

Survenu le : 21/11/2012

Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : JARRIE

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Départ de feu dans une usine chimique

De l'hydrogène (H2) s'enflamme vers 15h20 au niveau d'une cellule électrochimique d'une usine de chlorochimie classée Seveso. L'atelier est en phase d'arrêt lors de l'incident. Le personnel de l'unité, présent sur place, déclenche l'alerte incendie, met les installations en sécurité. A l'arrivée des pompiers internes, l'incendie est éteint et l'alerte est levée au bout de 10 minutes. L'exploitant diffuse un communiqué de presse et informe l'inspection des IC, ainsi que les collectivités locales. Une variation de la pression des cellules a été provoquée par la mise en sécurité d'un bac suite au dysfonctionnement d'une mesure de niveau de ce bac. Cette variation a occasionné, sur une seule cellule, le déchirement du tapis souple en PTFE dont le rôle est de protéger la cellule des à-coups de pression. Ce déchirement a entraîné la libération d'une faible quantité d'hydrogène qui s'est spontanément enflammée. Les autres tapis n'ont pas souffert, laissant soupçonner une faiblesse structurelle du tapis accidenté. Ces tapis font l'objet d'un suivi régulier par l'exploitant, mais des modifications sont apportées par l'exploitant sur l'emballage afin d'assurer leur intégrité pendant le transport.

N° ARIA : 44133

Survenu le : 29/07/2013

Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : LE PONT-DE-CLAIX

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 2

Feu de cheminée lors d'un orage sur une usine chimique

Lors d'un violent orage nocturne dans une usine chimique classée Seveso et malgré l'injection de vapeur et d'azote prévue pour éviter ce type d'accident, un feu se déclenche vers 2h45 en tête de la cheminée évacuant tout l'hydrogène (H2, gaz facilement inflammable) produit lors du redémarrage des cellules d'électrolyse du chlore. Le POI est déclenché et vers 3h10 les pompiers internes refroidissent la cheminée pendant que les opérateurs arrêtent les cellules d'électrolyse pour couper l'alimentation en H2 du foyer. Le redémarrage des cellules d'électrolyse fait suite à une coupure du réseau électrique de l'unité à 1h20 au début de l'activité orageuse. Le foyer est éteint à 4h57, le POI levé à 5h05 et l'unité d'électrolyse redémarre à 5h10. L'énergie d'inflammation du mélange d'air et d'H2 est très faible et un impact de la foudre sur la cheminée suffit à l'allumer. L'injection de vapeur et d'azote permet de diluer le flux d'H2 et d'augmenter l'énergie d'inflammation, sans pour autant garantir l'absence de risque d'inflammation. Le même accident 5 ans plus tôt avait conduit à : installer un « velocity seal » dans la cheminée pour empêcher un retour de flamme dans l'unité en cas de dépression, réduire le diamètre de tête de la cheminée pour augmenter la vitesse du flux, rehausser la 2ème cheminée pour limiter les flux thermiques possibles sur la colonne de refroidissement du chlore adjacente.

N° ARIA : 49539

Survenu le : 14/01/2017

Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : LE PONT-DE-CLAIX

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Feu sur garde hydrogène dans une plate-forme chimique

Vers minuit, un feu se déclare sur la garde hydrogène de cellules d'électrolyse d'une usine chimique. C'est l'alarme niveau bas qui alerte les opérateurs. L'un d'entre eux effectue une tournée et constate le feu. L'arrêt d'urgence est déclenché et le feu est éteint à l'aide d'extincteurs et de serpillère humide pour refroidir le chapeau de la cellule.

Le feu provient d'une fuite d'hydrogène (H2) dans la garde hydrogène de la cellule et d'une source d'amorçage non identifiée. La fuite d'hydrogène provient d'un manque d'eau dans la garde du fait de l'absence de remplissage des gardes par les opérateurs et d'une chasse de la garde hydrogène. La chasse de la garde hydrogène est provoquée par la montée en pression du réseau d'H2 du fait du déclenchement du brûleur chlore. Celui-ci a détecté une baisse de pression d'hydrogène sûrement dû à des pertes de charges du fait de bouchages liés au gel. Par ailleurs, les opérateurs n'ont pas effectué de remplissage de la garde en raison de l'arrêt imminent de l'électrolyse. Ils étaient par ailleurs occupés à la gestion de fumerolles sur plusieurs cellules. Aucune consigne claire ne permettait de prioriser la vérification du niveau dans les gardes hydrogènes. L'exploitant prévoit de rédiger ce type de consigne et de fiabiliser le réseau hydrogène/brûleur chlore.

N° ARIA : 49915

Survenu le : 15/06/2017

Pays : FRANCE / Département : 13 / Commune : MARTIGUES

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu d'hydrogène dans une usine chimique

Un feu d'hydrogène se déclare au niveau de la cuve d'attaque acide de l'atelier de fabrication du chlorure ferrique d'une usine chimique. Le POI est déclenché à 23h40. A 23h53, l'incendie est en phase de régression. Vers 0h50, une légère fuite résiduelle subsiste, l'incendie est éteint. L'unité de chlorure ferrique est à l'arrêt. Le POI est levé à 0h45. A 1h25, la fuite est résorbée.

Dans cette cuve est réalisée la réaction d'attaque de la ferraille par de l'acide chlorhydrique en solution. Celle-ci produit du chlorure ferreux et de l'hydrogène. L'hydrogène généré est balayé grâce à un ventilateur d'air de soufflage largement dimensionné pour maintenir le ciel gazeux de la cuve en dessous de la LIE.

Le départ de feu serait lié à une concentration en hydrogène supérieure à la LIE. L'incendie aurait été entretenu par les matériaux plastiques des équipements et tuyauteries environnantes ainsi que par l'huile des vérins d'ouverture du toit de la cuve d'attaque.

N° ARIA : 52619

Survenu le : 01/01/2018

Pays : BRESIL / Département : 0 / Commune : NC

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Jet enflammé d'hydrogène dans une unité de production de solvants

Lors d'une ronde dans une unité de production de solvants, un opérateur de nuit détecte un jet enflammé d'hydrogène dans le caniveau de l'unité. L'équipe d'intervention d'urgence de l'unité maîtrise l'incendie en quelques minutes. Les opérateurs stoppent le flux d'hydrogène en fermant une vanne. Le réseau d'hydrogène est purgé à l'azote.

L'unité comporte 3 réacteurs dont un seul était en fonctionnement au moment de l'incident. Les effluents gazeux, principalement constitué d'hydrogène, de chacun des réacteurs sont collectés via un réseau d'évents et évacués vers l'atmosphère via un jeu de soupapes hydrauliques.

Le jour de l'incident, une section de l'atelier avait été entièrement vidée pour maintenance et inspection.

L'hydrogène sortant du réacteur en fonctionnement a traversé cette section qui présentait moins d'obstacles (tous les équipements avaient été purgés et des vannes étaient restées ouvertes) que le jeu de soupapes hydrauliques du réseau d'évents. En sortie de la section, l'hydrogène s'est échappé à l'atmosphère par le caniveau qui n'était pas exempt d'impuretés. L'hydrogène (énergie minimale d'inflammation : 0,017 mJ) a entraîné des particules solides et, sous l'effet de leur frottement contre les parois des conduites, une décharge électrostatique s'est produite et a enflammé l'hydrogène. De plus, le caniveau avait été vidangé la veille, les particules solides transportées par l'hydrogène n'ont pas pu être éliminées par l'eau.

L'analyse de risque ne prévoyait pas un retour de l'hydrogène dans une section par le réseau d'évents. A la suite de cet accident, l'UIC (union des industries chimiques) préconise :

quand plusieurs sections sont reliées à des équipements communs, d'identifier toutes les déviations, et leurs conséquences, pouvant se produire de chaque côté de l'élément en commun. En particulier, il est nécessaire d'étudier la situation où les conditions de fonctionnement sont stables d'un côté, et de l'autre côté, les conditions de fonctionnement sont transitoires, comme l'arrêt et le démarrage d'équipements ; lorsqu'un scénario d'incident de ce type est identifié, de modifier les consignes opératoires de l'unité afin d'inclure l'opération de fermeture des vannes correspondantes.

N° ARIA : 3536

Survenu le : 22/04/1992

Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : JARRIE

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 2 / Environnementale : 1 / Economique : 5 / Matérielle : 1

Explosion / incendie sur une unité H2O2.

Une explosion perçue à des dizaines de km et un incendie détruisent 1 000 des 4 000 m² d'une unité d'eau oxygénée (H₂O₂) proche de réservoirs d'hydrogène et de chlore. Le feu se propage dans les égouts et une odeur nauséabonde se dégage. Un périmètre de sécurité est mis en place. Un employé est tué et 2 autres sont blessés, les dommages matériels sont évalués à 483 MF et, s'échappant d'une rétention d'un volume insuffisant, 1 000 m³ d'eaux d'extinction contenant un solvant polluent le DRAC. L'accident résulte de la défaillance d'une carte d'alimentation électrique dans l'une des armoires du système de conduite (SNCC) de l'unité. Plusieurs éléments aggravent ensuite la situation : difficultés d'analyse de la situation, intervention humaine malheureuse sur l'automate, automatisation partielle de l'arrêt d'urgence de l'unité, dispositifs de commande / sécurité non-indépendants agissant sur les mêmes organes, contrôle insuffisant du bon déroulement de la mise en sécurité des installations couplé à plusieurs opérations manuelles non réalisées par les opérateurs pour conforter l'arrêt de l'unité, absence de consigne spécifique pour la mise en sécurité des installations et manque de clarté des consignes et procédures existantes... En raison du défaut d'étanchéité des dispositifs de sectionnement en place (clapets au refoulement des pompes, vannes de régulation automatiques), des retours d'eau oxygénée de la colonne d'extraction vers l'oxydeur ont permis un enrichissement progressif de la masse réactionnelle en agents métalliques puissants déstabilisants de H₂O₂ dont la décomposition exothermique s'est amorcée, puis accélérée. L'oxygène formé a provoqué la montée en pression des installations et l'éclatement d'une tuyauterie de liaison dépourvue de soupape ou autre dispositif équivalent. La masse réactionnelle qui se vide partiellement des appareils de production, s'enflamme sur un point chaud. Un défaut d'organisation en matière de formation en sécurité motivera les poursuites engagées 3 ans plus tard à l'encontre de plusieurs responsables de l'usine. De nombreuses améliorations techniques et organisationnelles sont prises après ce sinistre : installation d'organes de sectionnement étanches, protection des tronçons de canalisations susceptibles de monter en pression lors d'une décomposition d'H₂O₂, amélioration du système de contrôle / commande (système de sécurité assurant l'arrêt d'urgence indépendant du système de conduite, nouvelle salle de contrôle, amélioration du confort et de l'ergonomie des postes de travail...), augmentation des capacités de rétention des installations et protection des égouts, redéfinition des missions des intervenants et amélioration de leur information / formation, rédaction de consignes de sécurité adaptées, réalisation d'études de dangers pour la fabrication, le transfert et le stockage d'H₂O₂...

N° ARIA : 50785

Survenu le : 03/12/2017

Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : LE PONT-DE-CLAIX

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Explosion hydrogène chlore dans un brûleur d'une usine chimique

Un dimanche à 17h30, une explosion se produit au niveau d'un brûleur d'une unité de fabrication d'acide chlorhydrique sur un site chimique. L'unité de production est immédiatement mise à l'arrêt et l'alerte gaz est déclenchée. Seuls des dégâts matériels liés à l'éclatement de la tuyauterie sont à déplorer. L'explosion est due à la génération d'un mélange explosif d'hydrogène et de chlore "non réagi" dans le brûleur. La source d'ignition pourrait-être de l'électricité statique ou le rayonnement solaire. L'installation fonctionne sur la base du calcul d'un ratio hydrogène et de chlore. L'installation était en fonctionnement depuis la veille de l'accident. Le débit d'hydrogène chute progressivement pendant la nuit. Le matin, à 9 h, une baisse importante du débit d'alimentation en hydrogène déclenche l'arrêt du brûleur. Un bouchon de glace lié à la présence d'eau de condensation dans la ligne et/ou l'obstruction du pare-flamme pourraient en être l'origine. Les opérateurs de maintenance sont appelés pour purger le pare-flamme du brûleur d'H₂/Cl₂. Des purges du débitmètre sont également réalisées entre chaque tentative de redémarrage car ses valeurs varient. A 17 h, le brûleur redémarre. Des pics d'H₂ sont observés comme si des débouchages de ligne avaient lieu. A 17h23, une forte augmentation de la valeur en H₂ entraîne la fermeture partielle de la vanne d'alimentation d'H₂ par le lecteur. Cette diminution d'H₂ aurait créé les conditions pour que du chlore "non réagi" soit présent dans le brûleur, créant un mélange explosif au retour d'excès d'H₂ ou au contact d'une poche d'hydrogène. L'exploitant fiabilise son réseau d'alimentation en hydrogène en limitant la condensation dans sa ligne notamment par du calorifugeage et ses débitmètres d'H₂. Les études de sécurité des 2 brûleurs de l'installation sont révisées avec le fournisseur de l'équipement. Le seuil de sécurité du ratio hydrogène/chlore est augmenté.

3. RETOUR D'EXPERIENCE ET SCENARIOS D'ACCIDENTS POSSIBLES

Cette partie est consacrée à l'analyse des risques des différents procédés d'électrolyse et de stockage d'hydrogène commercialisés. Cette évaluation des risques est, par nature, générique et fournit donc une liste de scénarios ou de situations de dangers qui devra être adaptée au cas par cas pour chaque installation afin de définir de façon précise les mesures de maîtrise des risques à mettre en place.

3.1 IDENTIFICATION DES RISQUES

3.1.1 ANALYSE DE L'ACCIDENTOLOGIE

Les étapes de procédé considérées sont :

- la production d'hydrogène par électrolyse alcaline ou PEM ou SOEC,
- la compression et échangeur d'hydrogène en sortie d'électrolyseur,
- le transfert d'hydrogène comprimé dans les tuyauteries,
- le stockage d'hydrogène sous pression ou sous forme d'hydrures.

Nous n'avons pas identifié à l'échelle internationale ou nationale de base de données recensant l'accidentologie relative à l'hydrogène énergie de façon exclusive et exhaustive. Afin de réaliser les analyses de risques, l'INERIS a utilisé les données publiquement accessibles dans les bases des données suivantes :

- Hydrogen Lessons Learned : base de données opérée par le U.S. Department of Energy. Site web : <http://h2tools.org/lessons/> ;
- The Hydrogen Incident and Accident Database (HIAD) ; base de données supportée par le Joint Research Centre Institute for Energy and Transport. Site web : <https://odin.jrc.ec.europa.eu/engineering-databases.jsp> ;
- ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) ; base de données supportée par la Direction Générale de la Prévention des Risques du Ministère du développement durable. Site web : <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/rechercher-un-accident/> ;
- le projet **BASHYC** (Base de connaissance sur l'accidentologie Hydrogène) : il s'agit d'une étude réalisée pour le compte de l'ADEME par ALPHEA Hydrogène.

Ce retour d'expérience a été complété par des données issues d'un questionnaire posé directement aux fournisseurs et/ou fabricants d'installation (cf. présentation de l'étude dans la partie 1.1 du présent rapport).

Une analyse des retours d'expérience sur l'accidentologie des installations industrielles manipulant ces technologies a été effectuée. Un tableau récapitulatif des accidents identifiés et utilisés pour cette analyse des retours d'expérience est disponible en annexe 1 de ce document.

L'industrie de l'hydrogène étant principalement liée à la production de gaz de synthèse pour la production de l'ammoniac et du chlore, les retours d'expérience disponibles et applicables à l'hydrogène pur (donc l'hydrogène énergie) sont peu nombreux. Au total, 32 accidents ont été identifiés comme applicables aux cas d'études et reportés dans le tableau récapitulatif. Malgré le faible nombre de retours d'expérience exploitables, il est possible de tirer des premières conclusions et enseignements pour chacune des étapes mises en œuvre dans les cas d'étude.

3.1.1.1 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LA PRODUCTION D'HYDROGENE PAR ELECTROLYSE DE L'EAU

Cinq retours d'expériences ont été recensés concernant les électrolyseurs dont quatre concernent la technologie alcaline. Quatre ont été fournis par les fabricants et un provient des bases de données.

3.1.1.1.1 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES ELECTROLYSEURS ALCALINS

Les principaux phénomènes dangereux rencontrés sont : le rejet de matière dangereuse (inflammable ou toxique), les incendies et les explosions.

Au niveau des électrolyseurs, l'élément du procédé le plus sensible est la membrane du stack (4 incidents sur 5 enregistrés) qui présente le risque principal d'explosion suite à un mélange hydrogène / oxygène par rupture ou perte d'étanchéité de celle-ci.

Les causes principalement identifiées sont :

- des défauts de matériels tels que la défaillance des systèmes de mesures (pression, analyseur O2...) ou un défaut d'étanchéité au niveau de la membrane ou des problèmes de corrosion (présence de produit corrosif KOH) ou fragilisation ;
- la perte de maîtrise du procédé liée par exemple à l'obstruction des tuyauteries d'alimentation qui conduit à un faible niveau d'électrolyte et à un fort taux d'oxygène dans le réservoir d'hydrogène.

3.1.1.1.2 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES ELECTROLYSEURS PEM

Les électrolyseurs PEM ont été mis récemment sur le marché et peu, voire pas d'incident sont actuellement recensés sur ce type de technologie.

Des problématiques sont apparues concernant :

- les électrolyseurs ayant des puissances élevées,

Les fabricants ont relevé des difficultés spécifiques aux électrolyseurs ayant des puissances élevées (notamment pour le développement d'installations pilotes de l'ordre du mégawatt) couplés avec des énergies renouvelables avec notamment une durée de vie des membranes faible et l'apparition de fuite au niveau des stacks.

- les électrolyseurs ayant des pressions élevées.

Une étude⁴⁶ a été menée par l'Institut Kurchatov, CETH et le CNRS sur les risques liés à la production d'hydrogène par électrolyse PEM à haute pression. Au delà des risques dus à l'opération d'un système à haute pression jusqu'à 130 bar, un risque générique à l'électrolyse PEM a été identifié. Il s'agit de la perméation croisée d'oxygène et d'hydrogène à travers la membrane PEM, pouvant conduire à la présence d'oxygène dans la section hydrogène de l'électrolyseur ou à l'inverse, à la présence d'hydrogène dans la section oxygène de l'électrolyseur.

Pour maîtriser ces risques, plusieurs solutions peuvent être apportées :

- le développement de membranes moins favorables à ce phénomène de perméation inverse, soit par une plus grande épaisseur, soit par l'utilisation d'autres matériaux tels que des composites dont la résistance à la perméation inverse sera augmentée ;
- la mise en place d'une maintenance accrue au niveau des membranes⁴⁷ ;
- l'utilisation de recombineurs catalytiques pour contrôler la concentration d'oxygène et d'hydrogène dans chacune des deux sections de l'électrolyseur.

3.1.1.1.3 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES ELECTROLYSEURS SOEC

Du fait de l'évolution technologique récente des électrolyseurs SOEC et l'absence d'installations industrielles, aucun retour d'expérience n'a été identifié dans les bases de données d'accidentologie.

Dans la littérature, un point faible du SOEC qui ressort dans les études est la dégradation des stacks. La cause de cette dégradation est l'augmentation de la résistance avec le temps qui provient de la dégradation des interfaces et de la « déstabilisation » du matériel (couches successives électrolyte, électrode,...). Des travaux de recherche sont effectués pour développer des matériaux dans le but d'améliorer leur stabilité.⁴⁸

Les fabricants ont également mentionné les précautions à prendre au niveau de l'alimentation en vapeur afin notamment de s'assurer que l'eau est déminéralisée pour éviter la formation de dépôt.

Au niveau du stack, il ressort qu'une attention doit être portée :

- aux différentiels de température,
- aux débits de gaz d'alimentation,
- à l'étanchéité entre les deux compartiments.

⁴⁶ *High-pressure PEM water electrolysis and corresponding safety issues*, 2010, Grigoriev et al, International Journal of Hydrogen Energy, volume 36, pages 2721-2728

⁴⁷ *Five considerations for large-scale hydrogen electrolyzer development*, by M Schillet and Everett Anderson- Protononsite- Issue 1/2014- Gas to Energy p.44-47

⁴⁸ RelHy final Report ;

Source : https://setis.ec.europa.eu/energyresearch/sites/default/files/project/docs/RelHy%20final%20report_1.pdf

3.1.1.2 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES INSTALLATIONS AUTOUR DES ELECTROLYSEURS

3.1.1.2.1 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LA COMPRESSION DE L'HYDROGENE

Pour la compression, il a été choisi de se concentrer sur l'accidentologie de la compression de l'hydrogène en ne se focalisant pas uniquement sur les installations d'électrolyse.

Six accidents ont été identifiés sur la compression d'hydrogène. Parmi ces accidents, deux sont dus à une infiltration d'air dans le compresseur, trois sont dus à une fuite d'hydrogène vers l'air ambiant et un n'a pas de cause identifiée.

L'infiltration d'air dans le compresseur a lieu à l'aspiration. Dans l'un des deux cas la raison est non identifiée, dans l'autre cas la raison est une succession d'évènements avec à l'origine la fonte d'un fusible due à des travaux sur le réseau électrique. L'infiltration d'air a mené à une explosion dans les deux cas.

Les fuites d'hydrogène vers le milieu ambiant sont dues à une défaillance matérielle (bride ou clapet anti-retour) dans les deux cas. La cause du troisième cas de fuite est non identifiée.

3.1.1.2.2 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE TRANSFERT D'HYDROGENE

Douze accidents ont été identifiés sur le transfert d'hydrogène en tuyauterie. Ils ont tous conduit à la libération d'hydrogène dans l'environnement.

Parmi ces accidents, un seul est dû à de la corrosion. En revanche cet accident a eu des conséquences majeures car la canalisation était enterrée et l'hydrogène libéré s'est accumulé jusqu'à produire une explosion.

Les autres accidents identifiés ont pour origine une défaillance matérielle ou humaine. Les défaillances matérielles en cause peuvent être localisées sur le métal de la canalisation (fissure voire rupture de la canalisation) ou sur un élément d'assemblage de la tuyauterie (rupture d'un joint ou d'une bride). Les défaillances humaines sont dues à des erreurs d'opération ou de maintenance avec une mauvaise application des procédures de sécurité ou une erreur de choix de matériel lors de la conception de l'installation.

3.1.1.2.3 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES ECHANGEURS

Huit accidents ont été identifiés sur les échangeurs. Ils sont tous liés à la libération de gaz dans l'environnement ambiant.

Parmi ces accidents, les défaillances humaines ressortent avec 50% des accidents recensés. Il s'agit d'erreurs d'assemblage qui entraînent des fuites de gaz lors du démarrage de l'installation. Les phases de montage et démontage sont ainsi des phases qu'il est important d'encadrer avec des procédures et la formation du personnel de maintenance.

Les autres accidents identifiés sont liés à des défaillances techniques dues à l'attaque de l'hydrogène à haute température, la corrosion ou à un choix de matériaux inadaptés.

3.1.1.3 RETOURS D'EXPERIENCE SUR LE STOCKAGE D'HYDROGENE

3.1.1.3.1 STOCKAGE EN RESERVOIR SOUS PRESSION GAZ

Huit accidents ont été identifiés sur le stockage d'hydrogène sous pression dont six dûs à une fuite d'hydrogène vers l'air ambiant, un dû à un mélange d'hydrogène et d'oxygène dans le système et un dû à une surpression dans le système.

Les accidents liés à une fuite d'hydrogène vers l'air ambiant ont pour origine des causes variées et non spécifiques à la problématique du stockage. Il s'agit de la corrosion des métaux, la rupture mécanique de parois par fatigue, une défaillance humaine ou matérielle, ou encore la foudre.

Il est probable que la plupart des accidents identifiés aurait pu être prévenue par l'application de procédures plus strictes en matière de révision des équipements et de consignes de sécurité aux opérateurs.

3.1.1.3.2 STOCKAGE SOUS FORME D'HYDRURES

Dans la littérature et les différentes bases de données, aucun accident n'a été identifié sur une installation comprenant un stockage d'hydrogène sous forme d'hydrures. Cependant un accident avec l'explosion et le feu lors de la production des galettes d'hydrures a été identifié. Le potentiel de danger est lié à la pyrophoricité des hydrures pulvérulents quand ils rentrent en contact avec l'air.

Sur site, les fabricants ont signalé 2 fuites au niveau des réservoirs d'hydrure sans conséquence matérielle et humaine. Les incidents sont dûs à un défaut d'étanchéité au niveau du manomètre de la bouteille et une utilisation inadaptée de l'utilisateur. Ces incidents pourraient être prévenus en formant le personnel et en vérifiant l'étanchéité avant utilisation.

3.1.1.4 SYNTHESE DES ENSEIGNEMENTS DE L'ACCIDENTOLOGIE

Le retour d'expériences sur les électrolyseurs a permis d'identifier les parties de l'installation à surveiller telles que l'alimentation des électrolyseurs, le séparateur et la membrane des stacks. Au niveau de l'électrolyseur SOEC, la littérature a souligné également que la dégradation des stacks pourrait être problématique.

Selon les données disponibles, la corrosion, la fatigue mécanique et la défaillance de pièces isolées sont régulièrement responsables d'accidents. Ces phénomènes peuvent être anticipés et maîtrisés par des standards de design et par des procédures plus strictes de maintenance préventive des équipements.

Actuellement, les installations d'électrolyse et stockage sont placées de plus en plus près de personnel qui n'est pas habitué à manipuler des installations de gaz. Les fabricants ont relevé des incidents tel que des micro-fuites sur des réservoirs d'hydrures ou le déclenchement intempestif d'alarmes au niveau de compresseur qui sont liés à la méconnaissance et l'utilisation erronée du matériel. Ces phénomènes sont actuellement maîtrisés par :

- une sensibilisation, information et formation accrue des utilisateurs ;
- une maintenance et un suivi augmentés après le démarrage de l'installation.

Au niveau de la maintenance, les défauts de montage sont également des points à surveiller principalement lors d'opérations de maintenance et de redémarrage d'installations. Les interventions doivent ainsi être anticipées par la rédaction de procédure détaillée et la formation au préalable du personnel de maintenance.

3.1.2 EVENEMENTS REDOUTES IDENTIFIES

Des analyses de risques ont été réalisées par l'INERIS :

- avec l'ADEME et les industriels français concernant des électrolyseurs alcalins et PEM et les différents types de stockage ;
- dans le projet ANR DEMETER concernant les électrolyseurs SOEC.

Trois grands types d'événements redoutés se dégagent de ces analyses de risques :

- la perte de confinement ;
- les mélanges d'hydrogène/oxygène ou hydrogène/ air dans l'électrolyseur ;
- la réaction des hydrures avec l'air ou l'humidité.

3.1.2.1 PERTE DE CONFINEMENT

La perte de confinement peut être due :

- à la corrosion ou fragilisation d'origine aux gaz ou attaque des hydroxydes de potassium ou sodium ;
- aux contraintes de température et pression exercées sur les matériaux ;
- à des erreurs de montages ;
- à des agressions mécaniques ou thermiques (effet domino) ;
- à des vibrations, fatigue et vieillissement ;
- au choix de matériaux inadaptés (par exemple la fragilisation par l'hydrogène).

La corrosion ou la fragilisation ou l'attaque des métaux et les défauts de montage sont une des principales causes de perte de confinement sur les installations contenant de l'hydrogène. C'est pourquoi il est utile de rappeler les propriétés des produits présents.

Les fuites sont facilitées par la taille de la molécule d'hydrogène. La corrosion et la fragilisation sont aussi liées aux propriétés de perméation de l'hydrogène dans certains matériaux et la réaction avec ceux-ci conduit à leur fragilisation.

Enfin, les hydroxydes employés dans les électrolytes alcalins sont aussi corrosifs et attaquent certains métaux (par exemple l'aluminium, le zinc, l'étain, le plomb).

3.1.2.2 MELANGES HYDROGENE /AIR

Les principales causes d'infiltration d'air dans les équipements contenant de l'hydrogène sont :

- l'introduction d'air dans des volumes remplis d'hydrogène après une opération de maintenance et l'oubli d'inertage lors du démarrage de l'installation ;
- l'infiltration d'air à l'aspiration du compresseur par défaut d'alimentation en hydrogène.

Accidentologie

(Edité le 18/07/2019)

Source : www.aria.developpement-durable.gouv.fr

Nombre d'événements : 145

Nombre d'événements retenus : 107

Critères :

Mot clé : transformateur électrique

Activité(s) :

Pays :

Type d'accident(s) :

Type d'événement(s) :

Mention(s) CLP :

Dates :

N° ARIA : 33120

Survenu le : 06/06/2007

Pays : FRANCE / Département : 47 / Commune : LE PASSAGE

Activité : Fabrication d'aliments pour animaux de ferme

Conséquences : Humaine : 1 / Environnementale : 0 / Economique : 2 / Matérielle : 0

Incendie dans une usine de fabrication d'aliments pour animaux de ferme

Dans une usine de fabrication d'aliments pour animaux de ferme, un feu se déclare vers 20h30 sur un transformateur électrique et se propage aux combles du bâtiment et à la gaine d'aspiration du biofiltre de 1,6 m de diamètre sur 100 m de long enflammant les dépôts de poussières et de graisses animales qui s'y trouvent. Le personnel est évacué. Toutes les aspirations sont arrêtées pour éviter un phénomène de "tirage" et les vannes au niveau de la gaine d'aspiration du filtre biologique sont fermées pour empêcher la propagation du feu à d'autres ateliers. Les secours travaillent sur 3 secteurs : attaque du feu, protection des silos et reconnaissance dans les silos à l'aide d'une caméra thermique. Ils rencontrent des difficultés pour l'extinction du feu à l'intérieur de la gaine mais maîtrisent finalement le sinistre vers 0h30. Ils éteignent les points chauds résiduels, surveillent le site pendant la nuit et quittent les lieux à 8h15. Les eaux d'extinction sont dirigées vers la lagune de stockage. Deux pompiers sont légèrement blessés et d'importants dommages matériels sont à déplorer au niveau de la gaine d'aspiration du biofiltre, des moteurs d'entraînement des cuiseurs, de la salle du transformateur et des 2 armoires de commandes des cuiseurs. L'accident est aussi à l'origine de la perte de flore dans le média de tourbe et bruyère du biofiltre entraînant son dysfonctionnement et donc des nuisances olfactives pour lesquelles des plaintes sont déposées les jours suivants. Outre les conséquences techniques évaluées à 841 400 euros, les pertes d'exploitation sont estimées à 140 000 euros : 634 t de matières de catégories 1 et 2 et 379 t de sang détruites. Ces matières sont traitées par des sociétés spécialisées. L'incendie est dû à un condensateur qui a pris feu, probablement suite aux variations de tension provoquées par les orages particulièrement importants de la nuit précédente. L'exploitant crée un nouveau local extérieur pour le transformateur indépendant des ateliers, plus facile d'accès et dans une ambiance thermique plus appropriée. Il pose des vannes d'isolement sur les tuyauteries d'aspiration sensibles des appareils menant à la gaine d'aspiration du biofiltre afin de limiter la propagation d'un feu vers la gaine principale d'aspiration, évitant ainsi des dégâts supplémentaires sur les outils de traitement environnementaux. Il met en place une surveillance accrue des échauffements en faisant effectuer des mesures par thermographie à infrarouge par une société spécialisée en plus des mesures de températures déjà faites en interne sur le matériel électrique. Enfin, il augmente la fréquence de nettoyage des gaines de meunerie.

N° ARIA : 33661

Survenu le : 24/09/2007

Pays : FRANCE / Département : 42 / Commune : SAIL-SOUS-COUZAN

Activité : Fabrication d'autres meubles

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Explosion d'un transformateur dans une usine de production de sièges
Dans une entreprise de fabrication de mobilier, un transformateur électrique ne contenant pas de pyralène explose vers 16h00. Aucun départ de feu ne se produit. Cependant, 25 personnes sont en chômage technique.

N° ARIA : 34197
Survenu le : 05/02/2008
Pays : FRANCE / Département : 67 / Commune : INGWILLER
Activité : Fabrication d'autres articles en matières plastiques
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie sur un transformateur haute tension.
Un feu se déclare à 22h39 sur un transformateur électrique haute tension à bain d'huile dans une usine de pièces techniques en matières plastiques. Les pompiers protègent avec une lance les bâtiments à une dizaine de mètres. L'usine est évacuée (30 employés). Une faible explosion se produit dans le transformateur avec une forte émission de fumée. Après confirmation de l'absence de PCB dans l'équipement, les pompiers sous ARI éteignent le feu à 22h46.

N° ARIA : 34374
Survenu le : 26/03/2008
Pays : FRANCE / Département : 27 / Commune : VERNON
Activité : Construction aéronautique et spatiale
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie dans une usine de fabrication de moteurs de fusées.
Un feu se déclare vers 6h30 sur un transformateur électrique situé dans un bâtiment administratif d'une usine de fabrication de moteurs de lanceurs spatiaux. Les pompiers éteignent l'incendie avec une lance à mousse. L'intervention des secours s'achève vers 9 h. Aucun blessé n'est à déplorer.

N° ARIA : 34396
Survenu le : 28/03/2008
Pays : FRANCE / Département : 59 / Commune : TRITH-SAINT-LEGER
Activité : Sidérurgie
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie dans une aciérie.
Un feu se déclare vers 18 h dans un transformateur électrique à bain d'huile d'une aciérie. Les pompiers mettent en oeuvre 1 lance à mousse pour maîtriser le sinistre et 1 lance à débit variable de 500 l/min en protection. L'incendie est éteint vers 18h45. L'intervention des secours s'achève vers 20 h. Aucun blessé n'est à déplorer mais 200 employés sont en chômage technique durant 1 semaine.

N° ARIA : 34723
Survenu le : 09/04/2008
Pays : FRANCE / Département : 10 / Commune : VILLETTE-SUR-AUBE
Activité : Fabrication de sucre
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie d'un transformateur électrique
Dans une distillerie, vers 1h10, un feu se déclare sur un transformateur électrique à la suite de l'intrusion d'un animal. L'incendie est éteint au moyen d'un extincteur à poudre situé à proximité. Cet incident entraîne la perte d'alimentation électrique sur le tout le parc alcool : pertes des sécurités, installations de distillation D4 et D5 et postes de chargement alcool inopérants. L'exploitant réalise des travaux sur les cellules des transformateurs pour améliorer leur étanchéité.

N° ARIA : 34823
Survenu le : 07/07/2008
Pays : FRANCE / Département : 3 / Commune : DOMPIERRE-SUR-BESBRE
Activité : Fonderie de fonte
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie d'un transformateur électrique.

Un feu se déclare à 9h55 sur un transformateur électrique de 15 kV alimentant des fours de fusion basse fréquence d'une fonderie de fonte d'un constructeur automobile ; 300 employés sont évacués. Les pompiers internes éteignent l'incendie avec 1 lance à mousse, les secours publics alertés n'ont pas à intervenir. Aucun blessé n'est à déplorer et aucune fuite d'huile (sans PCB) n'est constatée ; les eaux d'extinction ont été traitées dans la station d'épuration du site.

N° ARIA : 34835

Survenu le : 09/07/2008

Pays : FRANCE / Département : 57 / Commune : RICHEMONT

Activité : Fabrication de gaz industriels

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Explosion et incendie sur un transformateur.

Une explosion suivie d'un incendie se produit vers 1h30 sur un transformateur électrique d'une usine de production de gaz industriels. Le site est mis en sécurité suite à la coupure d'électricité provoquée par cet incendie. L'incident n'a pas d'impact significatif en dehors d'un dégagement de fumées, de la perte du transformateur et de l'arrêt momentané de la production.

N° ARIA : 34856

Survenu le : 13/07/2008

Pays : FRANCE / Département : 59 / Commune : LOOS

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Incendie sur un transformateur électrique dans une usine chimique

Un feu se déclare vers 7h30 sur un transformateur électrique situé à l'extérieur d'un atelier de production d'une usine chimique. Par précaution, la totalité de la production est momentanément stoppée. Les stockages de produits chimiques et l'atelier sont préservés du feu qui est maîtrisé en moins d'une heure. Aucun blessé et aucune conséquence environnementale ne sont à déplorer et aucun chômage technique n'est envisagé.

N° ARIA : 34866

Survenu le : 11/07/2008

Pays : FRANCE / Département : 63 / Commune : ISSOIRE

Activité : Métallurgie de l'aluminium

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Incendie d'un transformateur électrique.

Un feu se déclare vers 8h30 sur un transformateur électrique de 225 kV alimentant les ateliers tôlerie et la partie administrative d'une usine d'aluminium. Le personnel est évacué pendant l'intervention des secours qui s'achève vers 11 h. Aucun blessé n'est à déplorer et aucun chômage technique n'est prévu. Des groupes électrogènes sont utilisés pour maintenir les fours en température durant le temps des réparations.

N° ARIA : 34912

Survenu le : 18/07/2008

Pays : FRANCE / Département : 2 / Commune : LA FERTE-MILON

Activité : Commerce de gros de fruits et légumes

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Incendie dans un commerce.

Un feu se déclare vers 20 h dans un commerce de gros de fruits et légumes et menace un stockage de cartons ainsi qu'un transformateur électrique. Les pompiers éteignent l'incendie avec 2 lances à débit variable. Le service de l'électricité isole le transformateur. Le feu est éteint à 20h10, 100 employés sont menacés de chômage technique. Aucune information n'est donnée quant aux dommages éventuels subis par les installations de réfrigération mettant en oeuvre un frigorigène chloro-fluoré.

N° ARIA : 34937

Survenu le : 21/07/2008

Pays : FRANCE / Département : 71 / Commune : MACON

Activité : Origine inconnue

Conséquences : Humaine : 3 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur

A 11h50, un incendie sur un transformateur électrique se propage à une chaufferie ; 500 foyers sont privés d'électricité. Les pompiers éteignent l'incendie avec un extincteur à poudre ; leur intervention s'achève vers 13 h. Les services techniques de l'électricité remettent en service l'alimentation du secteur vers 16 h.

N° ARIA : 35002

Survenu le : 03/08/2008

Pays : FRANCE / Département : 77 / Commune : TOURNAN-EN-BRIE

Activité : Forge, emboutissage, estampage ; métallurgie des poudres

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Incendie dans une entreprise d'emboutissage des métaux.

Un dimanche vers 14 h, un feu se déclare sur un transformateur électrique dans le sous-sol d'une entreprise de 15 000 m² spécialisée dans l'emboutissage de pièces métalliques. L'incendie se propage dans l'établissement par les gaines techniques en provoquant la formation de foyers secondaires. Les pompiers, alertés par le gardien, rencontrent des difficultés pour localiser les foyers en raison de l'abondante fumée émise par l'incendie. Les pompiers éteignent le feu à 18h10 puis ventilent les locaux jusqu'à 21 h ; l'intervention des secours s'achève à 23 h après une ronde de surveillance qui ne révèle aucune anomalie. Une dalle en béton du sol de l'atelier abritant les machines-outils s'étant fissurée sous l'effet du flux thermique, l'accès au sous-sol est temporairement condamné, dans l'attente d'une vérification par un spécialiste de l'absence de risque d'effondrement.

N° ARIA : 35056

Survenu le : 29/08/2008

Pays : FRANCE / Département : 7 / Commune : LE TEIL

Activité : Fabrication de papier et carton ondulés et d'emballages en papier ou en carton

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur.

Un feu se déclare sur un transformateur électrique alimentant une entreprise de cartonnage de 13 000 m². Les pompiers maîtrisent le sinistre à l'aide d'extincteur à poudre. Une centaine de personnes est en chômage technique pendant quelques jours.

N° ARIA : 35691

Survenu le : 29/12/2008

Pays : FRANCE / Département : 64 / Commune : NAVARRENX

Activité : Particuliers

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 1 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Pollution aquatique

Des hydrocarbures polluent le GAVE D'OLORON sur 150 m. Les services sanitaires sont informés et les services techniques de l'eau surveillent les points de captage. Les pompiers installent des barrages flottants et épandent des produits absorbants. La pollution provient d'une fuite d'huile diélectrique sur le transformateur électrique d'un particulier. La terre souillée est enlevée le lendemain avec une pelle mécanique et dépolluée par une société spécialisée. Les secours enlèvent les barrages flottants le 30 décembre vers 19 h.

N° ARIA : 35980

Survenu le : 16/03/2009

Pays : FRANCE / Département : 17 / Commune : LA ROCHELLE

Activité : Fabrication de carrosseries et remorques

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Incendie dans une usine de fabrication de carrosseries.

Un feu se déclare vers 14h15 sur un transformateur électrique situé dans un local de 30 m² attenant à une usine de 11 000 m² fabriquant des carrosseries de véhicules de voirie. L'incendie se propage par les chemins de câble et la fumée envahit l'établissement ; 20 employés sont évacués. L'incendie est éteint avec de la poudre puis les secours ventilent le bâtiment. L'intervention des pompiers s'achève à 15 h après une reconnaissance avec une caméra thermique. Les 150 salariés sont en chômage technique durant le reste de l'après-midi.

N° ARIA : 36473
Survenu le : 10/05/2007
Pays : FRANCE / Département : 39 / Commune : LES HAYS
Activité : Distribution d'électricité
Conséquences : Humaine : 3 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1
FUITE SUR TRANSFORMATEUR AU PCB
<p>Lors d'un orage, une surtension atmosphérique provoque un court circuit interne sur un transformateur électrique et détériore la cuve de diélectrique : 30 l d'huile minérale ayant une teneur en polychlorobiphényle (PCB) de 1 270 mg/kg s'écoulent dans le terrain agricole situé devant l'équipement. Le transformateur est démonté, transporté dans un bac étanche puis mis en dépôt avant élimination par une entreprise agréée. Les terres polluées, 10 m² sur 15 cm de profondeur, sont excavées et stockées dans des big-bags étanches dans l'attente des résultats d'analyses puis sont éliminées dans la filière appropriée. Les secours installent une bâche sur la partie de terre excavée et la zone est balisée pour éviter l'intrusion de personnes. Deux prélèvements de terre sont réalisés : l'un dans la terre excavée pour connaître la concentration en PCB des terres à traiter, l'autre en surface du fond de fouille pour s'assurer que tout le sol pollué a été excavé. Le 12 mai, l'exploitant du champ de blé voisin fauche la zone située à proximité du transformateur afin d'éliminer tout risque de pollution dû à des projections d'huile. Cet accident a également entraîné une coupure d'alimentation électrique pour les 280 riverains du village voisin. Ils ont été réalimentés par un groupe électrogène, 8 h plus tard, en attendant le remplacement du transformateur le 11 mai.</p>

N° ARIA : 36778
Survenu le : 06/06/2009
Pays : FRANCE / Département : 71 / Commune : SANTILLY
Activité : Transport d'électricité
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur électrique 400 000 V
<p>Un feu se déclare vers 23h30 sur un transformateur électrique de 400 000 V contenant 50 000 l d'huile. Les secours utilisent pour cette intervention une lance à mousse en complément des lances à débit variable. Les eaux d'extinction sont évacuées avec un camion citerne. Aucune coupure d'électricité pour les abonnés ni risque pour l'environnement ne sont à déplorer. Les violents orages survenus dans la région pourraient être à l'origine du sinistre.</p>

N° ARIA : 37585
Survenu le : 17/09/2009
Pays : FRANCE / Département : 10 / Commune : BAR-SUR-AUBE
Activité : Production et distribution de vapeur et d'air conditionné
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Défaut sur transformateur 1600 KVA
<p>A la suite de travaux de maintenance au sein d'une installation de cogénération, un transformateur électrique monte en température. Alerté par du bruit provenant du local électrique et constatant visuellement un échauffement anormal de la mise à la terre du transformateur et une ébullition de l'huile de ce dernier, un technicien coupe immédiatement l'alimentation électrique du site (Haute et Basse Tension). Il effectue ensuite la mise en sécurité des installations par consignations électriques du disjoncteur et de l'alternateur. Du fait de l'intervention rapide du technicien, le sinistre est resté confiné au local électrique. Une légère fuite d'huile, sur le plan de joint en partie supérieure du transformateur est récupérée dans le bac de rétention situé sous l'équipement. Un cordon absorbant est également placé autour de la cuve de rétention du transformateur. Le site n'est plus en mesure de faire fonctionner sa chaudière biomasse et de produire de la vapeur. L'assureur et le constructeur du matériel sont alertés. A la suite de la visite du constructeur, effectuée le lundi 21/09/2009 et du prélèvement d'huile associé, il semble que le transformateur de 1 600 kVA soit hors d'usage. Lors d'une première réunion d'expertise le 23/09/2009, il a été convenu que le transformateur fera l'objet d'une reprise par le constructeur du matériel afin de déterminer les causes du sinistre.</p>

N° ARIA : 37856
Survenu le : 22/12/2009
Pays : FRANCE / Département : 68 / Commune : OTTMARSHEIM

Activité : Fabrication de produits azotés et d'engrais
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Départ de feu sur un transformateur électrique dans une usine d'engrais
Un feu se déclare sur un transformateur électrique haute tension dans une usine d'engrais classée Seveso. Le POI est déclenché à 14h25 et les pompiers internes et externes éteignent le feu. Aucun blessé n'est à déplorer et seul le transformateur est endommagé. L'exploitant informe les autorités ainsi que la municipalité et diffuse un communiqué de presse.

N° ARIA : 38534
Survenu le : 29/06/2010
Pays : FRANCE / Département : 85 / Commune : FONTENAY-LE-COMTE
Activité : Fabrication d'engrenages et d'organes mécaniques de transmission
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1
Incendie d'un poste de détente de gaz naturel et d'un transformateur alimentant une usine.
Un feu se déclare sur un transformateur électrique de 20 kV et un poste de détente de gaz naturel (50 bar / 16 bar) attenant, alimentant une usine de fabrication de roulements à billes en cours de démantèlement. Les secours sont alertés vers 7 h par le gardien du site. Lui-même est alerté par un automobiliste. L'alimentation en gaz est interrompue par fermeture du robinet extérieur au local et les pompiers éteignent l'incendie vers 9h30. Le poste de détente et le transformateur sont détruits. Aucune victime n'est à déplorer. L'origine de l'incendie pourrait provenir d'un dysfonctionnement électrique (court-circuit, échauffement lié à une surtension) au niveau de l'alimentation de l'armoire ECV. Les documents papiers situés à l'intérieur de l'armoire auraient ensuite servi de combustible. La chaleur et les flammes auraient ensuite atteint les deux presses étoupes situées au-dessus de l'armoire. Une fuite de gaz se serait produite et aurait généré un chalumeau qui aurait atteint les équerres de soutien des canalisations de gaz sous pression. En cédant, le gaz sous pression aurait été libéré et aurait généré un deuxième chalumeau plus important. La deuxième hypothèse serait l'acte de malveillance.

N° ARIA : 38767
Survenu le : 06/08/2010
Pays : FRANCE / Département : 78 / Commune : GAILLON-SUR-MONTCIENT
Activité : Distribution d'électricité
Conséquences : Humaine : 3 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Explosion d'un transformateur électrique
Des particuliers signalent 2 explosions sur un transformateur électrique vers 13h30. Les pompiers établissent un périmètre de sécurité et évacuent 3 maisons. Le transformateur ne contient pas de PCB. Pour intervenir en sécurité, les services de l'électricité coupent l'alimentation de 6 transformateurs, impactant 19 entreprises et 233 particuliers vers 14h15. L'électricité est rétablie à 20 h.

N° ARIA : 39187
Survenu le : 28/10/2010
Pays : FRANCE / Département : 35 / Commune : FOUGERES
Activité : Fabrication de serrures et de ferrures
Conséquences : Humaine : 2 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1
Feu d'un transformateur au PCB dans une entreprise de fabrication de serrures et ferrures.
Un feu se déclare vers 13 h sur un transformateur électrique contenant des PCB dans une entreprise de travail des métaux et de traitement de surface. Un périmètre de sécurité est mis en place et 5 riverains sont évacués ; 40 employés sont en chômage technique durant l'après-midi. L'intervention des secours s'achève vers 16 h. Cinq entreprises ont été privées d'électricité durant la panne électrique d'1 h qui a affecté le secteur.

N° ARIA : 39429
Survenu le : 04/12/2010
Pays : FRANCE / Département : 37 / Commune : JOUE-LES-TOURS
Activité : Distribution d'électricité
Conséquences : Humaine : 2 / Environnementale : 1 / Economique : 0 / Matérielle : 1
Explosion d'un transformateur suivi d'une fuite sur le groupe électrogène de remplacement

Un transformateur électrique explose vers 21h30, privant 230 logements d'électricité. Vers 1 h, la compagnie de distribution d'électricité met en place un groupe électrogène diesel de 500 kVA. Le 05/12 dans la matinée, des habitants signalent une forte odeur de gazole. Une fuite est détectée sur le groupe qui est immédiatement arrêté, privant à nouveau les abonnés d'électricité ; 3 000 l de fioul s'échappent et rejoignent le réseau d'eaux pluviales. Les pompiers installent des barrages sur le réseau pluvial et l'hydrocarbure est pompé par une société spécialisée sans avoir atteint le CHER en aval. Un nouveau groupe est mis en service vers 16 h. Le 06/12 vers 10h30, les occupants d'un centre social signalent à nouveau une forte odeur de gazole. Les pompiers évacuent les 70 personnes dont 4 sont incommodées et refusent d'être transportées. Les locaux sont ventilés, 15 m³ d'eau sont lâchés dans le réseau pluvial pour le nettoyer et les irisations sont stoppées par un barrage installé au niveau du collecteur. Une reconnaissance préventive est effectuée dans plusieurs établissements recevant du public aux alentours. 30 personnes sont en chômage technique pour la journée en raison de la fermeture du centre social.

N° ARIA : 40233

Survenu le : 28/04/2011

Pays : FRANCE / Département : 8 / Commune : FROMELENNES

Activité : Métallurgie du cuivre

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu d'un transformateur dans une usine de métallurgie du cuivre

Un feu se déclare vers 15 h sur un transformateur électrique de 63 000 V d'une usine de métallurgie du cuivre, à la suite d'un impact de foudre. Les pompiers maîtrisent le sinistre mais le transformateur est hors d'usage pour une durée indéterminée. Les services de l'électricité réalimentent l'usine à partir d'un poste de 15 000 V insuffisant pour la production. L'incendie n'a fait aucune victime, mais pourrait entraîner du chômage technique pour les 365 employés du site.

N° ARIA : 40331

Survenu le : 23/05/2011

Pays : FRANCE / Département : 16 / Commune : SOYAUX

Activité : Fabrication de papier et carton ondulés et d'emballages en papier ou en carton

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur dans une usine de cartonnages

Un feu se déclare vers 20 h sur un transformateur électrique d'une usine de cartonnages soumise à déclaration. Les pompiers éteignent l'incendie. Les câbles et le transformateur ont été endommagés. Une vingtaine d'employés est en chômage technique pour la nuit. L'incendie serait dû à un court-circuit sur le transformateur basse tension survenu pour une raison inconnue alors que le sectionneur et le disjoncteur avaient été changés un an avant l'incident. Le transformateur est vérifié annuellement par un organisme extérieur et aucune surcharge n'a été mise en évidence. Le local électrique se trouvant éloigné du reste des installations, il n'y a pas eu d'impact sur ces dernières. Après cet incendie, le transformateur est changé et le poste nettoyé. Une rétention est mise en place au niveau du transformateur.

N° ARIA : 40532

Survenu le : 27/06/2011

Pays : FRANCE / Département : 67 / Commune : LAUTERBOURG

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques n.c.a.

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de poste électrique dans une usine chimique

Des fumées sont émises vers 20h20 du local du transformateur électrique de la chaufferie d'une usine chimiques classée Seveso fabriquant des additifs pour plastiques, peintures et revêtements. Le POI est déclenché. Les employés maîtrisent l'incident en 10 min grâce aux moyens internes de lutte dépêchés sur place. L'incident n'implique que le local électrique de la chaufferie et n'a eu aucune conséquence sur les autres installations du site, sur le personnel ou sur l'environnement. Le POI est levé à 22 h. Un condensateur défectueux serait à l'origine du feu et des fumées émises. L'exploitant publie un communiqué de presse le lendemain matin.

N° ARIA : 40576

Survenu le : 27/06/2011

Pays : FRANCE / Département : 59 / Commune : PONT-SUR-SAMBRE

Activité : Transport d'électricité
Conséquences : Humaine : 4 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Explosion d'un transformateur électrique
Vers 22 h, l'explosion d'isolants en porcelaine sur un transformateur électrique de 225 kV en sortie de centrale thermique prive d'alimentation 20 000 abonnés de 6 communes. L'explosion est entendue à plusieurs kilomètres, des flammes et une fumée noire sont visibles. Les services de transport de l'électricité rétablissent progressivement l'alimentation ; seuls 4 000 foyers ne sont pas alimentés à 23h30. La défaillance d'un combiné de mesure de tension est à l'origine de l'accident. L'exploitant du réseau de transport électrique qui a détecté le dysfonctionnement à distance, l'attribue à de fortes variations de température extérieures sur une courte durée et le qualifie de "rare". La presse fait état d'un incident similaire à Calais la même soirée.

N° ARIA : 40928
Survenu le : 12/09/2011
Pays : FRANCE / Département : 59 / Commune : EMMERIN
Activité : Distribution d'électricité
Conséquences : Humaine : 3 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de compteur électrique alimentant un supermarché
Un feu se déclare vers midi sur un transformateur électrique alimentant un supermarché. Les pompiers éteignent les flammes avec un extincteur à poudre et le service de distribution de l'électricité suspend l'alimentation. Les denrées fraîches sont perdues. L'établissement n'ouvre pas l'après-midi, 10 employés sont en chômage technique.

N° ARIA : 40994
Survenu le : 26/09/2011
Pays : FRANCE / Département : 69 / Commune : VILLEFRANCHE-SUR-SAONE
Activité : Traitement et élimination des déchets non dangereux
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 2 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une usine d'incinération de déchets ménagers
Un feu se déclare à 19h30 dans le local du transformateur électrique (TGBT) d'une usine d'incinération de déchets ménagers. Les employés éteignent les flammes pendant que les services de secours et de l'électricité sont alertés, les fours d'incinération sont mis à l'arrêt. Le site est privé d'électricité et sera à l'arrêt pour 1 mois du fait des dommages matériels (500 k€, y compris perte de production). L'exploitant publie un communiqué de presse et informe l'inspection des installations classées le lendemain matin. Les déchets ménagers habituellement traités sur place (200 t/jour) et ceux en cours de traitement présents dans la fosse (400 t) sont envoyés dans d'autres usines d'incinération de la région. L'exploitant met un place un groupe électrogène pour alimenter le grappin de la fosse de réception et le système hydraulique du poussoir des fours. Il évacue tous les bacs de déchets contenant des déchets dangereux.

N° ARIA : 41087
Survenu le : 10/10/2011
Pays : FRANCE / Département : 13 / Commune : ARLES
Activité : Commerce de gros de céréales, de tabac non manufacturé, de semences et d'aliments pour le bétail
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Explosion et incendie d'un transformateur électrique dans un silo.
Une explosion suivie d'un incendie se produit, vers 5h30, sur un transformateur électrique attenant à un silo plat de 4 000 m ² contenant 50 t de riz. L'incendie se propage sur 100 m ² de toiture du bâtiment qui est munie de 2 000 m ² de panneaux photovoltaïques. Les pompiers isolent le transformateur et l'onduleur et mettent en oeuvre 3 lances à eau pour maîtriser le sinistre. L'intervention des secours s'achève en milieu de matinée. Aucun chômage technique n'est prévu.

N° ARIA : 41158
Survenu le : 25/10/2011
Pays : FRANCE / Département : 52 / Commune : CORLEE
Activité : Usinage
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu d'un transformateur électrique dans une usine de mécanique.

Un feu se déclare en début de soirée sur un transformateur électrique d'une entreprise de travail mécanique des métaux. L'incendie est éteint avec 1 extincteur à poudre ; 108 employés sont en chômage technique.

N° ARIA : 41408

Survenu le : 01/12/2011

Pays : FRANCE / Département : 974 / Commune : SAINT-LOUIS

Activité : Fabrication de sucre

Conséquences : Humaine : 1 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Incendie dans une sucrerie

Un transformateur électrique 5 000 V / 400 V prend feu vers 21h30 dans un local de 50 m² dans une sucrerie, dégageant une fumée importante. Le personnel utilise 22 extincteurs, 3 employés sont légèrement intoxiqués. Les pompiers achèvent l'extinction à l'aide de 200 kg de gaz inertant (5 bouteilles de 40 kg de halon et azote). Un mur coupe-feu sépare le local de la salle de cristallisation mitoyenne contenant des poussières de sucre. Aucune flamme ne subsiste dans le local mais par précaution, les secours effectuent une reconnaissance d'éventuels points chauds à l'aide de la caméra thermique de l'usine et quittent les lieux à minuit. Le local est noirci et plusieurs armoires électriques sont détruites. L'arrêt de l'activité cristallisation est prévu jusqu'au lendemain midi ; cependant, la livraison des cannes par les planteurs continue. Une enquête est effectuée pour déterminer l'origine de cet incendie.

N° ARIA : 41702

Survenu le : 30/01/2012

Pays : FRANCE / Département : 67 / Commune : MUNDOLSHEIM

Activité : Distribution d'électricité

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Feu de transformateur dans un centre de distribution d'électricité

Un feu se déclare vers 13h20 sur un transformateur électrique à bain d'huile (PCB) en cours de démantèlement dans un centre de distribution d'électricité. Les services de l'électricité consignent 2 lignes à haute tension sans perturbation de la distribution d'énergie ; les pompiers éteignent les flammes avec 2 lances à mousse et refroidissent l'équipement.

N° ARIA : 41951

Survenu le : 31/03/2012

Pays : FRANCE / Département : 57 / Commune : SARREGUEMINES

Activité : Fabrication et rechapage de pneumatiques

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur dans une usine de pneus

Un transformateur électrique s'enflamme dans une usine de pneumatiques. Les pompiers éteignent l'incendie avec des extincteurs à poudre. Il n'y a pas eu de propagation dans l'usine et l'activité du site n'est pas perturbée.

N° ARIA : 41963

Survenu le : 02/04/2012

Pays : FRANCE / Département : 10 / Commune : TROYES

Activité : Commerce de voitures et de véhicules automobiles légers

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu d'un transformateur électrique d'un garage automobile.

A la suite d'un feu sur un transformateur électrique, 85 employés d'un garage automobile sont en chômage technique 3 jours.

N° ARIA : 42151

Survenu le : 10/05/2012

Pays : FRANCE / Département : 59 / Commune : BOESCHEPE

Activité : Fabrication d'emballages en matières plastiques

Conséquences : Humaine : 2 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur dans une usine

Un feu se déclare à 18 h sur le transformateur électrique de 20 000 V d'une usine d'emballage plastique. Le sinistre est éteint avec 1 extincteur à poudre. Le service de l'électricité interrompt la distribution pendant 2 h, 28 employés sont en chômage technique et plus de 200 abonnés sont impactés. Les réparations durent plusieurs jours.

N° ARIA : 42264

Survenu le : 09/06/2012

Pays : FRANCE / Département : 69 / Commune : VENISSIEUX

Activité : Fabrication de composants électroniques

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu d'un transformateur électrique.

Un feu se déclare vers 11h30 sur un transformateur électrique à l'extérieur d'un bâtiment d'une usine de fabrication de panneaux photovoltaïques. Les pompiers éteignent l'incendie avec 1 lance à poudre. L'interruption de l'alimentation électrique du site entraîne du chômage technique pour une soixantaine d'employés durant 1 semaine.

N° ARIA : 42508

Survenu le : 26/07/2012

Pays : FRANCE / Département : 27 / Commune : SERQUIGNY

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Explosion de transformateur dans une usine chimique

Une explosion suivie de feu se produit à 23h15 au niveau du transformateur de mesure d'un transformateur électrique à huile de 90 000 V isolé sur une usine fabriquant des polymères techniques. Le personnel met en sécurité les installations, la ligne et le transformateur de secours de 15 000 V sont activés après coordination avec l'exploitant du réseau électrique pour maintenir l'alimentation du site. Le risque de chute de câbles électriques entraîne la fermeture de la route départementale voisine et les services de secours mettent une lance en protection. Un agent habilité de l'usine isole le transformateur pour permettre aux équipes d'intervention du site d'éteindre le feu avec 1 extincteur à poudre. L'intervention s'achève à 2h30 et la production redémarre en fin de nuit. L'exploitant diffuse un communiqué de presse. L'origine du sinistre est une émanation et explosion d'hydrogène, probablement liée à une entrée d'humidité dans l'huile du transformateur. Deux hypothèses sont retenues pour expliquer l'entrée d'humidité dans le transformateur : la mauvaise qualité de l'étuvage du papier absorbant et/ou un défaut de la procédure de remplacement de l'huile.

N° ARIA : 42510

Survenu le : 26/07/2012

Pays : FRANCE / Département : 61 / Commune : CONDE-SUR-HUISNE

Activité : Fabrication d'emballages en matières plastiques

Conséquences : Humaine : 2 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur électrique dans une usine d'emballages en plastique

Un feu se déclare à 17h30 sur un transformateur électrique dans une usine d'emballages en plastique. Le feu est éteint avec des extincteurs à poudre, une lance à eau est installée en protection, l'alimentation de 20 kV est coupée. Un risque résiduel subsiste sur 3 condensateurs. Les pompiers, assistés d'un électricien du site, mettent l'installation à la terre. Le transformateur est détruit. Les secours transportent 6 employés incommodés par les fumées à l'hôpital. Le service de l'électricité et la gendarmerie se sont rendus sur place. Après contrôle de l'absence de point chaud à l'aide d'une caméra thermique, l'intervention s'achève à 21 h.

N° ARIA : 42511

Survenu le : 26/07/2012

Pays : FRANCE / Département : 69 / Commune : RILLIEUX-LA-PAPE

Activité : Collecte des déchets non dangereux

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur électrique dans un centre de tri de déchets

Un feu se déclare à 19h45 sur un transformateur électrique 20 000 V/1 000 V dans un centre de tri de déchets. Des employés utilisent des extincteurs à poudre et réussissent à éteindre partiellement le sinistre pendant que le personnel est évacué hors du site. Le service de l'électricité coupe l'alimentation générale du site pour permettre l'extinction complète par les pompiers avec des extincteurs à dioxyde de carbone ; 60 employés sont en chômage technique pour la nuit et le lendemain. L'intervention s'achève à 22h15. Les police nationale et municipale se sont rendues sur place.

N° ARIA : 42519

Survenu le : 19/08/2012

Pays : FRANCE / Département : 49 / Commune : SEICHES-SUR-LE-LOIR

Activité : Fabrication d'autres produits alimentaires n.c.a.

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur électrique dans une usine agroalimentaire

Un court-circuit, vraisemblablement dû à la chaleur, provoque un départ de feu sur un transformateur électrique dans le local technique d'une usine agroalimentaire. Les pompiers éteignent les flammes avec 1 lance à eau. Le transformateur est détruit, privant l'usine d'électricité. Les eaux d'extinction sont confinées sur le site puis traitées en externe. Aucune pollution n'est constatée. Un élu, la gendarmerie et le service de l'électricité se rendent sur place. La station d'épuration est ré-alimentée en urgence grâce à des groupes électrogènes. Les installations de production, non touchées par l'incendie, sont arrêtées, 104 employés sont en chômage technique. Elles redémarrent après ré-alimentation du site en électricité.

N° ARIA : 42556

Survenu le : 30/07/2012

Pays : FRANCE / Département : 971 / Commune : CAPESTERRE-BELLE-EAU

Activité : Distribution d'électricité

Conséquences : Humaine : 5 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Foudroiement d'un transformateur électrique

La foudre s'abat sur un poste source (transformateur électrique 63 kV/20 kV) et provoque un incendie vers 19h30. Les pompiers éteignent l'incendie mais 20 000 personnes sont privées d'électricité sur les communes de Petit-Bourg, Goyave et Capesterre-Belle-Eau (Basse Terre) et sur l'île de Marie-Galante. Les groupes électrogènes de secours sur l'île, qui n'avaient pas démarré en raison d'une défaillance d'automatisme, sont mis en service le 31/07 à 13h30. Jusqu'au 1/08 à 3 h, 5 000 abonnés dont un hôpital et une clinique disposant de générateurs et d'une semaine de réserve de carburant restent privés d'alimentation. Des coupures épisodiques sont encore observées jusqu'au rétablissement de l'alimentation par câble depuis Basse Terre le 2/08 à 23 h. La production d'eau potable de l'île est perturbée par les coupures (12 000 personnes impactées).

N° ARIA : 43266

Survenu le : 13/01/2013

Pays : FRANCE / Département : 72 / Commune : BRULON

Activité : Fabrication d'éléments en matières plastiques pour la construction

Conséquences : Humaine : 3 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur électrique dans une usine de menuiserie en plastique et métal

Un court-circuit se produit vers 14h30 dans le transformateur électrique alimentant une usine de menuiserie PVC et aluminium. Les pompiers éteignent le feu. L'électricité a été coupée sur la moitié de la commune. L'usine n'est réalimentée que le lendemain, provoquant la mise en chômage technique de 160 employés. Le maire s'est rendu sur place.

N° ARIA : 43277

Survenu le : 15/01/2013

Pays : FRANCE / Département : 22 / Commune : SAINT-BRIEUC

Activité : Fonderie d'acier

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu dans un transformateur électrique alimentant une fonderie.

Un feu se déclare vers 18h30 dans un transformateur électrique de 63 000 V alimentant une fonderie d'acier. Le service de transport d'électricité interrompt l'alimentation en amont, puis les pompiers maîtrisent le sinistre avec 1 lance à mousse. L'intervention des secours s'achève vers 21 h. Une partie de l'activité de l'entreprise est interrompue pendant 2 jours ; 45 employés sont en chômage technique.

N° ARIA : 43363

Survenu le : 04/02/2013

Pays : FRANCE / Département : 35 / Commune : L'HERMITAGE

Activité : Exploitation de laiteries et fabrication de fromage

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur électrique dans une laiterie

Un feu se déclare vers 23 h sur un transformateur électrique de 20 000 V dans une laiterie. Les 36 employés sont évacués, la production est arrêtée. Les pompiers installent 2 lances à eau pour protéger des cuves de peroxyde d'hydrogène à proximité, ils éteignent le feu à 0h15 et ventilent les fumées ; 2 ateliers sur 3 sont à l'arrêt. Le service de l'électricité et les agents de maintenance de l'usine réparent l'installation. L'intervention s'achève à 1h45, la production reprend normalement le matin.

N° ARIA : 43547

Survenu le : 12/03/2013

Pays : FRANCE / Département : 1 / Commune : REYRIEUX

Activité : Fabrication d'autres pompes et compresseurs

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur dans une usine de compresseurs frigorifiques.

Un feu se déclare vers 10 h sur des batteries de condensateurs mobiles dans un transformateur électrique d'une usine de fabrication de compresseurs frigorifiques ; 450 employés sont évacués. Les équipes de 1ère intervention du site éteignent l'incendie avec des extincteurs à poudre (6 et 50 kg) avant l'arrivée des secours publics. Les pompiers ventilent le bâtiment ; leur intervention s'achève vers 11 h. La ligne d'usinage redémarre dans l'après-midi et celle de montage, alimentée par le transformateur sinistré, dans la soirée.

N° ARIA : 43927

Survenu le : 17/06/2013

Pays : FRANCE / Département : 29 / Commune : PLOUEDERN

Activité : Fabrication de glaces et sorbets

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur dans une usine de crèmes glacées

Un feu se déclare vers 22 h sur un transformateur électrique dans une usine de crèmes glacées. Les pompiers éteignent les flammes, 40 employés sont en chômage technique pour la nuit. La gendarmerie et les services du gaz et de l'électricité se sont rendus sur les lieux. Les installations de réfrigération mettant en oeuvre de l'ammoniac (NH3) ne semblent pas avoir été atteintes.

N° ARIA : 43931

Survenu le : 17/06/2013

Pays : FRANCE / Département : 14 / Commune : BAYEUX

Activité : Commerce de gros de boissons

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur électrique dans une usine de boissons

Un feu se déclare vers 8h40 dans une usine de boissons à la suite d'un court-circuit sur un transformateur électrique. Le service de l'électricité coupe l'alimentation de l'usine, interrompant la production assurée par 157 employés. Les pompiers maîtrisent le sinistre vers 9h20. La préfecture et la mairie sont informées.

N° ARIA : 43960

Survenu le : 19/06/2013

Pays : FRANCE / Département : 11 / Commune : BERRIAC

Activité : Distribution d'électricité

Conséquences : Humaine : 2 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Feu de transformateur au pyralène

A 22h30, un important dégagement de fumée est signalé sur un transformateur électrique au pyralène en cours de démantèlement (déconnecté et vidé de son huile). Les pompiers éteignent les bobines de cuivre et de papier imbibé d'huile, confinent les riverains dans leur logement et évacuent 30 personnes relogées pour la nuit par le maire dans une salle polyvalente. Une reprise de feu le lendemain à 14 h provoque une nouvelle évacuation de 20 résidents pris en charge par le maire et la croix rouge. A la demande du commandant des opérations de secours (SDIS), le SMUR ausculte 107 personnes ; 3 sont hospitalisées pour une intoxication au CO, ainsi qu'un nourrisson pour observation. Les pompiers éteignent l'incendie dans la nuit à l'aide d'émulseurs déversés dans le transformateur. Les produits d'extinction sont collectés pour traitement. Une intrusion par effraction sur le site du transformateur la nuit de survenue de l'incendie est évoquée par la presse qui envisage une tentative de vol à l'origine du départ de l'incendie.

N° ARIA : 44017

Survenu le : 03/07/2013

Pays : FRANCE / Département : 10 / Commune : MUSSY-SUR-SEINE

Activité : Fabrication d'emballages en bois

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu d'origine électrique dans une usine d'emballages en bois

Des fumées sont aperçues vers 7h30 sur un transformateur électrique dans une usine d'emballages en bois soumise à déclaration. Les secours établissent un périmètre de sécurité. Le sinistre est éteint à 10h15. Une entreprise spécialisée intervient pour réparer le transformateur de 10h45 à 16h30. Afin d'éviter un événement similaire, l'exploitant lance une opération de maintenance sur plusieurs équipements (disjoncteurs, interrupteurs aériens...). Une analyse d'huile avec recherche des gaz émis est réalisée par un organisme spécialisé.

N° ARIA : 44123

Survenu le : 26/07/2013

Pays : FRANCE / Département : 2 / Commune : BRAINE

Activité : Exploitation de laiteries et fabrication de fromage

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur dans une laiterie

Un transformateur électrique prend feu dans une laiterie. Le personnel est évacué. Le service de l'électricité coupe l'alimentation du site, provoquant une coupure électrique dans une usine plasturgique proche. Les 110 employés de la laiterie sont en chômage technique le temps des réparations. La gendarmerie et le service du gaz se sont rendus sur les lieux.

N° ARIA : 44135

Survenu le : 29/07/2013

Pays : FRANCE / Département : 13 / Commune : BERRE-L'ETANG

Activité : Raffinage du pétrole

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 1 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Perte d'alimentation électrique dans une usine pétrochimique

La foudre s'abat vers 4h50 sur un transformateur électrique d'une plateforme pétrochimique et prive plusieurs entreprises d'alimentation. Le POI est déclenché. L'arrêt de plusieurs unités de production entraîne un torchage, la fumée noire ne peut être effacée à la vapeur, les chaudières étant également à l'arrêt. L'arrêt des pompes de relevage pour l'envoi des eaux chargées vers les bassins d'orage, provoque le débordement des bassins de décantation et de déshuilage dans le réseau pluvial et des hydrocarbures sont rejetés en direction de l'étang de Berre. Le port de Berre est provisoirement fermé. Les hydrocarbures sont retenus par plusieurs barrages flottants. L'électricité est rétablie vers 5h30. La production mettra plusieurs heures à redémarrer. L'inspection des installations classées est informée. Un communiqué de presse est diffusé. Les hydrocarbures flottants dans ces bassins ont été pompés après concertation avec le service maritime de la DDTM. L'association pour la qualité de l'air Air PACA a enregistré sur sa station de Berre une augmentation des niveaux de Composés Organiques Volatils (Benzène, Toluène et Xylènes) de 6 h à 8 h.

N° ARIA : 44207

Survenu le : 16/08/2013

Pays : FRANCE / Département : 71 / Commune : SAINT-EUSEBE
Activité : Fabrication de structures métalliques et de parties de structures
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur électrique dans une usine.
Un feu se déclare vers 10h30 dans un transformateur électrique de 20 kV d'une entreprise de fabrication de structures métalliques. Un périmètre de sécurité est mis en place et les 37 employés sont évacués. A leur arrivée, les secours publics n'ont pas à intervenir, le feu s'étant éteint de lui-même. Les 37 salariés sont en chômage technique pour l'après-midi, temps nécessaire à la remise en état de l'installation par le service de distribution de l'électricité.

N° ARIA : 44266
Survenu le : 30/08/2013
Pays : FRANCE / Département : 31 / Commune : TOULOUSE
Activité : Activités de poste dans le cadre d'une obligation de service universel
Conséquences : Humaine : 2 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 1
Feu de transformateur dans un centre de tri postal désaffecté
Un feu se déclare vers 12h10 sur un transformateur électrique contenant du polychlorobiphényle (PCB) dans un centre de tri postal désaffecté. Les pompiers établissent un périmètre de sécurité, évacuent 100 gens du voyage et éteignent l'incendie vers 15 h avec de la poudre. Aucune pollution n'est relevée.

N° ARIA : 44269
Survenu le : 30/08/2013
Pays : FRANCE / Département : 2 / Commune : ATHIES-SOUS-LAON
Activité : Autre transformation et conservation de fruits et légumes
Conséquences : Humaine : 2 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une usine.
Une explosion suivie de feu se produit, peu avant minuit, dans un transformateur électrique de 15 000 V alimentant une entreprise spécialisée dans la transformation d'oignons (déshydratation) à des fins alimentaires. L'intégralité des faisceaux électriques internes est dégradée, privant l'établissement d'électricité, de réseau téléphonique et internet. Aucun blessé n'est à déplorer mais l'incendie, qui a détruit une partie de la toiture, impacte l'activité de l'entreprise pendant 15 jours ; 80 salariés sont en chômage partiel.

N° ARIA : 44312
Survenu le : 08/09/2013
Pays : FRANCE / Département : 43 / Commune : MONISTROL-SUR-LOIRE
Activité : Fabrication de plaques, feuilles, tubes et profilés en matières plastiques
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une usine de film plastique
Un transformateur électrique prend feu un dimanche après-midi dans une usine produisant des films plastique. Le réseau de sprinklage se déclenche et 13 employés sont évacués par précaution. Les pompiers éteignent les flammes avec des extincteurs à poudre ; 10 employés sont placés en chômage technique.

N° ARIA : 44313
Survenu le : 08/09/2013
Pays : FRANCE / Département : 1 / Commune : TREFFORT-CUISIAT
Activité : Forge, emboutissage, estampage ; métallurgie des poudres
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de batteries de condensateurs dans un transformateur électrique.
Un feu se déclare un dimanche vers 10 h sur des batteries de condensateurs dans un transformateur électrique d'une entreprise de travail des métaux. Les 17 employés se mettent en sécurité dans une salle de réunion. Le service de l'électricité interrompt l'alimentation du site. Les pompiers maîtrisent le sinistre à 11h30 puis vérifient l'absence de points chauds avec une caméra thermique. L'intervention des secours s'achève vers 12h30. L'activité de l'établissement est suspendue pour la journée. La gendarmerie et le maire se sont rendus sur les lieux.

N° ARIA : 44432

Survenu le : 05/10/2013
Pays : FRANCE / Département : 57 / Commune : RICHEMONT
Activité : Fabrication de gaz industriels
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Explosion de transformateur électrique dans une usine chimique
Un transformateur électrique de 220 000 V explose vers 13 h dans une usine de gaz industriels pendant le week-end. Le gardien, seul sur le site, alerte les secours. Une ligne haute-tension passant au-dessus du site est mise en sécurité. Les générateurs de secours du site se sont déclenchés. L'inspection des installations classées a été informée.

N° ARIA : 44579
Survenu le : 08/11/2013
Pays : FRANCE / Département : 47 / Commune : CANCON
Activité : Commerce de gros de fruits et légumes
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur
Vers 5 h, un feu se déclare sur une batterie de condensateur dans un transformateur électrique à l'extérieur d'une entreprise de production, de séchage et de conditionnement de noisettes et de noix soumise à autorisation. L'incendie entraîne un dysfonctionnement dans le compteur électrique et une panne. L'exploitant prévoit dans un premier temps du chômage technique pour 160 personnes pour 24 h. Toutefois, les salariés reprennent le travail dès 9 h. Seul un atelier est mis en attente et redémarre en début d'après-midi.

N° ARIA : 44853
Survenu le : 15/01/2014
Pays : FRANCE / Département : 51 / Commune : CONNANTRE
Activité : Fabrication de sucre
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une sucrerie
Un feu se déclare vers 21h40 sur un transformateur électrique d'une sucrerie. Les pompiers éteignent le feu avec les extincteurs à poudre du site et refroidissent les câbles. Ils contrôlent ensuite l'absence de points chauds au moyen d'une caméra thermique et l'absence de CO à l'aide d'un détecteur. L'activité de l'entreprise est légèrement impactée.

N° ARIA : 44950
Survenu le : 08/02/2014
Pays : FRANCE / Département : 39 / Commune : MOIRANS-EN-MONTAGNE
Activité : Fabrication d'emballages en matières plastiques
Conséquences : Humaine : 3 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une usine fabriquant des bidons en plastique.
Un feu se déclare vers 10h40 sur un transformateur électrique de 20 000 V dans une usine de 14 000 m ² fabriquant des bidons en plastique. Les pompiers éteignent l'incendie vers 12h30 avec 2 lances. Au cours du sinistre, une conduite du réseau de sprinklage se rompt et inonde le site. Le local de 50 m ² contenant le transformateur ainsi que ce dernier sont détruits ; 217 abonnés sont privés d'alimentation électrique pour la journée. Les 45 employés sont en chômage technique pendant 1 semaine.

N° ARIA : 45268
Survenu le : 13/05/2014
Pays : TURQUIE / Département : 0 / Commune : NC
Activité : Extraction de houille
Conséquences : Humaine : 6 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Explosion dans une mine de charbon
Un transformateur électrique explose vers 15h30 dans une mine de charbon dans laquelle se trouvent 787 employés. Une partie de la mine s'effondre, piégeant les mineurs. Un incendie se déclare ensuite. Quatre équipes de sauveteurs interviennent dans les galeries. Le bilan est de 282 tués et plus de 80 blessés.

N° ARIA : 45651

Survenu le : 01/09/2014
Pays : FRANCE / Département : 88 / Commune : HAROL
Activité : Usinage
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu dans une usine de pièces automobiles.
Un feu se déclare vers 15h10 au niveau d'un transformateur électrique de 20 000 V dans une usine fabriquant des pièces automobiles. Une partie des installations est en panne et une fumée blanche sort du transformateur. Le responsable maintenance, pompier dans le civil, maîtrise l'incendie avec un extincteur à poudre et fait évacuer le personnel. Les pompiers éteignent l'incendie vers 16h25. Les 120 salariés sont en chômage technique jusqu'au lendemain après-midi, le temps des réparations. Le départ de feu a eu lieu sur un sectionneur à la suite d'un défaut de contact entre les peignes mâle et les peignes femelle. Le sectionneur est remplacé le lendemain et l'activité reprend progressivement à partir de 10h30.

N° ARIA : 45689
Survenu le : 06/09/2014
Pays : FRANCE / Département : 68 / Commune : SOULTZBACH-LES-BAINS
Activité : Distribution d'électricité
Conséquences : Humaine : 2 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur et pollution au PCB
Vers 7 h, une explosion se produit sur un transformateur électrique 20 000 V dans un lotissement. Les riverains tentent d'éteindre le départ de feu avant l'arrivée des secours. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité de 50 m puis refroidissent l'équipement. Les services de l'électricité confirment une pollution par des polychlorobiphényles (PCB) de 320 ppm dans les rejets gazeux. Ils remettent sous tension le lotissement à l'aide d'un groupe électrogène. Un médecin examine les personnes exposées aux PCB : 5 riverains et 7 pompiers. Leurs vêtements sont consignés par double emballage et pris en charge par une société privée.

N° ARIA : 45741
Survenu le : 19/09/2014
Pays : FRANCE / Département : 70 / Commune : FROIDCONCHE
Activité : Fabrication d'autres produits métalliques n.c.a.
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu dans une fonderie.
Un feu se déclare vers 14h50 sur un transformateur électrique dans une fonderie d'art. Les employés éteignent l'incendie avec des extincteurs à poudre avant l'arrivée des secours. En l'absence d'électricité, le système de refroidissement du four contenant 150 kg de bronze en fusion est hors-service. Sept employés sont en chômage technique. L'incendie est dû à une surchauffe du câble d'alimentation entre le disjoncteur et le tableau des auxiliaires (éclairage, prises,...). Suite à l'incendie, l'exploitant a doublé de section le câble ainsi que la ligne d'alimentation.

N° ARIA : 45810
Survenu le : 03/10/2014
Pays : FRANCE / Département : 86 / Commune : NEUVILLE-DE-POITOU
Activité : Commerce de gros de céréales, de tabac non manufacturé, de semences et d'aliments pour le bétail
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une coopérative agricole.
Dans une coopérative agricole soumise à autorisation (rubriques 2160 & 2175), un feu se déclare vers 23h15 sur une batterie de condensateur située dans un transformateur électrique. Après une coupure électrique, une employée aperçoit de la fumée et alerte aussitôt les secours. Ces derniers installent des lances en protection et attendent la consignation électrique du transformateur avant de circonscire le feu. Le service de l'électricité intervient à 0h45. Les pompiers éteignent l'incendie avec des extincteurs à poudre. La batterie du condensateur ainsi que des câbles d'alimentation sont détruits. Une société spécialisée installe un groupe électrogène le lendemain afin de redémarrer l'activité de l'entreprise. Un nouveau transformateur est installé le 10/10. Une défaillance au niveau de la batterie du condensateur aurait initié le feu

N° ARIA : 46071
Survenu le : 19/12/2014
Pays : FRANCE / Département : 47 / Commune : MARMANDE
Activité : Construction aéronautique et spatiale
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une usine de pièces aéronautiques
<p>Un feu se déclare vers 23 h sur un jeu de batterie de condensateur d'un transformateur électrique dans une usine de pièces aéronautiques. La détection incendie alerte l'agent de sécurité qui appelle les secours après avoir effectué une levée de doute. Les 15 employés présents évacuent le bâtiment. Les pompiers éteignent l'incendie. Le transformateur est détruit. La moitié des ateliers de production est privée d'électricité. Deux groupes électrogènes sont mis en route le lendemain. La production reprend normalement.</p> <p>L'incendie d'origine électrique est survenu dans une batterie de condensateurs. Les condensateurs en cause ont une structure de pellicule dans du gel, contenue dans des cartouches plastiques à l'intérieur d'une structure métallique. Avec le temps, les peaux peuvent se déformer, gonfler, subir des micro-amorçages et éventuellement prendre feu. D'après l'exploitant, en deçà de 10 ans, ces condensateurs ne demandent pas de maintenance particulière. Il n'est pas utile de faire des contrôles préventifs car ces défauts ne seraient pas détectables. L'ensemble des batteries de condensateurs du site ont 7 ans d'ancienneté mais ont été rétrofitées, il y a 4 ans.</p> <p>Le constructeur rappelle que la durée de vie maximale de ces condensateurs est de 10 ans. Au-delà, il faut être très vigilant. Il préconise de sortir les batteries de condensateurs des locaux techniques où il y aurait d'autres équipements ou passages de câbles. Les batteries doivent être installées dans un local annexe, coupe-feu avec un rebouchage des passages de câbles. L'exploitant prévoit le remplacement de ses batteries ayant 10 ans et étudie la possibilité d'installer les autres dans un local dédié.</p>

N° ARIA : 46787
Survenu le : 01/07/2015
Pays : FRANCE / Département : 60 / Commune : BEAUVAIS
Activité : Fabrication de glaces et sorbets
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
La foudre frappe un transformateur
<p>La foudre s'abat vers 9 h sur un transformateur électrique d'une usine de crèmes glacées et provoque un incendie. La production est arrêtée une heure, le temps pour l'industriel de basculer sur l'alimentation de secours. Le transformateur endommagé est isolé électriquement pour permettre son extinction. Le site dispose de 2 autres transformateurs. Les retards de production sont rattrapés les jours suivants.</p>

N° ARIA : 46866
Survenu le : 13/07/2015
Pays : FRANCE / Département : 45 / Commune : AUXY
Activité : Transformation et conservation de la viande de volaille
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une usine agroalimentaire
<p>Vers 7h55, un feu se déclare dans le transformateur électrique d'une usine agroalimentaire (abattage de poulet). Les pompiers coupent l'alimentation haute tension avant l'ouverture du transformateur. L'exploitant met 37 personnes en chômage technique pour une durée indéterminée.</p>

N° ARIA : 46952
Survenu le : 27/07/2015
Pays : FRANCE / Département : 94 / Commune : VALENTON
Activité : Collecte et traitement des eaux usées
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu dans un local électrique d'une station d'épuration
<p>Vers 7 h, un feu se déclare dans un local électrique d'une station d'épuration intercommunale. Localisé sous un trottoir, il concerne des câbles électriques de 400 V sur une longueur de 20 m contigus à un transformateur électrique de 20 000 V. Les services du gaz et de l'électricité sont sur place. La coupure de courant est effectuée par les techniciens du site. Les pompiers arrosent le foyer à l'aide d'une lance à mousse et de 3 extincteurs. L'incendie est maîtrisé au bout de 2 h.</p>

N° ARIA : 46961
Survenu le : 25/07/2015
Pays : FRANCE / Département : 24 / Commune : LE LARDIN-SAINT-LAZARE
Activité : Fabrication de papier et de carton
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une papeterie.
Un feu se déclare vers 4h30 sur un transformateur électrique à usage de réhausseur de tension dans une papeterie. Les pompiers éteignent l'incendie vers 8h30 avec une lance à poudre. Quelques fuites d'huile sont constatées. L'huile est contenue dans un bac de rétention. Une société spécialisée se charge de son traitement. L'activité du site n'est pas impactée.

N° ARIA : 47153
Survenu le : 15/09/2015
Pays : FRANCE / Département : 67 / Commune : WISCHES
Activité : Transformation et conservation de poisson, de crustacés et de mollusques
Conséquences : Humaine : 1 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une usine agroalimentaire
Dans une usine de transformation de poissons, un court-circuit se produit vers 7 h dans un transformateur électrique. De la fumée se dégage. Les fluides sont coupés et le transformateur est consigné par les services de l'électricité. Les 70 employés sont évacués ; 2 d'entre eux ont été exposés à l'arc électrique. L'un d'eux est brûlé au visage. L'autre est choqué. Ils sont transportés à l'hôpital. L'ensemble des employés est en chômage technique jusqu'au rétablissement du transformateur.

N° ARIA : 47301
Survenu le : 24/10/2015
Pays : FRANCE / Département : 27 / Commune : SAINT-AUBIN-SUR-GAILLON
Activité : Fabrication d'autres articles en matières plastiques
Conséquences : Humaine : 3 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une usine de pièces en matière plastique
Un feu se déclare vers 15 h au niveau du transformateur électrique d'une usine fabriquant des pièces en matière plastique, alors que le site est à l'arrêt et fermé. Les gendarmes, voyant la fumée, alertent les pompiers. Un défaut électrique est reporté à la télésurveillance et transmis au directeur du site, mais l'alarme déclenchée par le détecteur de fumée n'est pas prise en compte. A leur arrivée, les pompiers restent du coup momentanément bloqués devant le portail d'accès. Le nuage de fumée est visible à plusieurs kilomètres. La circulation est interrompue. A bord de véhicules équipés de haut-parleurs, les gendarmes demandent à 500 habitants de rester confinés chez eux. L'alimentation électrique est coupée sur une partie de la commune. Le confinement des habitants est levé vers 16h30. Les pompiers éteignent l'incendie vers 17 h. L'un d'eux se blesse au mollet au cours de l'intervention.
Une partie de la toiture de l'usine, située au-dessus du transformateur, s'est effondrée. Les dégâts matériels restent limités grâce à la présence des murs REI 120 et à l'intervention des pompiers qui ont empêché la propagation de l'incendie aux autres locaux accolés à l'usine. L'installation de groupes électrogènes permet le redémarrage de l'usine le 27/10.
L'exploitant transmet un rapport d'incident le 2/11, les causes précises du départ de feu ne sont pas encore identifiées, une expertise est en cours, les installations du local TGBT étant neuves. L'inspection des installations classées se rend sur place le 3/11. Elle met en évidence les points négatifs suivants : la difficulté pour pénétrer sur le site rencontrée par les pompiers, retardant leur intervention ; l'inefficacité du dispositif d'alerte de l'exploitant, ralentissant également son intervention sur site.

N° ARIA : 47480
Survenu le : 10/12/2015
Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : DOMENE
Activité : Fabrication d'articles en fils métalliques, de chaînes et de ressorts
Conséquences : Humaine : 1 / Environnementale : 2 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie dans un bâtiment regroupant 2 entreprises

Vers 2 h, un feu se déclare sur un transformateur électrique dans un bâtiment servant au stockage de matériel et au filage pour 2 sociétés distinctes. Le bâtiment de 10 000 m² regroupe une usine d'armatures métalliques et une aciérie. Les flammes se propagent à la structure du bâtiment et à plusieurs machines. Les alimentations en gaz et électricité sont coupées. Les pompiers éteignent l'incendie sur le transformateur vers 5h10. L'un d'eux est légèrement brûlé. Une partie de la toiture s'effondre. Les pompiers éteignent l'incendie vers 13h20. Une société spécialisée pompe les eaux d'extinction contenues dans le bâtiment. Le site n'étant pas sur rétention, une irisation est constatée sur la CHANTOURNE sur 600 m. Le ruisseau est curé et des barrages flottants sont installés.

Le sinistre détruit 1 000 m² de bâtiment. Dans l'aciérie, 25 employés sont en chômage technique. Un problème électrique sur le transformateur basse tension est à l'origine du sinistre.

N° ARIA : 47542

Survenu le : 01/07/2015

Pays : FRANCE / Département : 77 / Commune : GRANDPUITS-BAILLY-CARROIS

Activité : Distribution d'électricité

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Torchage dans une raffinerie suite à l'explosion d'un transformateur

Vers 20h30, 3 combinés de mesures d'un transformateur électrique (63 000 V) explosent. La raffinerie qu'il alimente est privée d'électricité. En conséquence, une quantité importante d'hydrocarbures est déviée vers la torche. Les pompiers éteignent l'incendie du transformateur. La raffinerie est réalimentée en électricité vers 22h30. Les fortes chaleurs seraient à l'origine de l'explosion.

N° ARIA : 47768

Survenu le : 10/03/2016

Pays : FRANCE / Département : 54 / Commune : LANEUVEVILLE-DEVANT-NANCY

Activité : Fabrication d'autres produits chimiques inorganiques de base

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur dans une usine chimique

Vers 21 h, un feu se déclare sur un transformateur électrique sur le site d'une usine chimique. Aucune victime ou pollution n'est à déplorer. L'activité de l'usine est partiellement mise à l'arrêt.

N° ARIA : 47942

Survenu le : 02/11/2015

Pays : FRANCE / Département : 26 / Commune : CHATEAUNEUF-SUR-ISERE

Activité : Production d'électricité

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Dépassement de la cote réglementaire d'un barrage

Vers 7h20, une explosion survient dans un transformateur électrique alimentant un barrage. Ceci entraîne l'arrêt des turbines de l'usine hydroélectrique, qui relâche un débit de 150 m³/h.. Afin de réguler le niveau de la retenue, l'automate commande l'ouverture des vannes du barrage, mais celles-ci ne manœuvrent pas. La cote du plan d'eau augmente. À 7h50, elle atteint le seuil d'alarme qui active le dispositif de sauvegarde de l'ouvrage. Les volets supérieurs du barrage sont alors ouverts. La cote de la retenue revient à son niveau normal à 8h45. Vers 9h30, les installations sont basculées vers l'alimentation de secours. Une des 4 passes du barrage fonctionne en automatique. Pour 2 autres, dans l'attente d'expertise, un fonctionnement manuel est préféré. La dernière était en travaux.

Une intervention était en cours sur le transformateur électrique. Une erreur de raccordement des agents de l'électricité a conduit à une inversion des phases d'alimentation du barrage.

N° ARIA : 48486

Survenu le : 24/08/2016

Pays : FRANCE / Département : 16 / Commune : CHASSENEUIL-SUR-BONNIEURE

Activité : Sciage et rabotage du bois

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur

Un feu se déclare vers 18 h sur un transformateur électrique externe et impacte une menuiserie soumise à autorisation (rubrique 2410). Les pompiers éteignent l'incendie vers 19 h. Vingt-cinq employés de l'entreprise sont en chômage technique pour la journée du lendemain, le temps d'installer un groupe électrogène.

N° ARIA : 48487

Survenu le : 24/08/2016

Pays : FRANCE / Département : 59 / Commune : LILLE

Activité : Transformation du thé et du café

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur dans une usine de torréfaction

Un feu se déclare vers 19h50 sur un transformateur électrique d'une usine de torréfaction. Les 13 employés présents sont évacués. Les pompiers éteignent l'incendie avec une lance à poudre. La production de l'usine a été arrêtée pendant 30 min. Vingt employés sont en chômage technique.

N° ARIA : 48561

Survenu le : 07/09/2016

Pays : FRANCE / Département : 43 / Commune : SAINTE-SIGOLENE

Activité : Fabrication de plaques, feuilles, tubes et profilés en matières plastiques

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Feu de transformateur dans une usine de plastiques

Vers 3h10, un feu se déclare sur un transformateur électrique de 20 000 V dans une entreprise spécialisée dans le traitement des matières plastiques. Les 5 employés de nuit, qui donnent l'alerte, sont évacués. Les services techniques de l'électricité coupent le courant pour que les pompiers puissent intervenir en toute sécurité. Deux entreprises à proximité sont également privées d'électricité.

L'incendie, d'origine inconnue, dégage de la fumée qui se propage dans les locaux de 4 000 m². Si aucune victime n'est à déplorer, les dégâts causés entraînent une cessation totale d'activité. Une vingtaine de salariés est au chômage technique pour plusieurs jours.

N° ARIA : 48658

Survenu le : 01/10/2016

Pays : FRANCE / Département : 84 / Commune : CADEROUSSE

Activité : Production d'électricité

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Explosion de transformateur dans une usine hydroélectrique

Une explosion, suivie d'un feu, se produit vers 16 h sur un transformateur électrique situé dans un local en sous-sol d'une usine hydroélectrique. Les fumées remplissent le local de 100 m² et se propagent via les gaines électriques. Les fluides sont coupés. Les circulations routières et fluviales sont arrêtées. Les secours évacuent les employés. Ils interviennent sous ARI, le bâtiment présentant un revêtement en amiante. Les portes coupe-feu stoppent les flammes et l'extinction automatique éteint l'incendie vers 21 h.

Un transformateur auxiliaire de 5,5 kW, à l'origine du sinistre, ainsi qu'un second de 63 kW sont détruits. Le local est endommagé. Trois étages du bâtiment sont souillés par les fumées. Un impact de foudre aurait provoqué l'explosion.

N° ARIA : 49037

Survenu le : 25/05/2016

Pays : FRANCE / Département : 22 / Commune : CALLAC

Activité : Distribution d'électricité

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Fuite sur un transformateur

À 19h20, un arbre chute sur un transformateur électrique. Celui-ci, situé en haut d'un poteau, s'ouvre et 100 l d'huile contenant 311 ppm de PCB s'en écoulent. La chaussée ainsi qu'un champ de blé attenants sont touchés sur une vingtaine de m². Une équipe d'intervention de l'exploitant se rend sur place immédiatement. De l'absorbant est épandu. Le blé souillé est récupéré. Les terres polluées sont décaissées sur 30 cm. Elles sont prises en charge par une société spécialisée.

N° ARIA : 49243

Survenu le : 10/02/2017
Pays : FRANCE / Département : 91 / Commune : VIRY-CHATILLON
Activité : Captage, traitement et distribution d'eau
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une usine de traitement des eaux
Vers 19h45, un feu se déclare sur un transformateur électrique au niveau du tableau général basse tension (TGBT) dans une entreprise de traitement des eaux. Ce tableau est situé dans une des zones du bâtiment électrique de 900 m ² qui comprend 4 zones. Les services de l'électricité coupent le courant pour que les secours puissent intervenir en toute sécurité. Les pompiers éteignent l'incendie à l'aide de dévidoirs à poudre. Aucun impact sur l'environnement n'est à déplorer. Les 4 zones sont totalement détruites. Les entreprises voisines assurent la distribution d'eau potable.

N° ARIA : 49295
Survenu le : 20/02/2017
Pays : FRANCE / Département : 88 / Commune : BARBEY-SEROUX
Activité : Sciage et rabotage du bois
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie du transformateur électrique alimentant une scierie
Un feu se déclare vers 14h20 sur un transformateur électrique d'une scierie soumise à autorisation. Le personnel éteint l'incendie avant l'arrivée des secours. Douze employés sont en chômage technique.

N° ARIA : 49302
Survenu le : 23/02/2017
Pays : FRANCE / Département : 1 / Commune : AMBERIEU-EN-BUGEY
Activité : Défense
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie de transformateur dans une base aérienne
Un feu se déclare vers 18 h sur un transformateur électrique d'une base aérienne militaire. Les pompiers éteignent l'incendie vers 18h20 avec un extincteur CO2. Sur la base, 9 bâtiments, soit 60 personnes, sont privés d'électricité.

N° ARIA : 49305
Survenu le : 24/02/2017
Pays : FRANCE / Département : 69 / Commune : VAULX-EN-VELIN
Activité : Commerce de gros d'autres machines et équipements
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie dans une entreprise de fabrication de matériels de régulation
Un feu se déclare vers 2h30 sur un transformateur électrique d'une entreprise spécialisée dans la fabrication de matériels de régulation. L'incendie est éteint au moyen d'extincteurs à poudre. Les services de l'électricité coupe l'alimentation électricité de l'ensemble du site. Cette coupure entraîne le chômage technique de 250 personnes. La société loue des groupes électrogènes pour reprendre son activité au plus vite.

N° ARIA : 49414
Survenu le : 21/03/2017
Pays : FRANCE / Département : 38 / Commune : GRENOBLE
Activité : Fabrication de matériel de distribution et de commande électrique
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie suite à l'explosion d'un transformateur électrique
Vers 20h10, une explosion se produit sur un transformateur électrique dans une entreprise de fabrication de matériel de distribution d'électricité. Le transformateur électrique est installé sur une semi-remorque à l'intérieur d'un laboratoire afin d'effectuer un test. L'explosion provoque une fuite de 1 000 l d'huile minérale qui provoque un incendie. La semi-remorque est brûlée. Les pompiers maîtrisent la propagation du sinistre au reste du bâtiment. Dix employés sont évacués. Une ronde est effectuée vers 2h45. Aucune reprise de feu ni de points chaud n'est observée à la caméra thermique.

N° ARIA : 49467

Survenu le : 04/01/2017
Pays : FRANCE / Département : 43 / Commune : MONISTROL-SUR-LOIRE
Activité : Fabrication de plaques, feuilles, tubes et profilés en matières plastiques
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une usine de plasturgie
Vers 11h50, un transformateur électrique prend feu dans un local TGBT de 30 m ² situé dans un bâtiment de 5 000 m ² d'une usine de fabrication de plastique. L'installation est consignée. Le réseau de sprinklage se déclenche et 9 employés sont évacués. L'incendie est éteint à l'arrivée des pompiers. Ils procèdent à la ventilation du bâtiment avec le système de désenfumage.
En 2013, un incendie similaire a déjà eu lieu sur ce site (ARIA 44312).

N° ARIA : 49501
Survenu le : 05/04/2017
Pays : FRANCE / Département : 1 / Commune : REYRIEUX
Activité : Fonderie de métaux légers
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie de transformateur dans une fonderie
Vers 4h30, un feu se déclare sur un transformateur électrique dans une fonderie. L'incendie se propage au bardage du bâtiment, dans la zone dédiée à l'activité d'usinage. Les pompiers éteignent l'incendie à l'aide de 2 lances. Ils évacuent 15 employés. Une partie des eaux d'extinction est évacuée via le réseau d'eaux pluviales du site car le site ne dispose ni d'obturateur ni de rétention. Le sinistre impacte le fonctionnement de l'usine, 70 personnes sont en chômage technique

N° ARIA : 49503
Survenu le : 03/04/2017
Pays : FRANCE / Département : 84 / Commune : AVIGNON
Activité : Production d'électricité
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une usine hydro-électrique
Vers 9h15, lors de travaux de maintenance, un feu se déclare sur un transformateur électrique dans une usine hydroélectrique. Les secours évacuent 15 personnes. Les pompiers éteignent l'incendie dans le local de 150 m ² . Durant l'intervention, la navigation sur l'écluse associée au barrage est arrêtée. Une surveillance continue est mise en place par l'exploitant pour quelques jours.

N° ARIA : 49715
Survenu le : 26/05/2017
Pays : FRANCE / Département : 55 / Commune : TRONVILLE-EN-BARROIS
Activité : Fabrication de fibres artificielles ou synthétiques
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur électrique
Vers 20 h, un feu se déclare sur un transformateur électrique à bain d'huile dans un local électrique de 50 m ² situé dans une usine de fabrication de fibres textiles synthétiques qui offrent une réelle protection face au risque de l'incendie. Les pompiers sont confrontés à un local fermé duquel sort, par des lucarnes latérales, une épaisse colonne de fumée noire. Les secours internes ouvrent le local. Les pompiers maîtrisent alors l'incendie à l'aide d'une lance à mousse. L'activité de l'entreprise n'est pas impactée.

N° ARIA : 49786
Survenu le : 16/06/2017
Pays : FRANCE / Département : 41 / Commune : SAVIGNY-SUR-BRAYE
Activité : Fabrication d'emballages en matières plastiques
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une entreprise d'emballage de tubes et bouchons

Vers 4h40, un feu se déclare sur un transformateur électrique accolé à une entreprise d'emballages en matière plastique par soufflage. Les sprinkleurs se déclenchent malgré l'absence de flammes à l'intérieur de l'entreprise. Les 30 employés évacuent le bâtiment. Les pompiers protègent les cuves contenant les billes en plastique ainsi que les bâtiments à l'aide de lances à débit variable. Le transformateur concerné assure l'alimentation de 2 usines du même groupe. Une seule redémarre rapidement, 80 personnes sont en chômage technique.

N° ARIA : 49827

Survenu le : 01/06/2016

Pays : FRANCE / Département : 78 / Commune : GUYANCOURT

Activité : Administration générale, économique et sociale

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Surverse au déversoir d'orage d'un barrage

Lors d'un épisode régional de précipitations importantes, une surverse se produit au niveau du déversoir d'orage d'un barrage. En plus des eaux de pluie et de ruissellement, le niveau de la retenue est élevé du fait d'un rejet plus important qu'en temps normal d'un barrage en amont. L'exploitant, en lien avec la préfecture, augmente volontairement le débit rejeté par le barrage amont car son plan d'eau, en niveau haut, menace un transformateur électrique. Une surveillance des niveaux est mise en place.

N° ARIA : 49877

Survenu le : 25/06/2017

Pays : FRANCE / Département : 90 / Commune : AUXELLES-BAS

Activité : Usinage

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 1 / Economique : 0 / Matérielle : 1

Incendie dans une usine de fabrication de pièces en aluminium

Un dimanche vers 18 h, un feu se déclare dans le bâtiment de stockage de 2 000 m² d'une usine de mise en forme de pièces en aluminium à l'arrêt. La moitié du bâtiment est embrasée sur toute la hauteur. Les pompiers protègent le bâtiment de production accolé au bâtiment de stockage. L'incendie endommage le bâtiment, les équipements de production. Le bâtiment risquant de s'effondrer, 130 employés sont en chômage technique et 40 intérimaires voient leurs missions arrêtées.

Le départ de feu pourrait être localisé dans le transformateur électrique du site où les pompiers ont trouvé un foyer d'incendie.

N° ARIA : 50094

Survenu le : 02/08/2017

Pays : FRANCE / Département : 60 / Commune : PONTPOINT

Activité : Fabrication d'éléments en béton pour la construction

Conséquences : Humaine : 1 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Incendie de transformateur électrique

Un incendie se déclare vers 15 h dans une installation de fabrication d'éléments en béton pour la construction soumise à déclaration. Le feu concerne un transformateur électrique situé dans un bâtiment. Ce dernier est évacué. Les pompiers interviennent. Après une reconnaissance, ils utilisent un extincteur à poudre.

L'alimentation électrique est interrompue. Durant l'intervention, un pompier est électrisé. Il est transporté à l'hôpital.

N° ARIA : 50216

Survenu le : 20/08/2017

Pays : FRANCE / Département : 61 / Commune : DOMFRONT EN POIRAIE

Activité : Exploitation de laiteries et fabrication de fromage

Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0

Incendie dans une fromagerie

Vers 17h30, un feu de transformateur électrique se déclare dans l'enceinte d'une fromagerie. Ce dernier démarre au niveau du châssis TGBT d'un transformateur qui permet avec le transformateur voisin d'alimenter la tête d'usine. Appelés sur site, les 18 pompiers éteignent l'incendie à l'aide d'extincteurs à poudre.

L'incendie serait dû à l'échauffement d'un disjoncteur. L'activité de l'usine reprend le surlendemain. Le local électrique est remis en état dans les jours qui suivent.

N° ARIA : 50357
Survenu le : 09/09/2017
Pays : FRANCE / Département : 67 / Commune : MOLSHEIM
Activité : Construction aéronautique et spatiale
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie de transformateur dans une entreprise de construction aéronautique
Un feu se déclare sur un transformateur électrique dans une entreprise de construction aéronautique. L'équipe de seconde intervention du site maîtrise l'incendie avant l'arrivée des pompiers. Ces derniers effectuent des vérifications.

N° ARIA : 50743
Survenu le : 14/06/2017
Pays : FRANCE / Département : 61 / Commune : LA FERRIERE-BOCHARD
Activité : Industrie des eaux minérales et autres eaux embouteillées et des boissons rafraîchissantes
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie dans un local transformateur
Vers 10 h, un feu se déclare sur un transformateur électrique dans une entreprise de boissons rafraichissantes. A 10h30, le feu est maîtrisé à l'aide de trois lances dont une à mousse. Vers 11h30, l'incendie est circonscrit. Des équipements temporaires sont installés afin d'assurer l'alimentation électrique des installations. Un dépoussiérage des locaux est effectué.

N° ARIA : 50768
Survenu le : 01/12/2017
Pays : FRANCE / Département : 49 / Commune : CHEMILLE-EN-ANJOU
Activité : Commerce de gros de bois, de matériaux de construction et d'appareils sanitaires
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie de transformateur
Vers 9 h, un court-circuit se produit dans un transformateur électrique d'une entreprise de commerce de gros de bois soumise à autorisation (rubrique 2415). Les services de l'électricité sont sur place. Lors de l'intervention des pompiers, il est constaté une détérioration d'un bloc de disjoncteur situé dans le local de transformation. 60 salariés se retrouvent au chômage technique à la suite de l'événement. L'activité de la coopérative est perturbée du fait de l'absence d'électricité jusqu'à la mise en place d'un groupe électrogène.

N° ARIA : 50782
Survenu le : 08/12/2017
Pays : FRANCE / Département : 73 / Commune : RANDENS
Activité : Production d'électricité
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Dégagement de fumée dans un local technique
Vers 11h15, un dégagement de fumée se produit dans le local technique du bâtiment administratif d'une centrale électrique. Le local abrite un transformateur électrique et des batteries. L'alarme incendie se déclenche. 5 personnes sont évacuées. À l'arrivée des pompiers, le dégagement de fumée a cessé. L'événement n'a pas impact sur le fonctionnement de la centrale.

N° ARIA : 51433
Survenu le : 26/04/2018
Pays : FRANCE / Département : 95 / Commune : FRANCONVILLE
Activité : Distribution d'électricité
Conséquences : Humaine : 4 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie de transformateur électrique
Vers 13 h, un feu se déclare dans un transformateur électrique, situé sur la voie publique. Un dégagement de fumée est visible. Un périmètre de sécurité est mis en place. Vers 14h30, le feu est éteint avant l'arrivée des pompiers. 3 000 foyers sont privés d'électricité, pendant 5 h.

N° ARIA : 51643
Survenu le : 01/06/2018
Pays : FRANCE / Département : 33 / Commune : LE BARP

Activité : Exploitation de gravières et sablières, extraction d'argiles et de kaolin
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie de transformateur électrique dans une entreprise spécialisée dans l'extraction
Vers 11h15, un feu se déclare sur un transformateur électrique sous tension de 20 000 V dans un local de 15 m ² dans une entreprise d'extraction de sables. Les pompiers protègent le bâtiment administratif de l'entreprise. L'alimentation électrique est coupée. Le feu est éteint à l'aide de mousse. La production est arrêtée. 35 employés sont en chômage technique, pour 4 jours.

N° ARIA : 51679
Survenu le : 11/06/2018
Pays : FRANCE / Département : 47 / Commune : MARMANDE
Activité : Usinage
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie de transformateur
Vers 5h40, un feu se déclare sur un transformateur électrique, de 20 000 V, situé à l'extérieur d'une entreprise de mécanique industrielle. Les pompiers interviennent. La production est stoppée. Les services de l'électricité procèdent au raccordement sur un autre transformateur dans la journée.

N° ARIA : 51794
Survenu le : 28/06/2018
Pays : FRANCE / Département : 84 / Commune : CADEROUSSE
Activité : Production d'électricité
Conséquences : Humaine : 1 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie et explosion de transformateur dans une usine hydroélectrique
Lors d'une phase de redémarrage, une explosion se produit vers 15 h dans un transformateur électrique en sous-sol d'une usine hydroélectrique. Elle est suivie d'un incendie. 20 employés sont évacués. Les fluides sont coupés. La circulation fluviale est arrêtée. Les pompiers éteignent le feu vers 17 h. Le bâtiment est ventilé. 1 personne légèrement blessée est transportée à l'hôpital. Une fuite d'eau est découverte entre 2 étages de l'installation. 3 groupes de production d'électricité sur 6 sont à l'arrêt.

N° ARIA : 51994
Survenu le : 27/07/2018
Pays : FRANCE / Département : 86 / Commune : BONNEUIL-MATOURS
Activité : Sciage et rabotage du bois
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Feu de transformateur dans une menuiserie
Un feu se déclare à 21h41 dans une menuiserie sur un transformateur électrique alimentant un bâtiment à usage de séchoir. Un risque de propagation de l'incendie à d'autres bâtiments du site est envisagé. Les pompiers interviennent. Vers 22 h, le feu est éteint. Des relevés de températures sont effectués. L'entreprise est à l'arrêt complet : 3 000 m ² de surface de production ont été détruits. L'entreprise avait été victime d'un sinistre quelques jours auparavant a priori sans lien avec celui-ci (ARIA 51983).

N° ARIA : 52224
Survenu le : 19/09/2018
Pays : FRANCE / Département : 80 / Commune : EPPEVILLE
Activité : Fabrication de sucre
Conséquences : Humaine : 0 / Environnementale : 0 / Economique : 0 / Matérielle : 0
Incendie de transformateur dans une sucrerie

Vers 17h15, un feu se déclare sur un transformateur électrique de 550 000 V alimentant une sucrerie en 400 V. Dans le local de 40 m², l'incendie se propage sur 3 niveaux, touchant un second transformateur. Le site est mis en sécurité et 20 employés se rassemblent à l'entrée de l'établissement. Une épaisse fumée se dégage du local. Les pompiers protègent le second transformateur électrique de 5 500 V et éteignent l'incendie sur le premier. Les 2 transformateurs sont endommagés. L'activité de l'entreprise est arrêtée, mais aucun chômage technique n'est prévu. Les secours prennent en charge 12 employés et 4 pompiers ayant inhalé des fumées. Aucun d'entre eux n'est transporté à l'hôpital.

Les premières betteraves de la campagne 2018 qui commençaient à être acheminées sur la plateforme de stockage vont être transportées dans une autre sucrerie pour ne pas être abîmées par le temps. Les opérations de maintenance et réparation et la remise en service des chaînes de traitement pourraient prendre 1 mois, entraînant un retard sur la campagne sucrière qui devait démarrer le 24/09.

ANNEXE EDD.3

ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

1 PRESENTATION DE LA DEMARCHE

L'APR est une méthode couramment utilisée dans le domaine de l'analyse des risques. Il s'agit d'une méthode inductive, systématique et assez simple à mettre en œuvre. Concrètement, l'application de cette méthode réside dans le renseignement d'un tableau en groupe de travail pluridisciplinaire.

La méthode d'analyse préliminaire des risques repose sur deux enchaînements successifs :

Élément dangereux + Agression = Situation dangereuse
Situation dangereuse + Événement aggravant = Accident

Il s'agit donc, dans un premier temps, d'identifier les éléments dangereux du système. Puis, pour chaque élément dangereux, de déterminer les situations dangereuses possibles. On peut ensuite déterminer les accidents et leurs conséquences et lister les moyens de prévention existants et les évaluer.

Le tableau utilisé est présenté ci-après :

N°	Équipement Phase	Évènement redouté central	Évènement initiateur	Phénomène dangereux	G	P	Barrières de prévention	Barrières de protection	C	Commentaire
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

La première ligne permet de situer la partie de l'installation étudiée. Les modes de fonctionnement normal, transitoire et dégradé sont étudiés dans l'analyse des risques. Seuls ceux retenus apparaissent dans l'étude.

La **colonne n°1** désigne les numéros des scénarios étudiés.

La **colonne n°2** désigne l'équipement étudié en rapport avec la partie de l'installation désignée à la première ligne ainsi que la phase du procédé (dépotage ou autre...).

La **colonne n°3** désigne l'Évènement Redouté Central (situation de danger). Par exemple, la mise en suspension de poussières, la fuite de gaz ou l'inflammation de matières combustibles.

La **colonne n°4** désigne l'Évènement Initiateur (cause de la situation de danger). Un Évènement Redouté Central peut avoir plusieurs Évènements Initiateurs, aussi bien internes (défaillance mécanique, erreur humaine, points chauds, ...) qu'externes (effets dominos, ..).

La **colonne n°5** désigne les phénomènes dangereux susceptibles de découler de l'Évènement Redouté Central (ex : explosion, incendie, pollution des eaux superficielles, etc.).

La **colonne n°6** désigne le niveau de gravité retenu sur la base du tableau présenté au § 4 et incluant des cibles humaines, matérielles et environnementales.

La **colonne n°7** désigne la probabilité d'occurrence de l'évènement sur base du tableau présenté au § 4.

La **colonne n°8** désigne les barrières de sécurité existantes ayant une action de prévention sur l'Évènement Redouté Central.

La **colonne n° 9** désigne les barrières de sécurité existantes ayant une action de protection. Elles permettent de limiter les conséquences / effets des Phénomènes dangereux voire de les supprimer.

La **colonne n° 10** désigne le niveau de criticité de l'évènement résultant de la prise en compte de la gravité et de la probabilité d'occurrence de ce dernier (se reporter au §4).

La **colonne n° 11** intitulée « commentaires » permet de justifier pourquoi le scénario n'a pas été modélisé, en indiquant les critères simples qui ont permis d'estimer que les effets du phénomène dangereux ne pouvaient pas atteindre des enjeux à l'extérieur de la limite d'exploitation (nature du produit concerné, quantité du produit concerné, localisation de l'installation par rapport à la limite d'exploitation, ...). Cette colonne indique également les améliorations prévues ou nécessaires. Il s'agit de barrières de sécurité supplémentaires ou du lancement d'une étude par exemple.

Seuls les évènements plausibles, compte tenu des conditions de mises en œuvre des produits ou des installations, ont été retenus.

2 PERIMETRE DE L'ANALYSE DES RIQUES

Les installations ou systèmes étudiés sont les suivants :

Installations étudiées		Produits mis en œuvre	Rubrique ICPE
Unité de production d'hydrogène			
Unité de production d'hydrogène Rub ICPE : 3420-a	Module d'électrolyse de l'eau	Electrolyte (KOH) + Eau traitée Hydrogène Oxygène	1630
	Module de séparation		4715
	Module de purification	Hydrogène	4725
	Module de compression 100 bar	Hydrogène	4715
Réseau de gaz	Réseau amont à la compression	Hydrogène	4715
	Réseau aval à la compression – réseau export	Hydrogène	4715
	Réseau d'évacuation de l'O ₂	Oxygène	4725
Installations annexes			
Réseau d'inertage et de purge	2 cuves de 5 tonnes	Azote liquide	-
Réseau d'alimentation en CH ₄	Torchère	Méthane	4718
Réseau d'alimentation en azote		Azote	-
Traitement de l'eau brute	Unité de traitement de l'eau et produits de traitement associés	Eau brute Produits de traitement	-
Traitement des effluents industriels	Unité de traitement des effluents industriels et produits de traitement associés	Effluents industriels Produits de traitement	-
Unité de refroidissement	Tour de refroidissement	Eau Produits de traitement	2921 4511
Unité mobile	Module de compression 500 bar	Hydrogène	4715
	Station de remplissage et cylindres		
Utilités			
Alimentation en énergie électrique	Transformateurs 225 kV	Huile Energie électrique SF ₆	1185-3-2
	Transformateurs 30 kV	SF ₆ Energie électrique	1185-3-2
	Groupe électrogène de secours	Energie électrique Fioul domestique	2910-A 4734-2

3 COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

La présente analyse des risques est basée sur les conclusions de l'analyse des risques et de sécurité de fonctionnement (HAZOP) et de l'identification des dangers (HAZID) réalisées par le groupe de travail suivant (présence effective en fonction des sujets abordés) :

- ✦ Patrick MONROY, BUREAU VERITAS, Chef de Projets Risques Industriels, Chairman,
- ✦ Jean-Marc LEONHARDT, H2V, Directeur des opérations,
- ✦ Benoit VANTOUROUT, H2V, Directeur du développement,
- ✦ Aude HUMBERT, H2V, Chef de projet développement,
- ✦ Lucian SOLCAN, H2V, Ingénieur électrique,
- ✦ Richard ESPESETH, HYDROGEN PRO, Directeur général,
- ✦ Hans-Jörg FELL, HYDROGEN PRO, Directeur technique,
- ✦ Tor DANIELSEN, HYDROGEN PRO, Directeur projet et ingénierie,
- ✦ Wei XU, THE, Ingénieur process,
- ✦ Wei ZHIKUN, THE, Ingénieur process,
- ✦ Laurent AUBRY, DNS, Architecte,
- ✦ Ophélie LEROUGE, DNS, Dessinatrice,
- ✦ Quentin ROULLAND, DNS, Ingénieur économiste,
- ✦ Nicolas BEILLANT, ATEIM, Chargé d'études,
- ✦ Richard FORDE, WOOD, Ingénieur consultant,
- ✦ Laurence GRAND-CLEMENT, PerseE, Directrice générale,
- ✦ Valentina RUZ, PerseE, Ingénieure chimiste,
- ✦ Laurent BRUSS, FIMATEC, Ingénieur électrique,
- ✦ Océane VAN-HOOREBEKE, KALIES, Chargée d'études.

4 **CHOIX DES SCENARIOS**

Chaque événement identifié fait l'objet d'une cotation en gravité et en probabilité, permettant ensuite d'en évaluer la criticité.

La cotation de la gravité se fera sur la base de l'échelle suivante (le niveau le plus pénalisant sera retenu entre les trois cibles) :

Echelle de gravité			
Niveaux	Cibles humaines	Cibles matérielles	Cibles environnementales
1	Aucun effet significatif sur le personnel : pas de blessé ou blessure légère sans arrêt de travail	Aucun effet significatif sur les équipements du site	Aucune atteinte significative de l'environnement proche du site
2	Blessures sérieuses pouvant engendrer un arrêt de travail, mais aucun effet létal ou irréversible n'est observé	Atteintes d'équipements non essentiels à la sécurité du site	Atteintes limitées au site, pouvant nécessiter des travaux de remédiation minimes
3	Effet létal ou irréversible limité à un poste de travail sur le site	Atteintes d'équipements importants pour la sécurité du site sans aggravation générale des conséquences	Atteintes sérieuses, nécessitant des travaux lourds de remédiation
4	Effet létal ou irréversible sur au moins une personne à l'extérieur du site ou au niveau de zones occupées du site	Atteinte d'équipements importants pour la sécurité du site avec aggravation générale des conséquences	Atteintes critiques à des zones vulnérables, avec des répercussions à l'échelle locale

La cotation de la probabilité se fera sur la base de l'échelle suivante :

Niveaux	Échelle de probabilité
1	Événement improbable : ne s'est jamais produit sur le site ou ailleurs
2	Événement peu probable : ne s'est jamais produit sur le site, mais s'est quelques fois produit sur d'autres sites industriels
3	Événement probable : s'est déjà produit sur le site une fois ou s'est déjà produit sur d'autres sites plusieurs fois
4	Événement très probable : s'est déjà produit sur le site à plusieurs reprises

À partir de ces échelles de gravité et de probabilité, la criticité de l'événement sera déterminée selon le calcul suivant :

$$\text{Criticité} = \text{Gravité} \times \text{Probabilité}$$

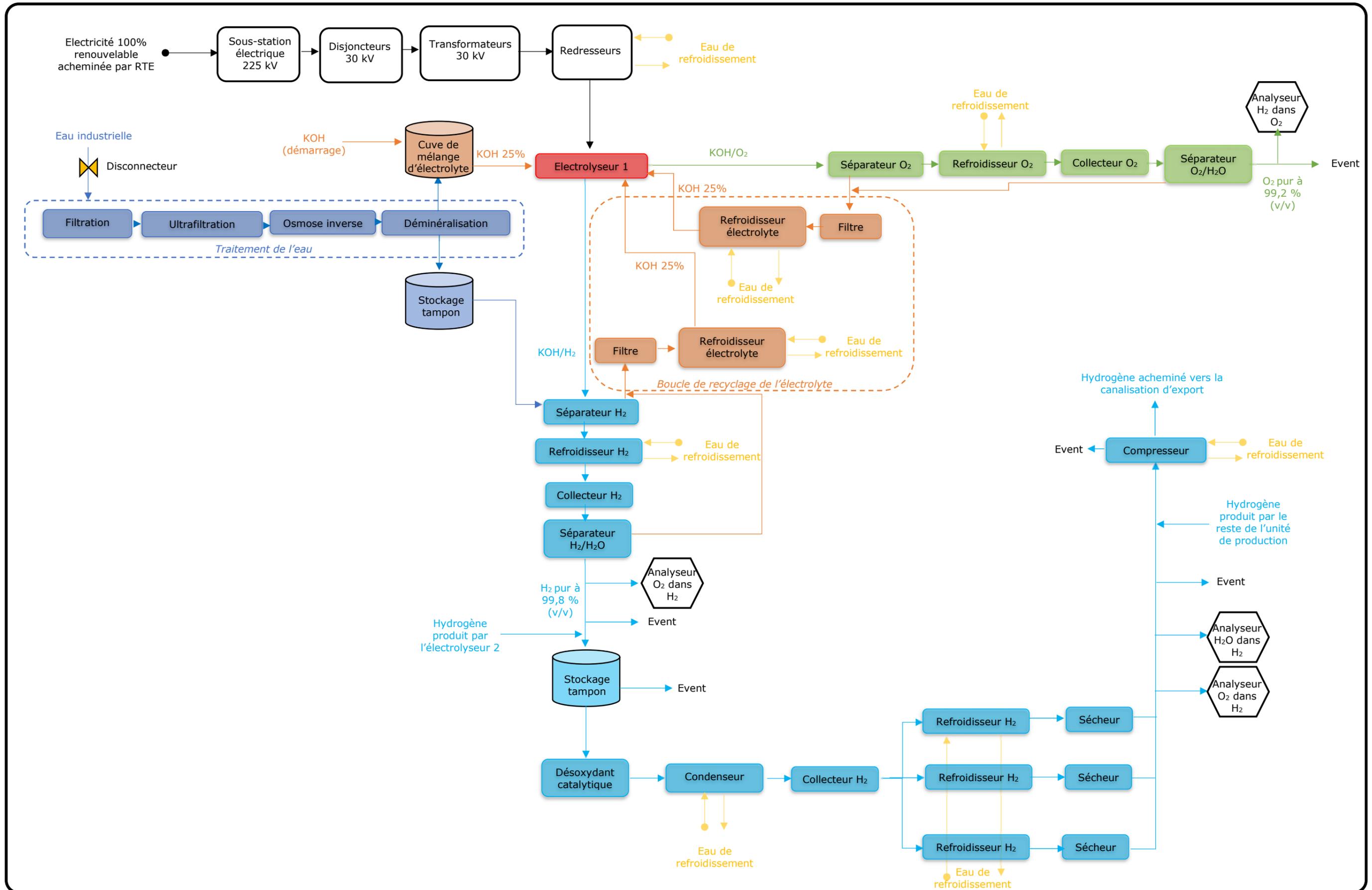
Selon la valeur de la criticité (tableau ci-dessous), les événements identifiés seront classés comme suit :

- en zone verte, qui correspond à un risque jugé acceptable par l'exploitant, sous réserve d'avoir du personnel compétent, formé et de mettre en place les procédures et mesures de prévention nécessaires,
- en zone rouge, qui correspond à un risque non acceptable. Les événements situés dans cette zone feront l'objet d'une modélisation afin d'affiner leur niveau de gravité et de confirmer ou d'infirmer s'ils restent à un niveau de risque non acceptable.

Niveau de criticité des événements étudiés				
Niveaux de gravité	Niveaux de probabilité			
	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	2	4	6	8
3	3	6	9	12
4	4	8	12	16



Synoptique de principe général de production d'hydrogène sur le site de Saint-Jean-de-Folleville à l'échelle d'une unité de production



MODULE D'ELECTROLYSE DE L'EAU ET SEPARATION

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
1.	Module de production H ₂ et séparation	Chute ou absence de pression sur les réseaux gaz dans le bâtiment	Fuite massive sur raccord vissé / joint	Formation d'une ATEX au sein du bâtiment OU d'une atmosphère enrichie en O ₂	<ul style="list-style-type: none"> Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. Raccords soudés privilégiés Respect des procédures de montage/démontage Matériaux adaptés Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Suivi pression avec asservissement Ventilation mécanique fonctionnant en continu permettant de maintenir le volume d'H₂ sous la LIE Détection H₂ Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement des électrolyseurs. <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	2	2	4	En cas de détection gaz : démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
2.	Module de production H ₂ et séparation	Chute de pression sur les réseaux gaz dans le bâtiment	Fuite modérée à faible : fuite sur raccords / joints ou fuite par perméation	Formation d'une ATEX au sein du bâtiment OU D'une atmosphère enrichie en O ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. • Raccords soudés privilégiés • Respect des procédures de montage/démontage • Matériaux adaptés • Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suivi pression avec asservissement • Ventilation mécanique fonctionnant en continu permettant de maintenir le volume d'H₂ sous la LIE • Détection H₂ • Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. • Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement des électrolyseurs. <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personnel formé et habilité 	2	2	4	En cas de détection gaz : démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
3.	Module de production H ₂ et séparation	Diminution de la pression sur le réseau gaz	Vanne d'échantillonnage sur réseau H ₂ ouverte	Fuite de gaz dans le bâtiment et formation potentielle d'une ATEX	<ul style="list-style-type: none"> Vanne double Procédure d'exploitation 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Suivi pression avec asservissement Ventilation mécanique fonctionnant en continu permettant de maintenir le volume d'H₂ sous la LIE Détection H₂ Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement des électrolyseurs. Bâtiment en zone ATEX Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	2	2	4	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.
4.	Module de production H ₂ et séparation	Chute ou absence de pression sur les réseaux gaz dans le bâtiment suite à une rupture guillotine	Arrachage	Formation d'une ATEX au sein du bâtiment OU D'une atmosphère enrichie en O ₂	<ul style="list-style-type: none"> Absence de circulation dans le bâtiment : Scénario physiquement impossible. 	/	/	/	/	/

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
5.	Module de production H ₂ et séparation	Présence d'une ATEX dans le bâtiment production ET D'une source d'inflammation	Apparition d'une source d'inflammation	VCE Feu torche	Gestion des sources d'inflammation potentielles dans le bâtiment : <ul style="list-style-type: none"> Adéquation entre le matériel électrique et des zones ATEX Procédure de sécurisation lors d'opération de maintenance et de travaux Consignes de sécurité Permis spécifique (feu) 	Mesures techniques La chaîne de détection H ₂ associée à la ventilation du bâtiment permettra de ne pas dépasser 25 % de la LIE de l'H ₂ . Cette chaîne de sécurité est secourue électriquement (double secours). Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	4	2	8	
6.	Module de production H ₂ et séparation	Emission d'un nuage H ₂ à l'atmosphère via ventilation mécanique	Apparition d'une source d'inflammation	Feu torche ou UVCE	Gestion des sources d'inflammation potentielles dans le bâtiment : <ul style="list-style-type: none"> Adéquation entre le matériel électrique et des zones ATEX Procédure de sécurisation lors d'opération de maintenance et de travaux Consignes de sécurité Permis spécifique (feu) 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Ventilateurs ATEX Grille et ventilation mécanique en hauteur Distance suffisante avec les limites de propriété Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	2	3	6	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
7.	Module de production H ₂ et séparation	Absence de pression dans les réseaux gaz	Démarrage de l'unité de production sans purge à l'azote préalable	Mélange O ₂ et H ₂ dans les séparateurs avec un risque d'explosion de l'équipement	<ul style="list-style-type: none"> Procédure d'exploitation : Déclenchement possible du fonctionnement de l'électrolyseur uniquement si la séquence purge azote est réalisée. Formation du personnel Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Suivi de la teneur en O₂ dans l'H₂ dans les séparateurs Suivi de la teneur en H₂ dans l'O₂ dans les séparateurs Arrêt des rectifieurs en cas de dérive et mise en repli de l'installation. Conception intrinsèque des séparateurs empêchant le mélange des gaz (présence de liquide dans un tube en « U ») : barrière derrière de liquide empêchant le transfert de liquide d'un côté à l'autre. 	3	2	6	En cas de dérive sur la qualité des gaz produits : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.
8.	Module de production H ₂ et séparation	Mélange O ₂ et H ₂ dans les séparateurs	Défaillance organisationnelle lors d'une opération de maintenance	Eclatement des séparateurs		<ul style="list-style-type: none"> Suivi de la pression dans chaque compartiment par différentielle de pression avec asservissement. Suivi de niveau de liquide côté H₂ et côté O₂. Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures de mise en sécurité Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	3	2	6	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
9.	Module de production H ₂ et séparation	Absence / chute de pression	Vanne de régulation côté O ₂ en position ouverte	Variation de niveau en O ₂ et H ₂ dans les séparateurs	Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> • Suivi de la pression dans chaque compartiment par différentielle de pression avec asservissement. • Suivi de niveau de liquide côté H₂ et côté O₂. • Arrêt des rectifieurs en cas de dérive et mise en repli de l'installation. • Conception intrinsèque des séparateurs empêchant le mélange des gaz (présence de liquide dans un tube en « U ») : barrière derrière de liquide empêchant le transfert de liquide d'un côté à l'autre. Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> • Procédures de mise en sécurité Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> • Personnel formé et habilité 	2	2	4	En cas de dérive sur la qualité des gaz produits : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.
10.				Augmentation du niveau de O ₂ et diminution du niveau de H ₂ dans les séparateurs			2	2	4	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
11.	Module de production H ₂ et séparation	Absence / chute de pression	Vanne de régulation côté H ₂ en position ouverte	Augmentation du niveau dans les séparateurs et diminution de la pression côté H ₂	Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suivi de la pression dans chaque compartiment par différentielle de pression avec asservissement. • Suivi de niveau de liquide côté H₂ et côté O₂. • Arrêt des rectifieurs en cas de dérive et mise en repli de l'installation. • Conception intrinsèque des séparateurs empêchant le mélange des gaz (présence de liquide dans un tube en « U ») : barrière derrière de liquide empêchant le transfert de liquide d'un côté à l'autre. <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures de mise en sécurité <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	2	2	4	En cas de dérive sur la qualité des gaz produits : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evénement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
12.	Module de production H ₂ et séparation	Augmentation du niveau de pression	Vanne de régulation côté O ₂ en position fermée	Montée en pression dans les séparateurs et dans les électrolyseurs	Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Suivi de la pression dans chaque compartiment par différentielle de pression avec asservissement. Suivi de niveau de liquide côté H₂ et côté O₂. Arrêt des rectifieurs en cas de dérive et mise en repli de l'installation. Conception intrinsèque des séparateurs empêchant le mélange des gaz (présence de liquide dans un tube en « U ») : barrière derrière de liquide empêchant le transfert de liquide d'un côté à l'autre. Présence de soupapes de sécurité permettant de gérer les surpressions et collecte sur le réseau d'évent adapté. Mesures organisationnelles Procédures de mise en sécurité Moyens humains Personnel formé et habilité	2	2	4	En cas de dérive sur la qualité des gaz produits : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.
13.				Diminution du niveau côté O ₂ dans le séparateur			2	2	4	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
14.	Module de production H ₂ et séparation	Augmentation du niveau de pression	Vanne de régulation côté H ₂ en position fermée	Montée en pression dans les séparateurs	Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> • Suivi de la teneur en O₂ dans l'H₂ dans les séparateurs • Suivi de la teneur en H₂ dans l'O₂ dans les séparateurs • Mesure de la puissance électrique consommée aux bornes des empilements • Suivi de la pression dans chaque compartiment par différentielle de pression avec asservissement. • Suivi de niveau de liquide côté H₂ et coté O₂. • Arrêt des rectifieurs en cas de dérive et mise en repli de l'installation. • Conception intrinsèque des séparateurs empêchant le mélange des gaz (présence de liquide dans un tube en « U ») : barrière derrière de liquide empêchant le transfert de liquide d'un côté à l'autre. • Présence de soupapes de sécurité permettant de gérer les surpressions avec collecte sur réseau d'évent adapté. Mesures organisationnelles Procédures de mise en sécurité Moyens humains Personnel formé et habilité	2	2	4	En cas de dérive sur la qualité des gaz produits : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.
15.				Augmentation du niveau de O ₂ avec risque de mélange H ₂ et O ₂ dans le séparateur	2		2	4		

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
16.	Module de production H ₂ et séparation	Réseau d'alimentation en électrolyte	Perte d'intégrité au niveau d'une vanne ou d'une bride	Fuite / Epanchage Pollution du milieu naturel	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux adaptés • Maintenance préventive • Procédure de contrôle de la corrosion des matériaux • Remplacement des matériaux lorsque leur degré d'usure comporte un risque de fuite • Prévention des vibrations 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bâtiment sur rétention • Communication entre la rétention du bâtiment et le bassin étanche de confinement en cas de trop plein • Suivi de niveau KOH dans électrolyseur avec asservissement au fonctionnement de la pompe doseuse / d'alimentation • Suivi du débit au niveau de la pompe d'alimentation avec asservissement (pour éviter les coups de bélier) <p>Mesures organisationnelles Procédures d'exploitation + consignes de sécurité</p> <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	2	2	4	/

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
17.	Module de production H ₂ et séparation	Fuite d'azote dans le bâtiment	Défaillance matérielle	Anoxie	<ul style="list-style-type: none"> Limitation des raccord vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. Raccords soudés privilégiés Respect des procédures de montage/démontage Matériaux adaptés Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Suivi pression avec asservissement Détection H₂ avec asservissement sur la ventilation mécanique : en cas de détection, augmentation de la ventilation mécanique. Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement des électrolyseur. Détection incendie (Fumées) Détection des points chauds par caméra infrarouge. Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	1	2	2	En cas de dérive : Augmentation du débit de la ventilation mécanique et démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.
18.	Module de production H ₂ et séparation	Fuite d'O ₂ dans le bâtiment	Défaillance matérielle	Hyperoxie et augmentation du risque de départ de feu			3	2	6	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
19.	Module de production H ₂ et séparation	Perçement / rupture de la membrane	Défaillance matérielle	Mélange H ₂ et O ₂ dans le séparateur	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL Remplacement de la membrane tous les 10 ans 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Suivi de la teneur en O₂ dans l'H₂ dans les séparateurs Suivi de la teneur en H₂ dans l'O₂ dans les séparateurs Mesure de la puissance électrique consommée aux bornes des empilements Suivi de la pression dans chaque compartiment par différentielle de pression avec asservissement. Suivi de niveau de liquide côté H₂ et coté O₂. Arrêt des rectifieurs en cas de dérive et mise en repli de l'installation. Conception intrinsèque des séparateurs empêchant le mélange des gaz (présence de liquide dans un tube en « U ») : barrière derrière de liquide empêchant le transfert de liquide d'un côté à l'autre. Présence de soupapes de sécurité permettant de gérer les surpressions avec collecte sur réseau d'évent adapté. <p>Mesures organisationnelles Procédures de mise en sécurité</p> <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	3	2	6	En cas de dérive sur la qualité des gaz produits : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
20.	Module de production H ₂ et séparation	Percement / rupture de la membrane	Défaillance du contrôle qualité eau déminéralisée	Mélange H ₂ et O ₂ dans le séparateur	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL Remplacement de la membrane tous les 10 ans 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Suivi de la conductivité et de la qualité de l'eau Suivi de la teneur en O₂ dans l'H₂ dans les séparateurs Suivi de la teneur en H₂ dans l'O₂ dans les séparateurs Mesure de la puissance électrique consommée aux bornes des empilements Suivi de la pression dans chaque compartiment par différentielle de pression avec asservissement. Suivi de niveau de liquide côté H₂ et côté O₂. Arrêt des rectifieurs en cas de dérive et mise en repli de l'installation. Conception intrinsèque des séparateurs empêchant le mélange des gaz (présence de liquide dans un tube en « U ») : barrière derrière de liquide empêchant le transfert de liquide d'un côté à l'autre. Présence de soupapes de sécurité permettant de gérer les surpressions avec collecte sur réseau d'évent adapté. <p>Mesures organisationnelles Procédures de mise en sécurité</p> <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	3	2	6	En cas de dérive sur la qualité des gaz produits : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
21.	Module de production H ₂ et séparation	Percement / rupture de la membrane	Défaillance alimentation en électrolyte Soit absence de d'alimentation ou débit diminué	Mélange H ₂ et O ₂ dans le séparateur	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL Remplacement de la membrane tous les 10 ans 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Suivi de la conductivité et de la qualité de l'eau Suivi bon fonctionnement de la pompe d'alimentation en électrolyte Suivi de la teneur en O₂ dans l'H₂ dans les séparateurs Suivi de la teneur en H₂ dans l'O₂ dans les séparateurs Mesure de la puissance électrique consommée aux bornes des empilements Suivi de la pression dans chaque compartiment par différentielle de pression avec asservissement. Suivi de niveau de liquide côté H₂ et coté O₂. Arrêt des rectifieurs en cas de dérive et mise en repli de l'installation. Conception intrinsèque des séparateurs empêchant le mélange des gaz (présence de liquide dans un tube en « U ») : barrière derrière de liquide empêchant le transfert de liquide d'un côté à l'autre. Présence de soupapes de sécurité permettant de gérer les surpressions avec collecte sur réseau d'évent adapté. <p>Mesures organisationnelles Procédures de mise en sécurité</p> <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	3	2	6	En cas de dérive sur la qualité des gaz produits : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
22.	Module de production H ₂ et séparation	Diminution du niveau d'électrolyte	Défaillance suivi niveau dans le séparateur côté H ₂	Mélange O ₂ et H ₂ dans le séparateur	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Suivi de la teneur en O₂ dans l'H₂ dans les séparateurs Suivi de la teneur en H₂ dans l'O₂ dans les séparateurs Mesure de la puissance électrique consommée aux bornes des empilements Suivi de la pression dans chaque compartiment par différentielle de pression avec asservissement. Arrêt des rectifieurs en cas de dérive et mise en repli de l'installation. Conception intrinsèque des séparateurs empêchant le mélange des gaz (présence de liquide dans un tube en « U ») : barrière derrière de liquide empêchant le transfert de liquide d'un côté à l'autre. Présence de soupapes de sécurité permettant de gérer les surpressions avec collecte sur réseau d'évent adapté. <p>Mesures organisationnelles Procédures de mise en sécurité</p> <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	3	2	6	En cas de dérive sur la qualité des gaz produits : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
23.	Module de production H ₂ et séparation	Augmentation de la température de l'électrolyte	Défaillance refroidissement sur le circuit d'électrolyte	Surchauffe de l'électrolyte entraînant des dommages sur les équipements : potentielle libération de H ₂ et de O ₂ dans le bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Ventilation mécanique fonctionnant en continu et permettant de maintenir le taux d'H₂ sous la LIE Détection H₂ Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement des électrolyseurs. Bâtiment en zone ATEX Suivi température sur les côtés O₂ et H₂ avec asservissement, Suivi pression / débit sur le réseau d'eau de refroidissement <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> Personnel formé et habilité	3	2	6	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
24.	Module de production H ₂ et séparation	Montée en pression et rupture joint sur réseau H ₂	Soupape de pression bloquée côté O ₂ en position fermée	Fuite H ₂ dans le bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> Vérification quotidienne de l'état des joints et brides, Suivi pression et niveau haut et bas avec alarme, Suivi niveau très haut et très bas du niveau avec arrêt des électrolyseurs 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Suivi pression avec asservissement Ventilation mécanique fonctionnant en continu et permettant de maintenir le taux d'H₂ sous la LIE Détection H₂ Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement des électrolyseurs. <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	2	2	4	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'électrolyseur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
25.	Module de production H ₂ et séparation	Débordement de la cuve de récupération des condensats sur ligne H ₂	Vanne sortie de la cuve en bloqué en position fermée	Epannage Pollution du milieu naturel	<ul style="list-style-type: none"> Matériaux adaptés Maintenance préventive Procédure de contrôle de la corrosion des matériaux Remplacement des matériaux lorsque leur degré d'usure comporte un risque de fuite Prévention des vibrations 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Bâtiment sur rétention Cuve de rétention surdimensionnées avec détecteur de niveau Suivi de niveau KOH dans électrolyseur avec asservissement au fonctionnement de la pompe doseuse / d'alimentation Suivi du débit au niveau de la pompe d'alimentation avec asservissement (pour éviter les coups de bélier) 	2	2	4	
26.	Module de production H ₂ et séparation	Débordement de la cuve de récupération des condensats sur ligne O ₂	Vanne sortie de la cuve en bloqué en position fermée	Epannage Pollution du milieu naturel		Mesures organisationnelles Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains Personnel formé et habilité	2	2	4	
27.	Module de production H ₂ et séparation	Perte de l'alimentation en électricité	Coupure RTE	Sans conséquence	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	Mesures techniques Secours électrique sur les équipements de sécurité importants : système de contrôle et ventilation mécanique	1	2	2	Système de contrôle incluant : Détection H ₂ , Détection IR.

PURIFICATION

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
28.	Module de purification	Absence de débit entrant	Vanne de régulation aval en position fermée	Augmentation de de la pression dans le réservoir tampon Pression supérieure à la pression de service Eclatement	<ul style="list-style-type: none"> Suivi du niveau dans les séparateurs Suivi de la pression Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Soupape de régulation de la pression Mise en sécurité des séparateurs et démarrage processus de mise en sécurité de l'unité. Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains Personnel formé et habilité	3	2	6	En cas de dérive : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du purificateur concerné ou de l'unité entière.
29.	Module de purification Cuve de récupération des condensats	Défaillance matérielle	Vanne de vidange de la cuve de récupération des condensats reste ouverte	Emission d'un nuage H ₂ à l'atmosphère par l'évènement de la cuve de récupération des condensats	Maintenance préventive	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Distance suffisante avec les limites de propriété, Réseau évent repris sur le réseau de torche Combustion contrôlée de l'H₂ à la torchère Rejet en hauteur Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	2	2	4	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
30.	Module de purification Cuve de récupération des condensats	Emission d'un nuage H ₂ à l'atmosphère par l'évènement de la cuve de récupération des condensats	Apparition d'une source d'inflammation	UVCE Feu torche	<ul style="list-style-type: none"> Adéquation entre le matériel électrique et des zones ATEX Procédure de sécurisation lors d'opération de maintenance et de travaux Consignes de sécurité Gestion des sources d'inflammation 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Hauteur de l'évènement suffisante Inertage du réseau d'évènement Réseau d'évènement associé au réseau de torche, Combustion contrôlée de l'H₂ émis par la torchère Distance suffisante avec les limites de propriété Mesures organisationnelles Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains Personnel formé et habilité	3	2	6	En cas de dérive : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du purificateur concerné ou de l'unité entière.
31.	Module de purification Désoxydation	Absence de condensation de l'eau contenue dans le gaz	Défaillance du système de chauffe	Rejet à l'évènement de l'hydrogène de mauvaise qualité	<ul style="list-style-type: none"> Suivi de la température Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL Gestion des sources d'inflammation 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Hauteur de l'évènement suffisante Inertage du réseau d'évènement Réseau d'évènement associé au réseau de torche, Combustion contrôlée de l'H₂ émis par la torchère Distance suffisante avec les limites de propriété Mesures organisationnelles Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains Personnel formé et habilité	2	2	4	
32.		Absence de condensation de l'eau contenue dans le gaz	Défaillance du système de condensation				2	2	4	
33.		Rejet à l'évènement de l'hydrogène de mauvaise qualité	Apparition d'une source d'inflammation	UVCE Feu torche			3	2	6	
34.	Module de purification Sécheurs	Cycle de régénération incomplet	Vanne de régénération bloquée en position fermée	Rejet à l'évènement de l'hydrogène de mauvaise qualité	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Hauteur de l'évènement suffisante 	2	2	4	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
35.		Absence de condensation de l'eau contenue dans le gaz	Défaillance du système de chauffe		<ul style="list-style-type: none"> Suivi de la température Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	<ul style="list-style-type: none"> Inertage du réseau d'évènement Réseau d'évènement associé au réseau de torche, Combustion contrôlée de l'H₂ émis par la torchère Distance suffisante avec les limites de propriété <p>Mesures organisationnelles Procédures d'exploitation + consignes de sécurité</p> <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	2	2	4	En cas de dérive : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du purificateur concerné ou de l'unité entière.
36.		Absence de condensation de l'eau contenue dans le gaz	Défaillance du système de condensation				2	2	4	
37.		Rejet à l'évènement de l'hydrogène de mauvaise qualité	Apparition d'une source d'inflammation	UVCE Feu torche	<ul style="list-style-type: none"> Suivi de la température Maintenance préventive des équipements Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL Gestion des sources d'inflammation 		3	2	6	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
38.	Module de purification	Chute ou absence de pression sur les réseaux gaz dans le bâtiment	Fuite massive sur raccord vissé / joint	Formation d'une ATEX au sein du bâtiment OU D'une atmosphère enrichie en O ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. • Raccords soudés privilégiés • Respect des procédures de montage/démontage • Matériaux adaptés • Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suivi pression avec asservissement • Ventilation mécanique fonctionnant en continu et permettant de maintenir le taux d'H₂ sous la LIE • Détection H₂ • Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. • Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement des électrolyseurs. <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	2	2	4	En cas de détection gaz : démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du purificateur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
39.	Module de purification	Chute de pression sur les réseaux gaz dans le bâtiment	Fuite modérée à faible : fuite sur raccords / joints ou fuite par perméation	Formation d'une ATEX au sein du bâtiment OU D'une atmosphère enrichie en O ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. • Raccords soudés privilégiés • Respect des procédures de montage/démontage • Matériaux adaptés • Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suivi pression avec asservissement • Ventilation mécanique fonctionnant en continu et permettant de maintenir le taux d'H₂ sous la LIE • Détection H₂ • Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. • Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement des électrolyseurs. <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	2	2	4	En cas de détection gaz : démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du purificateur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
40.	Module de purification	Diminution de la pression sur le réseau gaz	Vanne d'échantillonnage sur réseau H ₂ ouverte	Fuite de gaz dans le bâtiment et formation potentielle d'une ATEX	<ul style="list-style-type: none"> Vanne double Procédure d'exploitation 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Ventilation mécanique fonctionnant en continu et permettant de maintenir le taux d'H₂ sous la LIE Détection H₂ Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement des électrolyseurs. Bâtiment en zone ATEX Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	2	2	4	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du purificateur concerné ou de l'unité entière.
41.	Module de purification	Chute ou absence de pression sur les réseaux gaz dans le bâtiment suite à une rupture guillotine	Arrachage	Formation d'une ATEX au sein du bâtiment OU D'une atmosphère enrichie en O ₂	<ul style="list-style-type: none"> Absence de circulation dans le bâtiment : Scénario physiquement impossible. 	/	/	/	/	/

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
42.	Module de purification	Présence d'une ATEX dans le bâtiment production ET D'une source d'inflammation	Apparition d'une source d'inflammation	VCE Feu torche	Gestion des sources d'inflammation potentiel dans le bâtiment : <ul style="list-style-type: none"> Adéquation entre le matériel électrique et des zones ATEX Procédure de sécurisation lors d'opération de maintenance et de travaux Consignes de sécurité Permis spécifique (feu) 	Mesures techniques La chaîne de détection H ₂ associé à la ventilation du bâtiment permettra de ne pas dépasser 25 % de la LIE de l'H ₂ . Cette chaîne de sécurité est sécurisée électriquement (double secours). Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	4	2	8	
43.	Module de purification	Emission d'un nuage H ₂ à l'atmosphère via la ventilation mécanique	Apparition d'une source d'inflammation	UVCE	Gestion des sources d'inflammation potentiel dans le bâtiment : <ul style="list-style-type: none"> Adéquation entre le matériel électrique et des zones ATEX Procédure de sécurisation lors d'opération de maintenance et de travaux Consignes de sécurité Permis spécifique (feu) 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Ventilateurs ATEX, Grille et ventilation mécanique en hauteur Distance suffisante avec les limites de propriété Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	2	3	6	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
44.	Module de purification	Fuite d'azote dans le bâtiment	Défaillance matérielle	Anoxie	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. • Raccords soudés privilégiés • Respect des procédures de montage/démontage • Matériaux adaptés • Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suivi pression avec asservissement • Détection H₂ • Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. • Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement des électrolyseurs. • Détection incendie + des points chauds <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	1	2	2	En cas de dérive : démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du purificateur concerné ou de l'unité entière.
45.	Module de purification	Perte de l'alimentation en électricité	Coupure RTE	Sans conséquence	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance préventive des équipements • Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	<p>Mesures techniques Secours électrique sur les équipements de sécurité importants : système de contrôle et ventilation mécanique</p>	1	2	2	Système de contrôle incluant : Détection H ₂ , Détection IR.

COMPRESSION

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
46.	Module de compression	Perte de confinement sur l'équipement	Vanne d'alimentation fermée / Absence de débit entrant	Emission de H ₂ dans le bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> Procédure d'exploitation avec points critiques à vérifier Suivi pression à l'aspiration Suivi de la température Suivi de la teneur en O₂ au point d'aspiration 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Soupapes de sécurité permettant de réguler les variations de pression Ventilation mécanique fonctionnant en continu et permettant de maintenir le taux d'H₂ sous la LIE Détection H₂ 	2	2	4	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du compresseur concerné ou de l'unité entière.
47.	Module de compression	Dommages potentiels sur les équipements Perte de confinement de l'enceinte	Défaillance matérielle entraînant une augmentation de la température	Emission de H ₂ dans le bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> Procédure d'exploitation avec points critiques à vérifier Suivi pression à l'aspiration Suivi de la température Suivi de la teneur en O₂ au point d'aspiration 	<ul style="list-style-type: none"> Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement de la compression. Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	2	2	4	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
48.	Module de compression	Dommages potentiels sur les équipements Perte de confinement de l'enceinte	Défaillance matérielle entraînant une augmentation de la température de l'huile	Emission de H ₂ dans le bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> • Procédure d'exploitation avec points critiques à vérifier • Suivi pression à l'aspiration • Suivi de la température • Suivi de la teneur en O₂ au point d'aspiration 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Soupapes de sécurité permettant de réguler les variations de pression • Ventilation mécanique fonctionnant en continu et permettant de maintenir le taux d'H₂ sous la LIE • Détection H₂ • Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. • Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement de la compression. <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personnel formé et habilité 	2	2	4	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du compresseur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
49.	Module de compression	Perte d'intégrité sur le réseau d'huile	Défaillance matérielle	Fuite / Epanchage Pollution du milieu naturel	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux adaptés • Maintenance préventive • Procédure de contrôle de la corrosion des matériaux • Remplacement des matériaux lorsque leur degré d'usure comporte un risque de fuite • Prévention des vibrations 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compresseurs sur rétention • Suivi du débit au niveau de la pompe d'alimentation avec asservissement (pour éviter les coups de bélier) <p>•</p> <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	2	2	4	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
50.	Module de compression	Chute ou absence de pression sur les réseaux gaz dans le bâtiment	Fuite massive sur raccord vissé / joint	Formation d'une ATEX au sein du bâtiment OU D'une atmosphère enrichie en O ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. • Raccords soudés privilégiés • Respect des procédures de montage/démontage • Matériaux adaptés • Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suivi pression avec asservissement • Ventilation mécanique fonctionnant en continu et permettant de maintenir le taux d'H₂ sous la LIE • Détection H₂ • Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. • Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement de la compression. <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	2	2	4	En cas de détection gaz : démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du compresseur concerné ou de l'unité entière.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
51.	Module de compression	Chute de pression sur les réseaux gaz dans le bâtiment	Fuite modérée à faible : fuite sur raccords / joints ou fuite par perméation	Formation d'une ATEX au sein du bâtiment OU D'une atmosphère enrichie en O ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. • Raccords soudés privilégiés • Respect des procédures de montage/démontage • Matériaux adaptés • Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suivi pression avec asservissement • Ventilation mécanique fonctionnant en continu et permettant de maintenir le taux d'H₂ sous la LIE • Détection H₂ • Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. • Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement de la compression. <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	2	2	4	En cas de détection gaz : démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du compresseur concerné ou de l'unité entière.

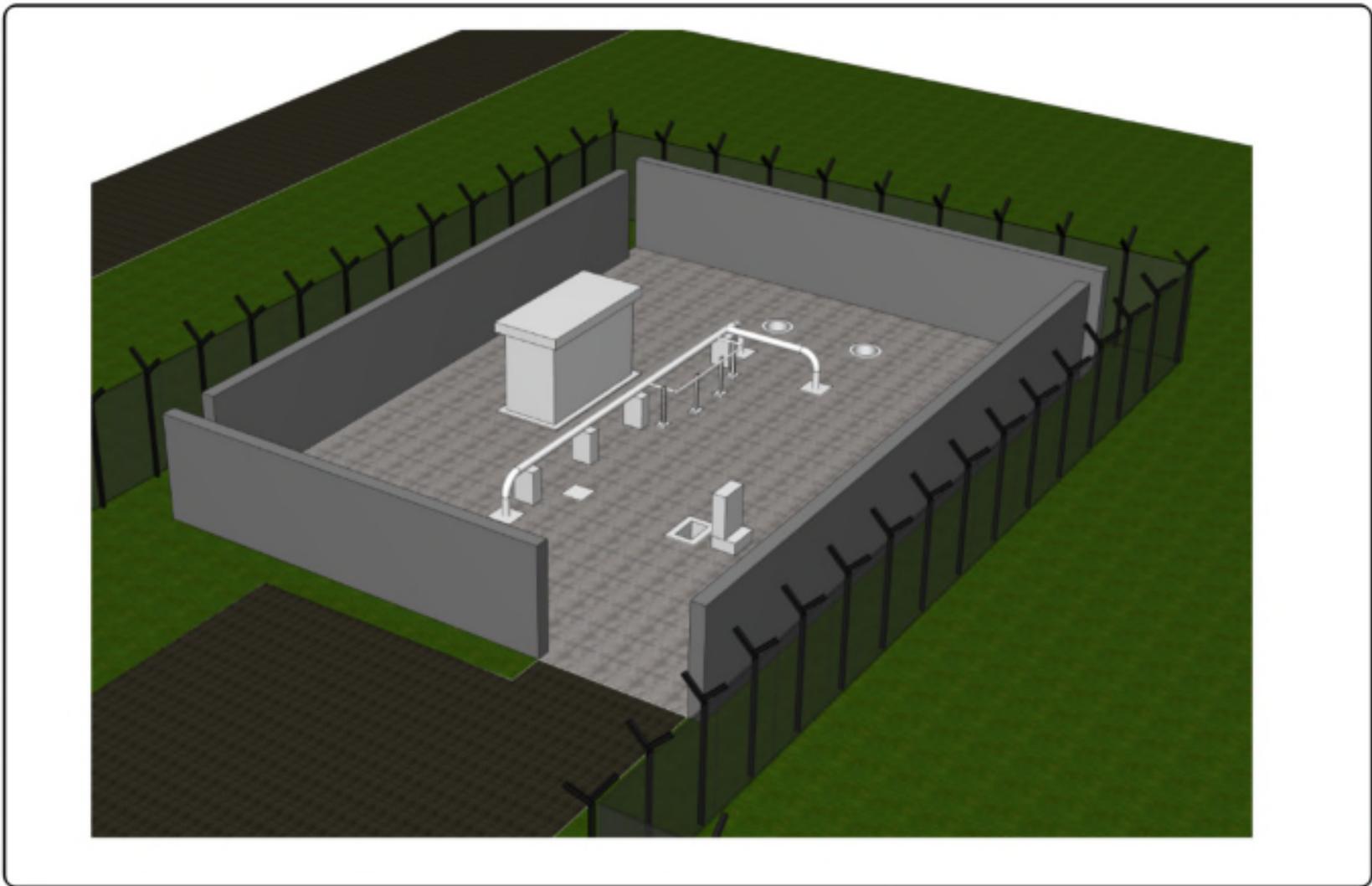
N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
52.	Module de compression	Diminution de la pression sur le réseau gaz	Vanne d'échantillonnage sur réseau H ₂ ouverte	Fuite de gaz dans le bâtiment et formation potentielle d'une ATEX	<ul style="list-style-type: none"> Vanne double Procédure d'exploitation 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Ventilation mécanique fonctionnant en continu et permettant de maintenir le taux d'H₂ sous la LIE Détection H₂ Secours électrique sur la ventilation mécanique forcée. Alarme défaut de la ventilation avec asservissement au fonctionnement de la compression. Bâtiment en zone ATEX Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	2	2	4	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité du compresseur concerné ou de l'unité entière.
53.	Module de compression	Chute ou absence de pression sur les réseaux gaz dans le bâtiment suite à une rupture guillotine	Arrachage	Formation d'une ATEX au sein du bâtiment OU D'une atmosphère enrichie en O ₂	<ul style="list-style-type: none"> Absence de circulation dans le bâtiment : Scénario physiquement impossible. 	/	/	/	/	/

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
54.	Module de compression	Présence d'une ATEX dans le bâtiment production ET D'une source d'inflammation	Apparition d'une source d'inflammation	VCE Feu torche	Gestion des sources d'inflammation potentielles dans le bâtiment : <ul style="list-style-type: none"> Adéquation entre le matériel électrique et des zones ATEX Procédure de sécurisation lors d'opération de maintenance et de travaux Consignes de sécurité Permis spécifique (feu) 	Mesures techniques La chaîne de détection H ₂ associée à la ventilation du bâtiment permettra de ne pas dépasser 1 % de la LIE de l'H ₂ . Cette chaîne de sécurité est secourue électriquement (double secours). Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	4	2	8	
55.	Module de compression	Emission d'un nuage H ₂ à l'atmosphère via la ventilation mécanique	Apparition d'une source d'inflammation	UVCE	Gestion des sources d'inflammation potentielles dans le bâtiment : <ul style="list-style-type: none"> Adéquation entre le matériel électrique et des zones ATEX Procédure de sécurisation lors d'opération de maintenance et de travaux Consignes de sécurité Permis spécifique (feu) 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Ventilateurs ATEX, Tourelles de ventilation mécanique en toiture Distance suffisante avec les limites de propriété Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	2	3	6	

RESEAU DE TRANSFERT

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
56.	Réseau amont à la compression	Rupture guillotine	Agression physique ou thermique	Emission de H ₂ à l'atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> Absence de circulation Règles de circulation, Habilitation du personnel, Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Zone « sanctuaire » avec des barrières physiques empêchant le passage des engins. Canalisations protégées contre les agressions physiques et thermiques 	4	2	8	Circulaire de 2010 : <ul style="list-style-type: none"> Tuyauteries protégées de toutes agressions physiques et thermiques. Dimensionnement et conception des canalisations sont encadrées par des normes (voir dans l'étude des dangers : réduction du risque à la source)
58.	Réseau amont à la compression	Fuite	Défaillance matérielle	Emission de H ₂ à l'atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. Raccords soudés privilégiés Respect des procédures de montage/démontage Matériaux adaptés Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Système de détection gaz avec asservissement Suivi de la pression avec asservissement Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	4	3	12	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité des installations.
59.	Réseau amont à la compression	Emission de H ₂ à l'atmosphère Cf événements précédents	Apparition d'une source d'inflammation	Feu torche ou UVCE	Gestion des sources d'inflammation potentielles dans le bâtiment : <ul style="list-style-type: none"> Adéquation entre le matériel électrique et des zones ATEX 	Mesures techniques Installations <ul style="list-style-type: none"> Zone extérieure : niveau de ventilation correct et gaz très léger 	4	3	12	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
					<ul style="list-style-type: none"> • Procédure de sécurisation lors d'opération de maintenance et de travaux • Consignes de sécurité • Permis spécifique (feu) 	<ul style="list-style-type: none"> • Durée de fuite très courte Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> • Personnel formé et habilité 				
60.	Réseau aval à la compression	Rupture guillotine Physiquement impossible	Agression physique ou thermique	Emission de H ₂ à l'atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de circulation • Règles de circulation, • Habilitation du personnel, • Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. • Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> • Zone « sanctuaire » avec des barrières physiques empêchant le passage des engins (voir page suivante). • Canalisations protégées contre les agressions physiques et thermiques 	/	/	/	Circulaire de 2010 : <ul style="list-style-type: none"> - Tuyauteries protégées de toutes agressions physiques et thermiques. - Dimensionnement et conception des canalisations sont encadrées par des normes (voir dans l'étude des dangers : réduction du risque à la source)



Vue 3D du poste de comptage gaz

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
62.	Réseau aval à la compression	Fuite	Défaillance matérielle	Emission de H ₂ à l'atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> • Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. • Raccords soudés privilégiés • Respect des procédures de montage/démontage • Matériaux adaptés • Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. • Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Système de détection gaz avec asservissement • Suivi de la pression avec asservissement <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personnel formé et habilité 	4	3	12	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité des installations
63.	Réseau aval à la compression	Emission de H ₂ à l'atmosphère Cf événements précédents	Apparition d'une source d'inflammation	Feu torche ou UVCE	<p>Gestion des sources d'inflammation potentielles dans le bâtiment :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adéquation entre le matériel électrique et des zones ATEX • Procédure de sécurisation lors d'opération de maintenance et de travaux • Consignes de sécurité • Permis spécifique (feu) 	<p>Mesures techniques Installations</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zone extérieure : niveau de ventilation correct et gaz très léger • Durée de fuite très courte <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personnel formé et habilité 	4	3	12	

N°	Équipement Phase	Évènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
64.	Réseau O ₂	Rupture guillotine Physiquement impossible	Agression physique ou thermique	Emission O ₂ Formation d'une atmosphère enrichie en O ₂	<ul style="list-style-type: none"> Absence de circulation Règles de circulation, Habilitation du personnel, Zone « sanctuaire » avec des barrières physiques empêchant le passage des engins. Canalisations protégées contre les agressions physiques et thermiques Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Suivi de la conductivité, Système de détection gaz avec asservissement Suivi de la pression avec asservissement Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	/	/	/	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité des installations
65.	Réseau O ₂	Fuite massive	Défaillance matérielle	Emission O ₂ Formation d'une atmosphère enrichie en O ₂	<ul style="list-style-type: none"> Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. Raccords soudés privilégiés Respect des procédures de montage/démontage Matériaux adaptés Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Système de détection gaz avec asservissement Suivi de la pression avec asservissement Zone extérieure : niveau de ventilation correct Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	3	3	9	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
66.	Réseau O ₂	Mélange H ₂ /O ₂	Evènements précédents	Inflammation H ₂ / explosion	Cf points précédents. Protection physique des 2 réseaux avec nécessité d'une défaillance des deux pour que l'évènement puisse avoir lieu.	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Distance suffisante entre les deux réseaux Barrière physique (mur REI 120) entre les deux réseaux Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	3	3	9	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité des installations.

INSTALLATIONS ANNEXES

N°	Équipement Phase	Événement redouté central	Évènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
67.	Cuve de stockage d'azote liquéfié et équipements associés	Perte d'intégrité	Agression extérieure	Personnel : risque de brûlures Matériel : Fragilisation ou bris d'équipements Formation d'un épais nuage	• Plan de circulation	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> • Barrière physique de protection (clôture) • Cuve double enveloppe • Suivi de la pression avec asservissement Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> • Personnel formé et habilité 	2	2	4	
68.			Défaillance matérielle		<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance préventive, • Prestataire spécialisé réalisant des contrôles périodiques • Suivi pression 		2	2	4	
69.		Montée en pression	Défaillance matérielle des soupapes d'expansion de la cuve	Eclatement de la cuve	<ul style="list-style-type: none"> • Maintenance préventive • Prestataire spécialisé réalisant des contrôles périodiques • Suivi température • Suivi pression • Système de maintien sous pression 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> • Matériaux adaptés, • Isolement thermique, • Cuve double enveloppe • Disques de rupture Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> • Personnel formé et habilité 	3	2	6	

N°	Equipement Phase	Evénement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
70.	Cuve de stockage d'azote liquéfié et équipements associés	Montée en pression	Sinistre à proximité	Eclatement de la cuve	<ul style="list-style-type: none"> Système de sécurité en place permettant d'avoir une durée de sinistre très courte. Absence d'incendie de grande ampleur, Feu torche : flamme H₂ peu radiative + durée PHD courte 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Matériaux adaptés, Isolement thermique, Cuve double enveloppe Disques de rupture et soupapes Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	3	2	6	
71.			Obturation des canalisations Présence glace due à la condensation		<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive Prestataire spécialisé réalisant des contrôles périodiques Suivi température Suivi pression 		<ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	3	2	6
72.	Canalisation sortie vaporisateur du stockage d'azote	Eclatement de la canalisation Fuite / rupture franche	Température extérieure trop basse et présence d'azote liquide dans la canalisation sortie échangeur	Personnel : risque de brûlures Matériel : Fragilisation ou bris d'équipements Formation d'un épais nuage	<ul style="list-style-type: none"> Système de réchauffage en sortie des échangeurs, Suivi température Suivi pression 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Matériaux adaptés, Isolement thermique, Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	3	3	9	
73.	Camion de livraison azote	Fuite Perte d'intégrité au niveau du flexible	Erreur de manipulation Erreur organisationnelle	Personnel : risque de brûlures Matériel : Fragilisation ou bris d'équipements Formation d'un épais nuage	<ul style="list-style-type: none"> Personnel formé Dépotage réalisé par un prestataire spécialisé et formé Procédure de livraison Protocole de sécurité 		Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	3	3	9

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
74.	Réseau CH ₄ d'alimentation de la torchère	Rupture guillotine	Agression physique ou thermique	Emission de CH ₄ à l'atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> Absence de circulation Règles de circulation, Habilitation du personnel, Zone « sanctuaire » avec des barrières physiques empêchant le passage des engins. Canalisations protégées contre les agressions physiques et thermiques Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Système de détection optique de flamme sur les pilotes des torchères Suivi de la pression avec asservissement <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	4	2	8	En cas d'absence de flamme : mise en sécurité de l'installation
75.	Réseau CH ₄ d'alimentation de la torchère	Fuite de faible diamètre	Défaillance matérielle	Emission de CH ₄ à l'atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. Raccords soudés privilégiés Respect des procédures de montage/démontage Matériaux adaptés Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Système de détection gaz avec asservissement Suivi de la pression avec asservissement <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	4	3	12	En cas d'absence de flamme : mise en sécurité de l'installation

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
76.	Réseau CH ₄ d'alimentation de la torchère	Emission de H ₂ à l'atmosphère Cf événements précédents	Apparition d'une source d'inflammation	Feu torche ou UVCE	<p>Gestion des sources d'inflammation potentielles dans le bâtiment :</p> <ul style="list-style-type: none"> Adéquation entre le matériel électrique et des zones ATEX Procédure de sécurisation lors d'opération de maintenance et de travaux Consignes de sécurité Permis spécifique (feu) 	<p>Mesures techniques Installations</p> <ul style="list-style-type: none"> Zone extérieure : niveau de ventilation correct et gaz très léger <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	4	3	12	/
77.	Torchère	Absence de flamme pilote	Défaillance sur réseau CH ₄	Emission H ₂ à l'atmosphère	Se reporter aux évènements précédents	<p>Mesures techniques Installations</p> <ul style="list-style-type: none"> Suivi pression avec asservissement Détection optique de flammes Existence de 3 pilotes par torchère Gaz de balayage interne dans le fût de la torchère pour éviter les ATEX : N₂. Zone extérieure : niveau de ventilation correct et gaz très léger <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	4	3	12	En cas d'absence de flamme : mise en sécurité de l'installation

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
78.	Réseau N ₂ d'alimentation de la torchère	Rupture guillotine Physiquement impossible	Agression physique ou thermique	Emission de N ₂ à l'atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> Absence de circulation Règles de circulation, Habilitation du personnel, Zone « sanctuaire » avec des barrières physiques empêchant le passage des engins. Canalisations protégées contre les agressions physiques et thermiques Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Suivi de la pression avec asservissement <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	/	/	/	En cas de dérive : mise en sécurité de l'installation
79.	Réseau N ₂ d'alimentation de la torchère	Fuite de faible diamètre	Défaillance matérielle	Emission de N ₂ à l'atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. Raccords soudés privilégiés Respect des procédures de montage/démontage Matériaux adaptés Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Suivi de la pression avec asservissement <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	3	3	9	En cas de dérive : mise en sécurité de l'installation

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
80.	Torchère	Absence de gaz de balayage	Défaillance sur réseau N ₂	Risque de formation d'une ATEX au sein de la torchère	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de circulation • Règles de circulation, • Habilitation du personnel, • Zone « sanctuaire » avec des barrières physiques empêchant le passage des engins. • Canalisations protégées contre les agressions physiques et thermiques • Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL • Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. • Raccords soudés privilégiés • Respect des procédures de montage/démontage • Matériaux adaptés 	<p>Mesures techniques Installations</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suivi pression avec asservissement <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité • Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains Personnel formé et habilité</p>	3	2	6	En cas de dérive : mise en sécurité de l'installation

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
81.	Unité de traitement des eaux brutes et stockage de produits de traitement associé	Perte d'intégrité au niveau d'une vanne ou d'une bride	Corrosion Fatigue mécanique	Fuite / Epanchage Pollution du milieu naturel	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux adaptés • Maintenance préventive • Procédure de contrôle de la corrosion des matériaux • Remplacement des matériaux lorsque leur degré d'usure comporte un risque de fuite • Prévention des vibrations 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> • Rétentions individuelles pour les produits de traitement, • Suivi de la qualité de l'eau en continu, • Suivi du débit au niveau de la pompe d'alimentation avec asservissement (pour éviter les coups de bélier) Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> • Personnel formé et habilité 	2	2	4	/
82.		Perte d'intégrité sur une cuve tampon ou de stockage	Défaillance matérielle				2	2	4	/
83.		Sur remplissage / débordement d'une cuve tampon ou de stockage	Défaillance organisationnelle				2	2	4	/

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
84.	Unité de traitement des effluents industriels et stockage de produits de traitement associé	Perte d'intégrité au niveau d'une vanne ou d'une bride	Corrosion Fatigue mécanique	Fuite / Epanchage Pollution du milieu naturel	<ul style="list-style-type: none"> Matériaux adaptés Maintenance préventive Procédure de contrôle de la corrosion des matériaux Remplacement des matériaux lorsque leur degré d'usure comporte un risque de fuite Prévention des vibrations 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Rétentions individuelles pour les produits de traitement, Suivi de la qualité de l'eau en continu, Suivi du débit au niveau de la pompe d'alimentation avec asservissement (pour éviter les coups de bélier) Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	2	2	4	/
85.		Perte d'intégrité sur une cuve tampon ou de stockage	Défaillance matérielle				2	2	4	/
86.		Sur remplissage / débordement d'une cuve tampon ou de stockage	Défaillance organisationnelle				2	2	4	/

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
87.	Tours de refroidissement et produits de traitement associés	Perte d'intégrité au niveau d'une vanne ou d'une bride	Corrosion Fatigue mécanique	Fuite / Epanchage Pollution du milieu naturel	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux adaptés • Maintenance préventive • Procédure de contrôle de la corrosion des matériaux • Remplacement des matériaux lorsque leur degré d'usure comporte un risque de fuite • Prévention des vibrations 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> • Réentions individuelles pour les produits de traitement, • Suivi de la qualité de l'eau en continu, • Suivi du débit au niveau de la pompe d'alimentation avec asservissement (pour éviter les coups de bélier) Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> • Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> • Personnel formé et habilité 	2	2	4	/
88.		Perte d'intégrité sur une cuve tampon ou de stockage	Défaillance matérielle				2	2	4	/
89.		Sur remplissage / débordement d'une cuve tampon ou de stockage	Défaillance organisationnelle				2	2	4	/

Conformément à la réglementation applicable à ce type d'installation, les TAR du projet H2VNormandy feront l'objet d'une Analyse Méthodologique des Risques.

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
90.	Unité mobile Station de remplissage	Rupture guillotine	Agression physique ou thermique	Emission de H ₂ à l'atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> Absence de circulation Règles de circulation, Habilitation du personnel, Zone « sanctuaire » avec des barrières physiques empêchant le passage des engins. Canalisations protégées contre les agressions physiques et thermiques Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Système de détection gaz avec asservissement Suivi de la pression avec asservissement <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	4	3	12	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'unité de remplissage.
91.	Unité mobile Station de remplissage	Fuite de faible diamètre ou perméation	Défaillance matérielle	Emission de H ₂ à l'atmosphère	<ul style="list-style-type: none"> Limitation des raccords vissés au cas indispensable à la bonne maintenance des installations. Raccords soudés privilégiés Respect des procédures de montage/démontage Matériaux adaptés Positionnement des détecteurs en adéquation avec les risques de sources de fuite. Système de suivi du bon fonctionnement de l'installation de niveau SIL 	<p>Mesures techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> Système de détection gaz avec asservissement Suivi de la pression avec asservissement <p>Mesures organisationnelles</p> <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne <p>Moyens humains</p> <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	4	3	12	

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
92.	Unité mobile Station de remplissage	Emission de H ₂ à l'atmosphère Cf événements précédents	Apparition d'une source d'inflammation	Feu torche ou UVCE	Gestion des sources d'inflammation potentielles dans le bâtiment : <ul style="list-style-type: none"> Adéquation entre le matériel électrique et des zones ATEX Procédure de sécurisation lors d'opération de maintenance et de travaux Consignes de sécurité Permis spécifique (feu) 	Mesures techniques Installations <ul style="list-style-type: none"> Zone extérieure : niveau de ventilation correct et gaz très léger Durée de fuite très courte Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	4	3	12	En cas de détection H ₂ : Démarrage du processus de dépressurisation pour mise en sécurité de l'unité de remplissage.
93.	Cylindres composant le conteneur	Montée en pression	Sinistre à proximité	Eclatement d'un cylindre	<ul style="list-style-type: none"> Système de sécurité en place permettant d'avoir une durée de sinistre très courte. Absence d'incendie de grande ampleur, Feu torche : flamme H₂ peu radiative + durée PHD courte 	Mesures techniques Installations <ul style="list-style-type: none"> Soupapes de sécurité, Barrière physique de protection contre les agressions thermiques, Clapet anti retour, Suivi de la température Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	3	2	6	
94.	Cylindres composant le conteneur	Fuite sur robinet	Défaillance matérielle	Emission de H ₂ à l'atmosphère	Circulaire EDD du 10/05/2010 :					

					Les robinets des cylindres respecteront les normes NF EN ISO 10 297 (version 2006) ou NF EN ISO 11 117 (version 2008). Ces équipements seront utilisés conformément aux recommandations de ces normes. Par conséquent, la rupture guillotine pourra être considérée comme physiquement impossible .
--	--	--	--	--	--

UTILITES

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
95.	Transformateurs électrique 225 kV	Perte d'intégrité	Défaillance matérielle	Fuite massive d'huile Pollution du milieu naturel	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Transformateur sur rétention Suivi du débit au niveau de la pompe d'alimentation avec asservissement (pour éviter les coups de bélier) Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains Personnel formé et habilité	2	2	4	/
96.		Court-circuit	Défaillance matérielle	Départ de feu	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive Respect des normes applicables à ces installations Analyseurs de gaz en continu permettant de détecter l'apparition des composés caractéristiques d'un transformateur en cas de problème. 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Dispositions constructives adaptées Moyens d'extinction adaptés Moyen de confinement des eaux d'incendie Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains Personnel formé et habilité	3	3	9	/
97.		Court-circuit	Défaillance électrique	Départ de feu	<ul style="list-style-type: none"> Ventilation mécanique continue Suivi température des opérations et de l'huile avec report en salle de conduite Détection incendie IR avec report en salle de conduite + détection points chauds 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Dispositions constructives adaptées Moyens d'extinction adaptés Moyen de confinement des eaux d'incendie Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	3	3	9	/

N°	Equipement Phase	Evènement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
98.	Transformateurs électrique 225 kV	Augmentation de la température et de la pression de la cuve huile d'un transformateur	Incendie d'un transformateur	Eclatement	<ul style="list-style-type: none"> Dispositions constructives adaptées Moyens d'extinction adaptés permettant de maîtriser le sinistre. 	Mesures techniques / Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	3	3	9	
99.		Perte d'intégrité sur un disjoncteur	Défaillance matérielle	Emission de SF ₆	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive Respect des normes applicables à ces installations Analyseurs de gaz en continu permettant de détecter l'apparition des composés caractéristiques d'un transformateur en cas de problème. Ventilation mécanique continue 	Mesures techniques Installation en extérieur : niveau de ventilation correcte et constamment disponible Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains Personnel formé et habilité	2	2	4	/

N°	Equipement Phase	Evénement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
100.	Transformateurs 30 kV	Court-circuit	Défaillance matérielle	Départ de feu	<ul style="list-style-type: none"> Suivi de la température avec report en salle de conduite. Locaux ventilés 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Dispositions constructives adaptées Moyens d’extinction adaptés Moyen de confinement des eaux d’incendie Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d’exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	3	2	6	Isolation possible du groupe de transformateurs concerné en cas de dérive.
101.		Court-circuit	Défaillance électrique Formation d’un arc non contrôlé				3	2	6	
102.		Perte d’intégrité sur un disjoncteur	Défaillance matérielle	Emission de SF6	<ul style="list-style-type: none"> Maintenance préventive Respect des normes applicables à ces installations Ventilation mécanique continue 	Mesures techniques Installation en extérieur : niveau de ventilation correcte et constamment disponible Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d’exploitation + consignes de sécurité Visite de contrôle quotidienne Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	2	2	4	/

N°	Equipement Phase	Evénement redouté central	Evènement initiateur	Phénomène dangereux	Barrières de prévention	Barrières de protection	G	P	C	Commentaire
103.	Stockage de GNR associé au groupe électrogène	Epanchage de GNR	Perte d'intégrité	Pollution du milieu naturel	Maintenance préventive	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Groupe électrogène dans un conteneur faisant office de rétention Suivi du débit au niveau de la pompe d'alimentation avec asservissement (pour éviter les coups de bélier) Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	2	2	4	/
104.	Stockage de GNR associé au groupe électrogène	Apparition d'une source d'inflammation	Epanchage de GNR	Feu de nappe	<ul style="list-style-type: none"> Détection incendie dans le conteneur Détection des points chauds 	Mesures techniques <ul style="list-style-type: none"> Dispositions constructives adaptées Moyens d'extinction adaptés Moyen de confinement des eaux d'incendie Mesures organisationnelles <ul style="list-style-type: none"> Procédures d'exploitation + consignes de sécurité Moyens humains <ul style="list-style-type: none"> Personnel formé et habilité 	3	3	9	/

5 **SYNTHESE**

Les différents évènements situés en zone rouge sont considérés comme non acceptables et feront l'objet d'une modélisation.

Niveau de criticité des évènements étudiés				
Niveaux de gravité	Niveaux de probabilité			
	1	2	3	4
1	/	17, 27, 44, 45	/	/
2	/	1, 2, 3, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 24, 25, 26, 29, 31, 32, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 43, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 55, 67, 68, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 95, 99, 102, 103	/	/
3	/	7, 8, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 28, 30, 33, 37, 69, 70, 71, 80, 93, 100, 101	65, 66, 72, 73, 79, 96, 97, 98, 104	/
4	/	5, 42, 54, 56, 74	58, 59, 62, 63, 75, 76, 77, 90, 91, 92	/

L'annexe relative aux modélisations des phénomènes dangereux étudiée dans le détail les évènements suivants :

Installations / Equipements	Evènements étudiés
Unité de production d'H ₂	Fuite sur bride / raccord au sein du bâtiment
Bâtiment compression à 100 bar	Fuite sur bride / raccord au sein du bâtiment
Bâtiment compression à 500 bar	Fuite sur bride / raccord au sein du bâtiment
Réseau H ₂ amont à la compression	Inflammation immédiate et différée faisant suite à une fuite ou une rupture guillotine
Réseau H ₂ aval à la compression	Inflammation immédiate et différée faisant suite à une fuite
Station de mobilité	Inflammation immédiate et différée faisant suite à une rupture guillotine
Torchère	Défaillance sur les pilotes
Events O ₂	Risque d'hyperoxie et de formation d'une atmosphère enrichie en O ₂
Réseau azote	Risque d'anoxie faisant suite à une rupture guillotine
Réseau d'alimentation en CH ₄ de la torchère	Inflammation immédiate et différée faisant suite à une rupture guillotine
Transformateurs 225 KV	Incendie d'un transformateur et éclatement de la cuve de stockage d'huile
Groupe électrogène	Feu de nappe au niveau du stockage de GNR

ANNEXE EDD.4

**RAPPORT DE MODELISATION DES SCENARII
DE L'ETUDE DES DANGERS**

PRÉAMBULE

L'analyse de risque a été conduite sous la responsabilité de l'exploitant, par un groupe de travail multidisciplinaire, selon une méthode globale, dite APR : Analyse Préliminaire des Risques, adaptée aux installations et à leur contexte, proportionnée aux enjeux et itérative. Elle a permis d'identifier toutes les causes susceptibles d'être, directement ou par effet domino, à l'origine d'un accident majeur tel que défini par l'arrêté ministériel du 26 mai 2014 relatif à la prévention des accidents majeurs et les scénarios correspondants (combinaisons pouvant y mener).

L'objectif de la présente annexe est de modéliser les différents phénomènes dangereux caractérisant les événements considérés comme principaux (Accidents Majeurs potentiels), sur la base du principe de proportionnalité des dangers. A noter également que ce principe de proportionnalité est inclus dans la détermination de la vulnérabilité de la cible, comme suit :

Vulnérabilité d'une cible à un effet " x " (ou " sensibilité ") : facteur de proportionnalité entre les effets auxquels est exposé un élément vulnérable (ou cible) et les dommages qu'il subit.

Des critères simples permettent d'estimer si les effets des accidents majeurs potentiels peuvent atteindre des enjeux ou cibles situés à l'extérieur des limites d'exploitation :

- la nature et la quantité de produit concerné,
- les caractéristiques des équipements mis en jeu,
- la localisation de l'installation par rapport à la limite d'exploitation,
- ...

Sur la base des différents événements étudiés dans l'APR, les différents scénarios étudiés sont les suivants :

Installations / Equipements	Evènements étudiés
Unité de production d'H ₂	Explosion du bâtiment suite à une fuite sur bride / raccord au sein du bâtiment
Bâtiment compression à 100 bar	Explosion du bâtiment suite à une fuite sur bride / raccord au sein du bâtiment
Bâtiment compression à 500 bar	Explosion du bâtiment suite à une fuite sur bride / raccord au sein du bâtiment
Réseau H ₂ amont à la compression	Inflammation immédiate (feu torche) ou différée (UVCE) suite à une fuite ou une rupture guillotiné
Réseau H ₂ aval à la compression	Inflammation immédiate (feu torche) ou différée (UVCE) suite à une fuite
Station de mobilité	Inflammation immédiate (feu torche) ou différée (UVCE) suite à une rupture guillotiné
Torchère	Inflammation immédiate (feu torche) ou différée (UVCE) suite à une défaillance sur les pilotes
Events O ₂	Risque d'hyperoxie et de formation d'une atmosphère enrichie en O ₂ suite au rejet en cheminée
Réseau azote	Risque d'anoxie suite à une rupture guillotiné

Installations / Equipements	Evènements étudiés
Réseau d'alimentation en CH ₄ de la torchère	Inflammation immédiate (feu torche) et différée (UVCE) suite à une rupture guillotine
Transformateurs 225 KV	Incendie d'un transformateur et éclatement de la cuve de stockage d'huile
Groupe électrogène	Feu de nappe au niveau du stockage de GNR

Les scénarios non retenus sont les suivants :

Scénario non retenu	Justification
Eclatement du ballon d'air comprimé	<p>La pression de calcul du ballon d'air comprimé sera de 11 ou 12 bar et dans ces conditions, la pression d'éclatement serait de 36 bar.</p> <p>La pression maximale d'air générée par le compresseur sera de 12,5 bar. De plus, cet équipement sera protégé par une soupape de sécurité en accord avec la réglementation applicable aux équipements sous pression tarée à une pression de 11 ou 12 bar.</p> <p>A noter que l'unité de production d'air comprimé sera implantée dans un local dédié ayant des parois maçonnées REI 120, permettant de protéger ces installations de toutes agressions thermiques ou de surpression.</p> <p>Dans ce contexte, il est admis que la pression de rupture du ballon d'air comprimé ne sera pas atteinte, d'où l'absence de risque d'éclatement.</p>
Inflammation immédiate (feu torche) et différée (UVCE) suite à une fuite à 7 m de hauteur sur le réseau H ₂ amont à la compression	<p>Des vannes seront présentes sur le collecteur principal à une hauteur de 7 m et une hauteur de 1 m par rapport au sol.</p> <p>Les modélisations présentées sont celles relatives à une perte d'intégrité sur les vannes situées à une hauteur de 1 m puisque les résultats obtenus sont plus contraignants pour l'exploitant que pour les vannes à 7 m.</p>
Emissions de gaz associées à des ouvertures de soupapes sur le réseau de transfert des gaz	<p>Le choix a été fait de ne modéliser que les risques de perte d'intégrité sur les parties aériennes des réseaux de transfert des gaz. En effet, leur probabilité d'occurrence par rapport aux canalisations enterrées est plus élevée.</p> <p>Le choix de ne pas modéliser les émissions de gaz associées à des ouvertures de soupapes est justifié par les éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le réseau H₂ est associé à un réseau de collecte des événements/soupapes (réseau de torchère) équipé d'une torchère permettant une combustion contrôlée de l'H₂ en cas de besoin, - Le réseau O₂ est équipé d'un réseau de collecte équipé d'un événement de mise à l'air. <p>De plus, les rejets aux soupapes seront moins dimensionnants que les pertes d'intégrité sur les réseaux de transfert.</p>

SOMMAIRE

1	METHODES UTILISEES	6
1.1	EFFETS THERMIQUES LIES A UN FEU DE NAPPE	6
1.2	EFFETS DE SURPRESSION LIES A UNE EXPLOSION DE GAZ INFLAMMABLE A L'AIR LIBRE	7
1.2.1	<i>Généralites sur l'UVCE.....</i>	7
1.2.2	<i>Effets de surpression</i>	8
1.3	EFFETS THERMIQUES LIES A UNE EXPLOSION DE GAZ INFLAMMABLE	11
1.4	EFFETS THERMIQUES LIES A UN FEU TORCHE.....	12
1.5	EXPLOSION INTERNE.....	13
1.5.1	<i>Détermination de l'énergie de l'explosion.....</i>	13
1.5.2	<i>Détermination des distances des effets de surpression.....</i>	13
1.6	EFFETS TOXIQUES (ANOXIE ET HYPEROXIE)	14
2	SEUILS DE REFERENCE.....	15
2.1	EFFETS THERMIQUES	15
2.2	EFFETS DE SURPRESSION	16
2.3	EFFETS TOXIQUES	16
3	EVALUATION QUANTITATIVE.....	17
3.1	EXPLOSION DE L'UNITE DE PRODUCTION D'HYDROGENE.....	17
3.1.1	<i>Hypothèses.....</i>	17
3.1.2	<i>Résultats.....</i>	17
3.1.3	<i>Commentaires.....</i>	21
3.2	EXPLOSION DU BATIMENT COMPRESSEUR 100 BAR	27
3.2.1	<i>Hypothèses.....</i>	27
3.2.2	<i>Résultats.....</i>	27
3.2.3	<i>Commentaires.....</i>	29
3.3	EXPLOSION DU BATIMENT COMPRESSEUR 500 BAR	30
3.3.1	<i>Hypothèses.....</i>	30
3.3.2	<i>Résultats.....</i>	30
3.3.3	<i>Commentaires.....</i>	32
3.4	FEU TORCHE ET/OU UVCE SUITE A UNE FUITE ET/OU RUPTURE FRANCHE SUR LE RESEAU HYDROGENE EN AMONT DE LA COMPRESSION – SANS BARRIERE DE SECURITE	33
3.4.1	<i>Hypothèses.....</i>	33
3.4.2	<i>Résultats.....</i>	34
3.4.3	<i>Commentaires.....</i>	39

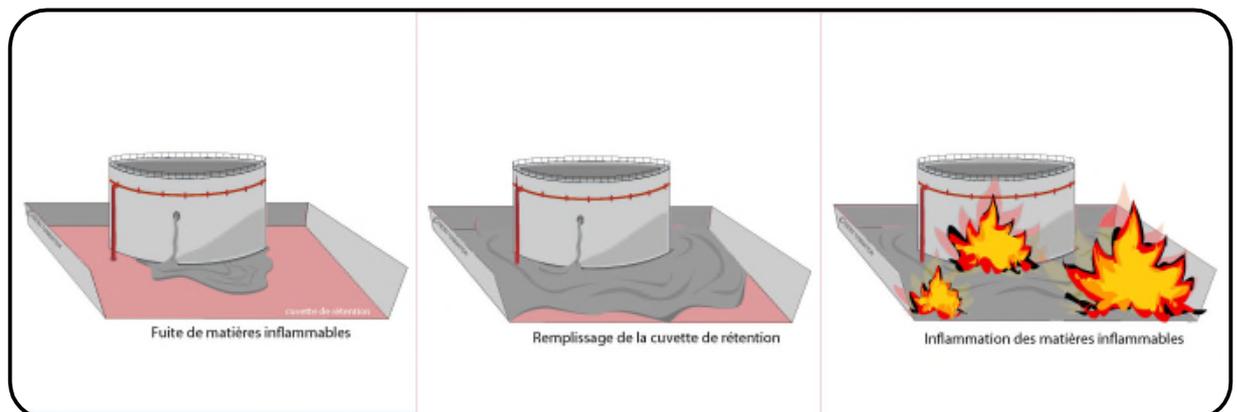
3.5	UVCE SUITE A UNE FUITE ET/OU RUPTURE FRANCHE SUR LE RESEAU HYDROGENE EN AMONT DE LA COMPRESSION – AVEC BARRIERES DE SECURITE	44
3.5.1	<i>Hypothèses</i>	44
3.5.2	<i>Résultats</i>	45
3.5.3	<i>Commentaires</i>	47
3.6	FEU TORCHE ET/OU UVCE SUITE A UNE FUITE SUR LE RESEAU HYDROGENE EN AVAL DE LA COMPRESSION	49
3.6.1	<i>Hypothèses</i>	50
3.6.2	<i>Résultats</i>	51
3.6.3	<i>Commentaires</i>	55
3.7	FEU TORCHE ET/OU UVCE SUITE A UNE RUPTURE FRANCHE SUR LE FLEXIBLE DE LA STATION DE MOBILITE	56
3.7.1	<i>Hypothèses</i>	56
3.7.2	<i>Résultats</i>	57
3.7.3	<i>Commentaires</i>	61
3.8	DEFAILLANCE DES PILOTES DE LA TORCHERE	63
3.8.1	<i>Hypothèses</i>	63
3.8.2	<i>Résultats</i>	63
3.8.3	<i>Commentaires</i>	65
3.9	RISQUE D’HYPEROXIE A PROXIMITE DES EVENTS OXYGENE	66
3.9.1	<i>Hypothèses</i>	66
3.9.2	<i>Résultats</i>	66
3.9.3	<i>Commentaires</i>	68
3.10	RISQUE D’ANOXIE EN CAS DE RUPTURE GUILLOTINE DU RESEAU D’AZOTE.....	69
3.10.1	<i>Hypothèses</i>	69
3.10.2	<i>Résultats</i>	70
3.10.3	<i>Commentaires</i>	70
3.11	RESEAU D’ALIMENTATION EN METHANE DES PILOTES DE LA TORCHERE	71
3.11.1	<i>Hypothèses</i>	71
3.11.2	<i>Résultats</i>	71
3.11.3	<i>Commentaires</i>	75
3.12	INCENDIE DES TRANSFORMATEURS 225 KVA	76
3.12.1	<i>Hypothèses</i>	76
3.12.2	<i>Résultats</i>	76
3.12.3	<i>Commentaires</i>	78
3.13	ECLATEMENT DE LA CUVE D’HUILE D’UN TRANSFORMATEURS 225 KVA.....	79
3.13.1	<i>Hypothèses</i>	79
3.13.2	<i>Résultats</i>	79
3.13.3	<i>Commentaires</i>	81
3.14	FEU DE NAPPE SUITE A UN EPANDAGE DE GNR AU NIVEAU DU LOCAL GROUPE ELECTROGENE	84

3.14.1	<i>Hypothèses</i>	84
3.14.2	<i>Résultats</i>	84
3.14.3	<i>Commentaires</i>	85
4	BILAN DES ACCIDENTS ETUDIES	86

1 METHODES UTILISEES

1.1 EFFETS THERMIQUES LIES A UN FEU DE NAPPE

Un feu de nappe est un incendie résultant de la combustion d'une nappe de liquide. La combustion a lieu en phase gazeuse, puisque seules les vapeurs émises par le liquide brûlent. Une partie de la chaleur libérée par la réaction de combustion est cédée au liquide, lui permettant ainsi de s'évaporer et d'entretenir le feu de nappe (confère images ci-dessous).



Dans le but de modéliser les effets thermiques d'un feu de nappe d'hydrocarbures, il est nécessaire de déterminer le flux thermique dégagé par cet incendie. Les radiations thermiques sont calculées avec l'outil FNAP dont les hypothèses sont :

- ↪ le produit inflammable est un hydrocarbure liquide de catégorie B ou C : le débit de combustion est assimilé à celui de l'essence et pris égal à $0,055 \text{ kg/m}^2.\text{s}$,
- ↪ humidité relative de l'air : 70 %,
- ↪ température de l'air : 15°C ,
- ↪ vitesse du vent : 5 m/s,
- ↪ les distances d'effets sont arrondies à la demi-décade supérieure et ne peuvent pas être inférieures à 10 m : près de la flamme le transfert de chaleur par convection ne peut pas être négligé.

1.2 EFFETS DE SURPRESSION LIES A UNE EXPLOSION DE GAZ INFLAMMABLE A L'AIR LIBRE

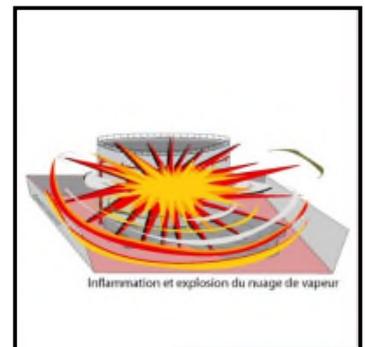
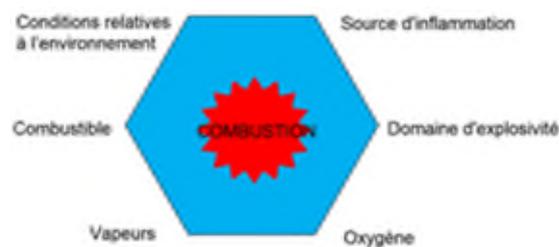
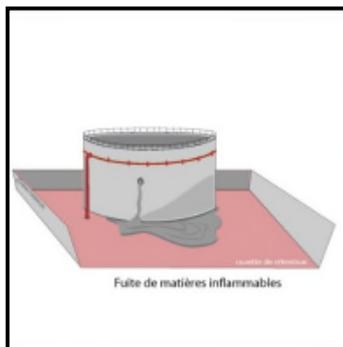
1.2.1 GENERALITES SUR L'UVCE

UVCE : Unconfined Vapour Cloud Explosion.

Il s'agit d'une explosion de gaz à l'air libre produisant des effets thermiques et de surpression.

La circulaire du 10 mai 2010 décrit le déroulement d'un UVCE de la façon suivante :

- ↪ rejet dans l'atmosphère d'un gaz inflammable, le produit étant en phase gaz ou en phase liquide,
- ↪ mélange avec l'oxygène de l'air pour former un volume inflammable,
- ↪ de manière concomitante, dilution et transport du nuage de gaz dont une partie du volume reste inflammable,
- ↪ inflammation de ce nuage,
- ↪ propagation d'un front de flamme des parties inflammables du nuage ; ce front de flamme, associé à l'expansion des gaz brûlés, agit à la manière d'un piston sur les gaz frais environnants et peut être à l'origine de la formation d'une onde de pression aérienne, appelée déflagration, si sa vitesse de propagation est suffisante,
- ↪ enfin, le cas échéant, mélange avec l'air et combustion des parties du nuage qui étaient initialement trop riches en combustible pour être inflammables,
- ↪ s'il n'y a pas d'effet de pression, le terme flash fire est employé à la place d'UVCE.



1.2.2 EFFETS DE SURPRESSION

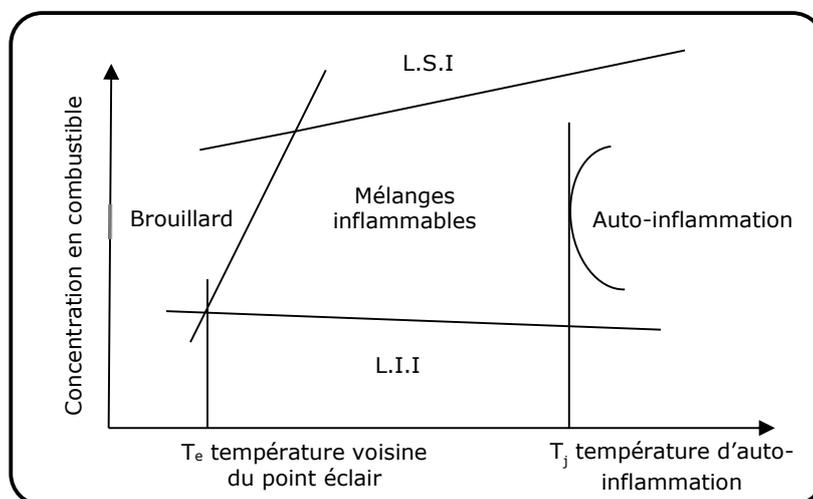
La modélisation consiste dans un premier temps à effectuer la dispersion du nuage de gaz inflammable, de définir la quantité de gaz susceptible d'exploser, de connaître les distances atteintes par le nuage explosible et, dans un deuxième temps, de calculer les distances correspondant aux surpressions engendrées par l'explosion du nuage.

La dispersion du nuage de gaz est effectuée au moyen du logiciel PHAST développé par DNV.

La quantité de gaz explosible est définie par rapport aux limites inférieures et supérieures d'explosivité.

Ce domaine dans lequel se situe cette masse (confère image ci-dessous) est délimité par :

- ↯ la Limite Inférieure d'Inflammabilité ou d'Explosivité (LII ou LIE) s'exprimant en % de gaz en volume dans l'air. En-dessous de cette limite, le mélange est trop pauvre en combustible (ou trop riche en oxygène) pour que la flamme puisse se propager dans le milieu gazeux,
- ↯ la Limite Supérieure d'Inflammabilité ou d'Explosivité (LSI ou LSE) s'exprimant en % de gaz en volume dans l'air. Au-dessus de cette limite, le mélange est trop riche en combustible (ou trop pauvre en oxygène) pour que la flamme puisse se propager dans le milieu gazeux,
- ↯ la courbe de condensation dans la partie gauche,
- ↯ la courbe d'auto-inflammation dans la partie droite, qui correspond à une inflammation « spontanée » du mélange.



Le calcul des surpressions est également effectué par le logiciel PHAST selon la méthode multi-énergie développée par le TNO (Yellow Book).

Cette méthode repose sur le fait que les conditions de combustion dans un nuage inflammable peuvent varier considérablement d'un point à un autre, du fait des différences de confinement partiel entre les différentes zones. Les zones à fort potentiel de confinement donnent des explosions violentes, tandis que les zones en champ libre ne font que brûler sans effet de pression significatif. Dans la méthode multi-énergie, le confinement partiel d'une zone est représenté par un indice de violence (1 à 10) correspondant à différentes vitesses de flamme.

Un des paramètres importants pour ce type de scénario est le délai d'allumage du nuage explosible. Etant donné la volatilité de l'hydrogène lors de la dispersion, *ie* la tendance à l'élévation du panache, les effets de l'explosion sont considérés quand le nuage inflammable se situe encore au niveau du sol. On considèrera ainsi le nuage ayant la plus grande masse inflammable, à partir d'une hauteur de 1,5m. En effet, une fois que le panache aura « décollé », l'encombrement du nuage pourra être considéré comme nul et les effets de surpressions ne seront plus à considérer.

Le logiciel utilisé dans le cadre de cette étude pour ce phénomène dangereux est le logiciel PHAST dans sa version 8.11. Ce dernier est un logiciel de type intégral. La complexité de ce type de logiciel est intermédiaire entre des calculs de dispersion de type gaussien et des logiciels tridimensionnels procédant par volumes ou éléments finis.

Ce logiciel permet une modélisation assez fine, prenant en compte les différents régimes de dispersion. Les calculs peuvent être effectués avec des modèles correspondant à autant de problématiques différentes, à savoir :

- un modèle qui est employé lorsque l'énergie cinétique propre au rejet préside à la dispersion (cas des jets de gaz sous pression, par exemple) ;
- un modèle qui est employé lorsque la dispersion dépend à la fois de l'énergie cinétique du rejet et des effets de densité, et qui permet ainsi de pouvoir modéliser l'élévation du nuage d'hydrogène lors de sa dispersion atmosphérique ;
- un modèle pour les calculs de dispersion des gaz lourds ;
- enfin, un modèle classique de dispersion gaussienne lorsque le polluant émis est « dynamiquement passif » et que la dispersion atmosphérique ne dépend plus que des conditions orographiques et météorologiques.

Par ailleurs, certaines limitations sont à noter :

- le terrain est considéré comme plat, de rugosité uniforme et non encombré d'obstacles ;
- la vitesse du vent doit être au moins égale à 1 m/s pour obtenir des résultats plausibles ;
- les conditions météorologiques sont considérées invariables tout au long de l'émission et de la dispersion.

↳ Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques prises en compte dans les scénarios seront les conditions standards prises pour ce type d'étude :

- ✓ F3 : stabilité F (très stable), vent de 3 m/s. Cette condition se rencontre notamment la nuit en toute saison et génère une dispersion lente du nuage et une zone de forte concentration relativement longue.
- ✓ D5 : stabilité D (neutre), vent de 5 m/s. Cette condition reflète une situation courante en France et en toute saison.

↳ Indices de violence

Les indices multi-énergie sont choisis selon la méthode définie par le Yellow Book (Methods for the calculation of physical effects – CPR 14E – 3ème édition 1997) édité par le TNO. L'indice est fonction des obstacles, du confinement du nuage de gaz et de l'énergie de la source d'ignition.

✓ Obstacles :

- Fort : les obstacles représentent plus de 30 % du volume considéré et sont espacés de moins de 3 m.
- Faible : les obstacles représentent moins de 30 % d'espace.
- Aucun : pas d'obstacles.

✓ Confinement :

- Oui : le nuage est confiné par des murs sur 2 ou 3 côtés.
- Non : le nuage n'est pas confiné sauf par le sol.

✓ Energie d'ignition :

- Fort : la source d'ignition est, par exemple, une petite explosion (explosion d'une partie du nuage à l'intérieur d'un immeuble) qui ensuite engendre l'explosion du nuage principal.
- Faible : étincelle, flamme, point chaud.

Le tableau de correspondance est le suivant.

Energie d'ignition		Obstacles			Confinement		Indices multi-énergie
Fort	Faible	Fort	Faible	Aucun	Oui	Non	
X		X			X		7-10
X		X				X	7-10
	X	X			X		5-7
X			X		X		5-7
X			X			X	4-6
X				X	X		4-6
	X	X				X	4-5
X				X		X	4-5
	X		X		X		3-5
	X		X			X	2-3
	X			X	X		1-2
	X			X		X	1

1.3 EFFETS THERMIQUES LIES A UNE EXPLOSION DE GAZ INFLAMMABLE

Selon la circulaire du 10 mai 2010, l'expérience montre qu'en pratique, les effets thermiques de l'UVCE ne sont pas dus au rayonnement thermique (très court) du nuage enflammé, mais uniquement au passage du front de flamme. Autrement dit, toute personne se trouvant sur le parcours de la flamme est susceptible de subir l'effet létal, mais celui-ci n'excède pas la limite extrême atteinte par le front de flamme. Ainsi, l'effet thermique de l'UVCE sur l'homme est dimensionné par la distance à la LII (limite inférieure d'inflammabilité).

Dans le cas d'une explosion d'un nuage de gaz en espace non confiné (flash fire), les seuils considérés sont :

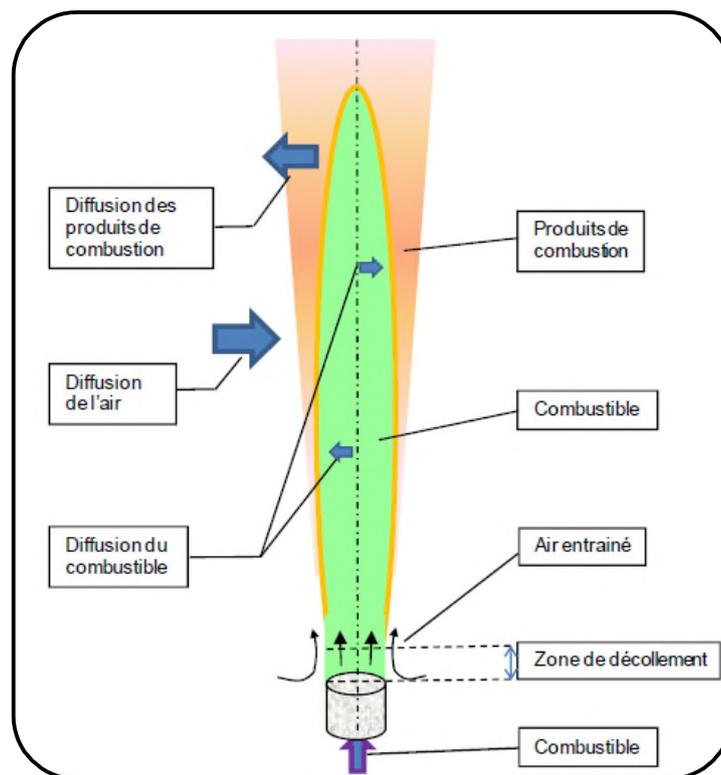
- ↳ distance au seuil des effets létaux significatifs = distance au seuil des effets létaux = distance à la LII,
- ↳ distance au seuil des effets irréversibles = 1,1 x distance à la LII.

1.4 EFFETS THERMIQUES LIES A UN FEU TORCHE

La description du phénomène est reprise des données disponibles auprès de l'INERIS et son document Ω8 d'Octobre 2014.

Lorsqu'un jet liquide ou gazeux issu d'une fuite s'enflamme par l'intermédiaire d'une source d'inflammation quelconque (par exemple, une surface chaude), le feu torche prend naissance sous forme d'une flamme de diffusion. Le jet combustible émerge d'une canalisation ou d'un orifice et entre dans l'air ambiant qui est en général au repos. La principale caractéristique de la flamme de diffusion est que le combustible et l'air sont initialement séparés et que la combustion se produit dans la zone où le mélange comburant-combustible se fait. Ceci revient à décrire la flamme d'un simple bec Bunsen dont la virole d'amenée d'air serait entièrement close (Drysdale, 1999). Le jet combustible se mélange ainsi à l'air par entraînement et diffusion et avec l'aide d'une source d'inflammation, se met à brûler seulement lorsque les concentrations de combustible et d'air sont comprises dans une plage définie entre les limites d'inflammabilité (domaine d'inflammabilité, confère image en page 18).

Après inflammation du jet, le feu torche s'établit et il en résulte une flamme de diffusion dont l'apparence dépend de la nature du combustible mais aussi de la vitesse du jet combustible par rapport à l'air ambiant.



Les flux thermiques liés à un feu torche sont estimés par le logiciel PHAST de DNV. Le modèle « Jet tronconique monosource » de Shell est utilisé. Le modèle assimile le feu alimenté à un tronc de cône et évalue les éléments géométriques principaux du jet enflammé. Il permet de modéliser un jet enflammé avec un angle variable et prend en compte la variation angulaire supplémentaire en fonction de la vitesse du vent qui peut avoir tendance à « coucher » la flamme).

↳ Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques prises en compte dans les scénarios seront les conditions standards prises pour ce type d'étude :

- ✓ F3 : stabilité F (très stable), vent de 3 m/s. Cette condition se rencontre notamment la nuit en toute saison et génère une dispersion lente du nuage et une zone de forte concentration relativement longue.
- ✓ D5 : stabilité D (neutre), vent de 5 m/s. Cette condition reflète une situation courante en France et en toute saison.

1.5 EXPLOSION INTERNE

1.5.1 DETERMINATION DE L'ENERGIE DE L'EXPLOSION

Le chapitre 7 : Rupture of Vessels du « Yellow Book » du TNO propose différentes modélisations de ce dernier phénomène.

La première étape de la méthodologie consiste à évaluer l'énergie disponible avant éclatement de l'enceinte. Cette énergie représente l'augmentation de l'énergie interne de l'enceinte produite par l'accroissement de la pression dans le ciel gazeux. Elle peut être estimée à l'aide de l'équation de Brode simplifiée (en Joules) :

$$E = 3 \times V \times (P_{\text{ex}} - P_{\text{atmosphérique}})$$

Avec :

- V : Volume de l'enceinte considérée en m³,
- $P_{\text{ex}} - P_{\text{atmosphérique}}$ = Pression relative de l'explosion en Pa,
- P_{ex} : pression absolue de l'explosion.

Dans une approche dimensionnante, il est retenu comme pression relative $P_{\text{ex}} - P_{\text{atmosphérique}}$ de l'explosion :

- si le volume est correctement éventé : $P_{\text{ex}} - P_{\text{atmosphérique}} = P_{\text{redmax}}$ (la pression d'explosion réduite utilisée pour calculer la surface d'évent),
- si le volume est non éventé : $P_{\text{ex}} - P_{\text{atmosphérique}} = 2 * P_{\text{rupture}}$ (où P_{rupture} est la pression statique de rupture de l'enceinte). À noter que 2 constitue un coefficient d'amplification afin de prendre en compte le développement de l'explosion.

1.5.2 DETERMINATION DES DISTANCES DES EFFETS DE SURPRESSION

La détermination des distances des effets de surpression s'effectue en appliquant la méthode multi-énergie indice 10, qui peut être majorante dans certains cas. Cette formule, respectant la physique du phénomène, donne les surpressions d'une onde de choc résultant d'un éclatement, en fonction de l'énergie d'explosion définie à l'étape précédente.

Le tableau suivant donne les formules associées aux effets de surpression :

Valeurs de références relatives aux effets de surpression	Distance des effets de surpression suivant la méthode multi-énergie indice 10*
300 mbar	0,028 E ^{1/3}
200 mbar	0,032 E ^{1/3}
140 mbar	0,05 E ^{1/3}
50 mbar	0,11 E ^{1/3}

Pour le seuil des 20 mbar, il est admis que la distance d'effet est égale à deux fois la distance d'effets obtenue pour une surpression de 50 mbar. (Source : Guide technique relatif aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes accidentels des IC).

A noter qu'une explosion secondaire (explosion du nuage éjecté par les parois soufflables) aura des effets moindres.

1.6 EFFETS TOXIQUES (ANOXIE ET HYPEROXIE)

Le logiciel utilisé dans le cadre de cette étude pour la détermination des effets toxiques est le logiciel PHAST dans sa version 8.11.

Les effets toxiques étudiés sont :

- L'anoxie liée à l'appauvrissement du taux d'oxygène dans l'air lors du déplacement d'un nuage d'azote ;
- L'hyperoxie liée au surenrichissement du taux d'oxygène dans l'air lors du déplacement d'un nuage d'oxygène.

Pour ces scénarios, le temps d'exposition considéré, permettant la définition des « toxic averaging time » et « core averaging time » est de 60 minutes.

Les conditions météorologiques prises en compte dans les scénarios seront les conditions standards prises pour ce type d'étude :

- ✓ F3 : stabilité F (très stable), vent de 3 m/s. Cette condition se rencontre notamment la nuit en toute saison et génère une dispersion lente du nuage et une zone de forte concentration relativement longue.
- ✓ D5 : stabilité D (neutre), vent de 5 m/s. Cette condition reflète une situation courante en France et en toute saison.

2 SEUILS DE REFERENCE

2.1 EFFETS THERMIQUES

L'évaluation des conséquences d'un incendie considère les zones suivantes :

Flux thermiques	Effets sur l'homme	Effets sur les structures
3 kW/m ²	Seuil des effets irréversibles délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine	/
5 kW/m ²	Seuil des effets létaux délimitant la zone de dangers graves pour la vie humaine	Seuil de destructions de vitres significatives
8 kW/m ²	Seuil des effets létaux significatifs délimitant la zone de dangers très graves pour la vie humaine	Seuil des effets dominos et correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures
16 kW/m ²	/	Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton
20 kW/m ²	/	Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton
200 kW/m ²	/	Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes

Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques, conformément à l'arrêté du 29 septembre 2005.

A titre comparatif, le tableau ci-dessous présente quelques seuils d'effets thermiques sur les structures issus de la littérature (API 1990 ; GESIP 1991 ; Green Book-TNO 1989) :

Seuils (en kW/m ²)	Effets Caractéristiques
1	Rayonnement solaire en zone tropicale
5	Bris de vitres
8	Début de la combustion spontanée du bois et des peintures
20	Tenue du béton pendant plusieurs heures
35	Auto-inflammation du bois
200	Ruine du béton par éclatement interne en quelques dizaines de minutes (température interne de 200 à 300°C)

2.2 EFFETS DE SURPRESSION

L'évaluation des conséquences d'une explosion considère les zones suivantes :

EFFETS DE SURPRESSION	EFFETS SUR L' HOMME	EFFETS SUR LES STRUCTURES
20 mbar	Seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme	Seuils des destructions significatives de vitres
50 mbar	Seuils des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine	Seuils des dégâts légers sur les structures
140 mbar	Seuils des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie	Seuils des dégâts graves sur les structures
200 mbar	Seuils des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine	Seuils des effets domino
300 mbar	/	Seuils des dégâts très graves sur les structures

Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression, conformément à l'arrêté du 29 septembre 2005.

2.3 EFFETS TOXIQUES

L'évaluation des conséquences de la dispersion de fumées toxiques considère les zones suivantes :

Seuils d'effets toxiques pour l'homme par inhalation			
	Types d'effets constatés	Concentration d'exposition	Référence
Exposition de 1 à 60 min	Létaux	SELS (CL 5%) SEL (CL 1%)	Seuils de toxicité aiguë. Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques – 2003 (et ses mises à jour ultérieures).
	Irréversibles	SEI	
	Réversibles	SER	

Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets toxiques, conformément à l'arrêté du 29 septembre 2005.

Avec, SELS : Seuil des Effets Létaux Significatifs

SEL : Seuil des Effets Létaux

SEI : Seuil des Effets Irréversibles

SER : Seuil des Effets Réversibles

CL : Concentration Létales.

3 EVALUATION QUANTITATIVE

3.1 EXPLOSION DE L'UNITE DE PRODUCTION D'HYDROGENE

3.1.1 HYPOTHESES

Une perte d'étanchéité au niveau d'une bride / d'un raccord ou d'un joint au niveau d'une canalisation entraînera une fuite d'H₂ au sein d'une unité de production.

En l'absence de MMR, la fuite d'hydrogène ne sera pas stoppée jusqu'à atteindre un mélange inflammable à l'intérieur d'une unité de production.

A noter qu'une unité de production est divisée en deux sous-unités.

Les dimensions d'une sous-unité sont les suivantes :

	Sous-unité 1	Sous-unité 2
Surface	1 820,90 m ²	2 121,87 m ²
Hauteur	14,22 m au faitage	
Volume	25 893,20 m ³	30 172,99 m ³
% d'encombrement	40%	40%
Volume libre	15 535,92 m ³	18 103,79 m ³

Le bâtiment de production sera constitué d'une toiture présentant une pression de rupture de 100 mbar.

3.1.2 RESULTATS

L'énergie d'éclatement peut être estimée à l'aide de l'équation de Brode simplifiée (en Joules) :

$$E = 3 \times V \times (P_{\text{ex}} - P_{\text{atmosphérique}})$$

Avec :

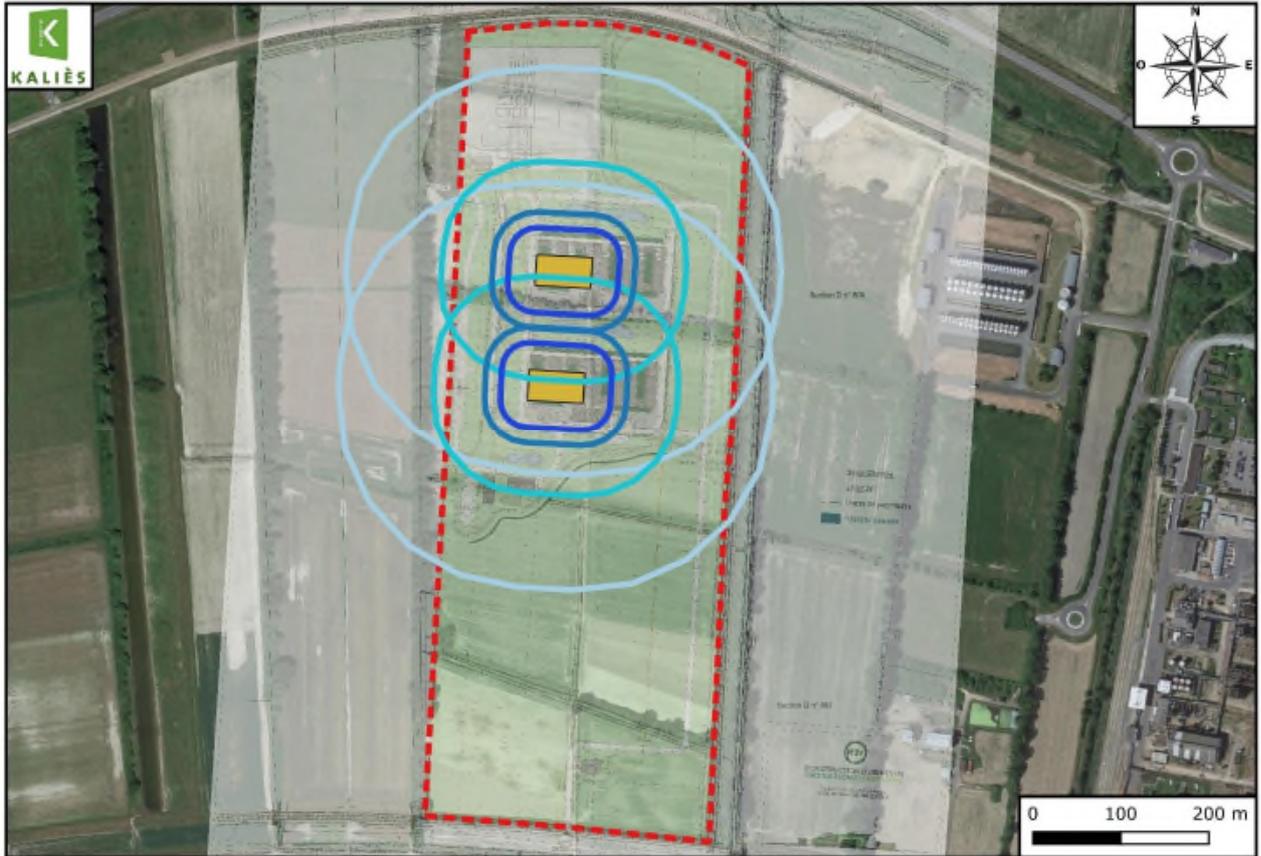
- V : Volume libre considérée en m³ (cf tableau hypothèses)
- $P_{\text{ex}} - P_{\text{atmosphérique}} = 2 * P_{\text{rupture}}$ en Pa = 200 mbar = 20 000 Pa

La détermination des distances des effets de surpression s'effectue en appliquant la méthode multi-énergie indice 10, qui peut être majorante dans certains cas. Cette formule, respectant la physique du phénomène, donne les surpressions d'une onde de choc résultant d'un éclatement, en fonction de l'énergie d'explosion définie.

Le tableau suivant donne les formules associées aux effets de surpression :

Valeurs de références relatives aux effets de surpression	Distance des effets de surpression suivant la méthode multi-énergie indice 10	Résultats du calcul sous-unité 1	Résultats du calcul sous-unité 2
300 mbar	$0,028 E^{1/3}$	27 m	29 m
200 mbar	$0,032 E^{1/3}$	31 m	33 m
140 mbar	$0,05 E^{1/3}$	49 m	51 m
50 mbar	$0,11 E^{1/3}$	107 m	113 m
20 mbar	$2 \times 0,11 E^{1/3}$	215 m	226 m

La cartographie des effets de surpression est présentée en page suivante pour chaque sous-unité de production.

Explosion de la sous-unité de production 1**Légende :**

-  Limites du site
-  Sous-unité de production 1
-  Effets de surpression 200 mbar
-  Effets de surpression 140 mbar
-  Effets de surpression 50 mbar
-  Effets de surpression 20 mbar

Explosion de la sous-unité de production 2**Légende :**

-  Limites du site
-  Sous-unité de production 2
-  Effets de surpression 200 mbar
-  Effets de surpression 140 mbar
-  Effets de surpression 50 mbar
-  Effets de surpression 20 mbar

3.1.3 COMMENTAIRES

Sur site

Flux	Installations impactées sur site	Conséquences
200 mbar	Unité de production entière Unités de compression 100 et 500 bar Torchères TAR Unité de traitement de l'eau entrée Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours	Seuil des effets dominos
140 mbar	Unité de production entière Unité de compression Torchères TAR Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours Bâtiment maintenance	Dégâts graves sur les structures Pas de risque d'effets dominos
50 mbar	Unité de production entière Unité de compression Torchères TAR	Dégâts légers sur les structures Pas de risque d'effets dominos
20 mbar	Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours Poste RTE Bâtiment maintenance Unité de traitement de l'eau sortie	Seuil des destructions significatives de vitres Pas de risque d'effets dominos

La rupture guillotine du collecteur extérieur (réseau amont compression) est étudiée dans la suite.

L'explosion des unités de compression est modélisée dans la suite du rapport.

La rupture guillotine sur le flexible de la station mobilité, l'alimentation en CH₄ des torchères et sur le réseau d'azote sont étudiées dans la suite du rapport.

Le feu de nappe suite à un épandage de FOD au niveau du local groupe électrogène est étudié dans la suite du rapport.

La canalisation d'hydrogène en sortie de la compression 100 bar sera enterrée et ne subira pas d'effets dominos. Également le poste gaz se trouve en dehors des zones d'effets dominos.

Des dégâts légers sur les structures des bureaux, maintenance et supervision et du postes RTE seront observés.

Hors du site

Seuil	Installations et terrains impactés en dehors du site	Conséquences
200 mbar	/	Seuil des effets dominos
140 mbar	/	Dégâts graves sur les structures Pas de risque d'effets dominos
50 mbar	Terrains agricoles	Dégâts légers sur les structures Pas de risque d'effets dominos
20 mbar	Terrains agricoles Future voie d'accès au site	Seuil des destructions significatives de vitres Pas de risque d'effets dominos

Les terrains situés à proximité seront impactés par les effets de surpression de 20 et 50 mbar. Ces effets ne sont toutefois pas susceptibles d'occasionner des effets dominos puisqu'ils sont observés à partir de 200 mbar. **Il s'agit d'un accident majeur.**

Pour le calcul de la gravité, il est considéré l'explosion d'une unité de production (soit la 1, soit la 2). En effet, les effets dominos liés aux phénomènes dangereux étudiés permettent d'exclure l'explosion des deux unités simultanément. Au sein d'une unité de production, les deux sous-unités seront considérées au regard des distances des effets dominos à l'intérieur du site.

Plus précisément, les terrains impactés sont les suivants (les effets irréversibles étant ceux de 20 et 50 mbar, les distances et surfaces les plus importantes, c'est-à-dire celles engendrées par le seuil de 20 mbar, seront retenues pour le calcul de gravité) :

Flux	Explosion de l'unité de production 1 Installations et terrains impactés en dehors du site	Explosion de l'unité de production 2 Installations et terrains impactés en dehors du site
20 mbar	Terrains agricoles (79 000 m ²) Future voie d'accès au site (120 m)	Terrains agricoles (84 000 m ²)

La détermination du nombre de personnes susceptibles d'être exposées aux différents seuils d'effets réglementaires en cas de sinistre a été effectuée selon la méthodologie de comptage de la circulaire du 10 mai 2010, fiche 1.

La voie d'accès au site aura un trafic journalier de maximum 100 véhicules par jour.



**COMPTAGE DES PERSONNES EXPOSEES A L'EXTERIEUR DU SITE
POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE SELON LA FICHE N°1 DE LA CIRCULAIRE DU 10/05/10**

H2VNormandy

Accident étudié : Explosion de l'unité de production 1

Type d'occupation des sols	Zone des effets très graves délimitée par le SELS		Zone des effets graves délimitée par le SEL		Zone des effets significatifs délimitée par le SEI	
	Urbanisation existante	Nbre de pers	Urbanisation existante	Nbre de pers	Urbanisation existante	Nbre de pers
Etablissements recevant du public						
Bâtiments d'enseignement						
Bâtiments de service public						
Bâtiments de soins						
Bâtiments et équipements de loisir						
Bâtiments religieux						
Grands centres commerciaux						
Petits commerces et services						
• 10 pers par magasin (boulangerie, épicerie, presse, coiffeur)						
• 15 pers pour les tabacs, cafés, restaurants, supérettes, postes						
Zones d'activités						
Entreprise 1						
Entreprise 2						
Entreprise 3						
Logements						
• 2,5 pers par foyer (moyenne INSEE)*						
Voies de circulation automobile						
• 0,4 pers par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour					120 m pour 100 véhicules par jour	0,05
• si embouteillages fréquents : 300 pers par voie et par km exposés						
Voies ferroviaires de transport de voyageurs						
• 0,4 pers par km exposé x nbre de trains/jour sur la voie						
Voies navigables						
• 0,1 pers par km exposé x nbre de péniches/jour						
Chemins de randonnée						

• 2 pers par km exposé par tranche de 100 promeneurs/j					
Terrains non bâtis (*)					
• 1 pers par tranche de 100 ha (terrains non aménagés et très peu fréquentés : champs, prairies, forêts, friches, marais...)				7,9 ha	0,08
• 1 pers par tranche de 10 ha (terrains aménagés mais peu fréquentés : jardins, zones horticoles, vignes, zones de pêche, ...)					
• 10 pers / ha (terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés : parkings, parcs et jardins publics, zones de baignades surveillées, terrains de sport sans gradins, ...)					
(*) Le nombre de personnes exposées est pris au moins égal à 1					
TOTAL DES PERSONNES EXPOSEES		0		0	0,127

* : en cas d'absence de données précises sur l'habitat, se référer aux données forfaitaires de la fiche 1 de la circulaire du 10/05/10



COMPTAGE DES PERSONNES EXPOSEES A L'EXTERIEUR DU SITE POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE SELON LA FICHE N°1 DE LA CIRCULAIRE DU 10/05/10

H2VNormandyAccident étudié : Explosion de l'unité de production 2

Type d'occupation des sols	Zone des effets très graves délimitée par le SELS		Zone des effets graves délimitée par le SEL		Zone des effets significatifs délimitée par le SEI	
	Urbanisation existante	Nbre de pers	Urbanisation existante	Nbre de pers	Urbanisation existante	Nbre de pers
Etablissements recevant du public						
Bâtiments d'enseignement						
Bâtiments de service public						
Bâtiments de soins						
Bâtiments et équipements de loisir						
Bâtiments religieux						
Grands centres commerciaux						
Petits commerces et services						
• 10 pers par magasin (boulangerie, épicerie, presse, coiffeur)						
• 15 pers pour les tabacs, cafés, restaurants, supérettes, postes						
Zones d'activités						
Entreprise 1						
Entreprise 2						
Entreprise 3						
Logements						
• 2,5 pers par foyer (moyenne INSEE)*						
Voies de circulation automobile						
• 0,4 pers par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour						
• si embouteillages fréquents : 300 pers par voie et par km exposés						
Voies ferroviaires de transport de voyageurs						
• 0,4 pers par km exposé x nbre de trains/jour sur la voie						
Voies navigables						
• 0,1 pers par km exposé x nbre de péniches/jour						
Chemins de randonnée						
• 2 pers par km exposé par tranche de 100 promeneurs/j						

Terrains non bâtis (*)					
• 1 pers par tranche de 100 ha (terrains non aménagés et très peu fréquentés : champs, prairies, forêts, friches, marais...)				8,4 ha	0,08
• 1 pers par tranche de 10 ha (terrains aménagés mais peu fréquentés : jardins, zones horticoles, vignes, zones de pêche, ...)					
• 10 pers / ha (terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés : parkings, parcs et jardins publics, zones de baignades surveillées, terrains de sport sans gradins, ...)					
(*) Le nombre de personnes exposées est pris au moins égal à 1					
TOTAL DES PERSONNES EXPOSEES		0		0	0,084

* : en cas d'absence de données précises sur l'habitat, se référer aux données forfaitaires de la fiche 1 de la circulaire du 10/05/10

Au regard de la grille de cotation en gravité (arrêté ministériel du 29 septembre 2005) ci-dessous, pour le seuil des effets irréversibles, moins de 1 personne exposée est associé à un niveau de gravité « **Modéré** ».

A noter que dans le cas des effets dominos, les accidents majeurs 1, 2, et 3 pourront avoir lieu en même temps. Dans ce cas, le nombre de personnes touchées serait inférieur à 1 personne, la gravité serait « **Modéré** ».

Niveau de gravité des conséquences		Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
D	Désastreux	Plus de 10 personnes exposées (1).	Plus de 100 personnes exposées.	Plus de 1 000 personnes exposées.
C	Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.	Entre 100 et 1 000 personnes exposées.
I	Important	Au plus 1 personne exposée.	Entre 1 et 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.
S	Sérieux	Aucune personne exposée.	Au plus 1 personne exposée.	Moins de 10 personnes exposées.
M	Modéré	Pas de zone de létalité hors de l'établissement.		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure ou égale à « une personne ».
(1) Personne exposée : en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent.				

3.2 EXPLOSION DU BATIMENT COMPRESSEUR 100 BAR

3.2.1 HYPOTHESES

De même que pour l'unité de production d'hydrogène (chapitre 3.1), la fuite sous le bâtiment de compression 100 bar sera étudiée.

Chaque unité disposera de deux locaux compression constituant une unité de compression. La présente modélisation correspond à l'explosion d'un seul local et est duplicable aux autres.

Les dimensions d'un local compresseur sont les suivantes :

	Local compresseur 100 bar
Surface	212,19 m ²
Hauteur	10,30 m au faitage
Volume	2 185,5 m ³
% d'encombrement	40%
Volume libre	1 311,234m ³

Le local de compression sera constitué d'une toiture présentant une pression de rupture de 100 mbar.

3.2.2 RESULTATS

L'énergie d'éclatement peut être estimée à l'aide de l'équation de Brode simplifiée (en Joules) :

$$E = 3 \times V \times (P_{ex} - P_{atmosphérique})$$

Avec :

- V : Volume libre considérée en m³ (cf tableau hypothèses)
- $P_{ex} - P_{atmosphérique} = 2 * P_{rupture}$ en Pa = 200 mbar = 20 000 Pa

La détermination des distances des effets de surpression s'effectue en appliquant la méthode multi-énergie indice 10, qui peut être majorante dans certains cas. Cette formule, respectant la physique du phénomène, donne les surpressions d'une onde de choc résultant d'un éclatement, en fonction de l'énergie d'explosion définie.

Le tableau suivant donne les formules associées aux effets de surpression :

Valeurs de références relatives aux effets de surpression	Distance des effets de surpression suivant la méthode multi-énergie indice 10	Résultats du calcul local compresseur 100 bar
300 mbar	$0,028 E^{1/3}$	12 m
200 mbar	$0,032 E^{1/3}$	14 m
140 mbar	$0,05 E^{1/3}$	21 m
50 mbar	$0,11 E^{1/3}$	47 m
20 mbar	$2 \times 0,11 E^{1/3}$	94 m

La cartographie des effets de surpression est présentée ci-dessous.

Explosion du local compresseur 100 bar



Légende :

-  Limites du site
-  Local compresseur
-  Effets de surpression 200 mbar
-  Effets de surpression 140 mbar
-  Effets de surpression 50 mbar
-  Effets de surpression 20 mbar

3.2.3 COMMENTAIRES

Sur site

Flux	Installations impactées sur site	Conséquences
200 mbar	Unité de production Unité de compression 500 bar Torchères	Seuil des effets dominos
140 mbar	Unité de production Unité de compression Torchères TAR Unité de traitement de l'eau entrée Station mobilité	Dégâts graves sur les structures Pas de risque d'effets dominos
50 mbar	Unité de production Unité de compression Torchères TAR Unité de traitement de l'eau entrée Station mobilité Stockage d'azote liquide	Dégâts légers sur les structures Pas de risque d'effets dominos
20 mbar	Unité de production Unité de compression Torchères TAR Unité de traitement de l'eau entrée Station mobilité Stockage d'azote liquide Bâtiment maintenance	Seuil des destructions significatives de vitres Pas de risque d'effets dominos

La rupture guillotine du collecteur extérieur (réseau amont compression) est étudiée dans la suite.

L'explosion des unités de production et de compression 500 bar est modélisée dans le rapport.

La rupture guillotine sur l'alimentation en CH₄ est étudiée dans la suite du rapport.

La canalisation d'hydrogène en sortie de la compression 100 bar sera enterrée et ne subira pas d'effets dominos. Également le poste gaz se trouve en dehors des zones d'effets dominos.

Hors du site

Aucun effet en dehors du site.

3.3 EXPLOSION DU BATIMENT COMPRESSEUR 500 BAR

3.3.1 HYPOTHESES

De même que pour l'unité de production d'hydrogène (chapitre 3.1), la fuite sous le bâtiment de compression 500 bar sera étudiée.

Les dimensions d'un local compresseur sont les suivantes :

	Local compresseur 500 bar
Surface	122,60 m ²
Hauteur	10,30 m au faitage
Volume	1 262,78 m ³
% d'encombrement	40%
Volume libre	757,67 m ³

Le local de compression sera constitué d'une toiture présentant une pression de rupture de 100 mbar.

3.3.2 RESULTATS

L'énergie d'éclatement peut être estimée à l'aide de l'équation de Brode simplifiée (en Joules) :

$$E = 3 \times V \times (P_{ex} - P_{atmosphérique})$$

Avec :

- V : Volume libre considérée en m³ (cf tableau hypothèses)
- $P_{ex} - P_{atmosphérique} = 2 * P_{rupture}$ en Pa = 200 mbar = 20 000 Pa

La détermination des distances des effets de surpression s'effectue en appliquant la méthode multi-énergie indice 10, qui peut être majorante dans certains cas. Cette formule, respectant la physique du phénomène, donne les surpressions d'une onde de choc résultant d'un éclatement, en fonction de l'énergie d'explosion définie.

Le tableau suivant donne les formules associées aux effets de surpression :

Valeurs de références relatives aux effets de surpression	Distance des effets de surpression suivant la méthode multi-énergie indice 10	Résultats du calcul local compresseur 500 bar
300 mbar	0,028 E ^{1/3}	10 m
200 mbar	0,032 E ^{1/3}	11 m
140 mbar	0,05 E ^{1/3}	18 m
50 mbar	0,11 E ^{1/3}	39 m
20 mbar	2 x 0,11 E ^{1/3}	79 m

La cartographie des effets de surpression est présentée en page suivante.

Explosion du local compresseur 500 bar**Légende :**

-  Limites du site
-  Local compresseur
-  Effets de surpression 200 mbar
-  Effets de surpression 140 mbar
-  Effets de surpression 50 mbar
-  Effets de surpression 20 mbar

3.3.3 COMMENTAIRES

Sur site

Flux	Installations impactées sur site	Conséquences
200 mbar	Unité de production Unité de compression 100 bar Torchères Station mobilité	Seuil des effets dominos
140 mbar	Unité de production Unité de compression Torchères Unité de traitement de l'eau entrée Station mobilité	Dégâts graves sur les structures Pas de risque d'effets dominos
50 mbar	Unité de production Unité de compression Torchères	Dégâts légers sur les structures Pas de risque d'effets dominos
20 mbar	Unité de traitement de l'eau entrée Station mobilité Stockage d'azote liquide	Seuil des destructions significatives de vitres Pas de risque d'effets dominos

La rupture guillotine du collecteur extérieur (réseau amont compression) est étudiée dans la suite.

L'explosion des unités de production et de compression 100 bar est modélisée précédemment dans le rapport.

La rupture guillotine sur le flexible de la station mobilité, l'alimentation en CH₄ sont étudiées dans la suite du rapport.

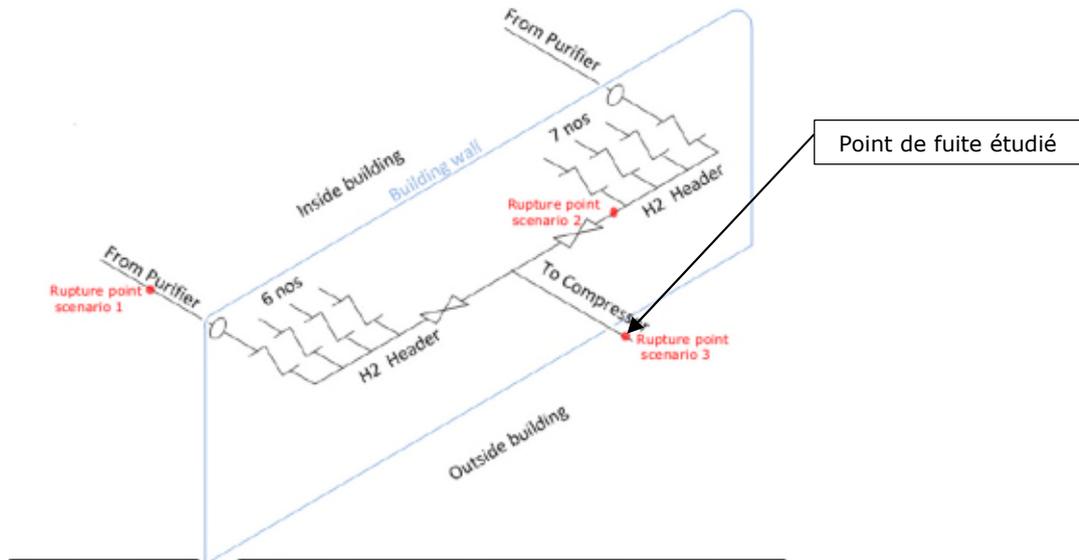
La canalisation d'hydrogène en sortie de la compression 100 bar sera enterrée et ne subira pas d'effets dominos. Également le poste gaz se trouve en dehors des zones d'effets dominos.

Hors du site

Aucun effet en dehors du site.

3.4 FEU TORCHE ET/OU UVCE SUITE A UNE FUITE ET/OU RUPTURE FRANCHE SUR LE RESEAU HYDROGENE EN AMONT DE LA COMPRESSION – SANS BARRIERE DE SECURITE

Ce réseau est illustré ci-dessous.



3.4.1 HYPOTHESES

Compte-tenu des effets dominos en cas d'explosion de l'unité de production ou des locaux compresseurs 100 bar et 500 bar (cf chapitre 3.1, 3.2 et 3.3) ou de rupture franche sur le flexible de la station mobilité (cf chapitre 3.6) sans prise en compte des MMR, la rupture guillotine du réseau amont compresseur est possible.

Également, lors d'une fuite de 10 % du diamètre (recommandation de la circulaire du 10 mai en l'absence d'effets dominos), une inflammation immédiate (feu torche) ou une inflammation différée (UVCE) pourront être observées.

Les hypothèses sont les suivantes, en l'absence de MMR :

Pression H₂ au point de fuite		30 bar relatif soit 31 bar absolu
Température H₂ au point de fuite		30 °C
Hauteur du collecteur		7 m
Hauteur du point de fuite		1 m (hauteur des vannes)
Diamètre de la canalisation		DN200
Longueur de la canalisation		158 m
Durée de la fuite considérée		60 minutes (temps de détection d'une flamme invisible et d'intervention pour coupure de l'alimentation en l'absence de MMR)
Fuite de 10%	Débit de fuite considéré pour le feu torche et l'UVCE	0,51 kg/s
	Diamètre de la fuite à 10%	20 mm

Rupture guillotine	Débit de fuite considéré pour le feu torche et l'UVCE	22,9 kg/s
---------------------------	--	-----------

L'indice multi énergie considéré est de 5 (énergie d'ignition faible, obstacle fort, pas de confinement) pour l'UVCE.

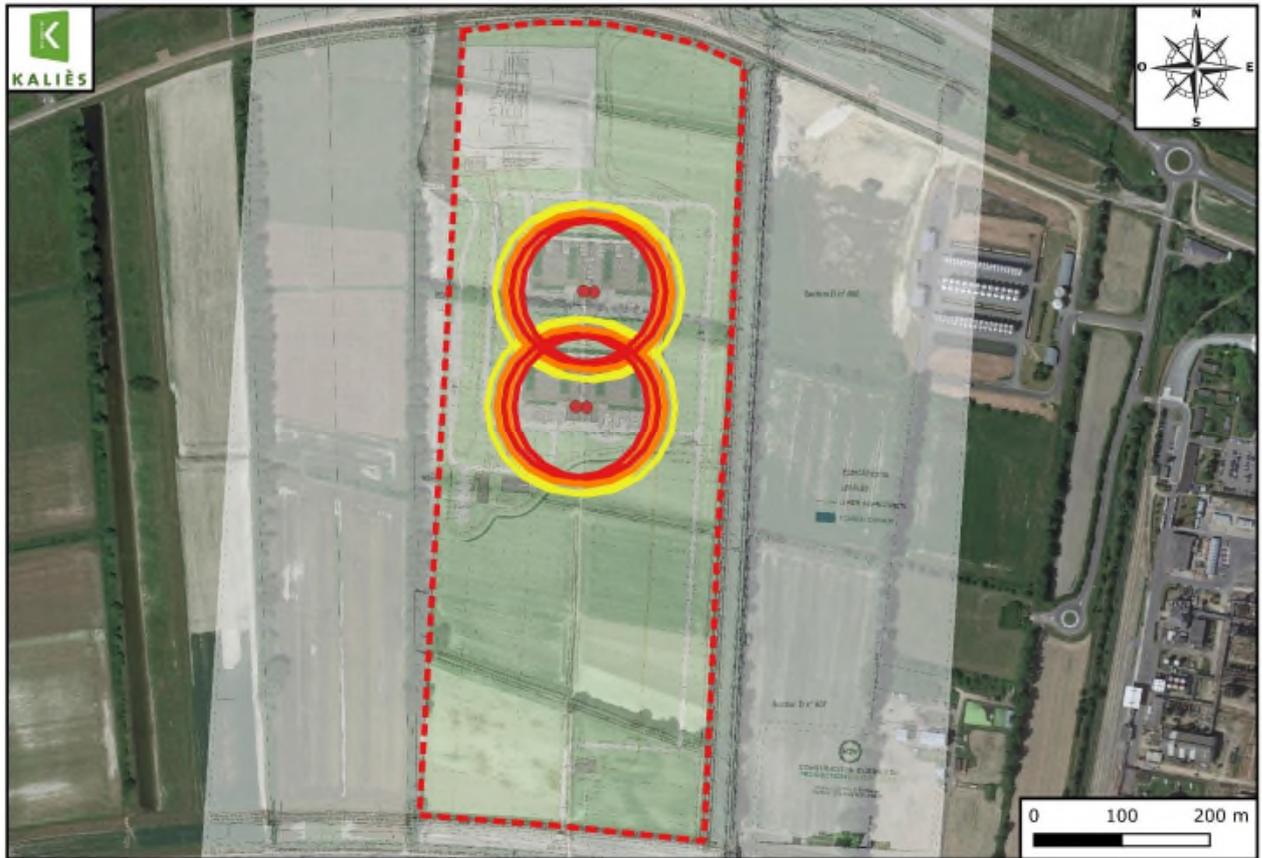
La limite inférieure d'explosivité de l'hydrogène de 4% sera retenue pour les effets thermiques (feu torche et effets thermiques liés à l'UVCE).

Le seuil de 11% d'hydrogène dans l'air sera quant à lui retenu pour les effets de surpression. En effet, selon un rapport d'étude de 2010 d'Air Liquide, un mélange hydrogène/air dans lequel il y a moins de 11% d'hydrogène en volume n'est pas susceptible d'engendrer une accélération de la flamme à l'origine du régime de détonation pouvant être observé avec l'hydrogène. La masse explosive du nuage sera comprise entre 11 et 75 % (LSE pour rappel).

3.4.2 RESULTATS

A) RUPTURE GUILLOTINE - INFLAMMATION IMMEDIATE (FEU TORCHE)

Modélisation	Effets	Seuils	Distances atteintes	
			F3/15	D5/20
Feu torche suite à la rupture guillotine sur le réseau amont à la compression 100 bar.	Effets thermiques	SELS 8 kW/m ²	81,8 m	82,2 m
		SEL 5 kW/m ²	90,0 m	90,1 m
		SEI 3 kW/m ²	101,2 m	100,9 m
		Longueur de la flamme	55,5 m	56,8 m

Feu torche suite à une rupture franche sur le réseau amont**Légende :**

-  Limites du site
-  Point de fuite (vannes) sur le réseau amont
-  Effets thermiques 8 kW/m²
-  Effets thermiques 5 kW/m²
-  Effets thermiques 3 kW/m²

B) FUITE DE 10% - INFLAMMATION IMMEDIATE (FEU TORCHE)

Modélisation	Effets	Seuils	Distances atteintes	
			F3/15	D5/20
Feu torche suite à une fuite de 10% du DN sur le réseau amont à la compression 100 bar.	Effets thermiques	SELS 8 kW/m ²	12,4 m	12,3 m
		SEL 5 kW/m ²	13,0 m	12,8 m
		SEI 3 kW/m ²	13,8 m	13,5 m
		Longueur de la flamme	10,4 m	

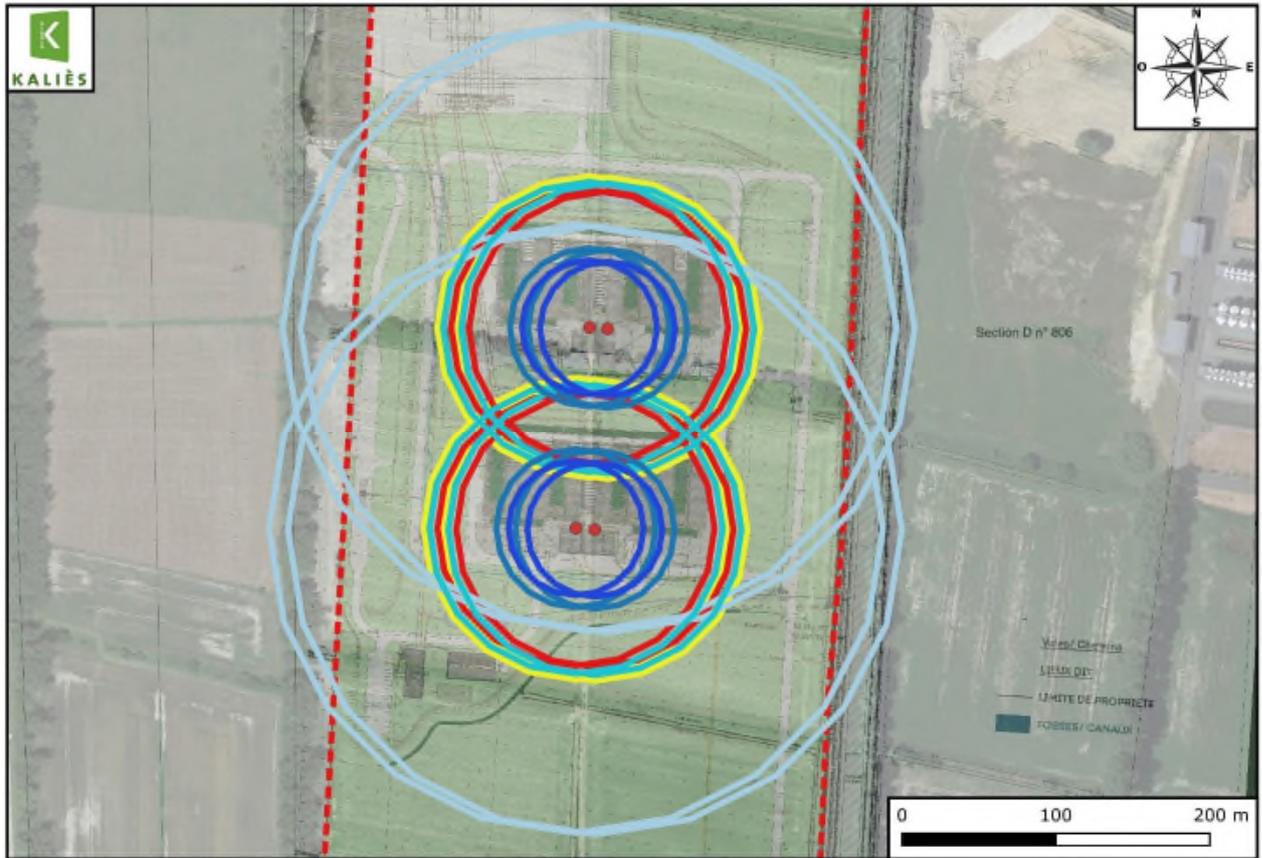
C) RUPTURE GUILLOTINE - INFLAMMATION RETARDEE

	Conditions météorologiques F3/15	Conditions météorologiques D5/20
Température	15 °C	20 °C
Vitesse du vent	3 m/s	5 m/s
Distance du nuage à la LIE (à 1,8 m de hauteur)	74 m	90 m
Hauteur du nuage à la LIE	17,5 m	18 m
Distance du nuage à 11% d'H ₂	52 m	64 m
Hauteur du nuage à 11% d'H ₂	7 m	7,5 m

Pour les résultats ci-dessous, les distances présentées correspondent à la somme suivante :

$D_{\text{seuil de surpression}} = \text{Distance entre le point de fuite et le centre du nuage inflammable} + \frac{1}{2} \text{ de la longueur du nuage} + \text{Distance atteinte par l'effet de surpression (50, 140 ou 200 mbar)}$.

Modélisation	Effets	Seuils	Distances d'effets	
			F3/15	D5/20
UVCE du nuage de gaz émis suite à la rupture guillotine sur le réseau amont à la compression 100 bar.	Surpressions	200 mbar (SELS)	41,2 m	43,9 m
		140 mbar (SEL)	49,3 m	51,8 m
		50 mbar (SEI)	94,2 m	95,3 m
		20 mbar	199,5 m	197,4 m
	Effets thermiques	3 kW/m ² (SELS)	81,4 m	99 m
		5 kW/m ² (SEL)	74 m	90 m
		8 kW/m ² (SEI)	74 m	90 m

UVCE suite à une rupture franche sur le réseau amont**Légende :**

- Limites du site
- Point de fuite (vannes) sur le réseau amont
- Effets thermiques 8 kW/m²
- Effets thermiques 5 kW/m²
- Effets thermiques 3 kW/m²
- Effets de surpression 200 mbar
- Effets de surpression 140 mbar
- Effets de surpression 50 mbar
- Effets de surpression 20 mbar

D) FUITE DE 10% - INFLAMMATION RETARDEE

	Conditions météorologiques F3/15	Conditions météorologiques D5/20
Température	15 °C	20 °C
Vitesse du vent	3 m/s	5 m/s
Distance du nuage à la LIE (à 1,8 m de hauteur)	21,5 m	21,5 m
Hauteur du nuage à la LIE	2,6 m	2,4 m
Distance du nuage à 11% d'H ₂	7,3 m	6,5 m
Hauteur du nuage à 11% d'H ₂	1,4 m	1,4 m

Pour les résultats ci-dessous, les distances présentées correspondent à la somme suivante :

$D_{\text{seuil de surpression}} = \text{Distance entre le point de fuite et le nuage inflammable} + \frac{1}{2} \text{ de la longueur du nuage} + \text{Distance atteinte par l'effet de surpression (50, 140 ou 200 mbar)}$. La distance pour le seuil des 20 mbar correspond au double de la distance du seuil de 50 mbar (cf circulaire du 10 mai 2010).

Modélisation	Effets	Seuils	Distances d'effets	
			F3/15	D5/20
UVCE du nuage de gaz émis suite à une fuite de 10% du DN sur le réseau amont à la compression 100 bar.	Surpressions	200 mbar (SELS)	5,6 m	5,1 m
		140 mbar (SEL)	6,5 m	6,0 m
		50 mbar (SEI)	11,8 m	10,8 m
		20 mbar	24,2 m	22,2 m
	Effets thermiques	3 kW/m ² (SELS)	23,4 m	23,4 m
		5 kW/m ² (SEL)	21,5 m	21,5 m
		8 kW/m ² (SEI)	21,5 m	21,5 m

3.4.3 COMMENTAIRES

Sur site

Seuil	Installations impactées sur site		Conséquences
	UVCE - Fuite	UVCE - Rupture franche	
200 mbar	Unité de production Unité de compression Torchères	Unité de production Unité de compression Torchères TAR	Seuil des effets dominos
140 mbar		Unité de traitement de l'eau Station mobilité	Dégâts graves sur les structures Pas de risque d'effets dominos
50 mbar		Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours	Dégâts légers sur les structures Pas de risque d'effets dominos
20 mbar	Unité de production Unité de compression Torchères Unité de traitement de l'eau Station mobilité	Unité de production et unité de production voisine Unité de compression Torchères TAR Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours	Seuil des destructions significatives de vitres Pas de risque d'effets dominos

Flux	Installations impactées sur site				Conséquences
	Feu torche - Fuite	Feu torche - Rupture franche	UVCE - Fuite	UVCE - Rupture franche	
8 kW/m ²	Unité de production Unité de compression Torchères	Unité de production entière Unité de compression Torchères TAR	Unité de production entière Unité de compression Torchères	Unité de production Unité de compression Torchères TAR Unité de traitement de l'eau	Zone des dangers très graves pour la vie humaine Dégâts graves sur les structures Seuil des effets dominos
5 kW/m ²		Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours		Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours Bâtiment maintenance	Zone des dangers graves pour la vie humaine Destructions de vitres significatives Pas de risque d'effets dominos

Flux	Installations impactées sur site				Conséquences
	Feu torche - Fuite	Feu torche - Rupture franche	UVCE - Fuite	UVCE - Rupture franche	
3 kW/m ²	Unité de production Unité de compression Torchères	Unité de production entière Unité de compression Torchères TAR Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours Bâtiment maintenance	Unité de production entière Unité de compression Torchères Unité de traitement de l'eau Station mobilité	Unité de production Unité de compression Torchères TAR Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours Bâtiment maintenance	Zone des dangers significatifs pour la vie humaine Pas de risque d'effets dominos

L'explosion des unités de production et compression est modélisée.

La rupture guillotine sur le flexible de la station mobilité, l'alimentation en CH₄ et sur le réseau d'azote sont étudiés dans la suite du rapport.

Le feu de nappe suite à un épandage de FOD au niveau du local groupe électrogène est étudié dans la suite du rapport.

La canalisation d'hydrogène en sortie de la compression 100 bar sera enterrée et ne subira pas d'effets dominos.

Également le poste gaz se trouve en dehors des zones d'effets dominos. Des dégâts légers sur les structures des locaux de maintenance seront observés.

Hors du site

Le scénario de rupture franche de la canalisation amont compression donne lieu à des effets de surpression (20 mbar) en dehors du site.

Il s'agit d'un accident majeur.

Pour le calcul de la gravité, il est considéré la rupture franche d'un seul des deux réseaux amont compression du site. En effet, les effets dominos liés aux phénomènes dangereux étudiés permettent d'exclure la rupture des réseaux amont aériens des deux unités simultanément.

Plus précisément, les terrains impactés sont les suivants :

Flux	UVCE suite à une rupture franche sur le réseau amont unité 1 Installations et terrains impactés en dehors du site	UVCE suite à une rupture franche sur le réseau amont unité 2 Installations et terrains impactés en dehors du site
20 mbar	Terrains agricoles (13 600 m ²)	Terrains agricoles (13 500 m ²)

La détermination du nombre de personnes susceptibles d'être exposées aux différents seuils d'effets réglementaires en cas de sinistre a été effectuée selon la méthodologie de comptage de la circulaire du 10 mai 2010, fiche 1. La rupture franche sur le réseau amont de l'unité de production 1 engendrant des distances et surfaces impactées plus importantes, seule celle-ci sera considérée.



COMPTAGE DES PERSONNES EXPOSEES A L'EXTERIEUR DU SITE POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE SELON LA FICHE N°1 DE LA CIRCULAIRE DU 10/05/10

H2VNormandy

Accident étudié : UVCE suite à une rupture franche sur le réseau amont unité 1 sans MMR - effets surpression

Type d'occupation des sols	Zone des effets très graves délimitée par le SELS		Zone des effets graves délimitée par le SEL		Zone des effets significatifs délimitée par le SEI	
	Urbanisation existante	Nbre de pers	Urbanisation existante	Nbre de pers	Urbanisation existante	Nbre de pers
Etablissements recevant du public						
Bâtiments d'enseignement						
Bâtiments de service public						
Bâtiments de soins						
Bâtiments et équipements de loisir						
Bâtiments religieux						
Grands centres commerciaux						
Petits commerces et services						
• 10 pers par magasin (boulangerie, épicerie, presse, coiffeur)						
• 15 pers pour les tabacs, cafés, restaurants, supérettes, postes						
Zones d'activités						
Entreprise 1						
Entreprise 2						
Entreprise 3						
Logements						
• 2,5 pers par foyer (moyenne INSEE)*						
Voies de circulation automobile						
• 0,4 pers par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour						
• si embouteillages fréquents : 300 pers par voie et par km exposés						
Voies ferroviaires de transport de voyageurs						
• 0,4 pers par km exposé x nbre de trains/jour sur la voie						
Voies navigables						
• 0,1 pers par km exposé x nbre de péniches/jour						
Chemins de randonnée						
• 2 pers par km exposé par tranche de 100 promeneurs/j						

Terrains non bâtis (*)						
• 1 pers par tranche de 100 ha (terrains non aménagés et très peu fréquentés : champs, prairies, forêts, friches, marais...)					1,3 ha	0,01
• 1 pers par tranche de 10 ha (terrains aménagés mais peu fréquentés : jardins, zones horticoles, vignes, zones de pêche, ...)						
• 10 pers / ha (terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés : parkings, parcs et jardins publics, zones de baignades surveillées, terrains de sport sans gradins, ...)						

Pour l'UVCE, et plus précisément les effets de surpression, au regard de la grille de cotation en gravité ci-dessous, pour le seuil des effets irréversibles (20 mbar), moins de 1 personnes exposées est associé à un niveau de gravité « **Modéré** ».

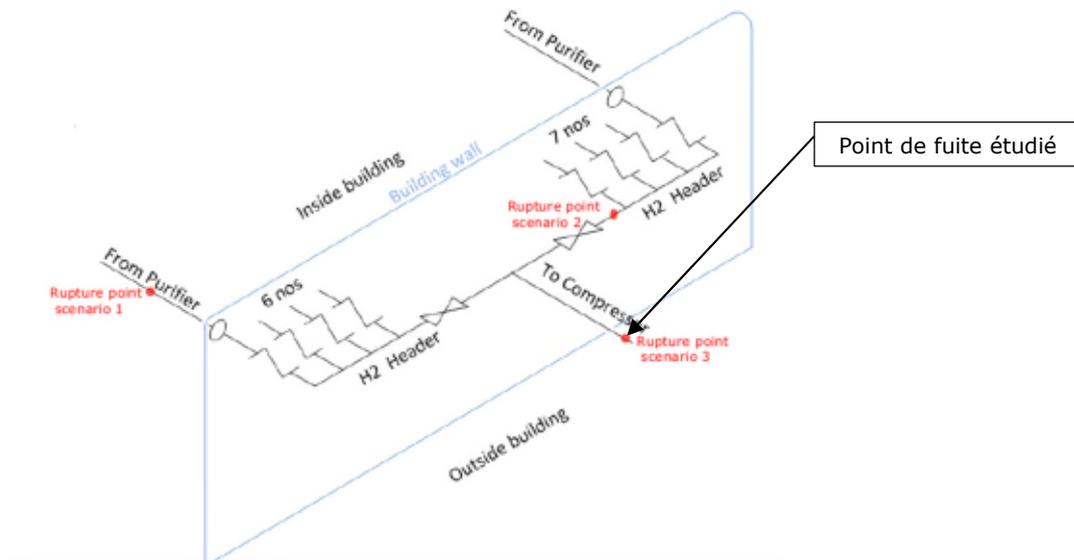
A noter que dans le cas des effets dominos, les accidents majeurs 1, 2, et 3 pourront avoir lieu en même temps. Dans ce cas, le nombre de personnes touchées serait inférieur à 1 personne, la gravité serait « **Modéré** ».

Niveau de gravité des conséquences		Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
D	Désastreux	Plus de 10 personnes exposées (1).	Plus de 100 personnes exposées.	Plus de 1 000 personnes exposées.
C	Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.	Entre 100 et 1 000 personnes exposées.
I	Important	Au plus 1 personne exposée.	Entre 1 et 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.
S	Sérieux	Aucune personne exposée.	Au plus 1 personne exposée.	Moins de 10 personnes exposées.
M	Modéré	Pas de zone de létalité hors de l'établissement.		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure ou égale à « une personne ».

(1) Personne exposée : en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent.

3.5 UVCE SUITE A UNE FUITE ET/OU RUPTURE FRANCHE SUR LE RESEAU HYDROGENE EN AMONT DE LA COMPRESSION – AVEC BARRIERES DE SECURITE

Ce réseau est illustré ci-dessous.



3.5.1 HYPOTHESES

En considérant le fonctionnement des barrières de sécurité, les phénomènes dangereux d'explosion de l'unité de production ou des locaux compresseurs 100 bar et 500 bar (cf chapitre 3.1, 3.2 et 3.3) ne pourront pas avoir lieu. Toutefois, la rupture franche sur le flexible de la station mobilité (cf chapitre 3.6) pourra avoir lieu et la rupture guillotine du réseau amont compresseur est possible. Seul l'UVCE est modélisé car les hypothèses et résultats pour le feu torche sont les mêmes qu'en l'absence de MMR.

Les hypothèses sont les suivantes, avec barrières de sécurité :

Pression H₂ au point de fuite	30 bar relatif soit 31 bar absolu
Température H₂ au point de fuite	30 °C
Hauteur du collecteur	7 m
Hauteur du point de fuite	1 m (hauteur des vannes)
Diamètre de la canalisation	DN200
Longueur de la canalisation	158 m
Durée de la fuite considérée	60 secondes : <ul style="list-style-type: none"> - Temps de détection de la fuite par le capteur de pression : 40s - Traitement du signal : 5s - Arrêt de la production et isolement du collecteur principal : 15s
Rupture guillotine	Débit de fuite considéré pour le feu torche et l'UVCE
	22,9 kg/s

L'indice multi énergie considéré est de 5 (énergie d'ignition faible, obstacle fort, pas de confinement) pour l'UVCE.

La limite inférieure d'explosivité de l'hydrogène de 4% sera retenue pour les effets thermiques (feu torche et effets thermiques liés à l'UVCE).

Le seuil de 11% d'hydrogène dans l'air sera quant à lui retenu pour les effets de surpression. En effet, selon un rapport d'étude de 2010 d'Air Liquide, un mélange hydrogène/air dans lequel il y a moins de 11% d'hydrogène en volume n'est pas susceptible d'engendrer une accélération de la flamme à l'origine du régime de détonation pouvant être observé avec l'hydrogène. La masse explosive du nuage sera comprise entre 11 et 75 % (LSE pour rappel).

3.5.2 RESULTATS

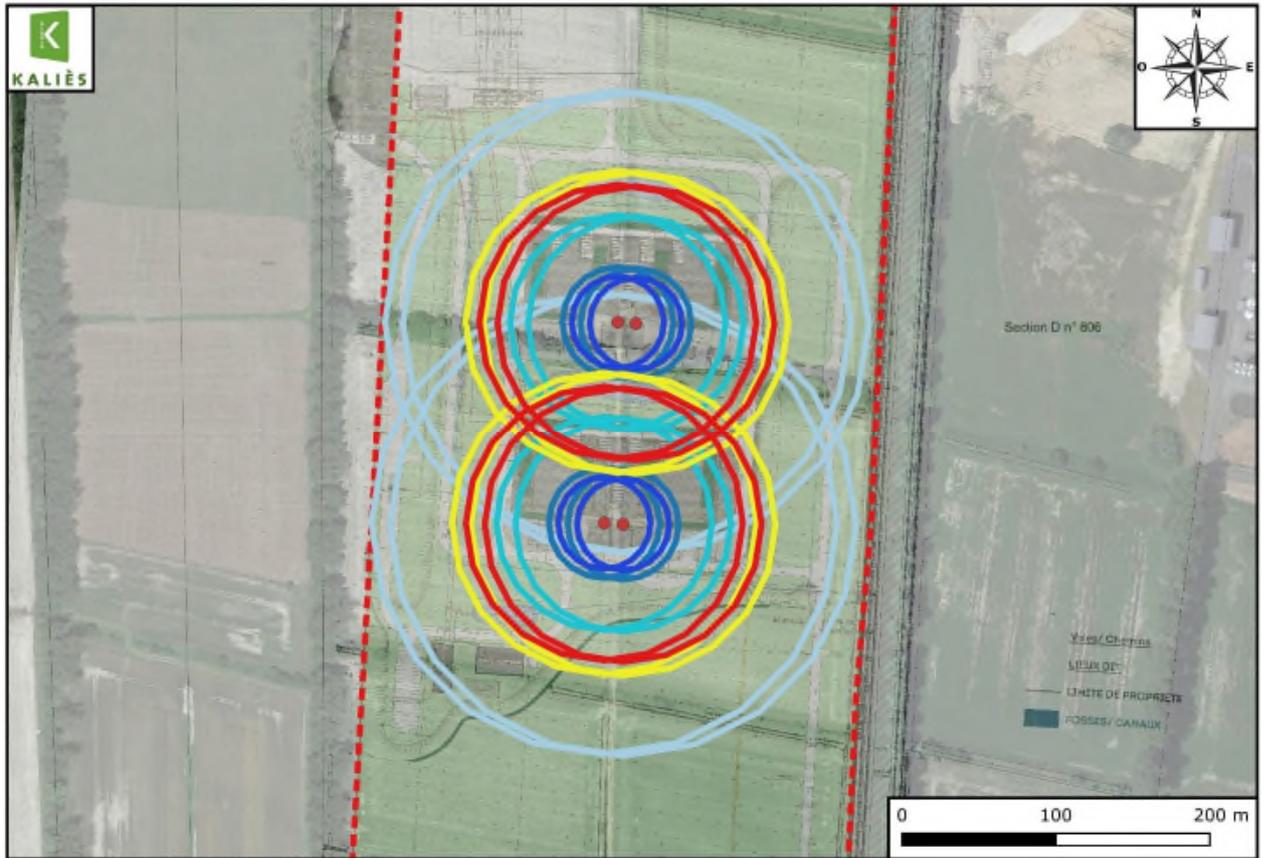
A)

	Conditions météorologiques F3/15	Conditions météorologiques D5/20
Température	15 °C	20 °C
Vitesse du vent	3 m/s	5 m/s
Distance du nuage à la LIE (à 1,8 m de hauteur)	74 m	90 m
Hauteur du nuage à la LIE	17,5 m	18 m
Distance du nuage à 11% d'H ₂	52 m	64 m
Hauteur du nuage à 11% d'H ₂	7 m	7,5 m

Pour les résultats ci-dessous, les distances présentées correspondent à la somme suivante :

$D_{\text{seuil de surpression}} = \text{Distance entre le point de fuite et le centre du nuage inflammable} + \frac{1}{2} \text{ de la longueur du nuage} + \text{Distance atteinte par l'effet de surpression (50, 140 ou 200 mbar)}$.

Modélisation	Effets	Seuils	Distances d'effets	
			F3/15	D5/20
UVCE du nuage de gaz émis suite à la rupture guillotiné sur le réseau amont à la compression 100 bar avec fonctionnement des MMR	Surpressions	200 mbar (SELS)	29,1 m	30,0 m
		140 mbar (SEL)	35,4 m	36,1 m
		50 mbar (SEI)	70,1 m	69,7 m
		20 mbar	151,4 m	148,5 m
	Effets thermiques	3 kW/m ² (SELS)	81,4 m	99 m
		5 kW/m ² (SEL)	74 m	90 m
		8 kW/m ² (SEI)	74 m	90 m

UVCE suite à une rupture franche sur le réseau amont avec fonctionnement des MMR**Légende :**

- Limites du site
- Point de fuite (vannes) sur le réseau amont
- Effets thermiques 8 kW/m²
- Effets thermiques 5 kW/m²
- Effets thermiques 3 kW/m²
- Effets de surpression 200 mbar
- Effets de surpression 140 mbar
- Effets de surpression 50 mbar
- Effets de surpression 20 mbar

3.5.3 COMMENTAIRES

Sur site

Seuil	Installations impactées sur site		Conséquences
	UVCE - Rupture franche		
200 mbar	Unité de production Unité de compression Torchères TAR		Seuil des effets dominos
140 mbar	Unité de traitement de l'eau Station mobilité		Dégâts graves sur les structures Pas de risque d'effets dominos
50 mbar	Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours		Dégâts légers sur les structures Pas de risque d'effets dominos
20 mbar	Unité de production et unité de production voisine Unité de compression Torchères TAR Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours		Seuil des destructions significatives de vitres Pas de risque d'effets dominos

Flux	Installations impactées sur site		Conséquences
	Feu torche - Rupture franche	UVCE - Rupture franche	
8 kW/m ²	Unité de production entière Unité de compression Torchères TAR	Unité de production Unité de compression Torchères TAR	Zone des dangers très graves pour la vie humaine Dégâts graves sur les structures Seuil des effets dominos
5 kW/m ²	Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours	Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours Bâtiment maintenance	Zone des dangers graves pour la vie humaine Destructions de vitres significatives Pas de risque d'effets dominos

Flux	Installations impactées sur site		Conséquences
	Feu torche - Rupture franche	UVCE - Rupture franche	
3 kW/m ²	Unité de production entière Unité de compression Torchères TAR Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours Bâtiment maintenance	Unité de production Unité de compression Torchères TAR Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide Groupe électrogène de secours Raccordement ENEDIS de secours Bâtiment maintenance	Zone des dangers significatifs pour la vie humaine Pas de risque d'effets dominos

L'explosion des unités de production et compression est modélisée.

La rupture guillotine sur le flexible de la station mobilité, l'alimentation en CH₄ et sur le réseau d'azote sont étudiés dans la suite du rapport.

Le feu de nappe suite à un épandage de FOD au niveau du local groupe électrogène est étudié dans la suite du rapport.

La canalisation d'hydrogène en sortie de la compression 100 bar sera enterrée et ne subira pas d'effets dominos.

Également le poste gaz se trouve en dehors des zones d'effets dominos. Des dégâts légers sur les structures des locaux de maintenance seront observés.

Hors du site

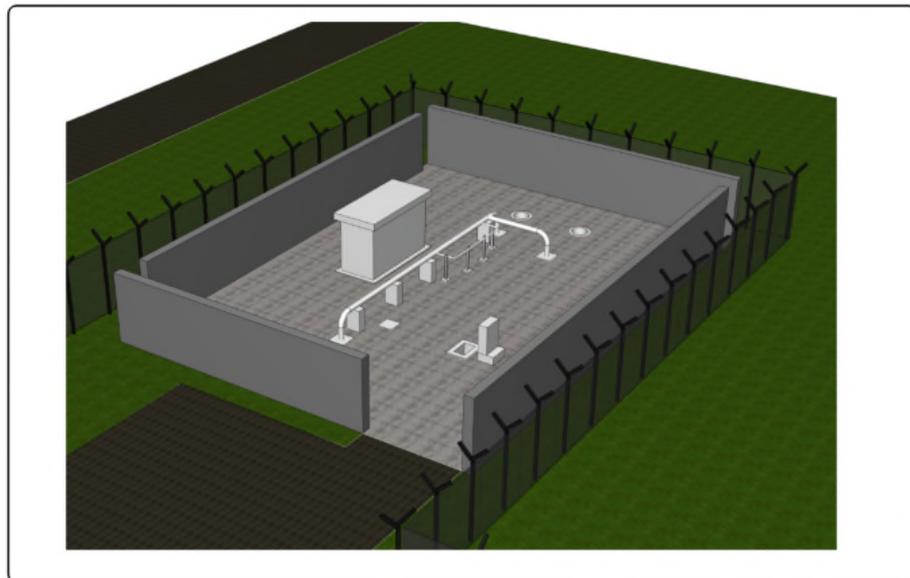
Aucun effet en dehors du site.

3.6 FEU TORCHE ET/OU UVCE SUITE A UNE FUITE SUR LE RESEAU HYDROGENE EN AVAL DE LA COMPRESSION

Ce réseau sera enterré sur la majorité de son tracé et sera aérien au niveau du poste de comptage situé au sud de la parcelle.

Comme le permet la circulaire du 10 mai 2010, la rupture guillotine du réseau aval à la compression est considérée comme physiquement impossible pour les raisons suivantes :

- Absence d'effets dominos,
- Les tuyauteries composant ces réseaux sont protégées de toutes agressions thermiques ou mécaniques,
- Le réseau aval sera enterré sur la totalité de son tracé et ne deviendra aérien qu'à proximité immédiate du poste de comptage où il sera protégé physiquement par des murs en voile béton. Le poste de comptage gaz sera intégré dans une enceinte en béton d'une hauteur de 3 m.



Vue 3D du poste de comptage gaz

- Toute circulation est interdite à proximité de ces deux réseaux.
- Les travaux de maintenance nécessitant l'utilisation d'engins de chantier ne pourront se faire qu'une fois les réseaux totalement purgés de l'H₂ qu'ils transportent.
- Les tuyauteries seront traitées contre le risque de corrosion.
- Le dimensionnement et la conception de ces réseaux sont encadrés par des normes. L'exploitant impose le respect de ces dernières dans ses différents cahiers des charges à destination des fournisseurs. L'ensemble des normes applicables et qui seront mises en œuvre par H2VNormandy est rappelé dans l'étude des dangers.
- L'exploitant mettra en œuvre un plan d'inspection très strict de ces réseaux. Ce plan permettra de démontrer que la conception des tuyauteries est approuvée et précisera les

actions et fréquences de surveillance en adéquation avec la réglementation des équipements sous pression.

- L'ensemble des justificatifs relatif à la conception de ces réseaux sera tenu à la disposition du service des installations classées.

3.6.1 HYPOTHESES

Lors d'une fuite de 10 % du diamètre (recommandation de la circulaire du 10 mai en l'absence d'effets dominos), une inflammation immédiate (feu torche) ou une inflammation différée (UVCE) pourront être observées.

Les hypothèses sont les suivantes, en l'absence de MMR :

Pression H₂ au point de fuite		100 bar relatif soit 101 bar absolu
Température H₂ au point de fuite		50 °C
Hauteur du point de fuite		1 m
Diamètre de la canalisation		DN100
Longueur de la canalisation		751 m
Durée de la fuite considérée		60 minutes (temps de détection d'une flamme invisible et d'intervention pour coupure de l'alimentation en l'absence de MMR)
Fuite de 10%	Débit de fuite considéré pour le feu torche et l'UVCE pour une fuite de 10%	0,40 kg/s
	Diamètre de la fuite à 10%	10 mm

L'indice multi énergie considéré est de 5 :

- Energie d'ignition : faible pour l'hydrogène,
- Obstacles : le point de fuite se situant à 1 m de hauteur, les obstacles représentent moins de 30% du volume considéré. Le facteur obstacles est faible.
- Confinement : le nuage est entouré en partie basse par les murs autour du poste de comptage de 3 m de hauteur (pas de toiture). Il y a donc confinement.

La limite inférieure d'explosivité de l'hydrogène de 4% sera retenue pour les effets thermiques (feu torche et effets thermiques liés à l'UVCE).

Le seuil de 11% d'hydrogène dans l'air sera quant à lui retenu pour les effets de surpression. En effet, selon un rapport d'étude de 2010 d'Air Liquide, un mélange hydrogène/air dans lequel il y a moins de 11% d'hydrogène en volume n'est pas susceptible d'engendrer une accélération de la flamme à l'origine du régime de détonation pouvant être observé avec l'hydrogène. La masse explosive du nuage sera comprise entre 11 et 75 % (LSE pour rappel).

3.6.2 RESULTATS**A) INFLAMMATION IMMEDIATE (FEU TORCHE)**

Modélisation	Effets	Seuils	Distances atteintes	
			F3/15	D5/20
Feu torche suite à la fuite de 10% du DN sur le réseau aval à la compression 100 bar.	Effets thermiques	SELS 8 kW/m ²	10,8 m	10,7 m
		SEL 5 kW/m ²	11,2 m	11,1 m
		SEI 3 kW/m ²	11,8 m	11,6 m
		Longueur de la flamme	9,2 m	9,2 m

Feu torche suite à une fuite sur le réseau aval**Légende :**

-  Limites du site
-  Point de fuite
-  Effets thermiques 8 kW/m²
-  Effets thermiques 5 kW/m²
-  Effets thermiques 3 kW/m²

B) INFLAMMATION RETARDEE

	Conditions météorologiques F3/15	Conditions météorologiques D5/20
Température	15 °C	20 °C
Vitesse du vent	3 m/s	5 m/s
Distance du nuage à la LIE (à 1,8 m de hauteur)	18,25 m	17,75 m
Hauteur du nuage à la LIE	2,3 m	2,1 m
Distance du nuage à 11% d'H ₂	6,3 m	5,7 m
Hauteur du nuage à 11% d'H ₂	1,3 m	1,3 m

Pour les résultats ci-dessous, les distances présentées correspondent à la somme suivante :

$D_{\text{seuil de surpression}} = \text{Distance entre le point de fuite et le nuage inflammable} + \frac{1}{2} \text{ de la longueur du nuage} + \text{Distance atteinte par l'effet de surpression (50, 140 ou 200 mbar)}$.

Modélisation	Effets	Seuils	Distances d'effets	
			F3/15	D5/20
UVCE du nuage de gaz émis suite à la fuite de 10% du DN sur le réseau aval à la compression 100 bar.	Surpressions	200 mbar (SELS)	4,8 m	4,4 m
		140 mbar (SEL)	5,6 m	5,2 m
		50 mbar (SEI)	10,2 m	9,4 m
		20 mbar	20,8 m	19,2 m
	Effets thermiques	3 kW/m ² (SELS)	20,1 m	19,6 m
		5 kW/m ² (SEL)	18,25 m	17,75 m
		8 kW/m ² (SEI)	18,25 m	17,75 m

UVCE suite à une fuite sur le réseau aval**Légende :**

-  Limites du site
-  Point de fuite
-  Effets thermiques 8 kW/m²
-  Effets thermiques 5 kW/m²
-  Effets thermiques 3 kW/m²
-  Effets de surpression 200 mbar
-  Effets de surpression 140 mbar
-  Effets de surpression 50 mbar
-  Effets de surpression 20 mbar

3.6.3 COMMENTAIRES

Sur site

Seuil	Installations impactées sur site	Conséquences
200 mbar	Poste gaz	Seuil des effets dominos
140 mbar		Dégâts graves sur les structures Pas de risque d'effets dominos
50 mbar		Dégâts légers sur les structures Pas de risque d'effets dominos
20 mbar		Seuil des destructions significatives de vitres Pas de risque d'effets dominos

Les effets dominos sur le poste gaz sont présentés ici-même.

Flux	Installations impactées sur site		Conséquences
	Feu torche - Fuite	UVCE - Fuite	
8 kW/m ²	Poste gaz	Poste gaz	Zone des dangers très graves pour la vie humaine Dégâts graves sur les structures Seuil des effets dominos
5 kW/m ²			Zone des dangers graves pour la vie humaine Destructions de vitres significatives Pas de risque d'effets dominos
3 kW/m ²			Zone des dangers significatifs pour la vie humaine Pas de risque d'effets dominos

Hors du site

Les différents effets restent dans l'enceinte du site, cet évènement ne sera donc pas considéré comme un accident majeur.

3.7 FEU TORCHE ET/OU UVCE SUITE A UNE RUPTURE FRANCHE SUR LE FLEXIBLE DE LA STATION DE MOBILITE

Cette station ne sera présente que sur l'unité de production n°2. Cette modélisation correspond à une rupture franche du flexible de liaison entre la station de compression de l'H₂ (500 bar) et le système de remplissage alimentant les différents cylindres présents sur le conteneur. L'unité de compression et la station de remplissage seront reliées par une canalisation enterrée.

3.7.1 HYPOTHESES

Les hypothèses sont les suivantes, en l'absence de MMR :

Pression H₂ au point de fuite	500 bar relatif soit 501 bar absolu
Température H₂ au point de fuite	50 °C
Hauteur du point de fuite	1 m au-dessus du sol
Débit de fuite considéré pour le feu torche et l'UVCE	6,48 kg/s
Durée de la fuite considérée	60 minutes (temps de détection d'une flamme invisible et d'intervention pour coupure de l'alimentation en l'absence de MMR)
Diamètre de la canalisation	DN32
Diamètre de la fuite	32 mm
Longueur de la canalisation	30 m

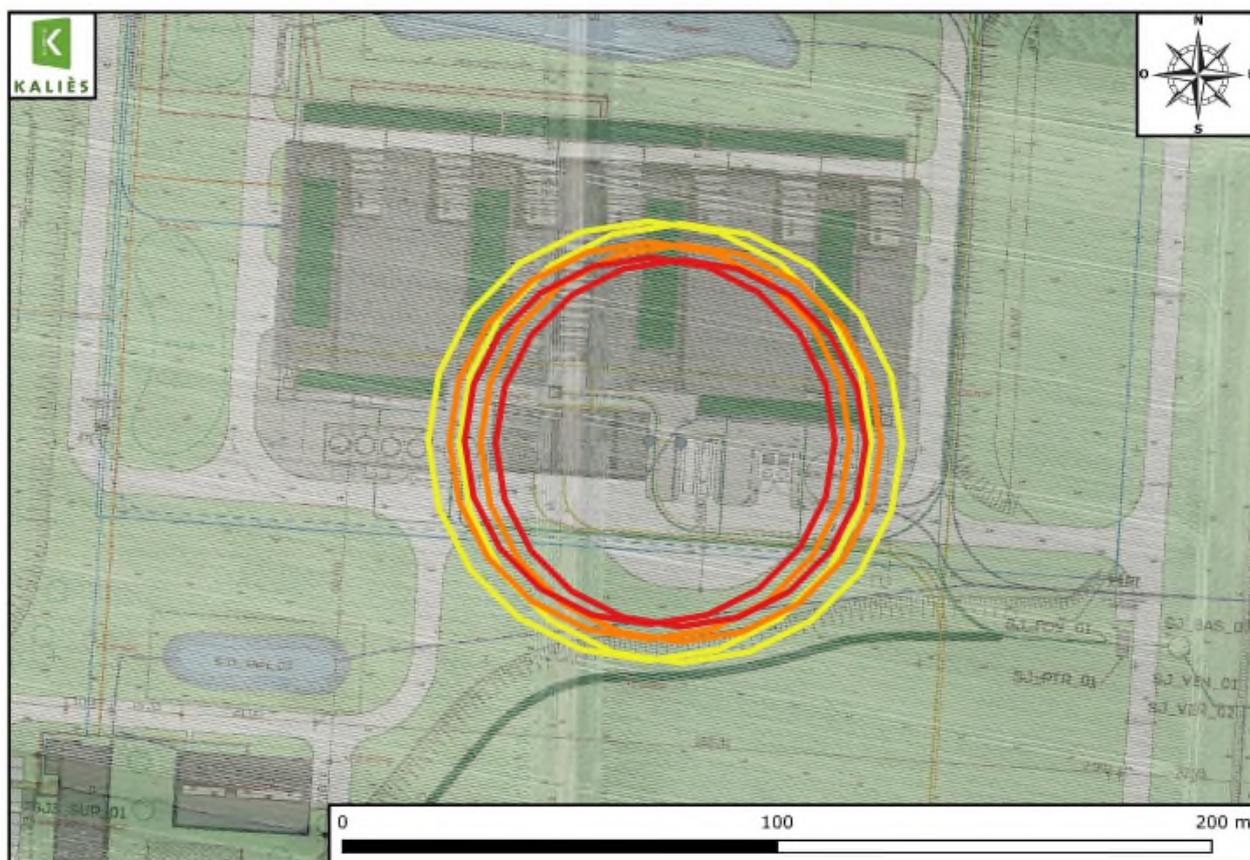
L'indice multi énergie considéré est de 5 (énergie d'ignition faible, obstacle faible, confinement par les murs de la station mobilité) pour l'UVCE.

La limite inférieure d'explosivité de l'hydrogène de 4% sera retenue pour les effets thermiques (feu torche et effets thermiques liés à l'UVCE).

Le seuil de 11% d'hydrogène dans l'air sera quant à lui retenu pour les effets de surpression. En effet, selon un rapport d'étude de 2010 d'Air Liquide, un mélange hydrogène/air dans lequel il y a moins de 11% d'hydrogène en volume n'est pas susceptible d'engendrer une accélération de la flamme à l'origine du régime de détonation pouvant être observé avec l'hydrogène. La masse explosive du nuage sera comprise entre 11 et 75 % (LSE pour rappel).

3.7.2 RESULTATS**A) INFLAMMATION IMMEDIATE (FEU TORCHE)**

Modélisation	Effets	Seuils	Distances atteintes	
			F3/15	D5/20
Feu torche suite à la rupture guillotine du flexible de la station mobilité	Effets thermiques	SELS 8 kW/m ²	42,6 m	41,9 m
		SEL 5 kW/m ²	46,1 m	45,2 m
		SEI 3 kW/m ²	51,0 m	49,7 m
		Longueur de la flamme	30,7 m	30,7 m

Feu torche suite à une rupture du flexible de la station mobilité**Légende :**

- Point de fuite
- Effets thermiques 8 kW/m²
- Effets thermiques 5 kW/m²
- Effets thermiques 3 kW/m²

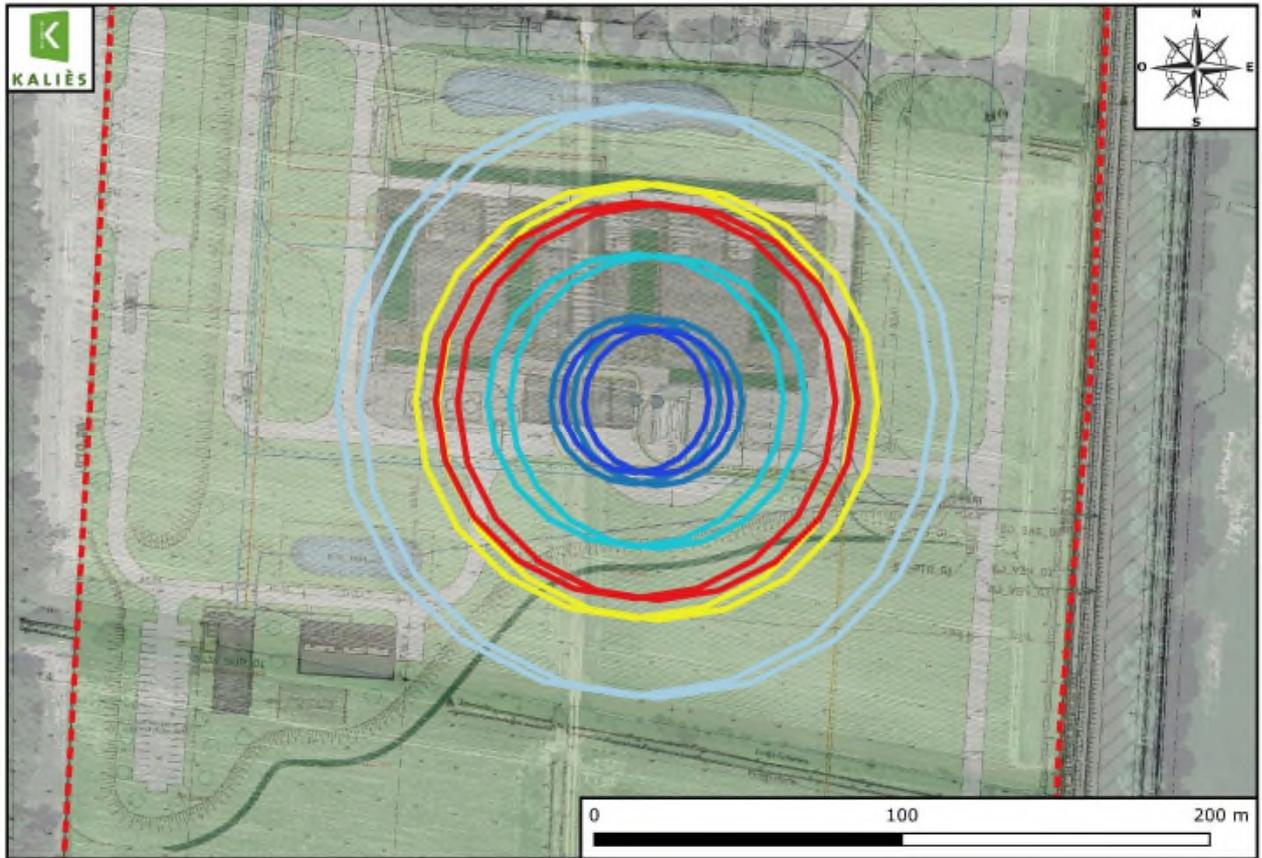
B) INFLAMMATION RETARDEE

	Conditions météorologiques F3/15	Conditions météorologiques D5/20
Température	15 °C	20 °C
Vitesse du vent	3 m/s	5 m/s
Distance du nuage à la LIE (à 1,8 m de hauteur)	65 m	78 m
Hauteur du nuage à la LIE	8 m	8 m
Distance du nuage à 11% d'H ₂	32 m	34 m
Hauteur du nuage à 11% d'H ₂	3,0 m	2,7 m

Pour les résultats ci-dessous, les distances présentées correspondent à la somme suivante :

$D_{\text{seuil de surpression}} = \text{Distance entre le point de fuite et le nuage inflammable} + \frac{1}{2} \text{ de la longueur du nuage} + \text{Distance atteinte par l'effet de surpression (50, 140 ou 200 mbar)}$.

Modélisation	Effets	Seuils	Distances d'effets	
			F3/15	D5/20
UVCE du nuage de gaz émis suite à la rupture guillotiné sur le flexible de la station mobilité	Surpressions	200 mbar (SELS)	22,9 m	23,8 m
		140 mbar (SEL)	26,6 m	27,5 m
		50 mbar (SEI)	47,7 m	48,1 m
		20 mbar	97,0 m	96,2 m
	Effets thermiques	3 kW/m ² (SELS)	71,5 m	85,8 m
		5 kW/m ² (SEL)	65 m	78 m
		8 kW/m ² (SEI)	65 m	78 m

UVCE suite à une rupture franche sur la station mobilité**Légende :**

- Limites du site
- Point de fuite
- Effets thermiques 8 kW/m²
- Effets thermiques 5 kW/m²
- Effets thermiques 3 kW/m²
- Effets de surpression 200 mbar
- Effets de surpression 140 mbar
- Effets de surpression 50 mbar
- Effets de surpression 20 mbar

3.7.3 COMMENTAIRES

Sur site

Seuil	Installations impactées sur site	Conséquences
200 mbar	Unité de production Unité de compression Torchères Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide	Seuil des effets dominos
140 mbar		Dégâts graves sur les structures Pas de risque d'effets dominos
50 mbar		Dégâts légers sur les structures Pas de risque d'effets dominos
20 mbar	Unité de production Unité de compression Torchères Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide TAR	Seuil des destructions significatives de vitres Pas de risque d'effets dominos

Flux	Installations impactées sur site		Conséquences
	Feu torche - Rupture franche	UVCE - Rupture franche	
8 kW/m ²	Unité de production Unité de compression Torchères Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide	Unité de production Unité de compression Torchères Unité de traitement de l'eau Station mobilité Stockage d'azote liquide TAR	Zone des dangers très graves pour la vie humaine Dégâts graves sur les structures Seuil des effets dominos
5 kW/m ²			Zone des dangers graves pour la vie humaine Destructions de vitres significatives Pas de risque d'effets dominos
3 kW/m ²			Zone des dangers significatifs pour la vie humaine Pas de risque d'effets dominos

La rupture guillotine sur le flexible de la station mobilité, sur le collecteur amont compression, l'alimentation en CH₄ et sur le réseau d'azote sont étudiés dans la suite du rapport.

L'explosion des unités de production et compression sont également présentées.

La canalisation d'hydrogène en sortie de la compression 100 bar sera enterrée et ne subira pas d'effets dominos.

Également le poste gaz se trouve en dehors des zones d'effets dominos. Des dégâts légers sur les structures des locaux de maintenance seront observés.

Hors du site

Aucun effet en dehors du site.

3.8 DEFAILLANCE DES PILOTES DE LA TORCHERE

Le dispositif d'allumage (pilote) sera disponible en permanence : alimentation en gaz naturel et présence d'une détection optique de flamme sur les pilotes. Cette modélisation correspond à la défaillance des pilotes conduisant à la non inflammation de l'H₂ émis à la torchère.

3.8.1 HYPOTHESES

Les hypothèses sont les suivantes :

Pression H₂ au point de fuite	5 bar relatif
Température H₂ au point de fuite	50 °C
Débit de fuite	85 kg/s
Durée de la fuite	4,7 s (en lien avec la quantité d'hydrogène susceptible d'être envoyé à la torchère fournie par H2V)
Hauteur du point d'émission	32 m par rapport au sol
Longueur du réseau associé à la torchère	200 m
Diamètre de la torchère	DN600

3.8.2 RESULTATS

A) INFLAMMATION IMMEDIATE (FEU TORCHE)

Modélisation	Effets	Seuils	Distances atteintes	
			F3/15	D5/20
Feu torche en cas de défaillance de la torche	Effets thermiques à hauteur du point d'émission	SELS 8 kW/m ²	NA	NA
		SEL 5 kW/m ²	NA	NA
		SEI 3 kW/m ²	91 m	NA
		Longueur de la flamme	70 m	/

Modélisation	Effets	Seuils	Distances atteintes	
			F3/15	D5/20
Feu torche en cas de défaillance de la torche	Effets thermiques au sol.	SELS 8 kW/m ²	NA	NA
		SEL 5 kW/m ²	NA	NA
		SEI 3 kW/m ²	NA	NA

B) INFLAMMATION DIFFEREE

La masse de gaz prise en compte est celle contenue dans le nuage quand il atteint son expansion maximale (masse à la LIE. L'indice multi énergie considéré est de 4 compte-tenu du rejet en hauteur.

Les résultats de la modélisation effectuée sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

	Conditions météorologiques F3/15	Conditions météorologiques D5/20
Température	15 °C	20 °C
Vitesse du vent	3 m/s	5 m/s
Distance à la LIE	21 m	34 m
Hauteur de la LIE	124 m	115 m

Pour les résultats ci-dessous, les distances présentées correspondent à la somme suivante :

$D_{\text{seuil de surpression}} = \text{Distance entre le point de fuite et le nuage inflammable} + \frac{1}{2} \text{ de la longueur du nuage} + \text{Distance atteinte par l'effet de surpression (50, 140 ou 200 mbar)}$. La distance pour le seuil des 20 mbar correspond au double de la distance du seuil de 50 mbar (cf circulaire du 10/05/2010).

Modélisation	Effets	Seuils	F3/15	D5/20
UVCE en cas de défaillance des pilotes de la torchère A hauteur de la LIE	Surpressions	200 mbar (SELS)	NA	NA
		140 mbar (SEL)	NA	NA
		50 mbar (SEI)	111 m	70 m
		20 mbar	222 m	140 m
	Effets thermiques	8 kW/m ² (SELS)	21 m	34 m
		5 kW/m ² (SEL)	21 m	34 m
		3 kW/m ² (SEI)	23,1 m	37,4 m

Modélisation	Effets	Seuils	F3/15	D5/20
UVCE en cas de défaillance des pilotes de la torchère Au sol	Surpressions	200 mbar (SELS)	NA	NA
		140 mbar (SEL)	NA	NA
		50 mbar (SEI)	NA	NA
		20 mbar	NA	NA
	Effets thermiques	8 kW/m ² (SELS)	NA	NA
		5 kW/m ² (SEL)	NA	NA
		3 kW/m ² (SEI)	NA	NA

Au sol, aucun effet ne sera observé, d'où l'absence de cartographie.

3.8.3 COMMENTAIRES

Sur site

Aucun effet n'est observé au sol.

Hors site

En l'absence d'effet à l'extérieur du site au niveau du sol, cet événement n'est pas retenu comme accident majeur.

3.9 RISQUE D'HYPEROXIE A PROXIMITE DES EVENTS OXYGENE

L'O₂ produit en continu dans le procédé d'électrolyse sera évacué par des événements (deux par unité de production).

Les valeurs seuils retenues sont celles de la note du 16 novembre 2007, relative à la concentration à prendre en compte pour l'O₂, le CO₂, le N₂ et les gaz inertes, à savoir :

Taux des différents gaz en % de volume dans l'air				
Produit	Mesure	Effets létaux significatifs SELS	Premiers effets létaux SEL	Effets irréversibles SEI
O ₂	Teneur en O ₂	42 %	37 %	25 %

Sur une base de 21 % d'O₂ dans l'air ambiant, les valeurs seuils retenues sont les suivantes :

	Effets létaux significatifs SELS	Premiers effets létaux SEL	Effets irréversibles SEI
O ₂	210 000 ppm	160 000 ppm	40 000 ppm

3.9.1 HYPOTHESES

Les hypothèses sont les suivantes :

Pression O₂ au point de rejet à l'événement	Pression atmosphérique 1,013 bar
Température O₂ au point de rejet à l'événement	30°C
Débit de rejet	127,3 kg/s
Hauteur du point d'émission	32 m par rapport au sol
Longueur du réseau associé à l'événement	80 m
Diamètre de l'événement	DN200

3.9.2 RESULTATS

A hauteur cible humaine (1,8 m), les résultats sont les suivants :

Modélisation	Effets	Seuils	F3/15	D5/20
Rejet événements O ₂	Hyperoxie	SELS	NA	NA
		SEL	NA	NA
		SEI	NA	NA

A également été modélisée la distance atteinte par le nuage de O₂ au point de mise à l'air de l'événement.

Modélisation	Seuils	F3/15	D5/20
Rejet événements O ₂	40 000 ppm correspondant à une atmosphère enrichie à 25 % de O ₂	55,3 m	58,02 m

Les distances obtenues sont cartographiées ci-dessous.

Atmosphère enrichie en oxygène à hauteur d'évent



Légende :

-  Limites du site
-  Cheminée oxygène
-  Seuil 40 000 ppm d'oxygène

3.9.3 COMMENTAIRES

Sur le site :

Les distances observées à hauteur d'homme ne sont pas atteintes, d'où l'absence de risque d'hyperoxie à l'intérieur du site.

Le nuage enrichi en O₂ (teneur en O₂ à 25 %) n'atteint pas la torchère associée au réseau de torche H₂. Aucun risque de mélange oxygène/hydrogène n'est donc possible.

Hors du site :

Les distances observées à hauteur d'homme ne sont pas atteintes, absence de risque d'hyperoxie à l'extérieur du site.

Cet évènement ne sera pas considéré comme un accident majeur.

3.10 RISQUE D'ANOXIE EN CAS DE RUPTURE GUILLOTINE DU RESEAU D'AZOTE

L'azote sera utilisé pour l'inertage des installations, la purge des installations de production et comme gaz neutre de balayage au niveau de la torchère.

Cette modélisation correspond à l'évaluation du risque d'anoxie faisant suite à une fuite au niveau du réseau d'azote à proximité immédiate du stockage d'azote liquéfié.

Les valeurs seuils retenues sont celles de la note du 16 novembre 2007, relative à la concentration à prendre en compte pour l'O₂, le CO₂, le N₂ et les gaz inertes, à savoir :

Taux des différents gaz en % de volume dans l'air				
Produit	Mesure	Effets létaux significatifs SELS	Premiers effets létaux SEL	Effets irréversibles SEI
N ₂ et gaz neutres	Teneur résiduelle en N ₂	11 %	11 %	18 %

Sur une base de 18 % d'N₂ dans l'air ambiant, les valeurs seuils retenues sont les suivantes :

	Effets létaux significatifs SELS	Premiers effets létaux SEL	Effets irréversibles SEI
N ₂	100 000 ppm	100 000 ppm	30 000 ppm

3.10.1 HYPOTHESES

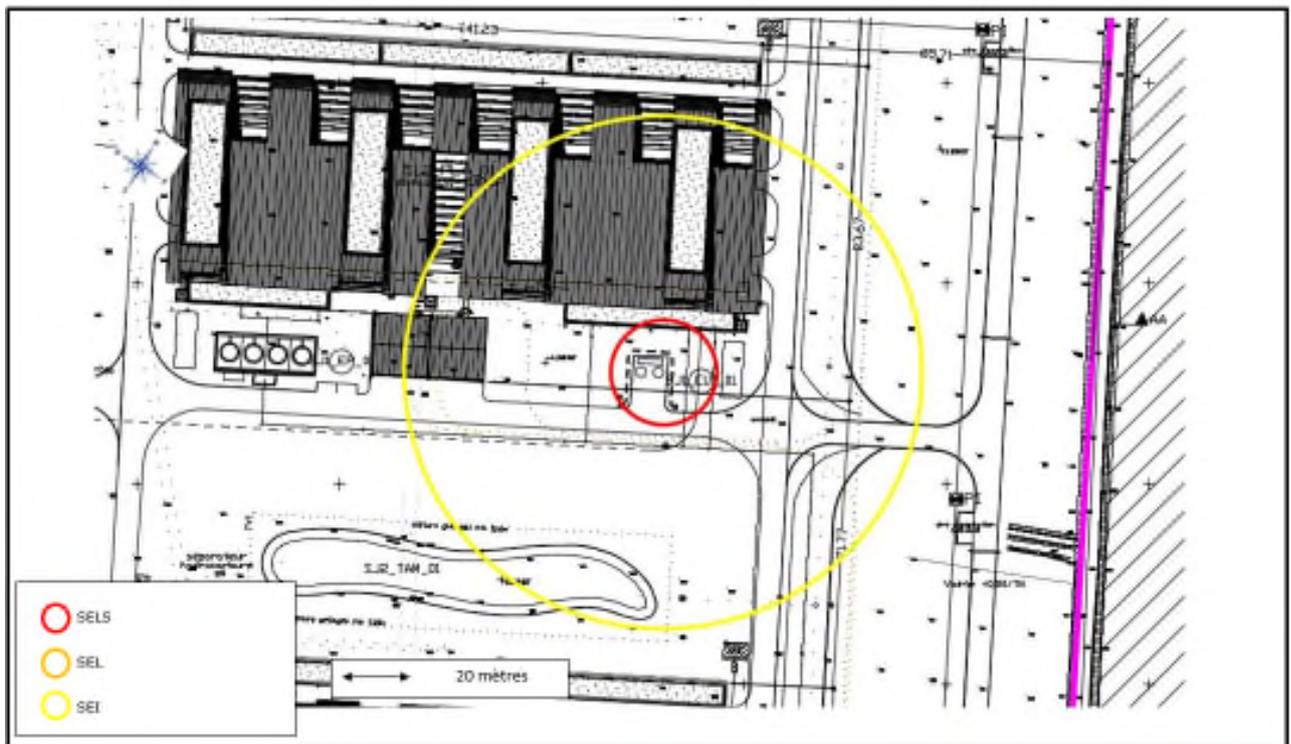
Les hypothèses sont les suivantes :

Quantité d'azote liquide stocké	32 tonnes
Pression N₂ au point de fuite	13 bar relatif soit 14 bar absolu
Température N₂ au point de fuite	-175 °C
Hauteur du point d'émission	1 m par rapport au sol
Longueur du réseau associé	5 m
Diamètre de la canalisation	DN25
Diamètre de la brèche	25 mm

3.10.2 RESULTATS

Modélisation	Effets	Seuils	F3/15	D5/20
Rupture guillotine sur le réseau d'azote	Anoxie	SELS	13 m	12 m
		SEL	13 m	12 m
		SEI	64 m	56 m

Les distances obtenues sont cartographiées ci-dessous.



3.10.3 COMMENTAIRES

Sur le site :

Une fuite d'azote sera sans incidence sur les équipements.

Toutefois, un risque d'anoxie est possible dans les zones cartographiées. Pour rappel, la présence du personnel ne sera qu'occasionnelle dans cette zone.

Hors du site :

Les distances observées restent dans l'enceinte du site.

Cet évènement ne sera pas considéré comme un accident majeur.

3.11 RESEAU D'ALIMENTATION EN METHANE DES PILOTES DE LA TORCHERE

Les pilotes de la torchère seront alimentés en CH₄ par un réseau enterré devenant aérien en pied de torchère.

Compte-tenu des effets dominos en cas d'explosion de l'unité de production ou des locaux compresseurs 100 bar et 500 bar (cf chapitre 3.1, 3.2 et 3.3) sans prise en compte des MMR, la rupture guillotine du réseau d'alimentation en méthane des torchères est possible.

3.11.1 HYPOTHESES

Les hypothèses sont les suivantes :

Pression CH₄ au point de fuite	3,5 bar relatif
Température CH₄ au point de fuite	35 °C
Débit de fuite	0,06 kg/s
Durée de la fuite	30 minutes
Hauteur du point d'émission	1 m par rapport au sol
Longueur du réseau associé	350 m
Diamètre de la canalisation	DN32
Diamètre de la brèche de 10%	32 mm

L'indice multi énergie considéré est de 5 (énergie d'ignition faible, pas de confinement, obstacle fort).

3.11.2 RESULTATS

A) INFLAMMATION IMMEDIATE (FEU TORCHE)

Modélisation	Effets	Seuils	Distances atteintes	
			F3/15	D5/20
Feu torche suite à une rupture sur le réseau d'alimentation en CH ₄	Effets thermiques	SELS 8 kW/m ²	5,2 m	Non atteint
		SEL 5 kW/m ²	5,7 m	Non atteint
		SEI 3 kW/m ²	6,0 m	Non atteint
		Longueur de la flamme	5,3 m	5,9 m

Feu torche suite à une rupture franche sur le réseau de gaz naturel!**Légende :**

-  Limites du site
-  Point de fuite (vannes) sur le réseau amont
-  Effets thermiques 8 kW/m²
-  Effets thermiques 5 kW/m²
-  Effets thermiques 3 kW/m²

B) INFLAMMATION RETARDEE

	Conditions météorologiques F3/15	Conditions météorologiques D5/20
Température	15 °C	20 °C
Vitesse du vent	3 m/s	5 m/s
Distance du nuage à la LIE (pour une cible à 1,8 m)	2,2 m	1,9 m
Hauteur du nuage à la LIE	1,2 m	1,2 m

Pour les résultats ci-dessous, les distances présentées correspondent à la somme suivante :

$D_{\text{seuil de surpression}} = \text{Distance entre le point de fuite et le nuage inflammable} + \frac{1}{2} \text{ de la longueur du nuage} + \text{Distance atteinte par l'effet de surpression (50, 140 ou 200 mbar)}$. La distance pour le seuil des 20 mbar correspond au double de la distance du seuil de 50 mbar (cf circulaire du 10 mai 2010).

Modélisation	Effets	Seuils	Distances d'effets	
			F3/15	D5/20
UVCE du nuage de gaz émis suite à la rupture sur le réseau d'alimentation en gaz naturel	Surpressions	200 mbar (SELS)	2,1 m	1,8 m
		140 mbar (SEL)	2,5 m	2,1 m
		50 mbar (SEI)	4,7 m	4,0 m
		20 mbar	9,8 m	8,5 m
	Effets thermiques	3 kW/m ² (SELS)	2,4 m	2,01 m
		5 kW/m ² (SEL)	2,2 m	1,9 m
		8 kW/m ² (SEI)	2,2 m	1,9 m

UVCE suite à une rupture sur le gaz naturel**Légende :**

-  Limites du site
-  Point de fuite (vannes) sur le réseau amont
-  Effets thermiques 8 kW/m²
-  Effets thermiques 5 kW/m²
-  Effets thermiques 3 kW/m²
-  Effets de surpression 200 mbar
-  Effets de surpression 140 mbar
-  Effets de surpression 50 mbar
-  Effets de surpression 20 mbar

3.11.3 COMMENTAIRES

Sur site

Seuil	Installations impactées sur site	Conséquences
200 mbar	Torchère	Seuil des effets dominos
140 mbar	Torchère	Dégâts graves sur les structures Pas de risque d'effets dominos
50 mbar	Unité de production Unité de compression Torchère	Dégâts légers sur les structures Pas de risque d'effets dominos
20 mbar		Seuil des destructions significatives de vitres Pas de risque d'effets dominos

Flux	Installations impactées sur site		Conséquences
	Feu torche - Rupture franche	UVCE - Rupture franche	
8 kW/m ²	Unité de production Unité de compression Torchère	Torchère	Zone des dangers très graves pour la vie humaine Dégâts graves sur les structures Seuil des effets dominos
5 kW/m ²			Zone des dangers graves pour la vie humaine Destructions de vitres significatives Pas de risque d'effets dominos
3 kW/m ²			Zone des dangers significatifs pour la vie humaine Pas de risque d'effets dominos

Les effets dominos sur l'unité de compression et de production sont étudiés.

Hors du site

Les différents effets restent dans l'enceinte du site, cet évènement ne sera donc pas considéré comme un accident majeur.

3.12 INCENDIE DES TRANSFORMATEURS 225 KVA

3.12.1 HYPOTHESES

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- ☞ Suite à une défaillance, un départ de feu est observé au niveau d'un des transformateurs 225 kVA ;
- ☞ En approche majorante, il est considéré que le sinistre se généralise aux deux transformateurs en fonctionnement ;
- ☞ Apparition d'une source d'ignition suffisante pour générer un départ de feu sur la nappe épanchée ;
- ☞ Il est considéré qu'aucune des Mesures de Maîtrise du Risque en place ne fonctionne et que l'incendie est généralisé à la totalité des fosses à huile et est non maîtrisé,
- ☞ Seules les mesures passives (murs REI 120) sont prises en compte.

Le tableau ci-dessous synthétise les hypothèses de calculs considérées.

Dimensions d'une fosse à huile pour un transformateur		Côté A = Côté C = 23,4 m
		Côté B = Côté D = 6,1 m
Nature des parois	Paroi A	Murs maçonnés REI 240 d'une hauteur de 8 m
	Paroi B	
	Paroi C	
	Paroi D	
Nature des produits		Huile pour transformateur Les caractéristiques retenues sont celles d'un hydrocarbure de classe B ou C : Débit de combustion : 55 g/m ² .s et pouvoir émissif : 66 kW/m ²
Quantité maximale entreposée		153 tonnes

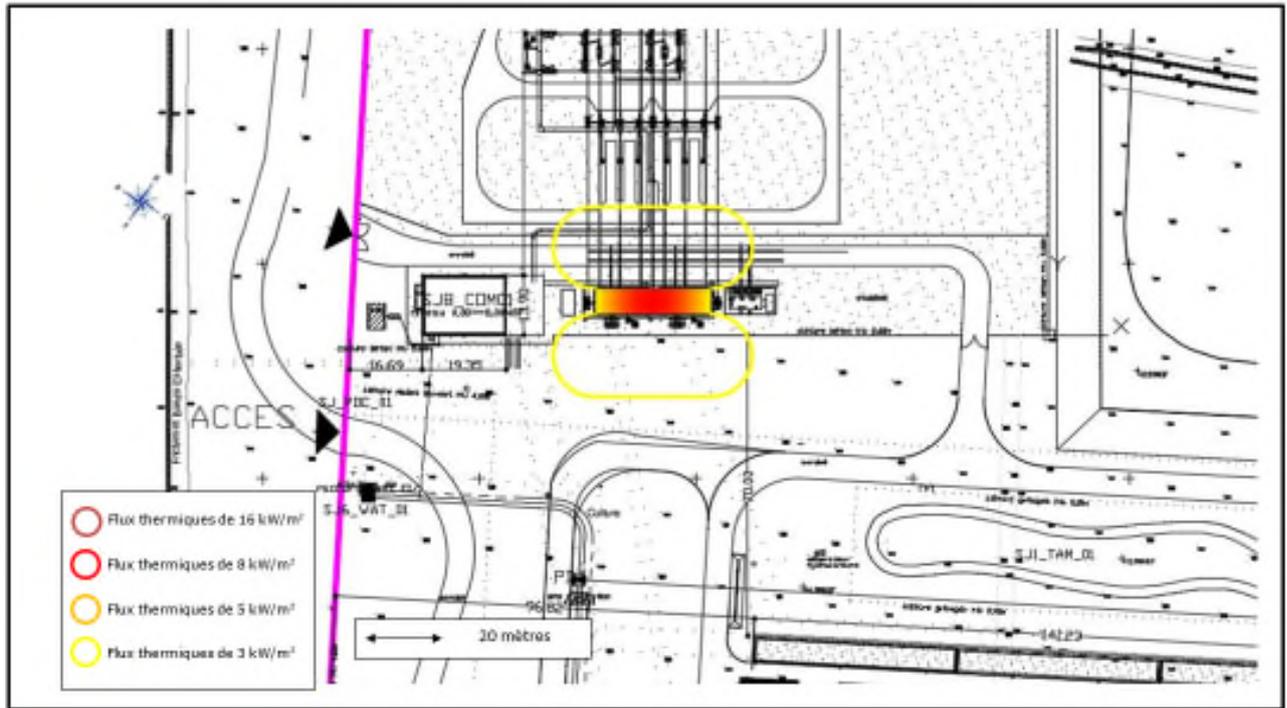
3.12.2 RESULTATS

La hauteur maximale atteinte par les flammes est de 13,5 m (données FNAP).

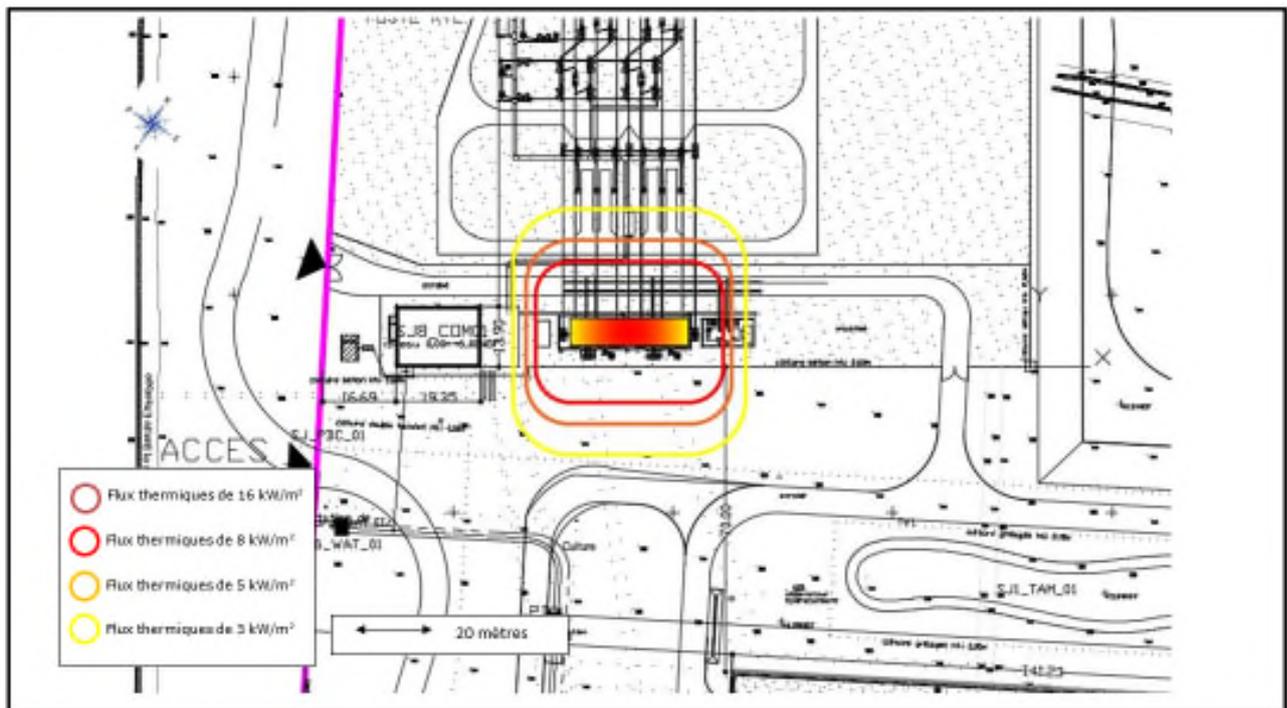
Les résultats obtenus sont les suivants :

	3 kW/m ²	5 kW/m ²	8 kW/m ²
Hauteur de la cible : 1,8 mètres			
Côté A	19 m	NA	NA
Côté B	NA	NA	NA
Côté C	19 m	NA	NA
Côté D	NA	NA	NA

* NA : non atteint



	3 kW/m ²	5 kW/m ²	8 kW/m ²
Hauteur de la cible : 8 mètres (au-dessus du mur REI 240)			
Côté A	25 m	18 m	13 m
Côté B	13 m	10 m	8 m
Côté C	25 m	18 m	13 m
Côté D	13 m	10 m	8 m



3.12.3 COMMENTAIRES

Sur site

Seul de flux de 3 kW/m² sera atteint à hauteur cible humaine. Ce flux n'est pas susceptible d'occasionner des effets dominos.

A hauteur cible 8 m, les effets de 3, 5 et 8 kW/m² seront observés. Le flux de 8 kW/m² pouvant occasionner des effets dominos n'impactera aucune installation à risque. Par conséquent, le risque de propagation est écarté.

Hors site

Les effets thermiques modélisés restent dans l'enceinte de l'établissement.

Cet événement ne sera pas considéré comme un accident majeur.

3.13 ECLATEMENT DE LA CUVE D'HUILE D'UN TRANSFORMATEUR 225 KVA

3.13.1 HYPOTHESES

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- ↳ Défaillance conduisant à un départ de feu qui se généralise à toute l'installation ;
- ↳ Inflammation du ciel gazeux dans la cuve d'huile, conduisant à son éclatement.

Pression de rupture de la cuve	4 bar (données fournisseur)
Volume de la cuve	97,2 m ³
Taux de remplissage de la cuve	80 %
Volume libre	19,4 m ³

3.13.2 RESULTATS

L'énergie d'éclatement peut être estimée à l'aide de l'équation de Brode simplifiée (en Joules) :

$$E = 3 \times V \times (P_{\text{ex}} - P_{\text{atmosphérique}})$$

Avec :

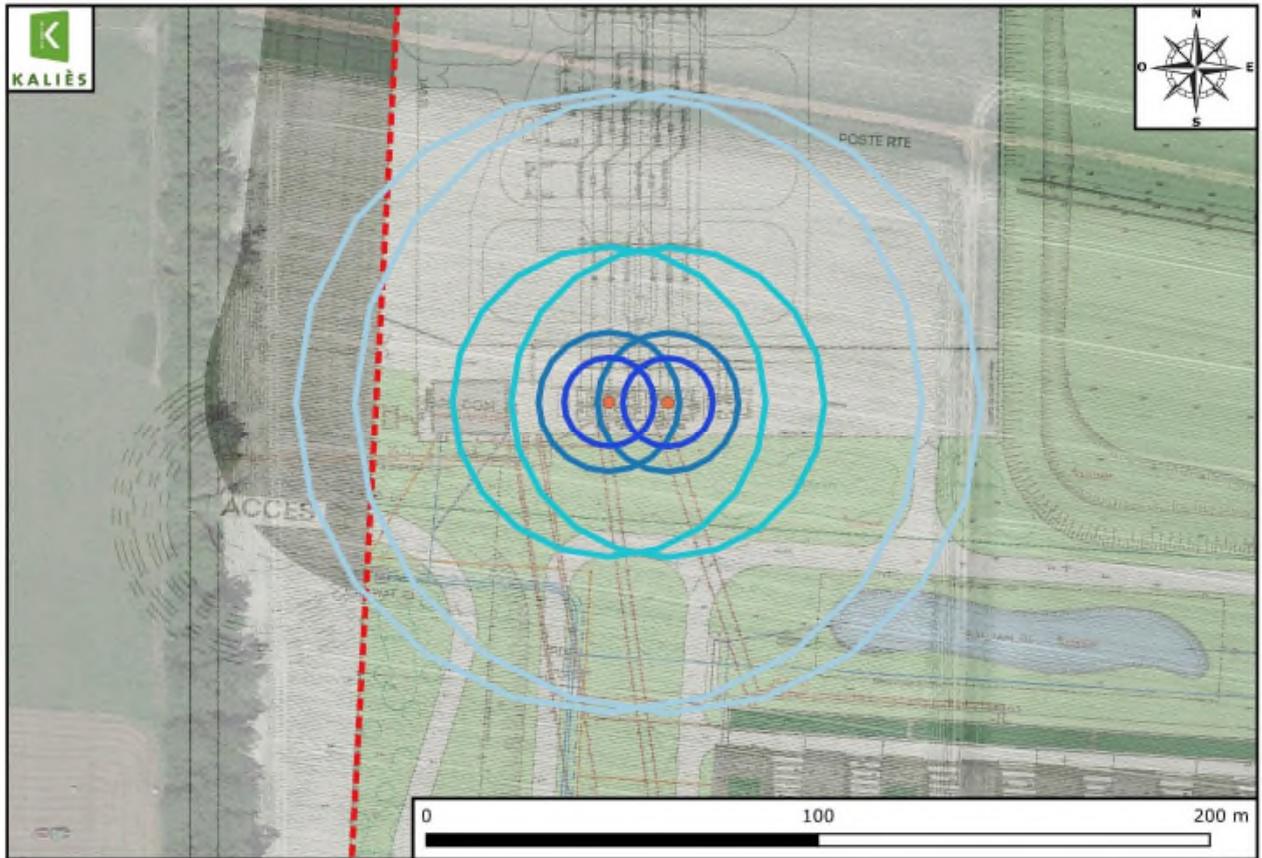
- V : Volume libre considérée en m³ (cf tableau hypothèses)
- $P_{\text{ex}} - P_{\text{atmosphérique}} = 2 * P_{\text{rupture}}$ en Pa = 8 000 mbar = 800 000 Pa

La détermination des distances des effets de surpression s'effectue en appliquant la méthode multi-énergie indice 10, qui peut être majorante dans certains cas. Cette formule, respectant la physique du phénomène, donne les surpressions d'une onde de choc résultant d'un éclatement, en fonction de l'énergie d'explosion définie.

Le tableau suivant donne les formules associées aux effets de surpression :

Valeurs de références relatives aux effets de surpression	Distance des effets de surpression suivant la méthode multi-énergie indice 10	Résultats du calcul
300 mbar	0,028 E ^{1/3}	10 m
200 mbar	0,032 E ^{1/3}	11,5 m
140 mbar	0,05 E ^{1/3}	18 m
50 mbar	0,11 E ^{1/3}	40 m
20 mbar	2 x 0,11 E ^{1/3}	80 m

Les distances obtenues sont représentées sur la figure ci-après.

Explosion des cuves d'huile des transformateurs 225 kV**Légende :**

-  Limites du site
-  Cuve transformateur
-  Effets de surpression 200 mbar
-  Effets de surpression 140 mbar
-  Effets de surpression 50 mbar
-  Effets de surpression 20 mbar

3.13.3 COMMENTAIRES

Sur site

Les installations situées à proximité seront impactées par les différents effets de surpression. Des dégâts graves seront observés sur les installations impactées par les seuils de 140 et 200 mbar et des dégâts plus légers seront observés sur celles atteintes par les effets de 50 mbar.

Les effets de 200 et de 140 mbar restent localisés au niveau de la zone d'implantation des transformateurs électriques. Les effets dominos pouvant en résulter ont également été étudiés (incendie généralisé des transformateurs notamment).

Les autres effets (50 et 20 mbar) n'occasionneront pas d'effets dominos.

Hors du site

Les terrains situés à proximité seront impactés par les effets de surpression de 20 et 50 mbar. Ces effets ne sont toutefois pas susceptibles d'occasionner des effets dominos puisqu'ils sont observés à partir de 200 mbar. **Il s'agit d'un accident majeur.**

Plus précisément, les terrains impactés sont les suivants :

Seuil	Explosion d'une cuve d'huile Installations et terrains impactés en dehors du site
20 mbar	Future voie d'accès au site (75 m)

La détermination du nombre de personnes susceptibles d'être exposées aux différents seuils d'effets réglementaires en cas de sinistre a été effectuée selon la méthodologie de comptage de la circulaire du 10 mai 2010, fiche 1.



**COMPTAGE DES PERSONNES EXPOSEES A L'EXTERIEUR DU SITE
POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE SELON LA FICHE N°1 DE LA CIRCULAIRE DU 10/05/10**

H2VNormandy

Accident étudié : Explosion d'une cuve d'huile

Type d'occupation des sols	Zone des effets très graves délimitée par le SELS		Zone des effets graves délimitée par le SEL		Zone des effets significatifs délimitée par le SEI	
	Urbanisation existante	Nbre de pers	Urbanisation existante	Nbre de pers	Urbanisation existante	Nbre de pers
Etablissements recevant du public						
Bâtiments d'enseignement						
Bâtiments de service public						
Bâtiments de soins						
Bâtiments et équipements de loisir						
Bâtiments religieux						
Grands centres commerciaux						
Petits commerces et services						
• 10 pers par magasin (boulangerie, épicerie, presse, coiffeur)						
• 15 pers pour les tabacs, cafés, restaurants, supérettes, postes						
Zones d'activités						
Entreprise 1						
Entreprise 2						
Entreprise 3						
Logements						
• 2,5 pers par foyer (moyenne INSEE)*						
Voies de circulation automobile						
• 0,4 pers par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour					75 m pour 100 véhicules par jour	0,03
• si embouteillages fréquents : 300 pers par voie et par km exposés						
Voies ferroviaires de transport de voyageurs						
• 0,4 pers par km exposé x nbre de trains/jour sur la voie						
Voies navigables						
• 0,1 pers par km exposé x nbre de péniches/jour						
Chemins de randonnée						

• 2 pers par km exposé par tranche de 100 promeneurs/j					
Terrains non bâtis (*)					
• 1 pers par tranche de 100 ha (terrains non aménagés et très peu fréquentés : champs, prairies, forêts, friches, marais...)					
• 1 pers par tranche de 10 ha (terrains aménagés mais peu fréquentés : jardins, zones horticoles, vignes, zones de pêche, ...)					
• 10 pers / ha (terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés : parkings, parcs et jardins publics, zones de baignades surveillées, terrains de sport sans gradins, ...)					
(*) Le nombre de personnes exposées est pris au moins égal à 1					
TOTAL DES PERSONNES EXPOSEES		0	0		0,03

* : en cas d'absence de données précises sur l'habitat, se référer aux données forfaitaires de la fiche 1 de la circulaire du 10/05/10

Pour l'UVCE, et plus précisément les effets de surpression, au regard de la grille de cotation en gravité ci-dessous, pour le seuil des effets irréversibles (20 mbar), moins de 1 personnes exposées est associé à un niveau de gravité « **Modéré** ».

A noter que dans le cas des effets dominos, les accidents majeurs 1, 2, et 3 pourront avoir lieu en même temps. Dans ce cas, le nombre de personnes touchées serait inférieur à 1 personne, la gravité serait « **Modéré** ».

Niveau de gravité des conséquences		Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs	Zone délimitée par le seuil des effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
D	Désastreux	Plus de 10 personnes exposées (1).	Plus de 100 personnes exposées.	Plus de 1 000 personnes exposées.
C	Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.	Entre 100 et 1 000 personnes exposées.
I	Important	Au plus 1 personne exposée.	Entre 1 et 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes exposées.
S	Sérieux	Aucune personne exposée.	Au plus 1 personne exposée.	Moins de 10 personnes exposées.
M	Modéré	Pas de zone de létalité hors de l'établissement.		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure ou égale à « une personne ».

(1) Personne exposée : en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l'abri des personnes en cas d'occurrence d'un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent.

3.14 FEU DE NAPPE SUITE A UN EPANDAGE DE GNR AU NIVEAU DU LOCAL GROUPE ELECTROGENE

3.14.1 HYPOTHESES

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- ☞ Présence de GNR relevant de la rubrique 4734 de la nomenclature des ICPE ;
- ☞ En approche majorante, la totalité de la masse de GNR est considérée pour le sinistre ;
- ☞ Apparition d'une source d'ignition suffisante pour générer un départ de feu sur la nappe épandue ;
- ☞ Il est considéré qu'aucune des Mesures de Maîtrise du Risque en place ne fonctionne et que l'incendie est généralisé à la totalité du stockage et est non maîtrisé,
- ☞ Seules les mesures passives (murs REI 120) sont prises en compte.

Le tableau ci-dessous synthétise les hypothèses de calculs considérées.

Dimensions		Côté A = Côté C = 12,8 m
		Côté B = Côté D = 2,5 m
Nature des parois	Paroi A	Bardage métallique avec grilles d'aération
	Paroi B	Murs maçonnés REI 120 avec rétention intégrée
	Paroi C	
	Paroi D	
Nature des produits entreposés		GNR – Rub ICPE 4734
Quantité maximale entreposée		4,25 tonnes

3.14.2 RESULTATS

Nota : une première simulation de cet événement a été réalisée avec le logiciel FLUMILOG. Face à des résultats incohérents, un second calcul a été réalisé grâce au logiciel FNAP développé par l'INERIS.

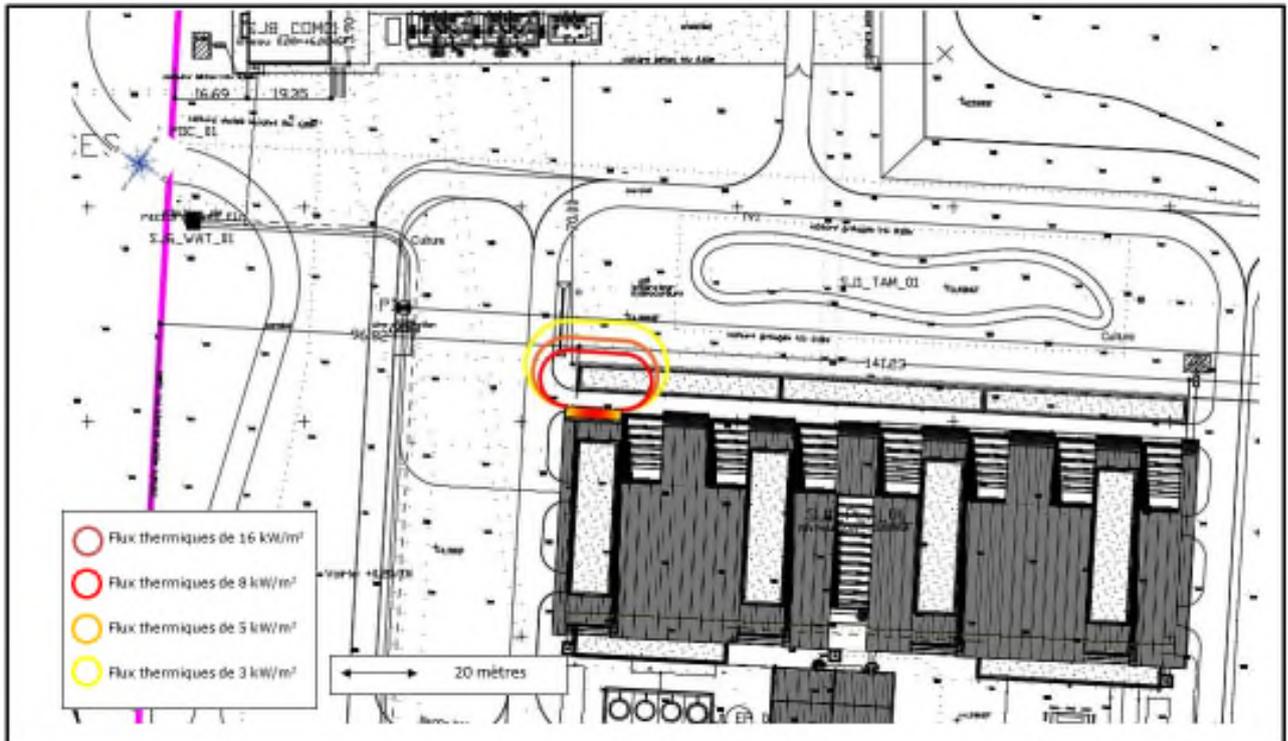
La hauteur maximale atteinte par les flammes est de 3 m (données FNAP) et la durée d'incendie est estimée à 41 min (données Flumilog, FNAP ne donnant pas cette information).

Les résultats obtenus sont les suivants :

	3 kW/m ²	5 kW/m ²	8 kW/m ²
Hauteur de la cible : 1,8 mètres			
Côté A	20 m	16 m	13 m
Côté B	NA	NA	NA
Côté C	NA	NA	NA
Côté D	NA	NA	NA

* NA : non atteint

La cartographie des effets thermiques obtenus est donnée en page suivante.



3.14.3 COMMENTAIRES

Sur site

Les flux de 3, 5 et 8 kW/m² sont atteints uniquement sur la façade A au niveau de la paroi composée de bardage métallique.

Ces flux n'impactent aucune autre installation du site et restent dans l'enceinte de l'établissement, d'où l'absence de risque de propagation.

Hors site

Les effets thermiques modélisés restent dans l'enceinte de l'établissement.

Cet événement ne sera pas considéré comme un accident majeur.

4 BILAN DES ACCIDENTS ETUDIÉS

Le tableau ci-dessous synthétise les différents phénomènes dangereux constituant les événements étudiés dans le cadre de ce dossier (sur la base de la circulaire du 28 décembre 2006 DPPR/SEI2/CB-06-0388 abrogée et refondue dans la circulaire du 10 mai 2010).

N° AM	Phénomène dangereux	Effets	Intensité*				Cinétique	Impact à l'extérieur du site	Gravité
			Effets indirects Bris de vitres	Effets Irréversibles	Effets Létaux	Effets Létaux significatifs			
AM1	Eclatement du bâtiment électrolyseurs	Surpression	226 m	113 m	51 m	33 m	Rapide	OUI	Modéré
/	Eclatement bâtiment compression 100 bar	Surpression	94 m	47 m	21 m	14 m	Rapide	NON	/
/	Eclatement bâtiment compression 500 bar	Surpression	79 m	39 m	18 m	11 m	Rapide	NON	/
/	Feu torche suite à une fuite sur le réseau amont à la compression	Thermique	/	13,8 m	13,0 m	12,4 m	Rapide	NON	/
/	Feu torche suite à une rupture franche sur le réseau amont à la compression	Thermique – avec et sans MMR	/	101,2 m	90,1 m	82,2 m	Rapide	NON	/
/	UVCE suite à une fuite sur le réseau amont à la compression	Surpression	24,2 m	11,8 m	6,5 m	5,6 m	Rapide	NON	/
/		Thermiques	/	23,4 m	21,5 m	21,5 m	Rapide	NON	/
AM2	UVCE suite à une rupture franche sur le réseau amont à la compression	Surpression – sans MMR	199,5 m	95,3 m	51,78 m	43,9 m	Rapide	OUI	Modéré
/		Surpression – avec MMR	151,4	70,1	36,1	30,0	Rapide	NON	/
/		Thermiques – avec et sans MMR	/	99 m	90 m	90 m	Rapide	NON	/

N° AM	Phénomène dangereux	Effets	Intensité*				Cinétique	Impact à l'extérieur du site	Gravité
			Effets indirects Bris de vitres	Effets Irréversibles	Effets Létaux	Effets Létaux significatifs			
/	Feu torche suite à une fuite sur le réseau aval à la compression	Thermique	/	11,8 m	11,2 m	10,8 m	Rapide	NON	/
/	UVCE suite à fuite sur le réseau aval à la compression	Surpression	20,8 m	10,2 m	5,6 m	4,8 m	Rapide	NON	/
		Thermiques	/	20,1 m	18,25 m	18,25 m	Rapide	NON	/
/	Feu torche suite à une rupture franche sur la station de mobilité	Thermique	/	51,0 m	46,1 m	42,6 m	Rapide	NON	/
/	UVCE suite à une rupture franche sur la station de mobilité	Surpression	97 m	48,1 m	27,5 m	23,8 m	Rapide	NON	/
		Thermiques	/	85,8 m	78 m	78 m	Rapide	NON	/
/	Feu torche lié à la défaillance des pilotes de la torchère	Thermiques	/	/	/	/	Rapide	NON	/
/	UVCE lié à la défaillance des pilotes de la torchère	Surpression	/	/	/	/	Rapide	NON	/
		Thermiques	/	/	/	/	Rapide	NON	
/	Rejet aux événements O ₂	Hyperoxie	/	/	/	/	Rapide	NON	/
/	Rupture guillotine sur le réseau azote	Anoxie	/	64 m	13 m	13 m	Rapide	NON	/
/	Feu torche suite à une rupture guillotine sur le réseau CH ₄	Thermiques	/	6,0 m	5,7 m	5,2 m	Rapide	NON	/
/	UVCE suite à une rupture guillotine sur le réseau CH ₄	Surpression	9,8 m	4,7 m	2,5 m	2,1 m	Rapide	NON	/
		Thermique	/	2,4 m	2,2 m	2,2 m	Rapide	NON	

N° AM	Phénomène dangereux	Effets	Intensité*				Cinétique	Impact à l'extérieur du site	Gravité
			Effets indirects Bris de vitres	Effets Irréversibles	Effets Létaux	Effets Létaux significatifs			
/	Incendie transformateurs électriques 225 kVA	Thermiques	/	19 m	/	/	Rapide	NON	/
AM3	Eclatement de la cuve d'huile d'un transformateur 225 kVA	Surpression	80 m	40 m	18 m	11,5 m	Rapide	OUI	Modéré
/	Feu de nappe du GNR au niveau du groupe électrogène	Thermiques	/	20 m	16 m	13 m	Rapide	NON	/

* Les distances reportées sont celles étant les plus importantes

Au regard des recommandations de l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 modifié, seuls les Accidents Majeurs (AM) ayant un impact à l'extérieur du site doivent faire l'objet d'une analyse détaillée des risques dans l'étude des dangers du présent dossier.

ANNEXE EDD.5

**ETUDE DE POSITIONNEMENT DES
DETECTEURS ET EXTINCTEURS**



(ID Modèle = 454988)

Ineris - 181601 - 659686 - v2.0

04/02/2020

Etude d'implantation des détecteurs sur une installation de production massive d'hydrogène par électrolyse de l'eau

H2V INDUSTRY

PRÉAMBULE

Le présent document a été établi sur la base des informations transmises à l'Ineris. La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations fournies.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du présent document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La prestation ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser le document après cette date.

L'établissement du présent document et la prestation associée sont réalisés dans le cadre d'une obligation de moyens.

Au vu de la mission qui incombe à l'Ineris au titre de l'article R131-36 du Code de l'environnement, celui-ci n'est pas décideur. Ainsi, les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre de cette prestation ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur. Par conséquent la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du présent document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour toute utilisation du document en dehors de son objet.

En cas de contradiction entre les conditions générales de vente et les stipulations du présent préambule, les stipulations du présent préambule prévalent sur les stipulations des conditions générales de vente.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction des Risques Accidentels

Rédaction : JOUBERT Lauris

Vérification : TRUCHOT BENJAMIN

Approbation : : DUPLANTIER STEPHANE – le 04/02/2020

Table des matières

1	Introduction	5
1.1	Contexte	5
1.2	Description de l'installation de référence.....	5
1.3	Contenu de l'étude	6
2	Bâtiment compresseur.....	7
2.1	Description du bâtiment.....	7
2.2	Objectifs de détection	7
2.3	Résultats de simulation	8
2.4	Positionnement des détecteurs	10
3	Bâtiment électrolyseurs	12
3.1	Description du bâtiment.....	12
3.2	Objectifs de détection	13
3.3	Résultats de modélisation	14
3.4	Positionnement des détecteurs	20
4	Choix de la technologie de détecteurs	22
4.1	Etat de l'art des différentes technologies de détection d'hydrogène existantes	22
4.2	Recommandations.....	25
5	Implantation des extincteurs.....	26
6	Conclusions	28

Pour citer ce document :

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, , Verneuil-en-Halatte : Ineris - 181601 - 659686 - v2.0, 04/02/2020.

1 Introduction

1.1 Contexte

La société H2V INDUSTRY souhaite installer deux usines de production massive d'hydrogène vert, composées chacune d'un ensemble de deux unités de 100 MW de puissance électrique provenant du réseau. La production reposera sur l'utilisation d'électrolyseurs de forte puissance, qui permettront d'extraire l'hydrogène de l'eau, sans émission de polluants notables (rejet d'oxygène et d'eau concentrée uniquement).

Les deux usines seront situées à :

- Dunkerque (59). Dans le cadre de ce projet H2V59, l'hydrogène sera injecté dans le réseau de gaz naturel avec une concentration ne dépassant pas 5% (*Power-to-Gas*).
- Lillebonne (76). Dans le cadre de ce projet H2V76, l'hydrogène sera distribué à des industriels locaux désireux de verdir leur approvisionnement via un réseau spécifique.

Dans ce cadre, H2V INDUSTRY a sollicité l'INERIS pour une étude d'implantation de détecteurs hydrogène et d'extincteurs.

1.2 Description de l'installation de référence

Les deux projets d'usine sont similaires. Chaque usine est composée de deux unités de 100 MW. La Figure 1 présente une vue 3D du projet d'usine sur laquelle apparaissent les deux unités.



Figure 1 : Vue 3D du projet d'usine

La Figure 2 présente un plan détaillé d'une unité de production. Une unité est composée de deux bâtiments dans lesquels l'électrolyse est réalisée. En amont de ces bâtiments se situe la partie électrique de l'usine. En aval, l'hydrogène produit et purifié est transporté dans un bâtiment dans lequel il est comprimé de 30 à 100 bar.

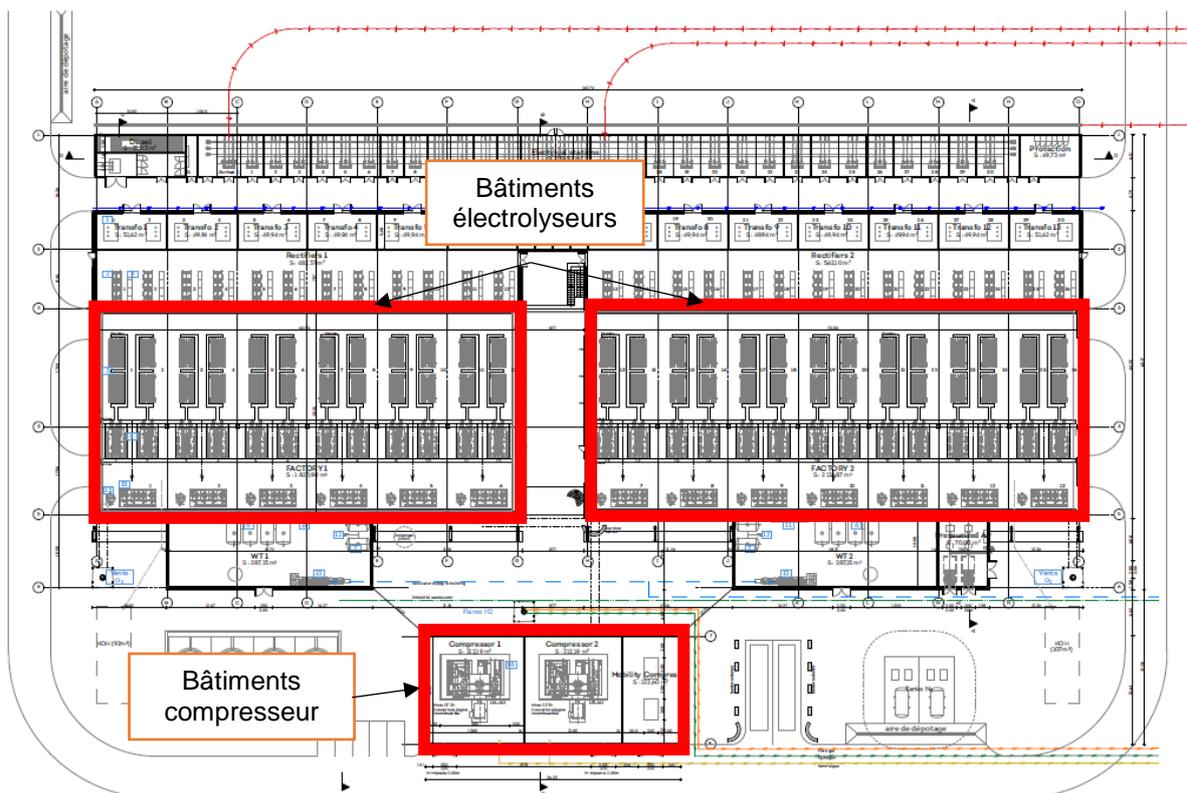


Figure 2 : Plan d'une unité de production

1.3 Contenu de l'étude

L'étude d'implantation des détecteurs hydrogène se focalise sur les zones confinées dans lesquelles l'hydrogène est présent :

1. le bâtiment compresseur ;
2. les bâtiments électrolyseurs.

En extérieur, la stratégie de détection de fuite ne peut pas reposer uniquement sur la présence de détecteurs. En effet, l'incertitude sur la position et la direction de la fuite est telle que la zone à couvrir pour la détection serait trop étendue. En milieu confiné, les détecteurs sont positionnés dans les zones dans lesquelles l'hydrogène est susceptible de s'accumuler. L'objectif de la détection est alors d'éviter l'accumulation et la formation d'un volume inflammable sur tout ou partie d'un bâtiment. Pour chacun des bâtiments les objectifs de détection sont discutés en fonction de leurs caractéristiques propres. Le seuil de détection des détecteurs est fixé à la concentration de 1% soit 25% de la LIE (Limite Inférieure d'Inflammabilité). Des éléments sur le temps disponible après détection jusqu'à l'arrêt de la fuite sont également fournis. A la lumière de cette réflexion une implantation de détecteurs est alors proposée.

Par la suite les principales conclusions d'une étude réalisée par l'INERIS sur l'état de l'art des différentes technologies de détection d'hydrogène existantes sont présentées. Sur la base de ces conclusions et compte tenu des spécificités de l'installation, des recommandations de choix de technologie sont données.

Enfin, une étude d'implantation des extincteurs est réalisée pour les bâtiments électrolyseur et compresseur sur la base du référentiel APSAD R4 2016 relatif aux règles d'implantation des extincteurs portatifs et mobiles.

Il est important de noter que ce rapport ne traite pas de la détection incendie. L'INERIS préconise la mise en place d'une détection incendie dans les bâtiments. Celle-ci pourrait être réalisée par un système à aspiration.

2 Bâtiment compresseur

2.1 Description du bâtiment

L'étude porte sur un bâtiment compresseur. L'hydrogène arrive à une pression de 30 bar et est comprimé à une pression de 100 bar. La géométrie du bâtiment est présentée sur la Figure 3. Ses dimensions sont de 13,85 x 15,32 x 8,58 m³. L'hypothèse est prise d'une ventilation permanente de 10 Vol/h, le débit de ventilation en situation normale et le débit de ventilation forcée étant tous deux égaux à cette valeur.

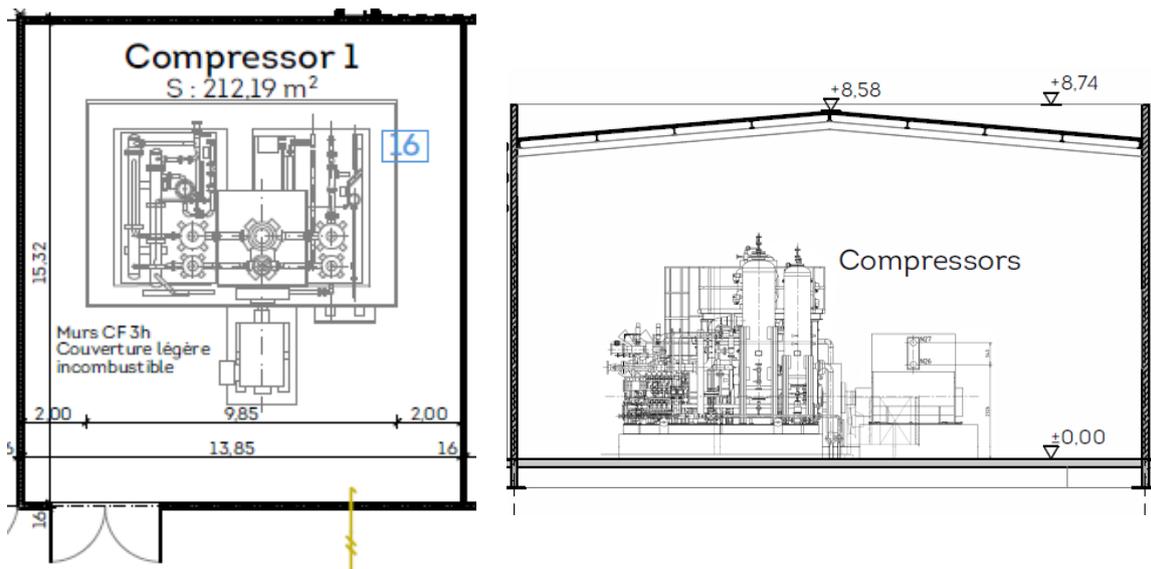


Figure 3 : Plan du bâtiment compresseur : vue en plan (à gauche) et en coupe (à droite)

2.2 Objectifs de détection

En cas de fuite d'hydrogène dans le bâtiment, la ventilation permet d'évacuer, en partie, l'hydrogène accumulé. Dans une configuration comme celle-ci, la concentration d'hydrogène dans le bâtiment augmente jusqu'à atteindre une concentration d'équilibre. Il convient de rappeler que physiquement, la concentration dans la zone de jet est bien supérieure à cette concentration d'équilibre, elle varie de 100% en sortie d'orifice à cette concentration d'équilibre.

La quantité d'hydrogène rejeté par la ventilation est alors égale à la quantité apportée par la fuite. La concentration d'équilibre peut être déterminée avec la formule suivante :

$$C_{eq} = \frac{Q_{in}}{Q_{out}}$$

où :

- Q_{in} est le débit volumique de fuite d'hydrogène en m³/s,
- Q_{out} est le débit volumique de ventilation en m³/s.

Il est alors possible de calculer le débit de fuite maximale pour lequel la concentration d'équilibre reste inférieure à la LIE. Le débit de fuite ainsi calculé est de 0,01682 kg/s. Cela signifie que pour toutes fuites dont le débit est inférieur à cette valeur la concentration d'hydrogène, en dehors du jet, reste inférieure à la LIE. Ces calculs sont valides les hypothèses suivantes sont vérifiées :

- l'extraction de la ventilation est située en partie haute du bâtiment ;
- le remplissage d'hydrogène se fait par couche homogène¹.

¹ Cette hypothèse est confirmée par les simulations qui sont présentées au paragraphe 2.3.

L'objectif de détection dans le bâtiment compresseur est donc de pouvoir détecter toutes les fuites dont le débit est supérieur au débit de 0,01682 kg/s. Dans l'idéal, l'action liée à la détection doit permettre d'éviter l'atteinte d'une concentration supérieure à la LIE.

2.3 Résultats de simulation

Afin d'appréhender au mieux la dispersion d'hydrogène dans le bâtiment compresseur des simulations 3D ont été réalisées. Le logiciel FDS a été utilisé. La Figure 5 présente la géométrie numérique considérée pour le calcul. Le débit de fuite est pris égal à 0,01682 kg/s.

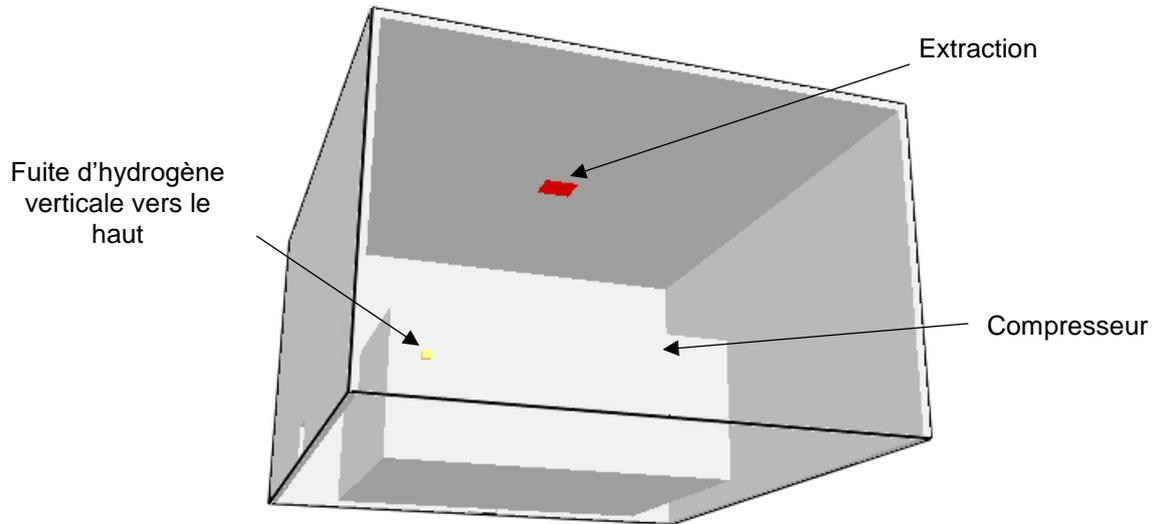


Figure 4 : Géométrie

La Figure 5 présente la concentration d'hydrogène dans le bâtiment en régime établi dans une coupe verticale. Il ressort de ce calcul que le remplissage se fait par régime de couche globalement homogène de hauteur 2,5 m.

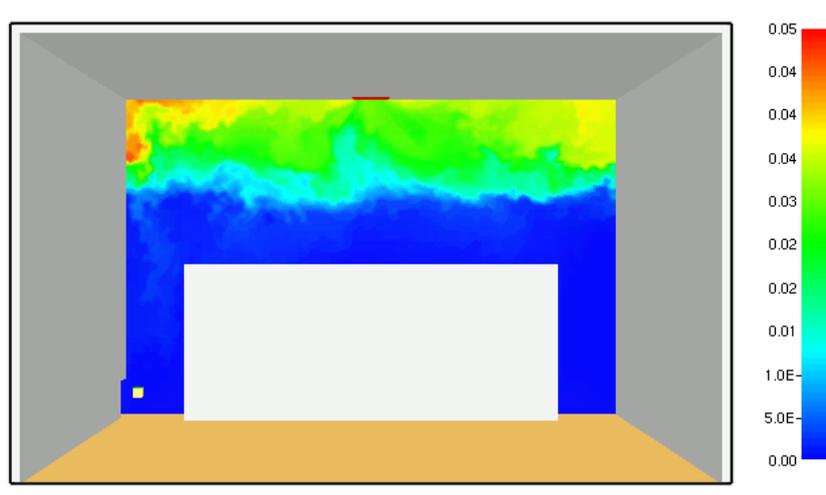


Figure 5 : Concentration d'hydrogène dans un plan de coupe

En supposant que la hauteur de la couche homogène est indépendante de l'augmentation du débit il est possible de calculer l'évolution de la concentration dans la couche homogène par simple bilan volumique :

$$V \frac{dC}{dt} = Q_{in} - C Q_{out},$$

où :

- C est la concentration volumique d'hydrogène dans la couche homogène ;
- V est le volume de la couche homogène en m^3 .

De cette manière on peut calculer en fonction du débit de fuite :

- $t_{1\%}$, le temps d'atteinte de la concentration de 1% qui est la concentration de détection ;
- $t_{4\%}$, le temps d'atteinte de la LIE, soit 4% ;
- $t_d = t_{4\%} - t_{1\%}$, le temps disponible entre l'atteinte du seuil de détection et l'atteinte de la LIE. Ce temps disponible correspond donc au temps maximal disponible de la détection jusqu'à l'arrêt de la fuite pour éviter de dépasser la LIE.

Les résultats sont présentés sur les Figure 6 et Figure 7.

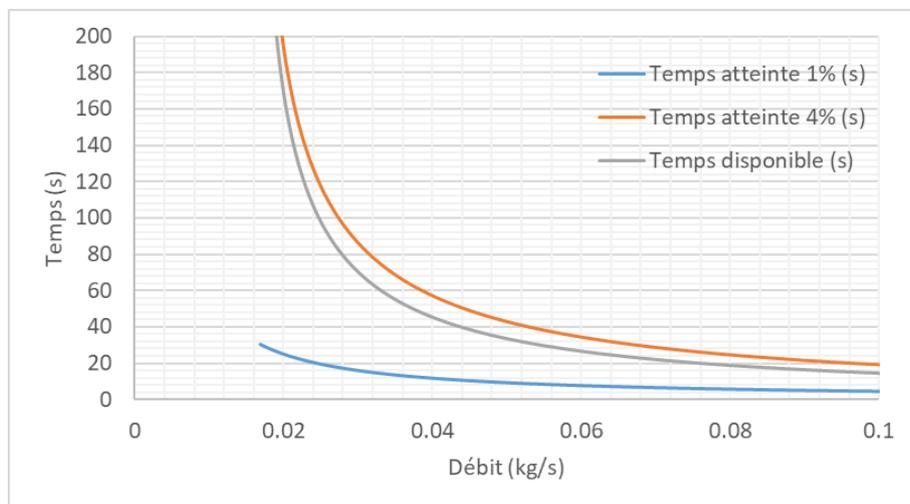


Figure 6 : Bâtiment compresseur - Résultats de temps disponible

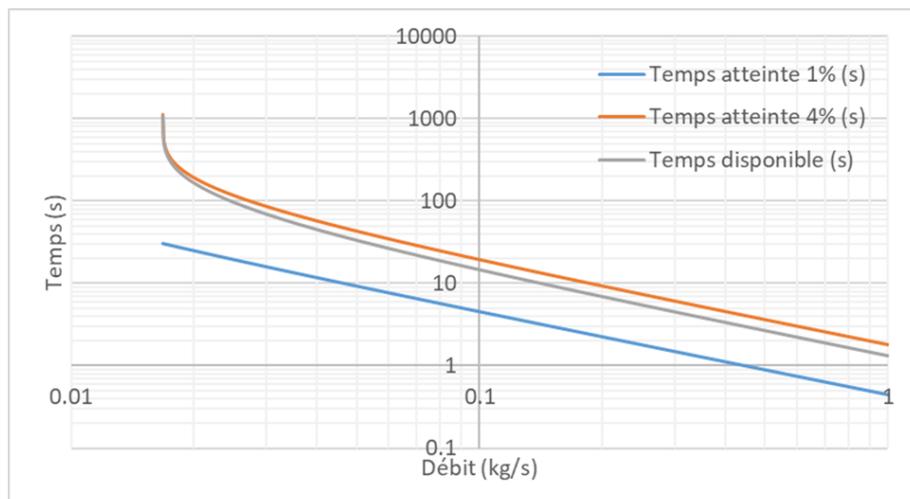


Figure 7 : Bâtiment compresseur - Résultats de temps disponible (échelle logarithmique)

Afin de mettre en regard ces résultats avec les scénarios de fuite, le temps disponible a été calculé en fonction du diamètre de fuite pour pressions de 30 et 100 bar. La Figure 8 présente ces résultats.

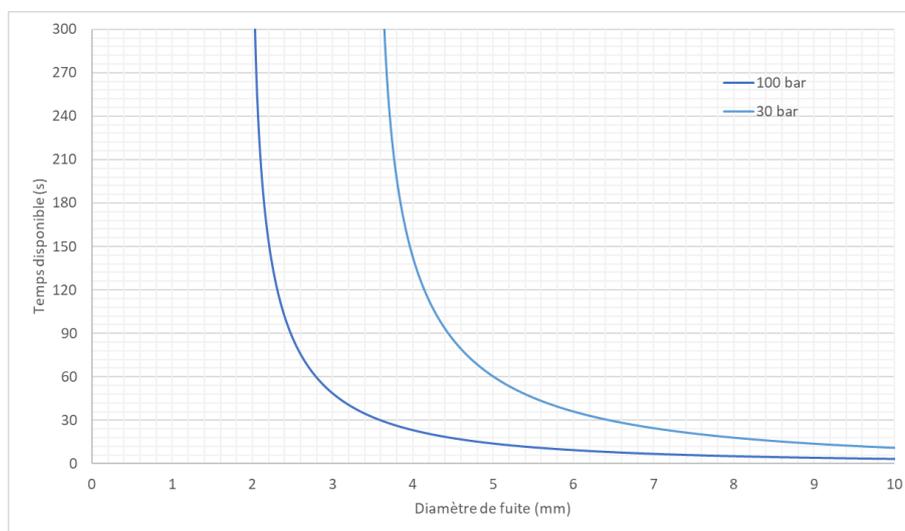


Figure 8 : Bâtiment compresseur - Résultats de temps disponible en fonction du diamètre de fuite

Le temps de réponse de la barrière de détection correspond au temps depuis l'atteinte de la concentration seuil au niveau des détecteurs jusqu'à l'arrêt de la fuite. Il intègre ainsi le temps de réponse du détecteur, le temps de traitement de l'information et le temps nécessaire, par exemple, à la fermeture d'une vanne. Ce temps de réponse doit être inférieur au temps disponible pour éviter l'atteinte de la LIE.

- Pour un temps de réponse fixé à 60 s, la barrière associée à la détection permettrait d'éviter la formation d'une couche inflammable pour des débits allant jusqu'à 33 g/s. Pour une pression de 100 bar (resp. 30 bar) cela correspond à un diamètre de fuite de 2,79 mm (resp. 5 mm).
- Pour un temps de réponse fixé à 30 s ce débit serait de 54 g/s. Pour une pression de 100 bar (resp. 30 bar) cela correspond à un diamètre de fuite de 3,58 mm (resp. 6,43 mm).

2.4 Positionnement des détecteurs

Le remplissage se faisant par couche homogène en partie haute il est conseillé de placer les détecteurs sous plafond. La répartition étant uniforme horizontalement, un seul détecteur serait nécessaire. Pour assurer une redondance il est conseillé d'installer deux détecteurs qui peuvent alors être placés symétriquement l'un par rapport à l'autre sous plafond (cf. Figure 9).

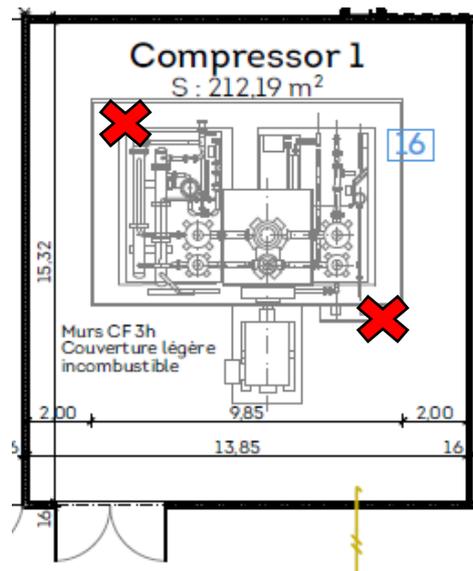


Figure 9 : Bâtiment compresseur - Schéma d'implantation des détecteurs

3 Bâtiment électrolyseurs

3.1 Description du bâtiment

Chaque unité de production est composée de deux bâtiments électrolyseurs dont les surfaces sont de 1 820,90 m² et 2 121,87 m². Ces deux bâtiments sont similaires. Le 1^{er} comprend 6 unités d'électrolyse alors que le 2nd en comprend 7. L'étude a porté sur le 1^{er} bâtiment, plus petit, ce qui augmente les risques d'accumulation. Compte tenu de la similarité entre les deux bâtiments, les résultats sont transposables. La Figure 10 présente les plans du bâtiment.

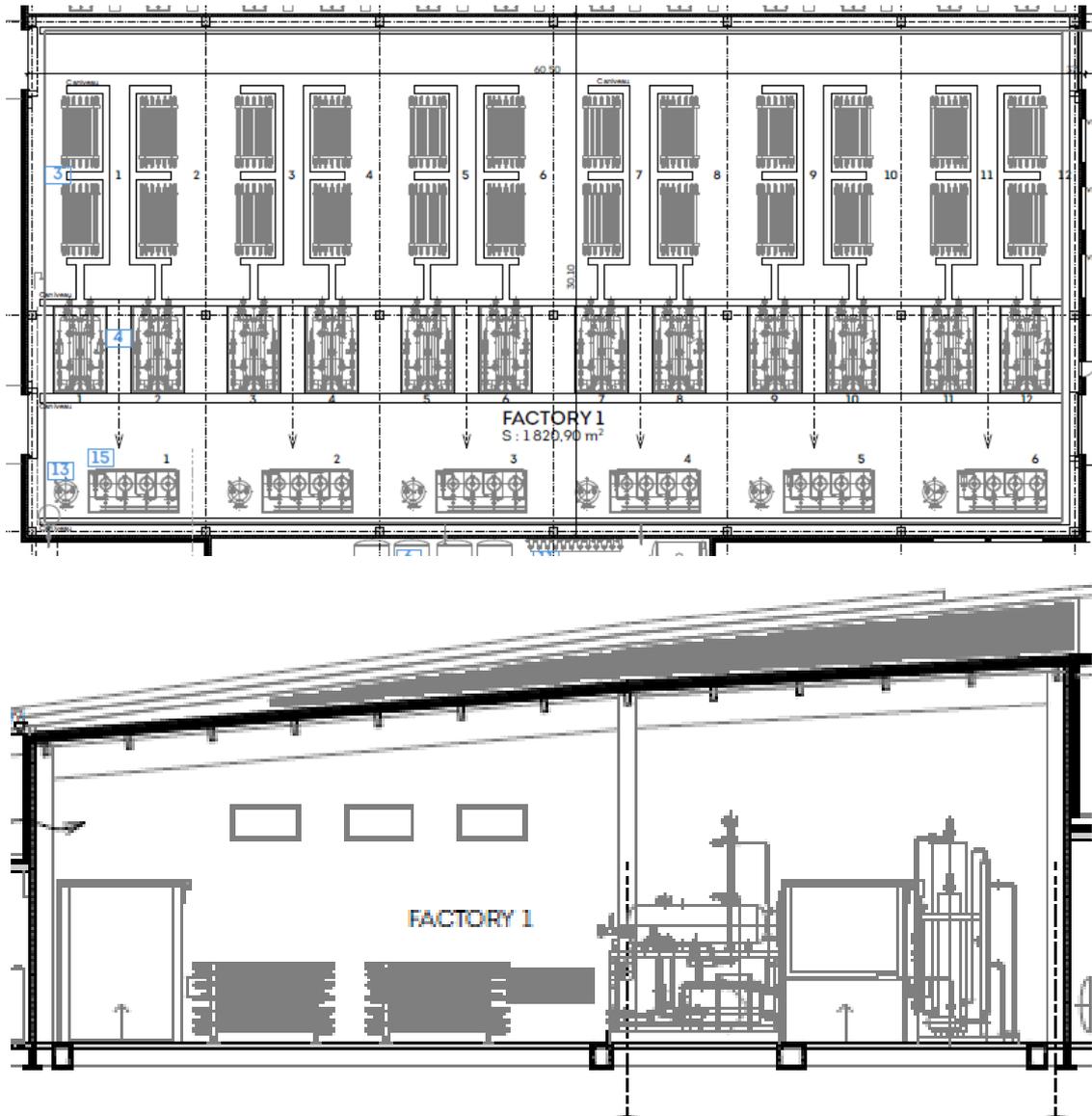


Figure 10 : Plan du bâtiment électrolyseur : vue en plan (en haut) et en coupe (en bas)

La ventilation est supposée permanente avec un débit de 10 Vol/h, le débit en situation normale étant égal au débit en situation d'urgence, tous deux égaux à cette valeur. L'emplacement des ouvertures considérée dans cette étude est présenté sur la Figure 11. Ces éléments sont issus du document référencé 30999-004-005-C-Ventilation naturelle et forcée CoupesH2V59_CoupeA (1) Layout.

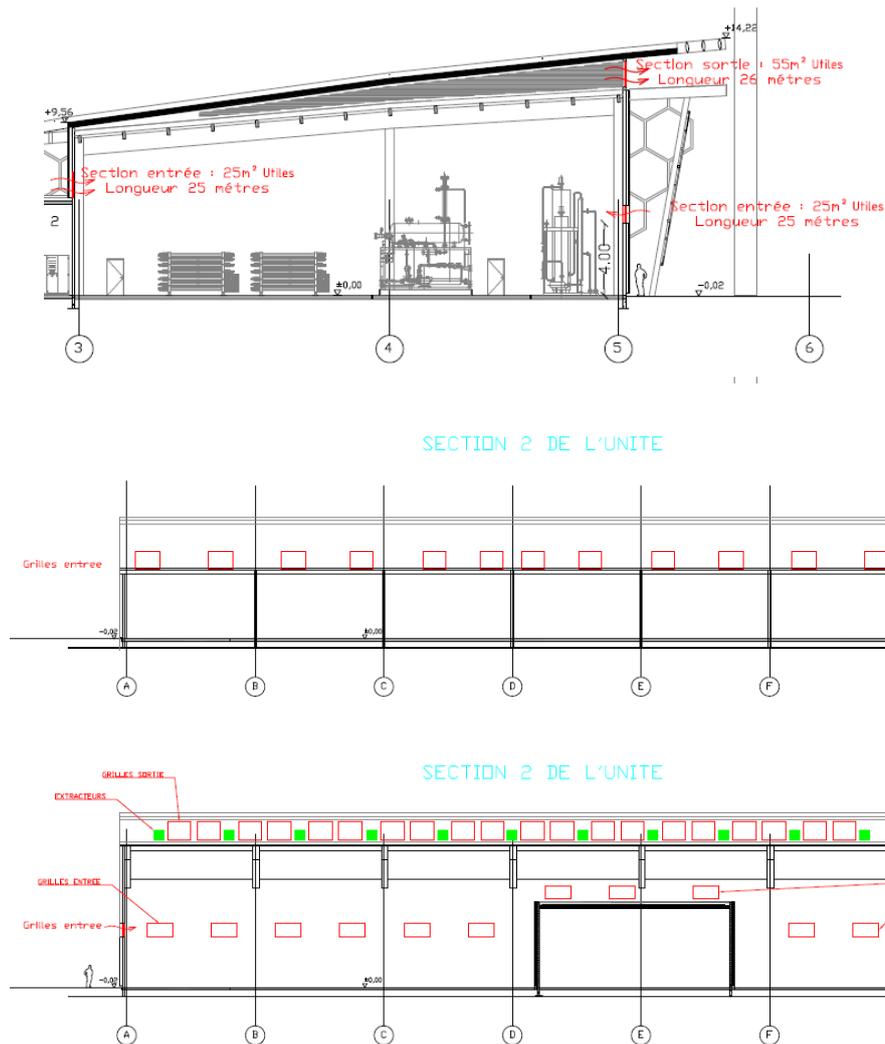


Figure 11 : Plan du bâtiment électrolyseur : emplacement des ouvertures

3.2 Objectifs de détection

En cas de fuite d'hydrogène dans le bâtiment, la ventilation permet d'évacuer en partie l'hydrogène accumulé. La concentration d'hydrogène dans le bâtiment augmente jusqu'à atteindre une concentration d'équilibre. La quantité d'hydrogène rejeté par la ventilation est alors égale à la quantité apportée par la fuite. La concentration d'équilibre peut être calculée avec la formule suivante :

$$C_{eq} = \frac{Q_{in}}{Q_{out}}$$

où :

- Q_{in} est le débit volumique de fuite d'hydrogène en m^3/s ;
- Q_{out} est le débit volumique de ventilation en m^3/s .

Il est alors possible de calculer le débit de fuite maximale pour lequel la concentration d'équilibre reste inférieure à la LIE. Le débit de fuite ainsi calculé est de 0,195 kg/s. Cela signifie que pour toute fuite dont le débit est inférieur à cette valeur la concentration d'hydrogène, en dehors du jet, reste inférieure à la LIE. Ces calculs sont valides les hypothèses suivantes sont vérifiées :

- l'extraction de la ventilation est située en partie haute du bâtiment ;
- le remplissage d'hydrogène se fait par couche homogène².

² Cette hypothèse est confirmée par les simulations qui sont présentées au paragraphe 2.3.

L'objectif de détection dans le bâtiment compresseur est donc d'être capable de détecter toutes les fuites dont le débit est supérieur au débit de 0,195 kg/s. Dans l'idéal, l'action liée à la détection doit permettre d'éviter la formation d'une couche inflammable.

3.3 Résultats de modélisation

Des simulations de fuite d'hydrogène ont été réalisées avec le code FDS. La géométrie numérique utilisée pour le calcul est présentée sur la Figure 12. 3 scénarios de fuite d'hydrogène de débit 0,195 kg/s ont été étudiés (cf. Tableau 1). De façon pénalisante les points de fuite ont été positionnés du côté opposé à l'extraction. Les deux premiers scénarios ont pour objectif d'étudier l'influence de la direction du rejet. La direction verticale vers le haut est la plus pénalisante car c'est celle qui favorise le moins le mélange du gaz rejeté.

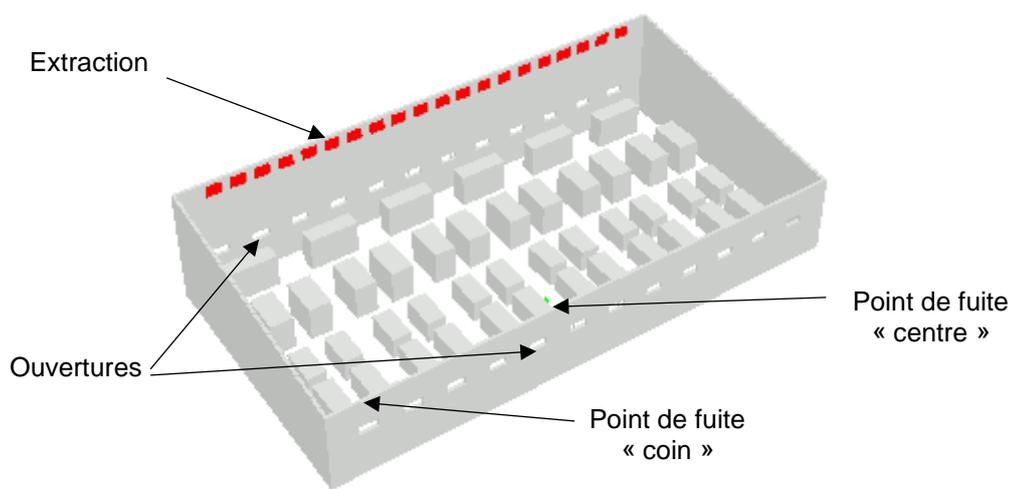


Figure 12 : Bâtiment électrolyseur - Géométrie utilisée pour les calculs

Scénario	Position du point de fuite	Direction du rejet
Centre Haut	Le point de fuite est au centre du bâtiment dans le sens de la longueur et du côté opposé à l'extraction dans le sens de la largeur.	Vertical vers le haut
Centre Bas		Vertical vers le bas
Coin	Le point de fuite est au coin centre du bâtiment dans le sens de la longueur et du côté opposé à l'extraction dans le sens de la largeur.	Vertical vers le haut

Tableau 1 : Bâtiment électrolyseurs – Scénarios de fuite

L'évolution des concentrations d'hydrogène sur des coupes verticales est présentée pour les 3 scénarios sur les Figure 13, Figure 14 et Figure 15. L'échelle des concentrations données en %v/v utilisée est présentée ci-dessous. Les concentrations ont été coupées en dessous de la concentration de 0,01%v/v.



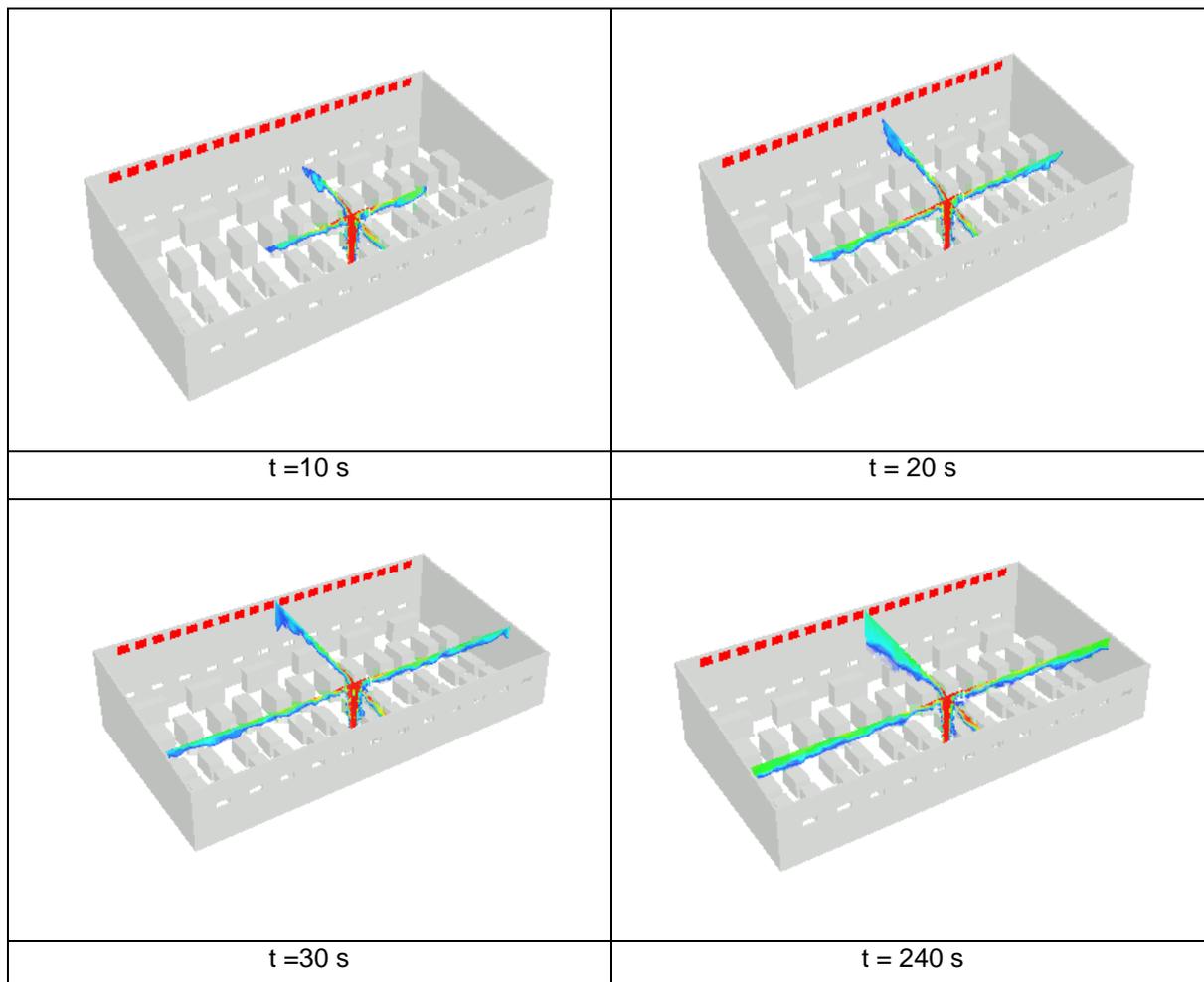
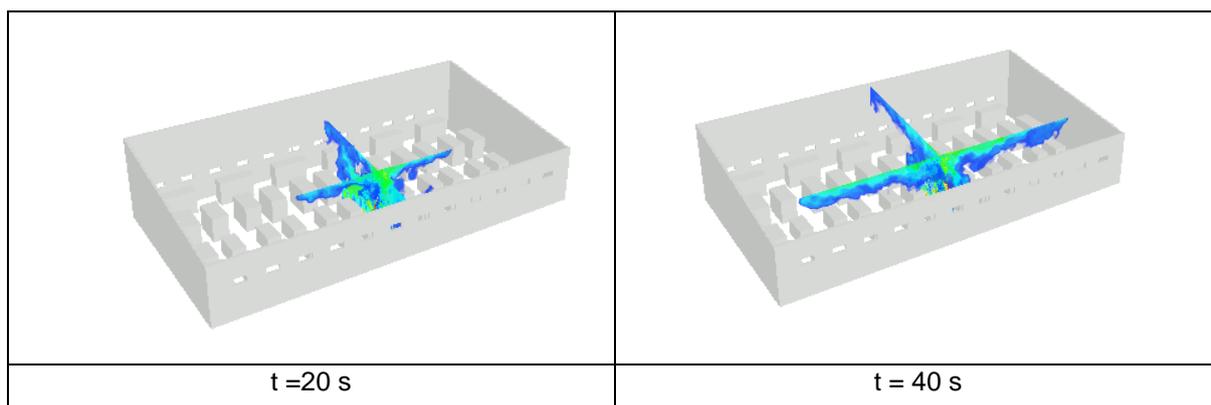


Figure 13 : Scénario Centre Haut – Evolution de la concentration sur des coupes



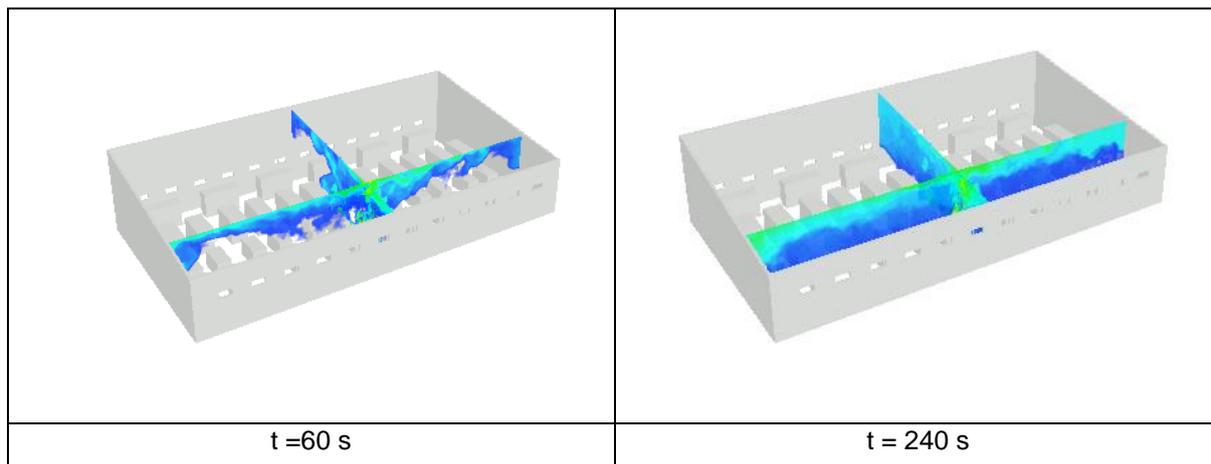


Figure 14 : Scénario Centre Bas – Evolution de la concentration sur des coupes

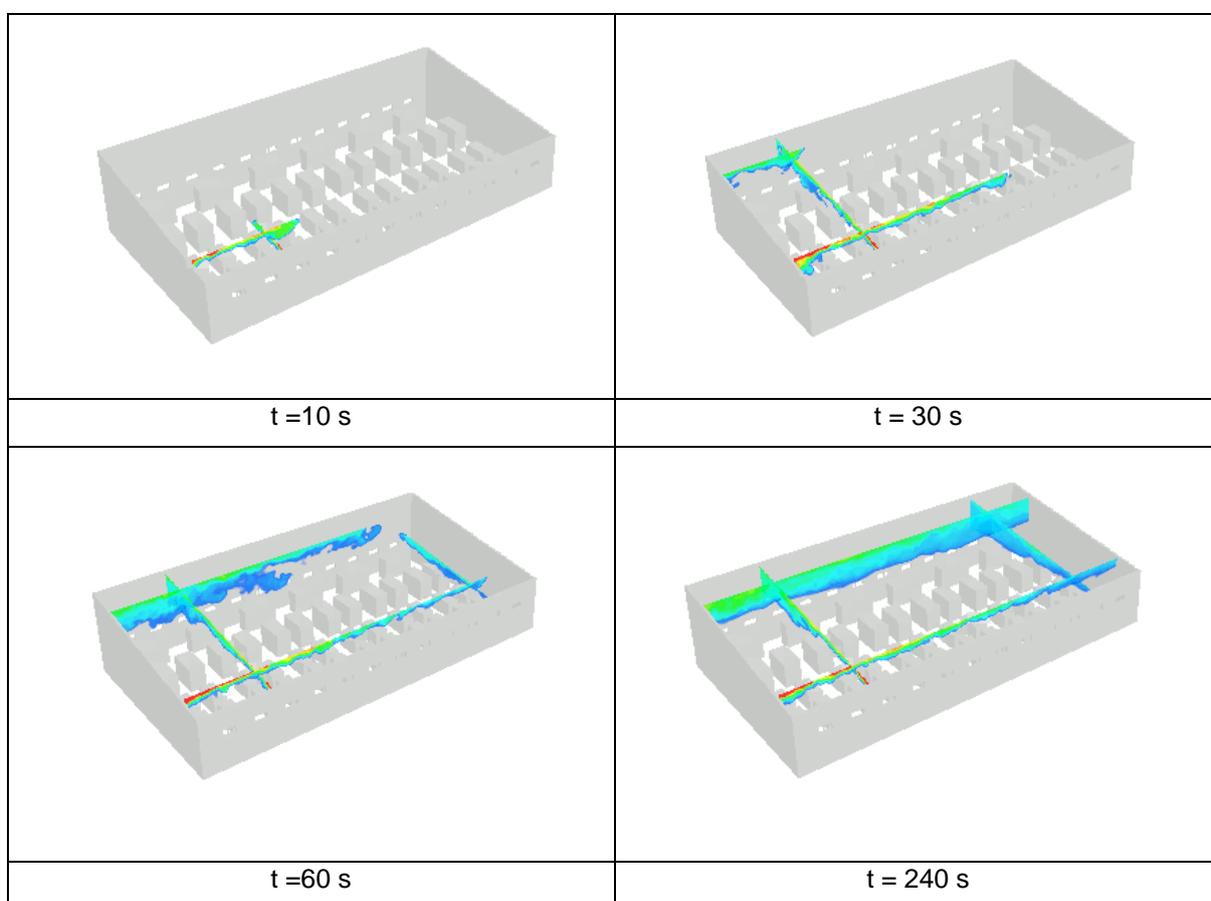


Figure 15 : Scénario Coin – Evolution de la concentration sur des coupes

Les principaux enseignements sont les suivants :

- pour tous les scénarios il se forme en régime établi une couche d'hydrogène sous toiture dont la concentration maximale est proche de 4% ;
- lorsque le rejet a lieu dans un coin du bâtiment un léger gradient de concentration est présent dans le sens de la longueur avec des concentrations plus importantes du côté où a lieu le rejet ;
- lorsque le rejet est vertical vers le haut la hauteur de la couche est, en moyenne, de l'ordre de 2 m ; lorsque le rejet est vertical vers le bas, elle est de 4 m environ ; l'impact sur le sol entraîne une dilution plus importante ;
- lorsque le rejet est au centre, la couche d'hydrogène couvre l'ensemble du bâtiment après 40 s ; lorsque le rejet est en coin le temps nécessaire est de 80 s.

En supposant que la hauteur de la couche homogène est indépendante de l'augmentation du débit et qu'elle est de 2 m, on peut calculer en fonction du débit de fuite :

- $t_{1\%}$, le temps d'atteinte de la concentration de 1% qui est la concentration de détection ;
- $t_{4\%}$, le temps d'atteinte de la LIE, soit 4% ;
- $t_d = t_{4\%} - t_{1\%}$, le temps disponible entre l'atteinte du seuil de détection et l'atteinte de la LIE, ce temps disponible correspond donc au temps maximal disponible de la détection jusqu'à l'arrêt de la fuite pour éviter de dépasser la LIE.

Les résultats sont présentés sur les Figure 16 et Figure 17.

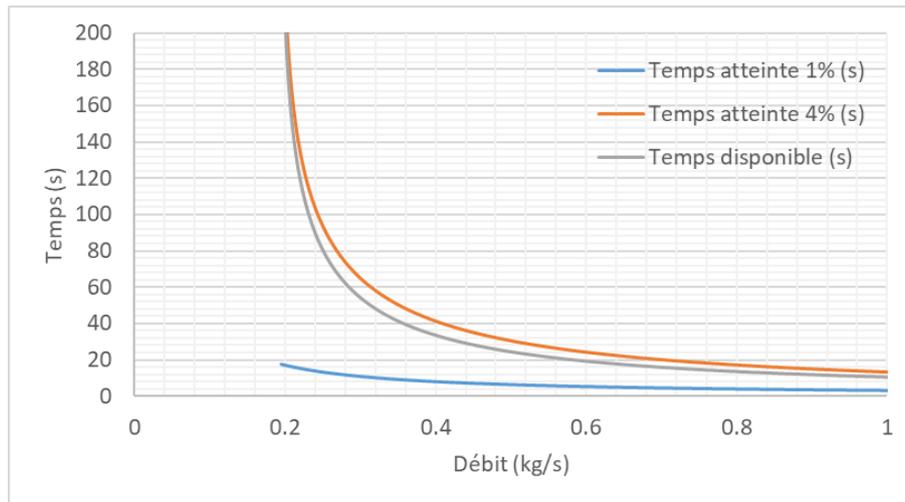


Figure 16 : Bâtiment électrolyseurs - Résultats de temps disponible

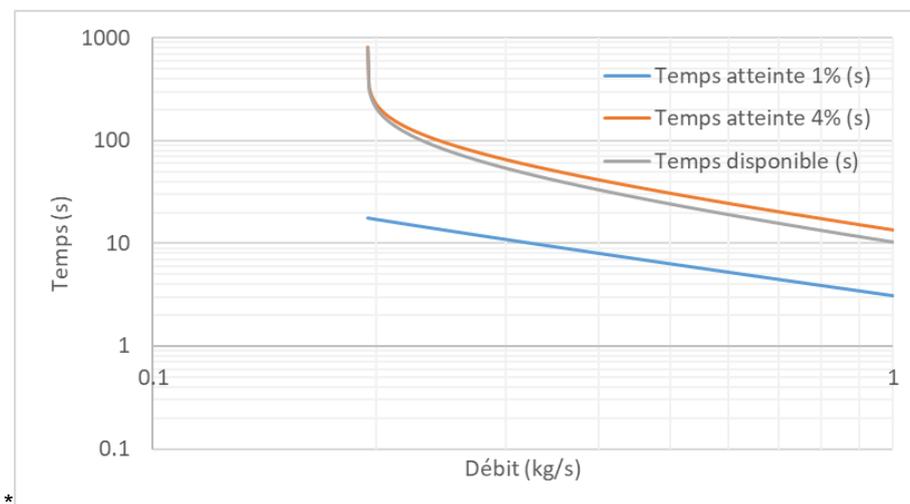


Figure 17 : Bâtiment électrolyseurs - Résultats de temps disponible (échelle logarithmique)

Afin de mettre en regard ces résultats avec les scénarios de fuite, le temps disponible a été calculé en fonction du diamètre de fuite pour une pression de 30 bar. La Figure 18 présente ces résultats.

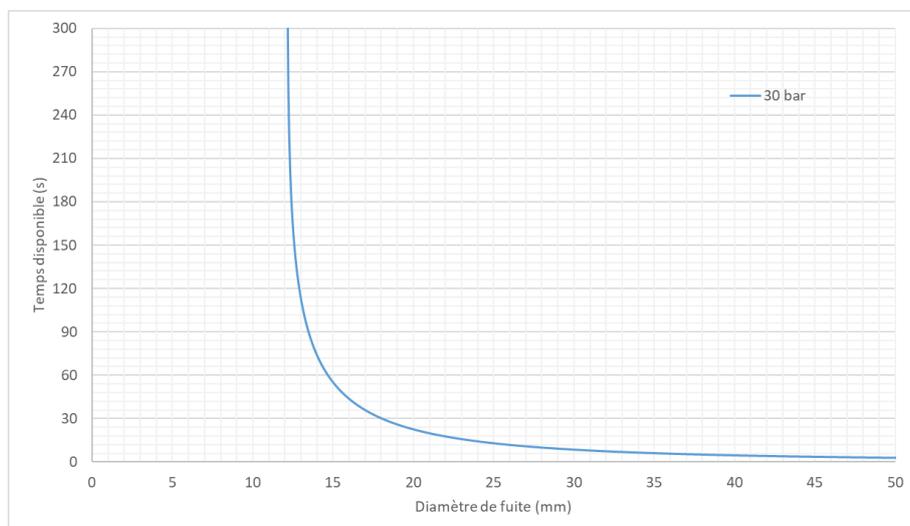
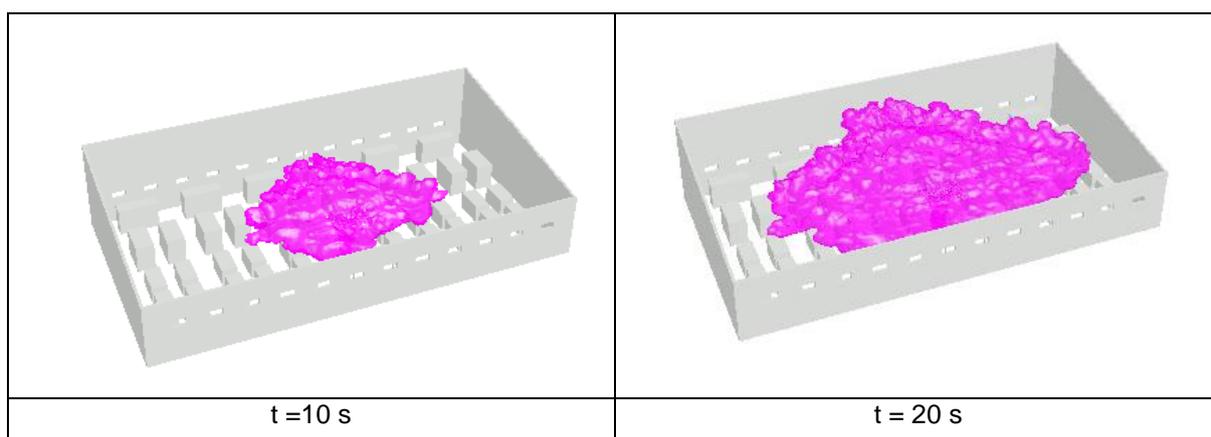


Figure 18 : Bâtiment électrolyseurs - Résultats de temps disponible en fonction du diamètre de fuite

Le temps de réponse de la barrière de détection correspond au temps depuis l'atteinte de la concentration seuil jusqu'à l'arrêt de la fuite. Ce temps de réponse doit être inférieur au temps disponible pour éviter l'atteinte de la LIE.

- pour un temps de réponse fixé à 60 s la barrière associée à la détection permettrait d'éviter la formation d'une couche inflammable pour des débits allant jusqu'à 285 g/s. Pour une pression de 30 bar cela correspond à un diamètre de fuite de 14,6 mm.
- pour un temps de réponse fixé à 30 s ce débit serait de 430 g/s. Pour une pression de 30 bar cela correspond à un diamètre de fuite de 18 mm.

L'enjeu pour la détection est de couvrir suffisamment la zone sous toiture pour qu'un détecteur se retrouve rapidement dans la zone 1%. L'évolution de l'iso-concentration 1% est présentée sur les Figure 19 et Figure 20 pour les scénarios « Centre haut » et « Coin ».



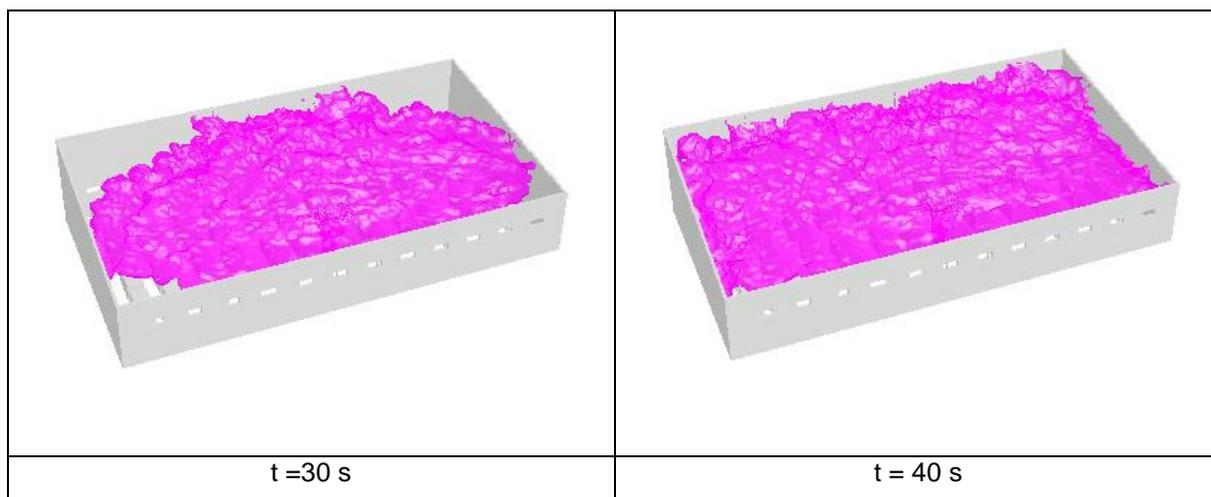


Figure 19 : Scénario Centre Haut – Evolution de l'iso-surface 1%

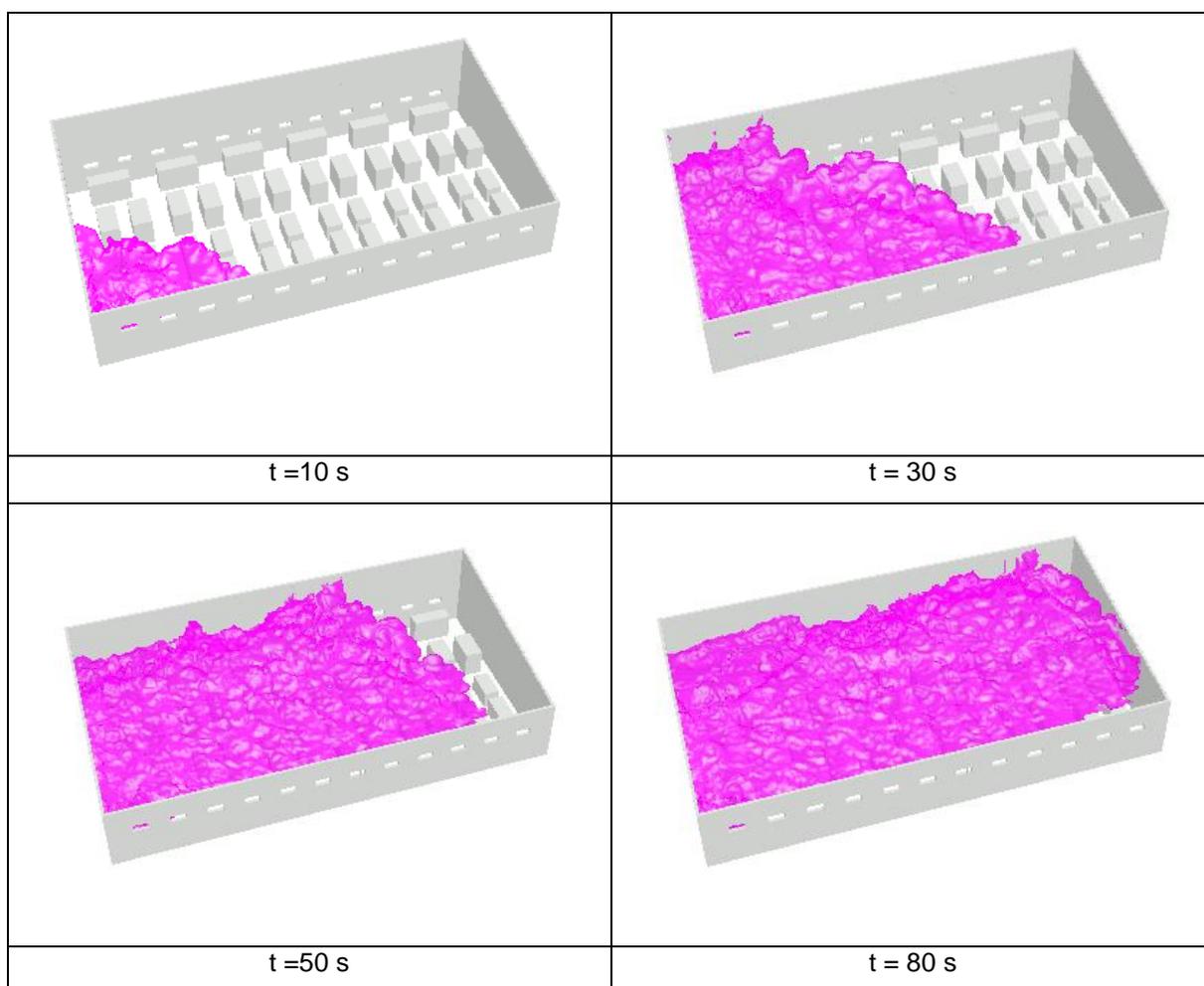


Figure 20 : Scénario Coin – Evolution de l'iso-surface 1%

Pour un objectif de présence d'un détecteur dans la zone 1% après 10 s de rejet, le maillage de détecteurs doit être défini de telle sorte à ce que la distance entre un point sous toiture et un détecteur soit de 15 m au maximum.

3.4 Positionnement des détecteurs

L'étude a permis de dégager les enseignements suivants.

- Pour les scénarios étudiés une couche d'hydrogène se forme sous toiture et couvre l'ensemble du bâtiment au maximum après 80 s. Les détecteurs doivent être placés en hauteur, sous la toiture.
- L'enjeu pour la détection est de couvrir suffisamment la zone sous toiture pour qu'un détecteur se retrouve rapidement dans la zone 1%. Pour un objectif de présence d'un détecteur dans la zone 1% après 10 s de rejet, le maillage de détecteurs doit être défini de telle sorte à ce que la distance entre un point sous toiture et un détecteur soit de 15 m au maximum.
- La zone sous toiture, à proximité de l'extraction, est à privilégier pour le placement des détecteurs. En effet, la hauteur de la couche d'hydrogène est plus importante du côté du mur où se situe l'extraction. Par ailleurs cette zone se situe naturellement sur le chemin de l'hydrogène rejeté du fait de la pente de la toiture et de la ventilation mécanique.

La Figure 21 (respectivement la Figure 22) présente un schéma d'implantation qui respecte ces préconisations pour le bâtiment électrolyseurs comprenant 6 unités d'électrolyse (resp. 7 unités).

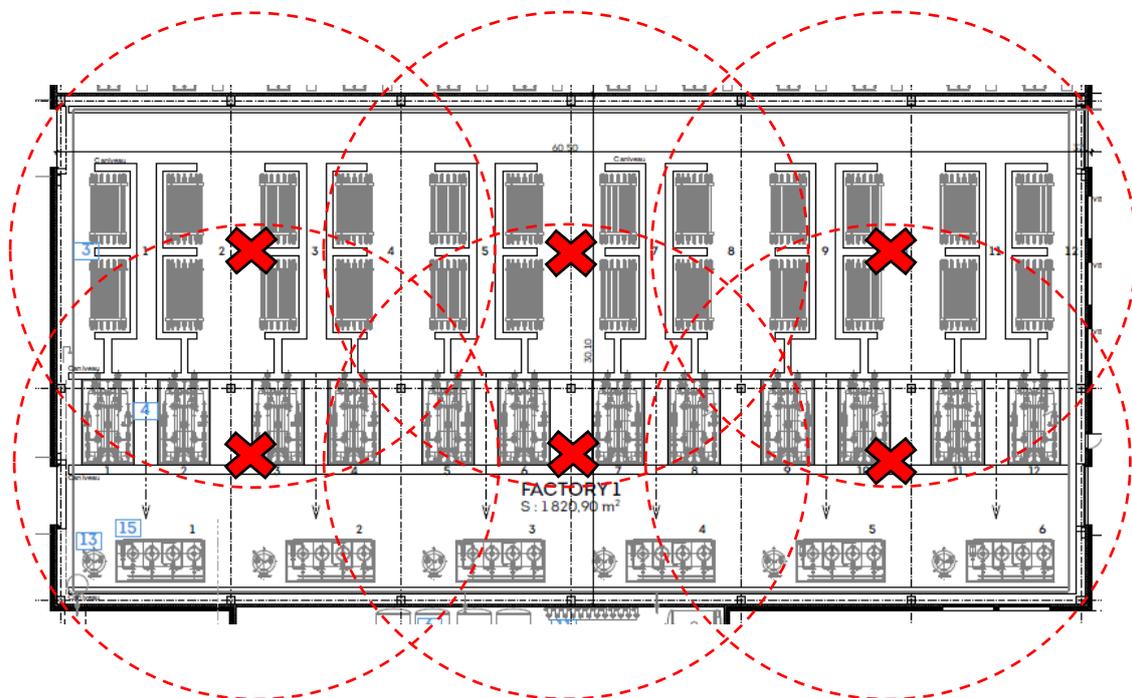


Figure 21 : Bâtiment électrolyseurs 1 - Schéma d'implantation des détecteurs

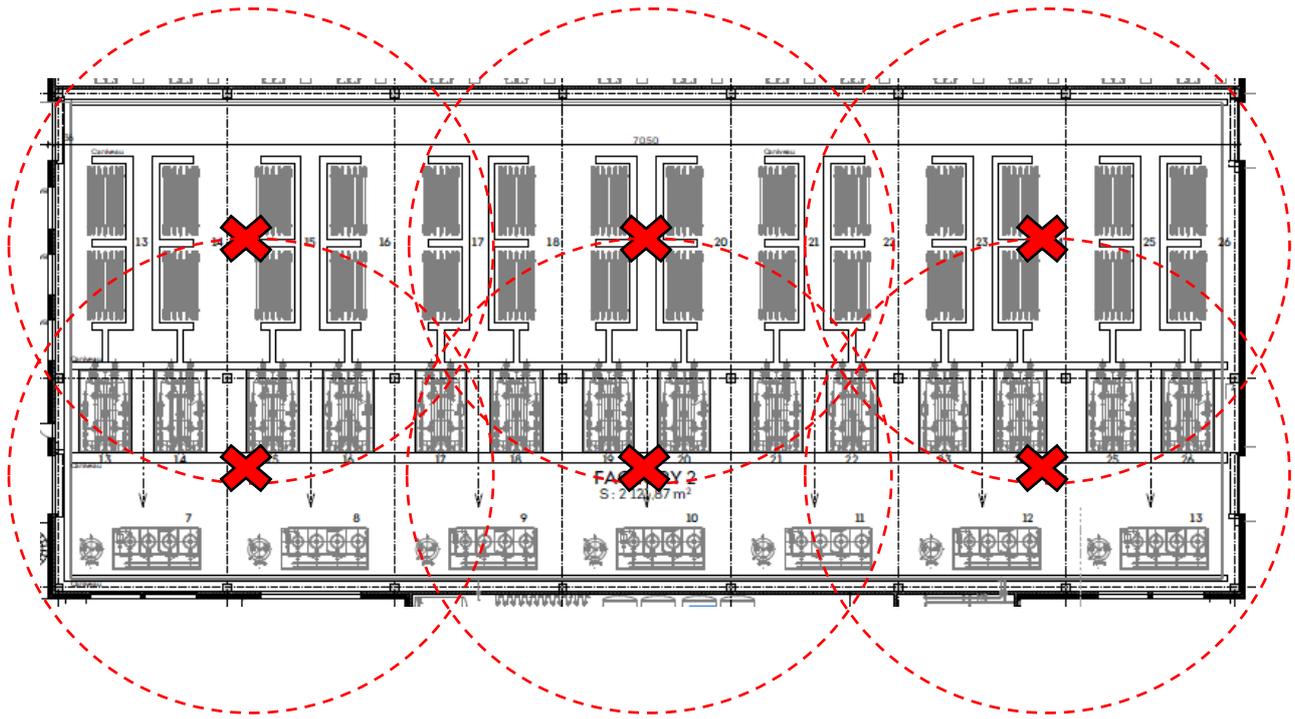


Figure 22 : Bâtiment électrolyseurs 2 - Schéma d'implantation des détecteurs

4 Choix de la technologie de détecteurs

4.1 Etat de l'art des différentes technologies de détection d'hydrogène existantes

L'INERIS a publié un rapport intitulé « Evaluation des performances des équipements de sécurité : Etat de l'art des détecteurs d'hydrogène » et référencé DRA-15-148138-06078A. Dans cette étude, les différentes technologies de détection d'hydrogène existantes sont présentées à travers leurs principes de fonctionnement, leurs principaux avantages et inconvénients. Une analyse comparative est ensuite présentée. Les différentes technologies recensées dans cette étude sont les suivantes :

- catalytique ;
- catharométrique ;
- électrochimique ;
- résistance semi-conductrice :
 - o oxyde métallique semi-conducteur,
 - o résistance métallique ;
- avec fonction de travail :
 - o condensateur,
 - o transistor ;
- optique :
 - o optrode,
 - o fibre de Bragg,
 - o fibre optique avec onde évanescente ;
- acoustique :
 - o microbalance à cristal de quartz,
 - o onde acoustique de surface,
 - o ultrasonique.

Les Tableau 2 et Tableau 3 présentent les principaux résultats de comparaison des critères de conditions ambiantes, de performance et des caractéristiques complémentaires de ces technologies de détection de l'hydrogène. En conclusion de cette étude, les points suivants ressortent.

- « Les technologies les plus représentatives du marché international sont les technologies : catalytiques, catharométriques, électrochimiques et à résistance semi-conductrice. Ce sont des technologies développées depuis des décennies et qui ont fait leurs preuves en tant que détecteur d'hydrogène. »
- « Les technologies avec fonction de travail (MOS, MIS, MOSFET, MISFET) sont très prometteuses en termes de sensibilité, sélectivité, temps de réponse ou durée de vie mais restent encore peu développées par les constructeurs de détecteurs à hydrogène. »
- « Les technologies basées sur des méthodes optiques et acoustiques sont très récentes sur le marché des détecteurs et encore peu commercialisées. Peu d'informations sont disponibles sur les performances de ces détecteurs mais les premières recherches montrent des résultats très probants vis-à-vis de la détection de l'hydrogène. »

		TECHNOLOGIES DE DETECTION DES GAZ												
		Catalytique	Catharométrique	Electrochimique	Résistance semi-conductrice		Avec fonction de travail		Optique			Acoustique		
		Pellistor	Conductivité thermique	Ampermétrie	Oxyde métallique semi-conducteur	Résistance métallique	Condensateur	Transistor	Optrode	Fibre de bragg	Fibre optique avec onde évanescente	Microbalance à cristal de quartz	Onde acoustique de surface	Ultrasonique
CONDITIONS AMBIANTES	Température ambiante (0 à 30 °C)	Peu d'influence	Peu d'influence	Peu d'influence (sauf températures extrêmes)	Forte influence	Forte influence	-	Peu d'influence	Forte influence	-	-	Forte influence	Forte influence	-
	Pression ambiante	Forte influence	Forte influence	Forte influence	-	-	-	Peu d'influence	Forte influence	-	-	-	-	-
	Humidité relative ambiante	Peu d'influence	Forte influence	Peu d'influence	Forte influence	-	-	Peu d'influence	Forte influence	Forte influence	Forte influence	Forte influence	Forte influence	-
	Présence d'oxygène	Obligatoire	Non obligatoire	Obligatoire	Obligatoire	Non obligatoire	-	Non obligatoire	Non obligatoire	-	-	Non obligatoire	Non obligatoire	Non obligatoire
	Empoisonnement	Aux composés de soufre, de phosphore, de silicates, au monoxyde de carbone et aux hydrocarbures	Résistant aux poisons Utilisation possible en présence d'azote	Au monoxyde de carbone, aux hydrocarbures et aux interférents non inflammables Ne peut s'utiliser en présence d'azote et de gaz inertes	Aux composés de silicates Ne peut s'utiliser en présence d'azote et de gaz inertes	Au dioxyde de soufre et à l'hydrogène sulfuré	-	-	Au dioxyde de soufre, à l'hydrogène sulfuré et aux composés organiques volatils et à l'interférence de la lumière ambiante Non affecté par les interférences électromagnétiques	-	-	Très vulnérables à l'ingérence de gaz	-	-
PERFORMANCE	Sensibilité	Moyenne Perte dans le temps	Faible	Bonne	Haute	Haute	Haute	Haute	Bonne	Bonne	Bonne	Très haute	Haute	-
	Sélectivité	Non sélectif	Non sélectif	Modérée	Non sélectif	Sélectif	Très sélectif	Très sélectif	-	Sélectif	-	-	-	-
	Temps de réponse	Rapide	Rapide	Lent	Rapide	Rapide	Lent	Très rapide	Lent	Rapide	Rapide	-	-	Très rapide
	Stabilité	Stable sur le long terme	Stable sur le long terme	-	Peu stable sur le long terme	Stable sur le long terme	Dérive possible, hystérésis	Dérive possible, hystérésis	Stable sur le long terme	Pas d'hystérésis (du au temps de réponse)	-	Dérive possible	Stable sur le long terme	Stable sur le long terme
	Précision	Large plage de détection	Large plage de détection Détection de très hautes concentrations, imprécision aux limites de détection (LIE, LSE)	Détection de faibles concentrations Plage de température restreinte à cause de l'électrolyte liquide mais fonctionnement possible à température élevée	Large plage de détection Détection de très faibles concentrations	Large plage de détection	-	Mesures précises Saturation à de modestes concentrations	Large plage de détection	Détection de faibles concentrations	Besoin d'azote et d'air pour évacuer le gaz	Détection à température ambiante	Détection à température ambiante Imprécis à hautes températures	Très large plage de détection

Tableau 2 : Matrice de comparaison des critères de conditions ambiantes et de performance des technologies de détection de l'hydrogène (cf. rapport référencé DRA-15-148138-06078A)

		TECHNOLOGIES DE DETECTION DES GAZ												
		Catalytique	Catharométrique	Electrochimique	Résistance semi-conductrice		Avec fonction de travail		Optique			Acoustique		
		Pellistor	Conductivité thermique	Ampérométrie	Oxyde métallique semi-conducteur	Résistance métallique	Condensateur	Transistor	Optrode	Fibre de bragg	Fibre optique avec onde évanescente	Microbalance à cristal de quartz	Onde acoustique de surface	Ultrasonique
CARACTÉRISTIQUES COMPLÉMENTAIRES	Durée de vie	Longue	Longue	Courte, vieillissement rapide	Moyenne, vieillissement rapide	Très longue	Très longue	Très longue	Moyenne	-	-	-	-	Longue
	Chauffage nécessaire	Oui (hautes températures)	Oui	Non	Oui	-	Possible	Possible	Non	-	Oui (hautes températures)	Possible	Non	-
	Consommation d'énergie	++	-	-	+									-
	Coût	++	-	-	++	++	-	-	-					-
	Miniaturisation	Développée sur le marché	Possible	Développée sur le marché	Possible	En cours de développement	-	-	-	En cours de développement	En cours de développement	-	-	-
	Niveau de développement	Commercialisation importante	Commercialisation importante	Commercialisation importante	Commercialisation importante	En cours de développement	-	-	Commercialisation moyenne	Commercialisation moyenne	En cours de développement	En cours de développement	En cours de développement	En cours de développement

Tableau 3 : Matrice de comparaison des caractéristiques complémentaires des technologies de détection de l'hydrogène (cf. rapport référencé DRA-15-148138-06078A)

4.2 Recommandations

Sur la base des résultats de l'état de l'art des technologies de détecteurs présenté précédemment, et tenant compte des spécificités des sites étudiés, il est possible de faire certaines recommandations.

- Il est tout d'abord conseillé d'utiliser des technologies éprouvées. Celles-ci sont les technologies catalytiques, catharométriques, électrochimiques et à résistance semi-conductrice.
- Les détecteurs doivent être capables de mesurer une plage de concentration de 25% de la LIE à la LIE ce qui exclue a priori les détecteurs de technologie catharométrique.
- Les résultats de modélisation ont montré la nécessité pour les détecteurs d'avoir un temps de réponse rapide ce qui exclue les détecteurs de technologie électrochimique.
- Les conditions ambiantes ont une forte influence sur les détecteurs de technologie à résistance semi-conductrice qui sont par ailleurs peu stable sur le long terme.
- Finalement, la technologie restante répondant aux critères fixés est celle du détecteur catalytique.

Le rapport sur l'état de l'art des détecteurs d'hydrogène présente des informations générales sur les différentes technologies existantes. Pour une même technologie, chaque détecteur est différent. Le raisonnement utilisé pour déterminer le choix de technologie ne saurait donc être prescriptif. Quelle que soit la technologie de détecteurs choisie l'exploitant devra s'assurer que les détecteurs remplissent bien leur fonction de sécurité.

5 Implantation des extincteurs

L'étude d'implantation des extincteurs est réalisée pour les bâtiments électrolyseur et compresseur sur la base du référentiel APSAD R4 2016 relatif aux règles d'implantation des extincteurs portatifs et mobiles.

Détermination des risques

L'hypothèse est faite qu'aucune matière combustible n'est présente à l'exception de celle composant les appareils présents. La prévention du risque incendie passe en effet par l'élimination de tous les combustibles non nécessaires au process dès la conception des installations. Les risques d'incendie dans les bâtiments électrolyseur et compresseur sont donc liés aux éléments suivants :

- installations électriques ;
- hydrogène ;
- composants combustibles des appareils présents ;
- compresseur.

Choix du type d'extincteur

Les combustibles présents sont donc de classe A (solides), B (liquides et solides liquéfiables) et C (gaz). L'extinction incendie d'hydrogène passe tout d'abord par l'arrêt de l'alimentation en hydrogène. L'eau peut être utilisée pour refroidir les équipements adjacents à un incendie pour prévenir la propagation de la flamme. Il est déconseillé d'utiliser un extincteur CO₂ car les particules de CO₂ glacé peuvent être source d'ignition du fait de la formation d'électricité statique. Finalement, pour couvrir l'ensemble des risques, il est conseillé d'utiliser des extincteurs à poudre de classe de feu ABC.

Détermination du nombre d'extincteurs

En application du référentiel APSAD R4 2016 il convient d'installer dans le cadre de la protection générale 1 extincteur 9 kg de poudre ABC par unité de base par 200 m² de surface. Le Tableau 4 présente le nombre d'extincteurs recommandés dans les zones étudiées. L'INERIS ne recommande pas d'extincteurs supplémentaires.

Zone	Surface [m ²]	Nombre d'extincteurs
Bâtiment électrolyseur 1	1820	10
Bâtiment électrolyseur 2	2121	11
Bâtiment compresseur 1	212	2
Bâtiment compresseur 2	212	2
Bâtiment compresseur mobilité	122	2 ³

Tableau 4 : Nombre d'extincteurs par zone

Pour les bâtiments électrolyseur les extincteurs peuvent être régulièrement répartis sur les murs latéraux dans le sens de la longueur comme présenté sur les Figure 23 et Figure 24. Il a été choisi de positionner 12 détecteurs au lieu de 11 dans le bâtiment électrolyseur 2 afin d'assurer une symétrie.

³ Cas particulier d'un local de surface inférieure à 200 m²

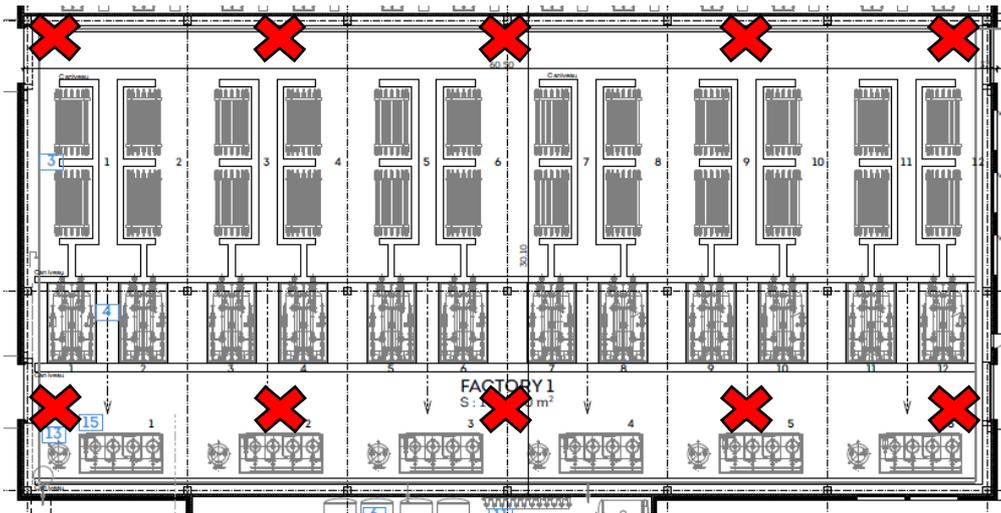


Figure 23 : Proposition d'implantation des détecteurs – Bâtiment électrolyseur 1

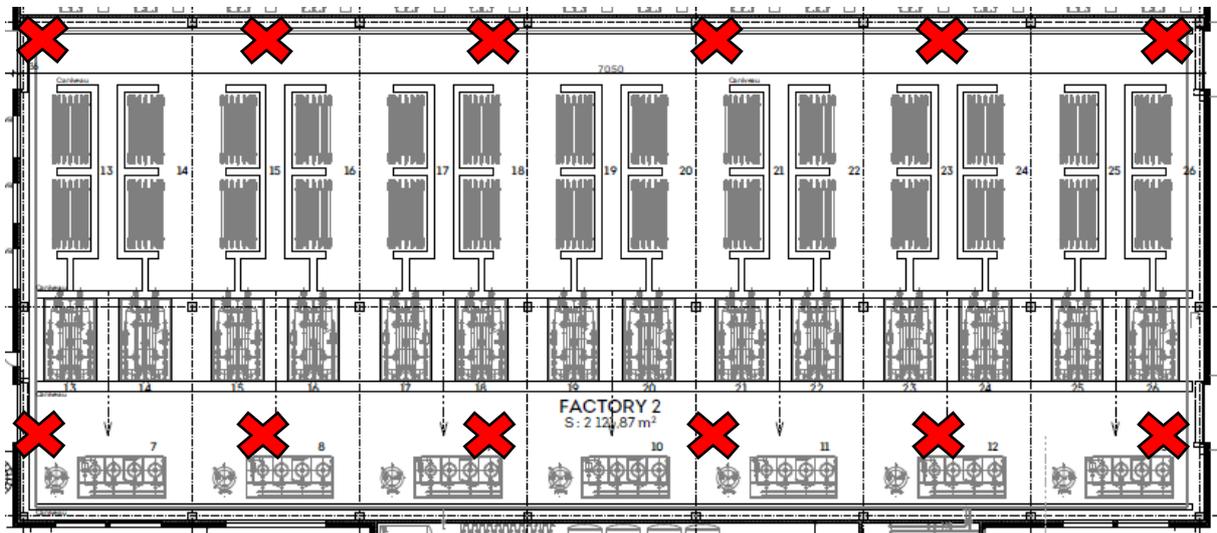


Figure 24 : Proposition d'implantation des détecteurs – Bâtiment électrolyseur 2

6 Conclusions

L'étude d'implantation des détecteurs d'hydrogène s'est focalisée sur les zones confinées dans lesquelles l'hydrogène est présent :

1. le bâtiment compresseur ;
2. les bâtiments électrolyseurs.

L'objectif de détection est d'éviter l'accumulation et la formation d'un volume inflammable sur tout ou partie d'un bâtiment. Les modélisations réalisées ont permis de déterminer le mode et la cinétique de remplissage des bâtiments en cas de fuite. A partir de ces éléments, un nombre et un maillage de détecteurs sont proposés. Les limites de l'action de la barrière de détection dépendent de la stratégie d'action et du temps nécessaire pour l'arrêt de la fuite. Des éléments de quantification sont présentés.

En se basant sur une étude réalisée par l'INERIS sur l'état de l'art des différentes technologies de détection d'hydrogène existantes, l'INERIS recommande d'utiliser des détecteurs de technologie catalytique. Cette technologie est éprouvée et répond au besoin pour ce qui concerne la gamme de mesure et le temps de réponse.

Une étude d'implantation des extincteurs est réalisée pour les bâtiments électrolyseur et compresseur. Cette étude est réalisée sur la base du référentiel APSAD R4 relatif aux règles d'implantation des extincteurs portatifs et mobiles. Après analyse du risque incendie, l'INERIS a ainsi déterminé le nombre, le type et la répartition des extincteurs.

ANNEXE EDD.6

**CALCUL DES BESOINS EN EAU
D'EXTINCTION**

DIMENSIONNEMENT DES RETENTIONS EN EAU D'EXTINCTION

d'après le document technique D9A de l'INESC-FFSA-CNPP édition 08.2004.0 de août 2004

AFFAIRE: H2V Normandy - St Jean de Folleville

Besoins pour la lutte extérieure		Résultat document D9 : (Besoins x 2 heures)	120
Moyens de lutte intérieure contre l'incendie	Sprinkleurs	Volume réserve intégrale de la source principale ou (besoins x durée théorique maxi de fonctionnement)	0
	Rideau d'eau	Besoins x 90 mn	0
	RIA	A négliger	0
	Mousse HF et MF	Débit de solution moussante x temps de noyage (en gal. 15-25 mn)	0
	Brouillard d'eau et autres systèmes	Débit x temps de fonctionnement requis	0
Volumes d'eau liés aux intempéries		10 l/m ² de surface de drainage	70,3671
Présence de stock de liquides		20% du volume contenu dans le local contenant le plus grand volume	0
Volume total de liquides à mettre en rétention			190 m ³

DIMENSIONNEMENT DES RETENTIONS EN EAU D'EXTINCTION

d'après le document technique D9A de l'INESC-FFSA-CNPP édition 08.2004.0 de août 2004

AFFAIRE: H2V Normandy - St Jean de Folleville

Besoins pour la lutte extérieure		Résultat document D9 : (Besoins x 2 heures)	240
Moyens de lutte intérieure contre l'incendie	Sprinkleurs	Volume réserve intégrale de la source principale ou (besoins x durée théorique maxi de fonctionnement)	0
	Rideau d'eau	Besoins x 90 mn	0
	RIA	A négliger	0
	Mousse HF et MF	Débit de solution moussante x temps de noyage (en gal. 15-25 mn)	0
	Brouillard d'eau et autres systèmes	Débit x temps de fonctionnement requis	0
Volumes d'eau liés aux intempéries		10 l/m ² de surface de drainage	207,5758
Présence de stock de liquides		20% du volume contenu dans le local contenant le plus grand volume	92,04
Volume total de liquides à mettre en rétention			540 m ³

DIMENSIONNEMENT DES RETENTIONS EN EAU D'EXTINCTION

d'après le document technique D9A de l'INESC-FFSA-CNPP édition 08.2004.0 de août 2004

AFFAIRE: H2V Normandy - St Jean de Folleville

Besoins pour la lutte extérieure		Résultat document D9 : (Besoins x 2 heures)	240
Moyens de lutte intérieure contre l'incendie	Sprinkleurs	Volume réserve intégrale de la source principale ou (besoins x durée théorique maxi de fonctionnement)	0
	Rideau d'eau	Besoins x 90 mn	0
	RIA	A négliger	0
	Mousse HF et MF	Débit de solution moussante x temps de noyage (en gal. 15-25 mn)	0
	Brouillard d'eau et autres systèmes	Débit x temps de fonctionnement requis	0
Volumes d'eau liés aux intempéries		10 l/m ² de surface de drainage	160,6117
Présence de stock de liquides		20% du volume contenu dans le local contenant le plus grand volume	92,04
Volume total de liquides à mettre en rétention			493 m ³

ANNEXE EDD.7

**NOTE TECHNIQUE GROUPE DIESEL DE
SECOURS**



Note Technique
Groupe diesel de secours

Project

100MW GREEN HYDROGEN PLANT

Sheet

1 / 8

Issue

01



NOTE TECHNIQUE
Groupe diesel de secours

3					
2					
1	Issued for information	LS	JR	JML	02/11/2020
Issue	Description	Prepared	Checked	Approved	Date

CONTENTS



Note Technique
Groupe diesel de secours

Project

100MW GREEN HYDROGEN PLANT

Sheet

2 / 8

Issue

01

1.	INTRODUCTION	2
2.	REFERENCES.....	2
3.	PRINCIPE ARCHITECTURE RESEAU ELECTRIQUE	3
4.	SOLUTION GROUPE DIESEL.....	4
5.	SECURITE GOUPE DIESEL.....	7

1. INTRODUCTION

L'objet de ce document est de présenter la solution technique concernant le groupe de secours pour le site de production d'hydrogène de H2V INDUSTRY

2. REFERENCES

[1] :



Note Technique Groupe diesel de secours

Project

100MW GREEN HYDROGEN PLANT

Sheet

3 / 8

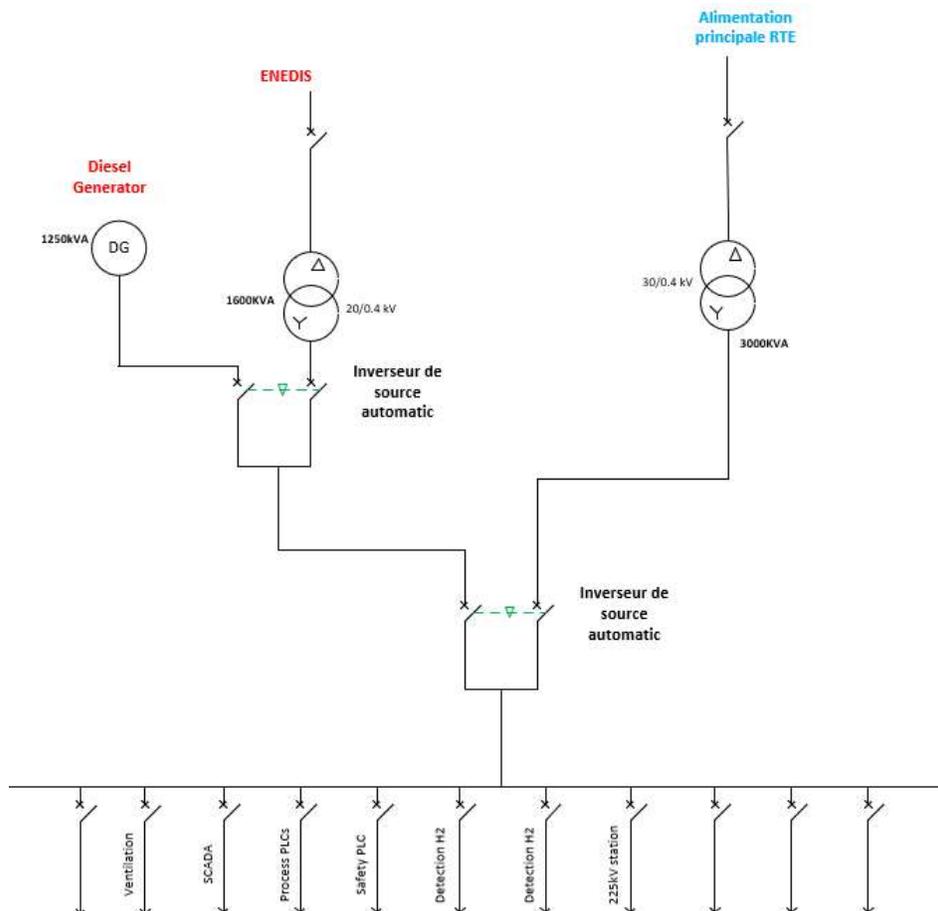
Issue

01

3. PRINCIPE ARCHITECTURE RESEAU ELECTRIQUE

Le schéma ci-dessous représente le principe de raccordement pour le réseau électrique du bâtiment process (procédé).

La connexion électrique principale pour alimenter le procédé d'électrolyse sera faite depuis le réseau 225kV de RTE. En cas de perte d'alimentation depuis ce réseau principal, le procédé sera automatiquement arrêté (les électrolyseurs et les équipements de production ne seront plus alimentés) Les équipements essentiels à la sécurité des biens et des personnes uniquement seront alimentés par une alimentation électrique de secours.



H2V a prévu deux alimentations secourues pour chaque bâtiment de production :

- Une connexion depuis le réseau de distribution ENEDIS
- Une connexion depuis un groupe diesel dédié

La priorité est de basculer d'abord sur le réseau ENEDIS. Un contrat spécifique de « back-up garanti » sera mis en place avec le fournisseur. Ceci implique que le réseau ENEDIS restera opérationnel et pourra fournir la puissance nécessaire aux équipements de sécurité en cas de perte du réseau principal d'alimentation.

Pour réaliser les basculements d'un réseau à l'autre des inverseurs de source spécifiques seront utilisés.



Note Technique Groupe diesel de secours

Project

100MW GREEN HYDROGEN PLANT

Sheet

4 / 8

Issue

01

Dans le cas très improbable d'une perte du réseau principal et de perte du secours garanti de ENEDIS, le procédé sera mis en sécurité en utilisant le groupe diesel comme alimentation électrique de second secours

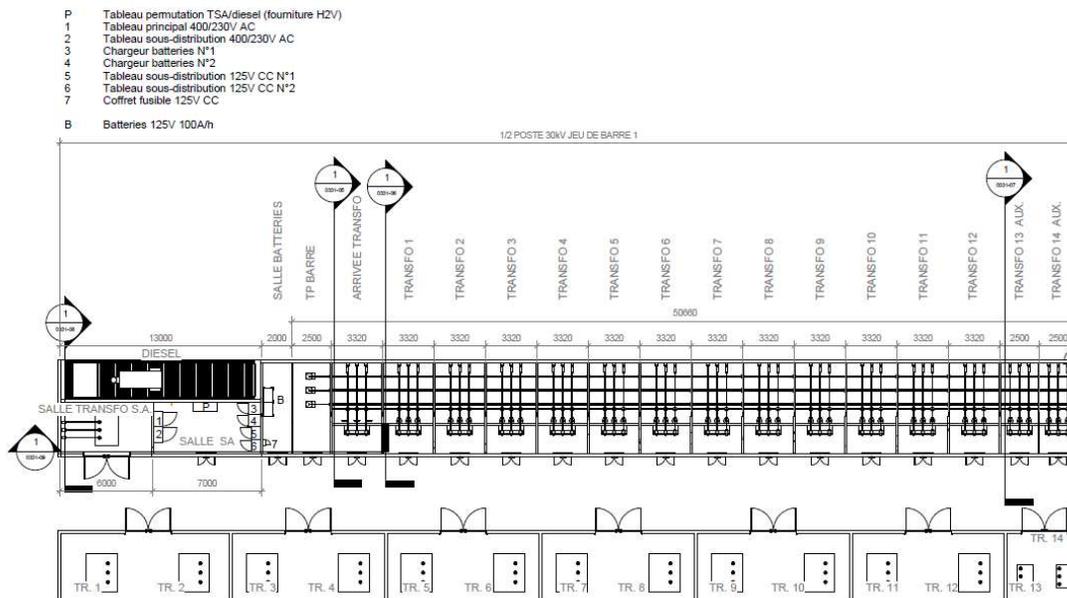
La mise en sécurité du procédé implique l'arrêt immédiat de la production d'hydrogène, l'envoi à la torchère pour tout le gaz présent dans l'usine et dans les compresseurs et un inertage complet de l'installation. La durée totale est estimée à 40min environ.

Le groupe diesel sera donc dimensionné pour alimenter tous les équipements nécessaires à la mise en sécurité de l'usine (ventilation forcée inclus) pour une durée maximale de 1h30. Par la suite seulement la partie automatisme avec l'instrumentation restera alimentée pendant un minimum de 24h.

4. SOLUTION GROUPE DIESEL

Concernant le groupe diesel H2V a choisi une solution « No-brake » ou « ASI (Alimentation Sans Interruption) ». Ceci implique qu'en cas de perte réseau, le groupe va pouvoir alimenter immédiatement les équipements essentiels.

Le groupe diesel sera installé dans un conteneur dédié, installé au niveau du bâtiment de distribution 30kV.



Pour cela le groupe aura dans son architecture :

- Un groupe diesel classique
- Une électronique de puissance incluant un volant inertiel



Note Technique Groupe diesel de secours

Project

100MW GREEN HYDROGEN PLANT

Sheet

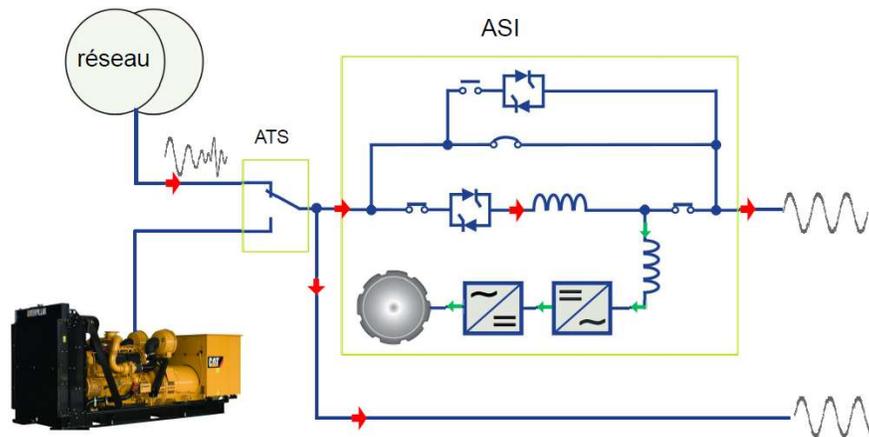
5 / 8

Issue

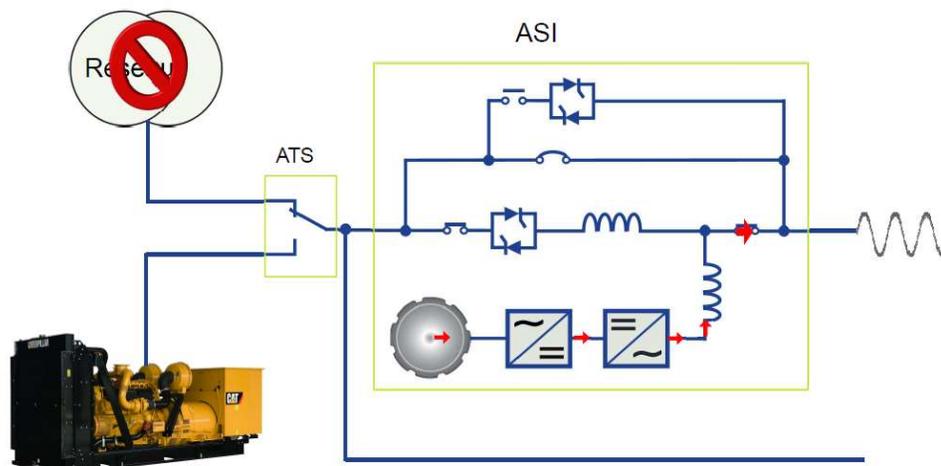
01

Le volant inertiel aura le rôle de palier le manque de puissance pendant le démarrage de groupe et sa montée en régime.

Un schéma de principe est présenté ci-dessous :



En cas de perte réseau, la partie ASI contenant l'électronique de puissance va immédiatement utiliser l'énergie venant du volant inertiel.



Le groupe sera mis en route en même temps et l'inverseur de source (ATS = Automatic Transfer Switch) sera piloté pour connecter le groupe diesel.

Une alimentation mixte sera réalisée pendant la montée en régime du groupe diesel. En fonction de la puissance demandée par les systèmes électriques maintenus en service, l'électronique de puissance va gérer le transfert de charge progressive entre le volant inertiel et le groupe diesel. La durée totale entre la perte réseau jusqu'à la fourniture intégrale de l'énergie depuis le groupe diesel est d'environ 12 secondes, période pendant laquelle l'alimentation électrique est assurée par le volant inertiel.



Note Technique Groupe diesel de secours

Project

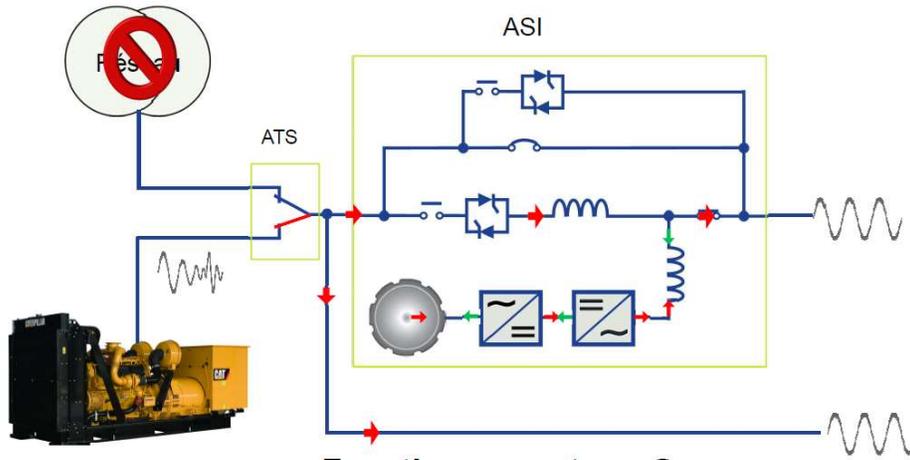
100MW GREEN HYDROGEN PLANT

Sheet

6 / 8

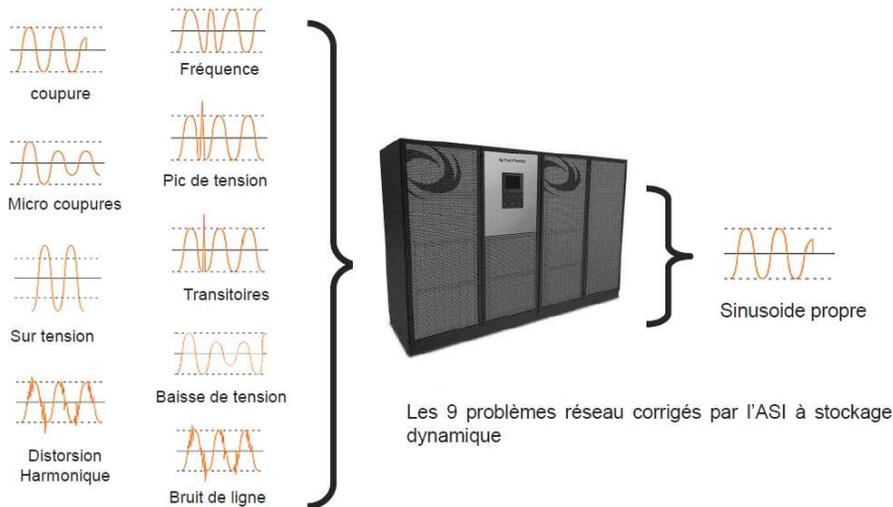
Issue

01



Une fois le groupe diesel a pleine puissance, une partie de son énergie sera utilisée pour recharger le volant inertiel.

Les avantages du système ASI par rapport aux problèmes potentiels sur le réseau électrique sont présentés ci-dessous :



Tous les équipements liés à la sécurité de l'usine seront alimentés via le système ASI : détection hydrogène, détection feu, ventilation mécanique, automatisme de contrôle et de sécurité, instrumentations, système SCADA, etc.



Note Technique Groupe diesel de secours

Project

100MW GREEN HYDROGEN PLANT

Sheet

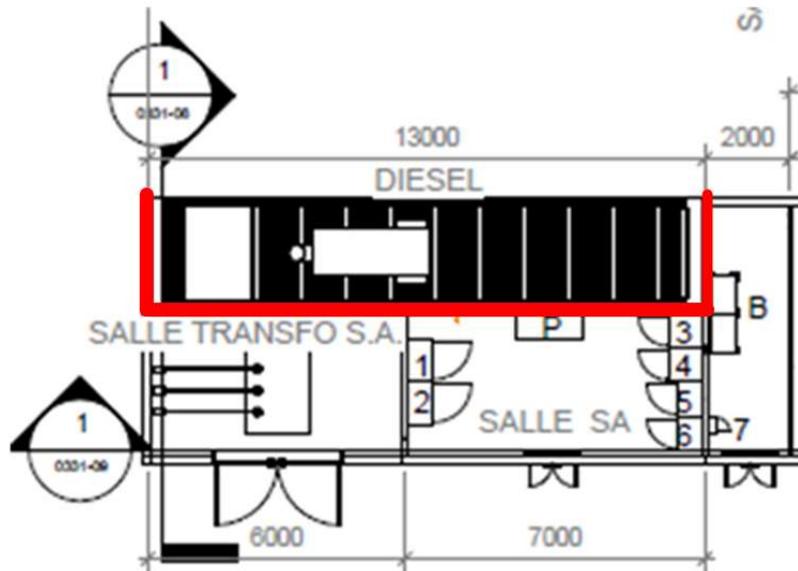
7 / 8

Issue

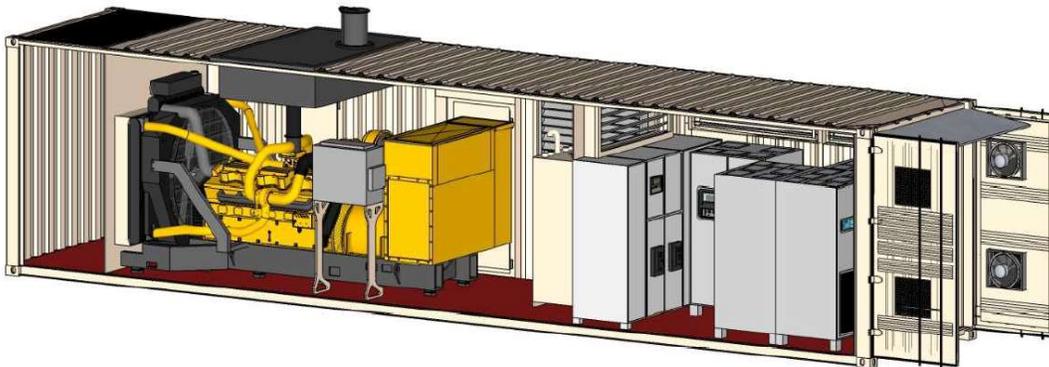
01

5. SECURITE GOUPE DIESEL

Une loge spécifique sera prévue pour l'installation du groupe diesel. Le conteneur sera entouré par 3 murs coupe-feu REI120 pour éviter les éventuels effets dominos. De ce fait, le conteneur en lui-même ne sera pas coupe-feu.



A l'intérieur du conteneur une séparation physique sera installée entre le groupe diesel en lui-même et l'électronique de puissance (ASI).



Une détection incendie sera installée à l'intérieur pour informer les opérateurs d'un éventuel départ de feu (un capteur coté groupe et un capteur coté électronique de puissance). Une solution d'auto extinction (au gaz de type CO2) sera aussi installée dans chaque partie et sera déclenché dès que la détection incendie est activée

Le réservoir du groupe diesel sera en simple paroi et sera installé à l'intérieur du conteneur, près du moteur. Un bac de rétention est installé en dessous du réservoir et sera capable de récupérer la totalité du réservoir en cas de fuite. Un capteur de détection de fuite sera aussi installé dans le bac de rétention pour informer les opérateurs d'une éventuelle fuite.

	Note Technique Groupe diesel de secours					
	Project	100MW GREEN HYDROGEN PLANT	Sheet	8 / 8	Issue	01

Tenant compte que le groupe diesel est considéré comme un équipement de sécurité, un démarrage avec validation de fonctionnement sera réalisé au moins une fois par mois.

Une maintenance régulière sera assurée en suivant les recommandations du constructeur.

L'association d'une ASI avec un groupe diesel multiplie par 10 la fiabilité de démarrage et absorbe les impacts des charges appliquées sur le groupe diesel habituellement.

Le groupe sera aussi certifié NFS 61940 – NFE 37 312. Ceci implique qu'un contrôleur dédié sera installé pour gérer la mise en service du groupe lors d'une perte réseau et pour assurer son bon fonctionnement. Un deuxième contrôleur (pour la redondance) sera installé pour assurer l'inhibition des protections en cas de défaillance du contrôleur principal.

ANNEXE EDD.8

**NOTE TECHNIQUE FIABILITE DE LA CHAINE
DE DETECTION H₂**



Note Technique
Fiabilité de la chaine de detection H2

Project ZI PORT JEROME GREEN HYDROGEN PLANT

Sheet 1 / 6 Issue 01



SITE DE PRODUCTION D'HYDROGENE VERT
ZI PORT JEROME

NOTE TECHNIQUE
Fiabilité de la chaine de détection H2

3					
2					
1	Issued for information	LS	JR	JML	25/09/2020
Issue	Description	Prepared	Checked	Approved	Date

	Note Technique Fiabilité de la chaine de detection H2				
	Project	ZI PORT JEROME GREEN HYDROGEN PLANT	Sheet	2 / 6	Issue

CONTENTS

1.	INTRODUCTION	2
2.	REFERENCES.....	2
3.	JUSTIFICATION.....	3
3.1	RAPPEL DE LA DEMANDE	3
3.2	PRINCIPE GENERAL.....	3
3.3	ARCHITECTURE	3
3.4	PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	5

1. INTRODUCTION

L'objet de ce document est de répondre à l'une des demandes de clarification de la DREAL Normandie, spécifiquement de l'unité départementale du Havre en charge du suivi du dossier de demande d'autorisation environnementale reçue en date du 31 juillet 2020.

2. REFERENCES

[1] : Demande de compléments DREAL du 31 juillet 2020

[2] : Rapport INERIS - Etude d'implantation des détecteurs v1

	Note Technique				
	Fiabilité de la chaîne de détection H2				
	Project	ZI PORT JEROME GREEN HYDROGEN PLANT	Sheet	3 / 6	Issue

3. JUSTIFICATION

3.1 RAPPEL DE LA DEMANDE

« La circulaire du 10 mai 2010 précise que « le fait de tenir compte des mesures de maîtrise des risques ne signifie pas que leur fonctionnement est systématique. Il convient de tenir compte également de leur possibilité de défaillance, avec la probabilité associée, et du phénomène (moins bien maîtrisé) qui peut en découler (et de l'accident correspondant). Par exemple, défaillance de l'ensemble détection + traitement de l'information + fermeture automatique d'une vanne, menant à une dispersion de produit plus importante que si cette mesure avait fonctionné. Dans ce cas, deux phénomènes sont à examiner : la dispersion maîtrisée, avec la probabilité associée à la fuite, et la dispersion non maîtrisée, avec une probabilité plus faible, tenant compte de la probabilité de défaillance du système de détection-fermeture. »

3.2 PRINCIPE GENERAL

Le système de détection d'hydrogène est par définition l'organe de sécurité le plus important et son rôle principal est d'assurer à la fois la sécurité du personnel intervenant dans les bâtiments procès mais aussi l'intégrité des bâtiments procès.

Le système de détection sera connecté directement au Système de Sécurité. En cas de détection de fuite à l'intérieur des bâtiments, le Système de Sécurité va automatiquement enclencher un arrêt de la production avec un envoi à la torche de tout l'hydrogène présent dans l'installation.

3.3 ARCHITECTURE

A ce stade aucune étude détaillée n'a été menée pour définir exactement l'architecture et les composants. Ceci sera fait courant 2021.

INERIS a fait une première étude [2] concernant les éventuelles fuites d'hydrogène. Suite à cette étude une proposition d'emplacement des capteurs a été faite :

- 2 capteurs pour chaque salle compression
- 6 capteurs pour chaque salle procès.

Les emplacements des capteurs déterminés par l'INERIS permettent une détection optimale quel que soit l'emplacement de la fuite.

Le principe retenu par H2V est d'avoir un maximum de redondance pour assurer la fiabilité du système de détection.

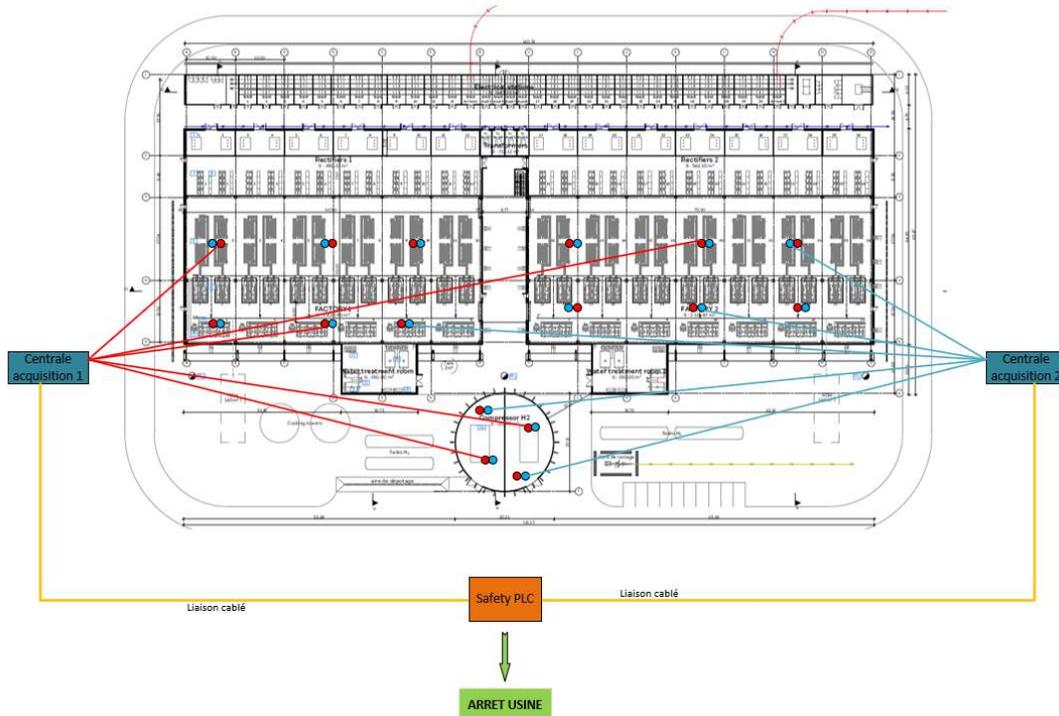
Un schème de principe est donné ci-dessous.



Note Technique Fiabilité de la chaîne de détection H2

Project ZI PORT JEROME GREEN HYDROGEN PLANT

Sheet 4 / 6 Issue 01



Ces capteurs seront reliés à deux centrales d'acquisition différentes : tous les capteurs représentés en rouge seront connectés à la centrale 1 et tous les capteurs représentés en bleu seront connectés à la centrale 2. Au total 32 capteurs seront installés.

Une troisième centrale d'acquisition va regrouper tous les capteurs installés pour détecter les éventuelles fuites à l'extérieur (sur le réseau 30 bars entre le bâtiment de production et le local compresseur et sur le réseau 100 bars non-enterré incluant le poste de comptage). Les capteurs seront installés principalement au niveau de brides et/ou vannes, qui représente la principale source pour une éventuelle fuite.

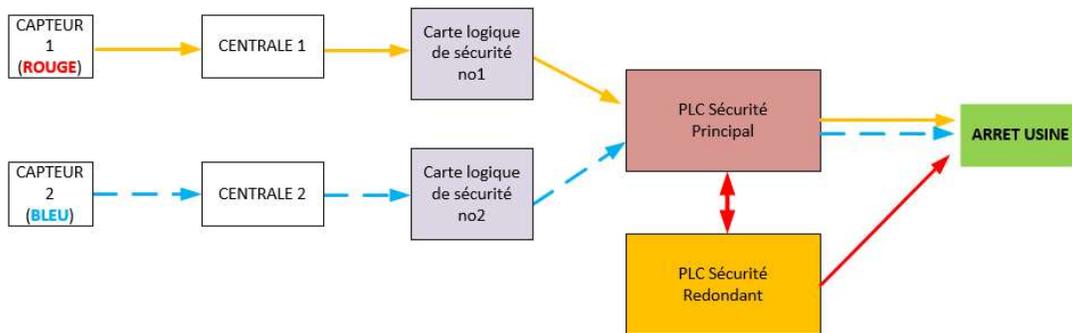
A ce stade une localisation précise de ces capteurs ne peut pas être donnée, les études de détail n'étant pas finalisées.

Les trois centrales d'acquisition seront reliées au Système de Sécurité. Une détection de fuite H2 (à l'intérieur ou à l'extérieur) enclenche un arrêt immédiat de la production, isolation de la zone de fuite par pilotage des vannes, suivi par une mise en sécurité de l'usine (envoi de l'hydrogène existant dans l'unité de production à la torchère pour être brûlé).

	Note Technique Fiabilité de la chaîne de détection H2					
	Project	ZI PORT JEROME GREEN HYDROGEN PLANT	Sheet	5 / 6	Issue	01

3.4 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La chaîne de détection pour deux capteurs redondants (par exemple pour le local compresseur) peut être représentée d'une manière simplifiée comme suit :



Cette architecture sera soumise à un critère de fiabilité minimum SIL2. Chaque capteur sera doté d'une autosurveillance ou sera configuré avec une « logique positive » (choix final en fonction de la solution retenue lors des études de détail). Chaque centrale d'acquisition surveille ses capteurs. De la même manière le Système de Sécurité surveille les centrales d'acquisition.

Si les deux capteurs déclenchent suite à une présence d'hydrogène, l'information est transmise vers les centrales d'acquisition, après vers l'automate de sécurité principal qui enclenche un arrêt d'urgence de l'installation.

Si un des deux capteurs est défaillant (message qui remonte depuis sa centrale d'acquisition) et en même temps le deuxième capteur confirme la présence d'hydrogène, alors un arrêt d'urgence sera réalisé par le Système de Sécurité.

Si un capteur est défaillant (message qui remonte depuis sa centrale d'acquisition) mais le deuxième capteur ne confirme pas une présence d'hydrogène, le Système de Sécurité ne déclenche pas un arrêt d'urgence de l'installation. Un message sera envoyé vers les opérateurs via le système SCADA et une action corrective pour changer le capteur défaillant sera réalisé au plus vite.

Un deuxième contrôleur de sécurité sera installé pour la redondance. Son rôle principal sera de surveiller et vérifier le bon fonctionnement du contrôleur principal de sécurité. Ceci va se faire via un échange d'information **toutes les 2ms** entre les deux contrôleurs. En cas de non-fonctionnement du contrôleur principal (ou dépassement de cette limite de 2ms pour la communication), le contrôleur redondant enclenche directement un arrêt d'urgence de l'installation, sans validation préalable d'une fuite d'hydrogène.

Si une perte de communication est détectée depuis un capteur à travers la centrale d'acquisition, le Système de Sécurité enclenche automatiquement un arrêt de la production.

Les causes probables pour une perte de communication sont les suivantes :

- Cable endommagé
- Capteur avec une défaillance interne
- Centrale d'acquisition avec une défaillance interne
- Perte d'alimentation électrique (du capteur ou de la centrale)

Pour diminuer au maximum les éventuelles défaillances internes qui peuvent apparaître en fonctionnement une vérification de la chaîne de sécurité sera faite par un organisme externe tous les 6 mois. Ceci permettra aussi de voir un éventuel endommagement des câbles.



Note Technique

Fiabilité de la chaîne de détection H2

Project ZI PORT JEROME GREEN HYDROGEN PLANT

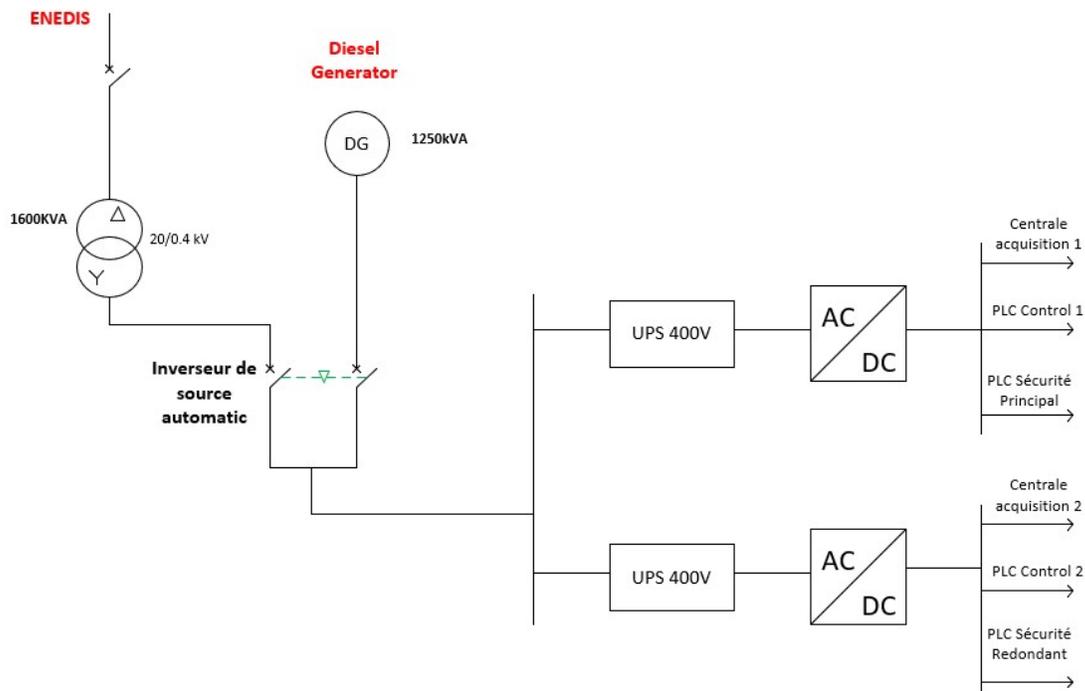
Sheet 6 / 6 Issue 01

Concernant l'alimentation électrique, toute la chaîne de sécurité sera connectée sur un réseau électrique secouru. H2V a prévu deux alimentations secourues pour chaque usine :

- Une connexion depuis le réseau de distribution ENEDIS
- Une connexion depuis un groupe diesel

Pour assurer le bon comportement du réseau électrique, des modules UPS (Uninterruptible Power Supply) dotés d'une batterie seront intégrés sur le réseau 400V. Leur rôle principal sera d'éviter les éventuelles surtensions ou sous-tensions qui peuvent apparaître en fonctionnement et qui peuvent perturber le comportement de la chaîne de sécurité (des déclenchements intempestifs en opération).

Un schéma de principe est donné ci-dessous :



Une séparation physique de l'alimentation électrique sera aussi implémentée entre les deux centrales d'acquisition et aussi entre les automates de sécurité. De cette manière un éventuel défaut sur le réseau électrique n'entraînera pas la perte totale de l'alimentation électrique pour le système de détection H2.

Conclusion : Tenant compte du fait que les capteurs sont dédoublés, que chaque capteur sera prévu avec une autosurveillance ou une logique positive, que la chaîne de détection dans sa totalité sera minimum SIL2, que deux contrôles techniques seront effectués chaque année par un organisme spécialisé extérieur, qu'une séparation de l'alimentation électrique est implémentée et que cette alimentation sera secourue, la probabilité de défaillance de la chaîne de détection est estimée inférieure à 10^{-5} .

Cette valeur sera confirmée lors des études de détail.

ANNEXE EDD.9

**NOTE DE CALCUL FIABILITE DES
EXTRACTEURS**



Note de Calcul

Fiabilité des extracteurs

Système de ventilation des salles ATEX, contenant potentiellement des nuages H₂.

Fait à Paris, Mis à jour le 15 Décembre 2020, JR, RevB

DESCRIPTION GENERALE

Dans les locaux où de l'hydrogène est produit, traité ou comprimé, de la ventilation mécanique est installée.

Le choix a été fait d'installer une ventilation mécanique, plutôt que de garantir une ventilation passive, puisqu'il n'est pas possible de garantir un débit de ventilation passive.

Nous avons plusieurs salles où ces ventilateurs sont installés :

- Salle A : salle de production et de traitement d'hydrogène, demi usine A
- Salle B : Salle de production et de traitement d'hydrogène, demi-usine B
- Salle C : salle de compression de l'hydrogène de 30 à 100 Barg
- Salle Cbis : salle de compression, identique à la salle C

Ces salles ont chacune un volume différent.

Le débit de ventilation que nous souhaitons, après analyse des risques est de 10 Vol/h. Notons que la norme de sécurité NFPA2 (code de l'hydrogène), indique un débit de ventilation requis équivalent à 6 vol/h.

Pour s'assurer d'un niveau de fiabilité et de redondance suffisant des équipements, nous avons souhaité que la capacité de ventilation soit de 12 vol/ heure, ce qui demande des extracteurs supplémentaires.

La capacité des ventilateurs considérés est de 20 000 m³/h.

D'autre part, tous les ventilateurs/extracteurs seront secourus électriquement.

Enfin en cas de détection confirmée de fuite d'hydrogène, tous les ventilateurs disponibles seront mis en route.

Cette note permet de mettre en lumière les disponibilités réelles du système.

CALCUL DE FIABILITE

Taux de Disponibilité moyen pour l'alimentation électrique standard : 98.5% OREDA 2002

Taux de Disponibilité moyen pour l'alimentation électrique secourue : 97.2% OREDA 2002

Taux de Disponibilité moyen d'un moteur électrique : 99.78%

OREDA 2002

Le taux de disponibilité d'un extracteur est envisagé comme le taux de disponibilité d'un moteur électrique, étant donné, que le taux de disponibilité d'un moteur électrique, selon l'OREDA, comprend l'ensemble des éléments associés au moteur.

Dans les systèmes où la défaillance d'un composant conduit à une perte partielle du service, la disponibilité du système doit être définie en considérant le pourcentage de service affecté par la défaillance. Considérons un système avec N composants où le système est considéré comme disponible lorsque qu'au moins N-M composants sont disponibles (c'est-à-dire pas plus de M composants peuvent tomber en panne). La disponibilité d'un tel système est $A_{N,M}$ et est calculée comme l'expression ci-dessous :

$$A_{N,M} = \sum_{i=0}^M \frac{N!}{i! \times (N-i)!} \times A^{(N-i)} \times (1-A)^i$$

(cf https://www.eventhelix.com/RealtimeMantra/FaultHandling/system_reliability_availability.htm)

Donc la disponibilité du système de Ventilation pour chaque salle :

Asalle = A(alimentation électrique) x A(ventilo)

Où A(ventilo), dépend du nombre de ventilateurs nécessaires pour avoir 10 Vol/H, et du nombre de ventilateurs supplémentaires installés...

Et dans notre cas A (alimentation électrique) = 100% puisque c'est une combinaison de la disponibilité de l'alimentation principale et de la disponibilité de l'alimentation de secours.

Donc A salle = 100% x A (ventilo) = A (ventilo)

	Volume	10 Vol/h	Nbre Extracteurs 10 Vol/h	12 Vol/h	Nbre Extracteurs 12 Vol/h(**) = N	M (dans la formule)	Disponibilité
Demi Usine A	21 117 m3	211 170 m3/h	11	253 404 m3/h	13	2	99.9999%
Demi Usine B	24 637 m3	246 370 m3/h	13	292 404 m3/h	15	2	99.9999%
Bâtiment Compresseurs	1 800 m3	18 000 m3/h	1		2	1	100%

() Sparing Philosophy**

CONCLUSION : La disponibilité calculée des extracteurs est proche de 100%

ANNEXE EDD.10

**NOTE DE DIMENSIONNEMENT DES PAROIS
SOUFFLABLES**



(ID Modèle = 454988)

Ineris - 203353 - 2406857 - v1.0

24/09/2020

**CARACTÉRISATION DE LA VIOLENCE D'UNE EXPLOSION
D'UN BÂTIMENT COMPRESSEUR D'HYDROGÈNE**

H2V INDUSTRY



maîtriser le risque |
pour un développement durable |

PRÉAMBULE

Le présent document a été établi sur la base des informations transmises à l'Ineris. La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations fournies.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du présent document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La prestation ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser le document après cette date.

L'établissement du présent document et la prestation associée sont réalisés dans le cadre d'une obligation de moyens.

Au vu de la mission qui incombe à l'Ineris au titre de l'article R131-36 du Code de l'environnement, celui-ci n'est pas décideur. Ainsi, les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre de cette prestation ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur. Par conséquent la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du présent document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour toute utilisation du document en dehors de son objet.

En cas de contradiction entre les conditions générales de vente et les stipulations du présent préambule, les stipulations du présent préambule prévalent sur les stipulations des conditions générales de vente.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction des Risques Accidentels

Rédaction : DAUBECH Jerome - GREGOIRE YANN

Vérification : LEPRETTE EMMANUEL

Approbation : Document approuvé le 24/09/2020 par DUPLANTIER STEPHANE

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

Table des matières

1	Introduction.....	5
1.1	Contexte	5
1.2	Éléments contractuels	5
2	Description des installations et scénarios à considérer.....	6
2.1	Bâtiment compresseur.....	6
2.2	Scenarios à considérer.....	6
3	Résultats.....	8
3.1	Local compresseur	8
3.1.1	Dynamique de formation du nuage d'hydrogène.....	8
3.1.2	Caractérisation de la violence de l'explosion.....	9
3.2	Bâtiment compresseur.....	11
3.2.1	Dynamique de formation du nuage d'hydrogène.....	11
3.2.2	Caractérisation de la violence de l'explosion.....	12
4	Conclusion.....	15
5	Liste des annexes :.....	16
	Annexe 1	17
	Annexe 2	36
	Annexe 3	41
1.	INTRODUCTION	42
2.	DESCRIPTION DES PHÉNOMÈNES	42
3.	METHODE « SECONDE »	44
3.1	PRÉDICTION DE L'AMPLITUDE DES ONDES AÉRIENNES	44
3.2	PRÉDICTION DE L'AMPLITUDE DE L'ÉBRANLEMENT	47
3.3	UTILISATION	48
4.	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	50

Pour citer ce document :

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, , Verneuil-en-Halatte : Ineris - 203353 - 2406857 - v1.0, 24/09/2020.

1 Introduction

1.1 Contexte

La société H2V INDUSTRY souhaite installer deux usines de production massive d'hydrogène vert, composées chacune d'un ensemble de deux unités de 100 MW de puissance électrique provenant du réseau. La production reposera sur l'utilisation d'électrolyseurs de forte puissance, qui permettront d'extraire l'hydrogène de l'eau.

Les deux usines seront situées à :

- Dunkerque (59). Dans le cadre de ce projet H2V59, l'hydrogène sera injecté dans le réseau de gaz naturel avec une concentration ne dépassant pas 5% (*Power-to-Gas*).
- Lillebonne (76). Dans le cadre de ce projet H2V76, l'hydrogène sera distribué à des industriels locaux désireux de « verdir » leur approvisionnement via un réseau spécifique.

La société H2V INDUSTRY a sollicité l'Ineris lors d'une première étude¹ concernant l'implantation des détecteurs d'hydrogène sur une installation de production massive d'hydrogène par électrolyse de l'eau.

Cette étude a montré que, malgré un temps de mise en sécurité de 1 minute du système et un taux de renouvellement horaire de 10 vol/h, une atmosphère inflammable d'hydrogène dont la concentration est supérieure est la LIE² peut se former sous la toiture du local compresseur. Une explosion peut donc se produire dans le local compresseur. La société H2V INDUSTRY souhaite mettre en place une toiture soufflable afin de décharger l'explosion. La pression d'ouverture de la toiture est de l'ordre de 100 mbar alors que la pression de résistance mécanique des façades et des portes du bâtiment est de l'ordre de 150 à 200 mbar.

La société H2V INDUSTRY sollicite l'Ineris pour caractériser la violence d'une explosion susceptible de se produire dans le bâtiment et déterminer si la surface des toitures est suffisante pour maintenir l'intégrité mécanique des façades du bâtiment.

Pour cela, il convient :

- d'évaluer la dynamique d'enrichissement du nuage inflammable qui s'accumule sous la toiture du bâtiment compresseur en tenant compte du débit de fuite, du taux de renouvellement horaire et du temps de fuite considéré.
- de caractériser la violence de l'explosion de l'atmosphère explosive formée lors de la dispersion d'hydrogène et de déterminer si la surface de la toiture est suffisante pour maintenir l'intégrité mécanique des façades du local compresseur.

1.2 Eléments contractuels

Ce rapport fait suite :

- à l'offre Ineris - 203353 - 2380085 - v1.0 du 01/09/2020
- à votre commande 3FRA100A-001A002-01 du 03/09/2020

¹ Ineris - 181601 - 659686 - v2.0

² LIE : Limite Inférieure d'Inflammabilité

Ineris - 203353 - 2406857 - v1.0

2 Description des installations et scénarios à considérer

2.1 Bâtiment compresseur

La bâtiment compresseur mesure 36,33 m de longueur, de 15,64 m de largeur et de 8,58 m de hauteur. Il est compartimenté en différents locaux dont un (le local compresseur) a fait l'objet de l'étude Ineris - 181601 - 659686 - v2.0. Les dimensions de ce local sont de 15,32 m de longueur, 13,85 m de largeur et 8,58 m de hauteur (Figure 1).

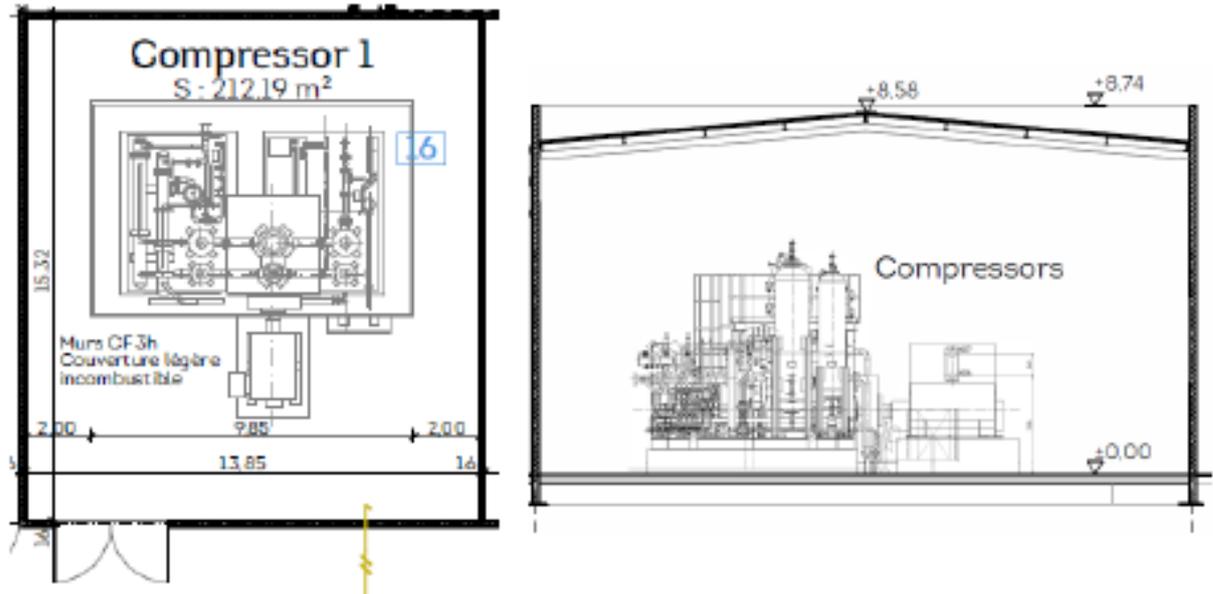


Figure 1 : Local compresseur

Les parois du bâtiment et du local compresseur sont des voiles en béton banché dont la surpression de résistance mécanique à l'explosion est estimée par H2V INDUSTRY à 150 mbar. Les portes du local sont des portes anti-blast dont la surpression de résistance mécanique à l'explosion est estimée par H2V INDUSTRY à 150 mbar.

La toiture du bâtiment compresseur est une toiture soufflable composée de bacs acier, d'isolants et de revêtements d'étanchéité. La surface totale de la toiture soufflable du bâtiment est de 553,83 m² (15,38 m x 36,01 m). La surface de la toiture soufflable du local est supposée de l'ordre de de 212 m² (15,32 m x 13,85 m). Leur surpression de résistance mécanique à l'explosion est estimée par H2V INDUSTRY à 100 mbar. Leur densité surfacique est de 45 kg/m².

L'hydrogène arrive dans le bâtiment à une pression de 30 bar et est comprimé à une pression de 100 bar. Il est véhiculé dans le bâtiment par des tuyauteries DN 65. L'hypothèse est prise d'une ventilation permanente de 10 vol/h, le débit de ventilation en situation normale et le débit de ventilation forcée étant tous deux égaux à cette valeur.

2.2 Scenarios à considérer

Le rapport Ineris - 181601 - 659686 - v2.0 conclut que les débits possibles de fuite d'hydrogène rencontrés sur l'installation compresseur conduisent à la formation d'un nuage dont la concentration dépasse la LIE de l'hydrogène.

Selon les hypothèses de calcul proposées par la société H2V INDUSTRY dans un « extrait de l'annexe modélisation des bâtiments de production et de compression » envoyé à l'Ineris le

22/09/2020, il est supposé que le diamètre de fuite à considérer est 10 % du diamètre nominal de la tuyauterie³, soit un diamètre équivalent de fuite de 6,5 mm.

Afin de maximiser les effets, la pression de fuite est considérée comme maximale et égale à 100 bar.

Le temps de fuite à considérer avant la mise en sécurité du système est de 60 s.

L'Ineris propose d'évaluer la formation de l'atmosphère explosive et les effets de l'explosion :

- dans le local compresseur (15,32 m x 13,85 m x 8,58 m),
- dans le bâtiment compresseur (36,33 m x 15,64 m x 8,58 m) en supposant que l'hydrogène peut se disperser dans l'ensemble du bâtiment.

Les caractéristiques de la fuite seront considérées identiques dans le local et dans le bâtiment compresseur. Le taux de ventilation sera également considéré identique dans les deux locaux. Il est égal à 10 vol/h.

Comme pour le bâtiment compresseur, il est supposé que toute la toiture du local est soufflable à 100 mbar. Sa densité surfacique est aussi égale à 45 kg/m².

³ « le risque de fuite massique ou de rupture franche n'a pas été retenu dans l'APR »

3 Résultats

L'évaluation de la dynamique d'enrichissement de nuage inflammable est réalisée au moyen du logiciel EXORIS de l'Ineris présenté en annexe 1. Ce logiciel permet de calculer l'évolution des concentrations et de la répartition des espèces dans un nuage inflammable en tenant compte des dimensions du local, du débit de fuite et du taux de renouvellement horaire.

L'évaluation de la violence de l'explosion est réalisée au moyen du logiciel EFFEX de l'Ineris présenté en annexe 2. Ce logiciel permet de calculer la propagation de la flamme et les niveaux de pression associés dans un volume confiné en tenant compte de la forme et de la localisation du volume explosif, et de la présence éventuelle d'ouvertures.

3.1 Local compresseur

3.1.1 Dynamique de formation du nuage d'hydrogène

La fuite d'hydrogène dans le local compresseur sous une pression de 100 bar par un orifice circulaire équivalent de 6,5 mm de diamètre a un débit de l'ordre de 130 g/s.

Lorsque le jet d'hydrogène issu de la brèche frappe une paroi, il s'y brise, si bien que le mélange formé au point d'impact glisse le long de la paroi et s'accumule au plafond. Il se forme alors une nappe de gaz sous les effets antagonistes de l'accumulation du mélange produit par le jet, la diffusion turbulente qui tend à homogénéiser l'atmosphère et le renouvellement d'air qui évacue le gaz.

Le logiciel EXORIS représente cette physique. La Figure 2 présente l'évolution de la concentration en hydrogène dans la nappe de gaz qui s'accumule sous le plafond du local au cours du temps. On constate un enrichissement progressif de la nappe d'hydrogène. En même temps, l'hydrogène diffuse vers le bas augmentant le volume inflammable. Au bout de 60 s, l'épaisseur de la nappe de gaz est de l'ordre de 3,5 m. La concentration maximale dans la nappe de gaz est de 14,5 % d'hydrogène dans l'air.

Il est considéré dans la suite de l'étude relative au local compresseur que la nappe de gaz accumulée sous le plafond est une nappe homogène d'une épaisseur de 3,5 m et de concentration maximale de 14,5 % d'hydrogène dans l'air.

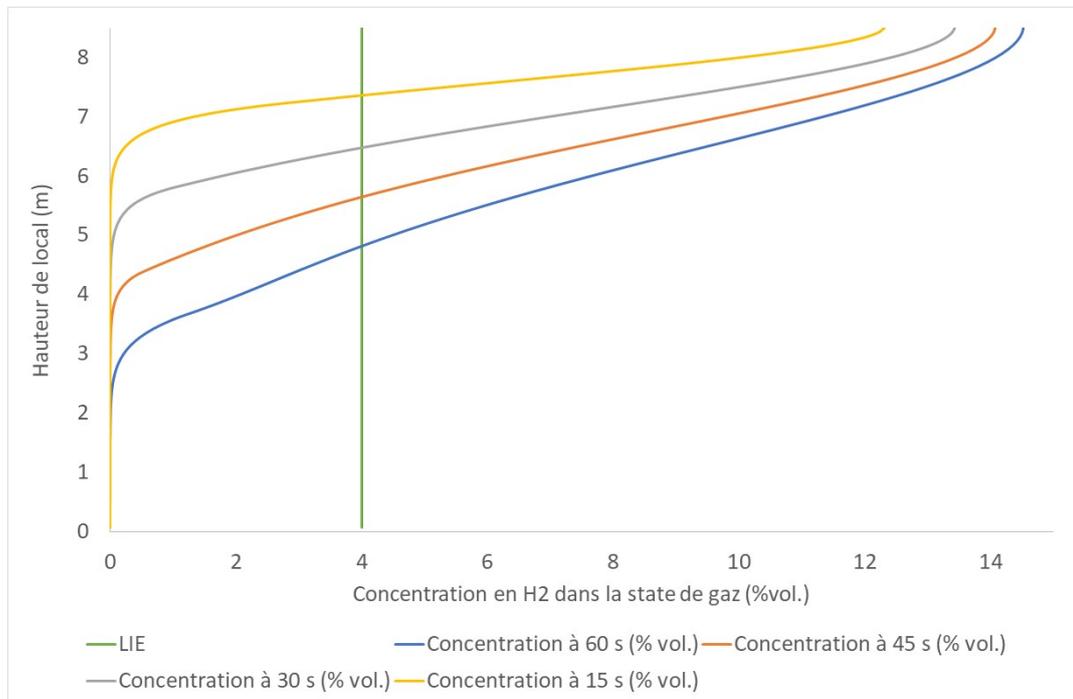


Figure 2 : Evolution de la concentration en hydrogène dans la nappe de gaz au cours du temps dans le local compresseur

3.1.2 Caractérisation de la violence de l'explosion.

L'atmosphère explosive formée sous la toiture du local rencontre une source d'inflammation. Au contact de la source d'inflammation, la combustion s'amorce et les produits de combustion chauds ainsi formés, dont la température⁴ est comprise entre 1000 et 2000°C, servent à leur tour de "source d'inflammation" pour les zones avoisinantes. Une flamme se propage alors d'elle-même à travers le nuage. Sur son passage, elle transforme le milieu réactif "froid" en produits de combustion "chauds". Une portion du nuage traversé par la flamme subit une expansion thermique très importante (un 1 cm³ de volume du nuage initial subit, après combustion, une expansion d'environ 4,5 fois son volume pour un mélange hydrogène-air à 14,5 %).

L'expansion thermique du gaz sous l'effet de la combustion est responsable de l'augmentation de la pression interne du local.

Dans le nuage turbulent, sous l'effet de l'agitation interne qui règne dans le nuage explosible⁵, la flamme se plisse et sa surface augmente. Ainsi, plus la surface de flamme augmente, plus le taux de consommation des gaz frais augmente, donc, plus le temps de combustion sera faible et la vitesse de combustion rapide. Dans le cas d'un nuage turbulent d'hydrogène à 14,5 % dans l'air, la vitesse de combustion turbulente est de l'ordre de 4,5 m/s.

Lorsque le niveau de pression interne du local atteint le seuil de résistance mécanique de la toiture soufflable, la toiture va s'ouvrir et entraîner une dépressurisation partielle du local. Une partie des gaz frais et des gaz brûlés peut être mis à l'évent. Il s'installe alors une compétition entre le débit de production de gaz brûlés par la flamme et le débit d'évacuation des gaz. Il règne alors dans le bâtiment une pression appelée « pression réduite ».

Lorsque la flamme atteint l'extrémité inférieure de la nappe de gaz, la flamme ralentit car elle n'est plus soumise que partiellement à son expansion thermique. La propagation de la flamme dans la nappe d'hydrogène accumulé au plafond est calculée au moyen du code phénoménologique EFFEX.

La Figure 3 présente la surpression dans le local au cours du temps.

⁴ LEWIS B., Von ELBE G. (1987), " Combustion, flames and explosions of gases : 3rd edition ", Academic Press, London, ISBN 0-12-446751-2

⁵ Proust C, 2004 , « Habilitation à diriger des recherches », INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

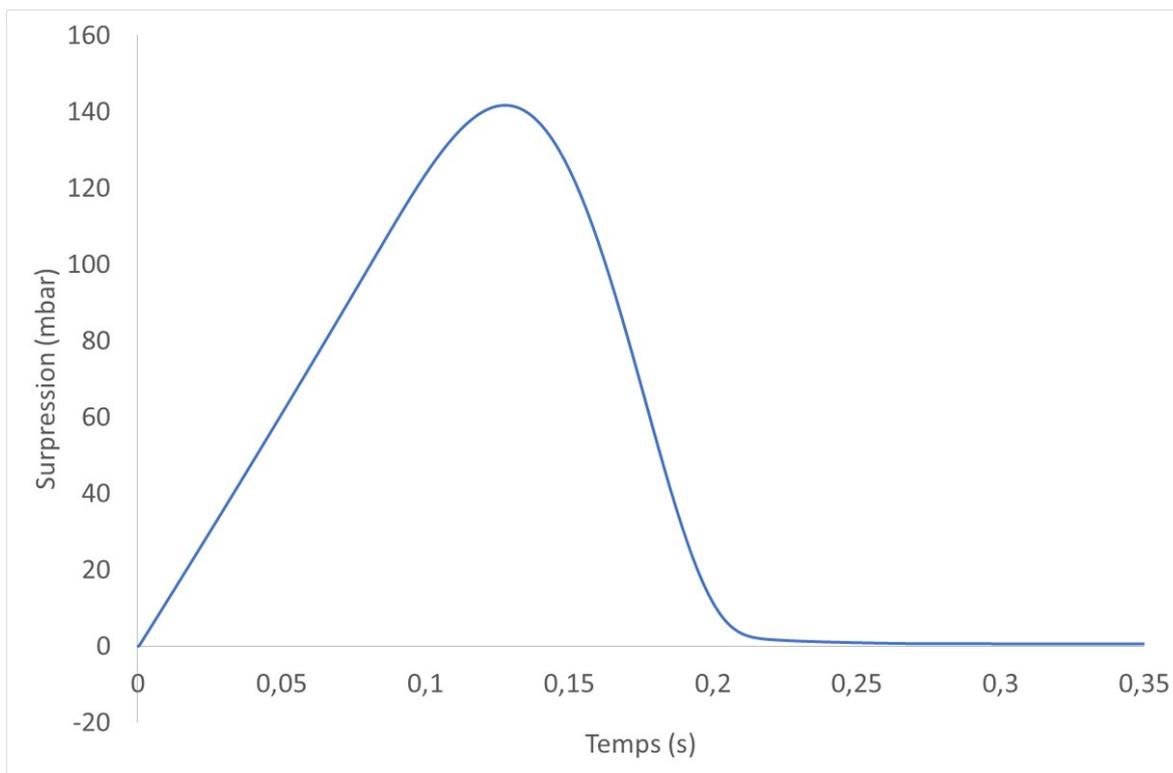


Figure 3 : Surpression dans le local au cours du temps dans le local compresseur

La surpression maximale dans le local est limitée par la pression d'ouverture de la toiture à une surpression de l'ordre 140 mbar. Ainsi, cette surpression d'explosion est inférieure à la surpression de résistance mécanique des parois et des portes du local.

Le remplissage partiel du local n'entraîne pas d'éjection d'hydrogène à l'extérieur du local lors de l'ouverture de la toiture soufflable. Il n'y a pas d'explosion secondaire.

La surpression de 140 mbar qui règne dans le local se décharge dans l'environnement. La Figure 4 présente les distances d'effets de surpression calculées à l'extérieur du bâtiment au moyen du logiciel SECONDE de l'Ineris. La hauteur 0 représente la hauteur de la toiture, c'est-à-dire 8,58 m. La décharge de l'explosion a lieu préférentiellement vers le haut. Les effets de surpression n'atteignent pas le sol.

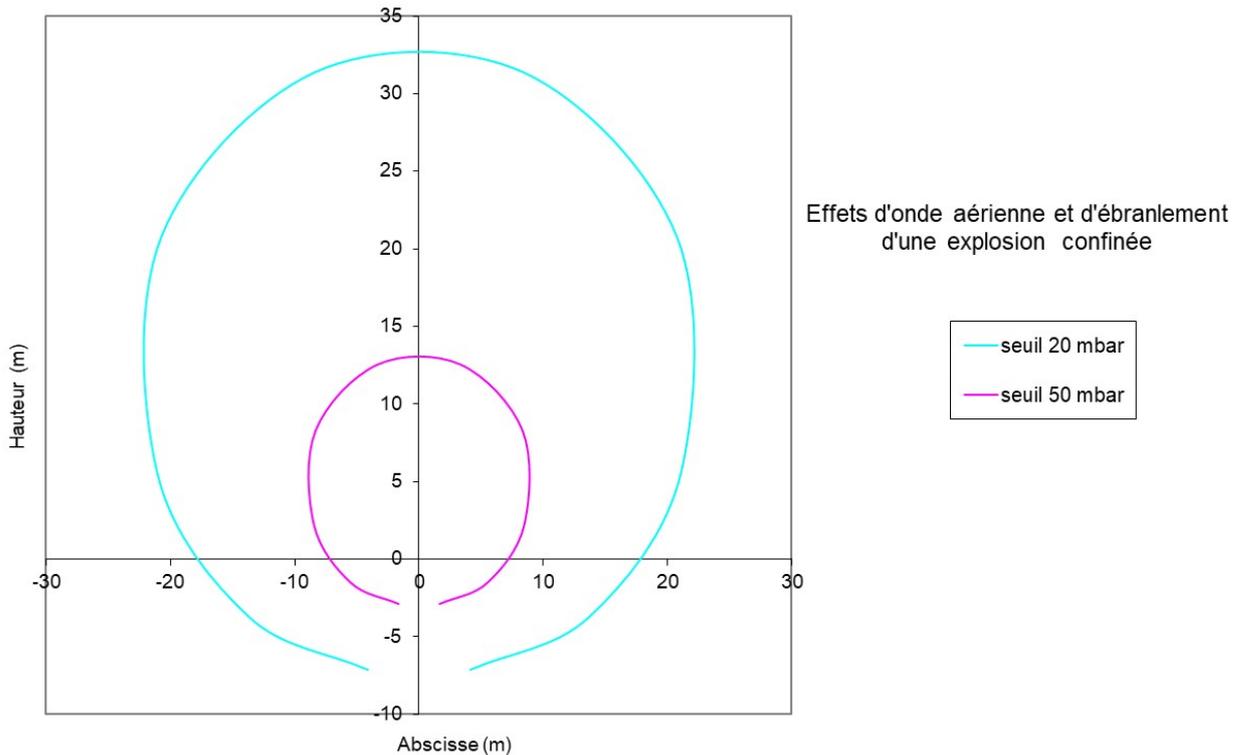


Figure 4 : Distances d'effets de surpression calculées à l'extérieur du local

3.2 Bâtiment compresseur

3.2.1 Dynamique de formation du nuage d'hydrogène

La fuite d'hydrogène dans le bâtiment compresseur sous une pression de 100 bar par un orifice circulaire équivalent de 6,5 mm de diamètre a un débit de l'ordre de 130 g/s.

La phénoménologie de la dispersion d'hydrogène est identique à celle présente dans le local compresseur. Le logiciel EXORIS a également été utilisé pour ce calcul. La Figure 5 présente l'évolution de la concentration en hydrogène dans la nappe de gaz qui s'accumule sous le plafond du bâtiment compresseur au cours du temps. Au bout de 60 s, l'épaisseur de la nappe de gaz est de l'ordre de 2 m. La concentration maximale dans la nappe de gaz est de 10 % d'hydrogène dans l'air.

Il est considéré dans la suite de l'étude relative au bâtiment compresseur que la nappe de gaz sous le plafond est une nappe homogène d'une épaisseur de 2 m et d'une concentration maximale de 10 % d'hydrogène dans l'air.

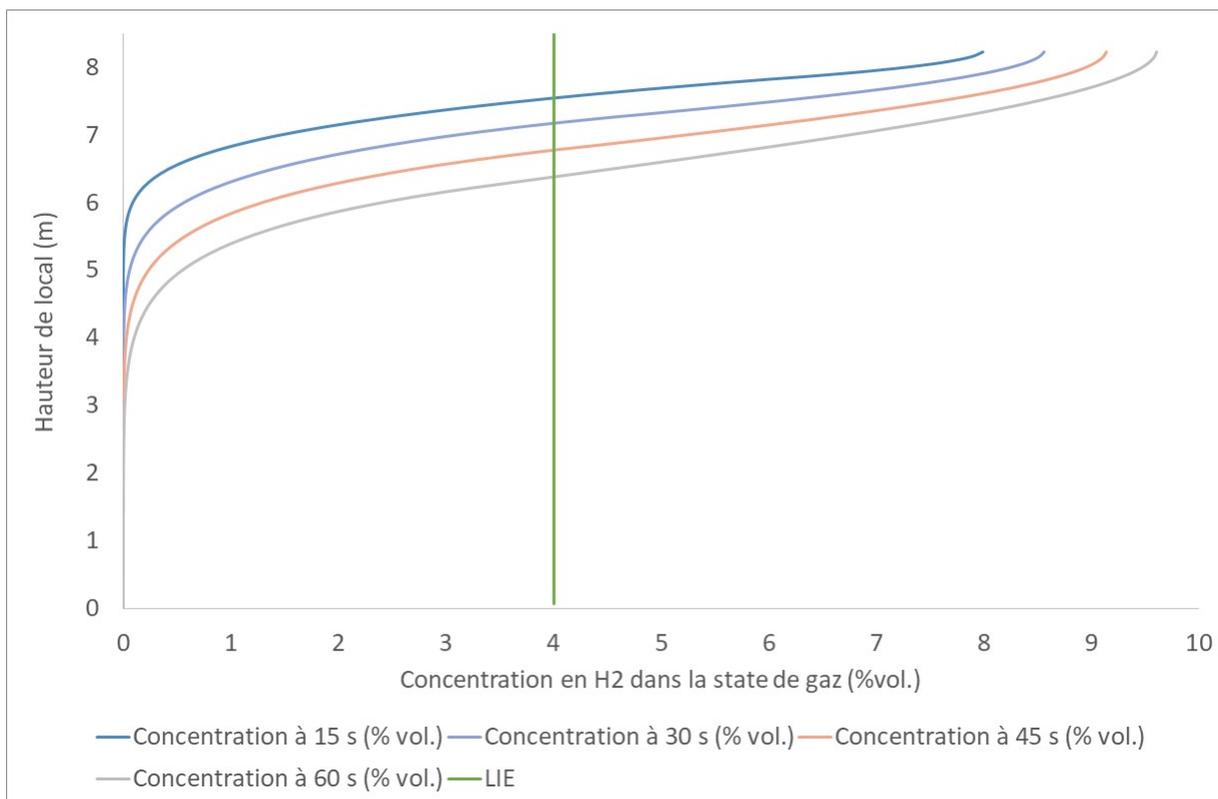


Figure 5 : Evolution de la concentration en hydrogène dans la nappe de gaz au cours du temps dans le bâtiment compresseur

3.2.2 Caractérisation de la violence de l'explosion.

La phénoménologie de l'explosion dans le bâtiment compresseur est identique à celle présente dans le local. L'expansion thermique subie par les produits de combustion est de l'ordre 3,5 pour un mélange hydrogène-air à 10 %. La vitesse de combustion turbulente dans ce nuage est de l'ordre de 1,5 m/s.

Le logiciel EFFEX a été utilisé pour ce calcul.

La Figure 6 présente la surpression dans le local au cours du temps.

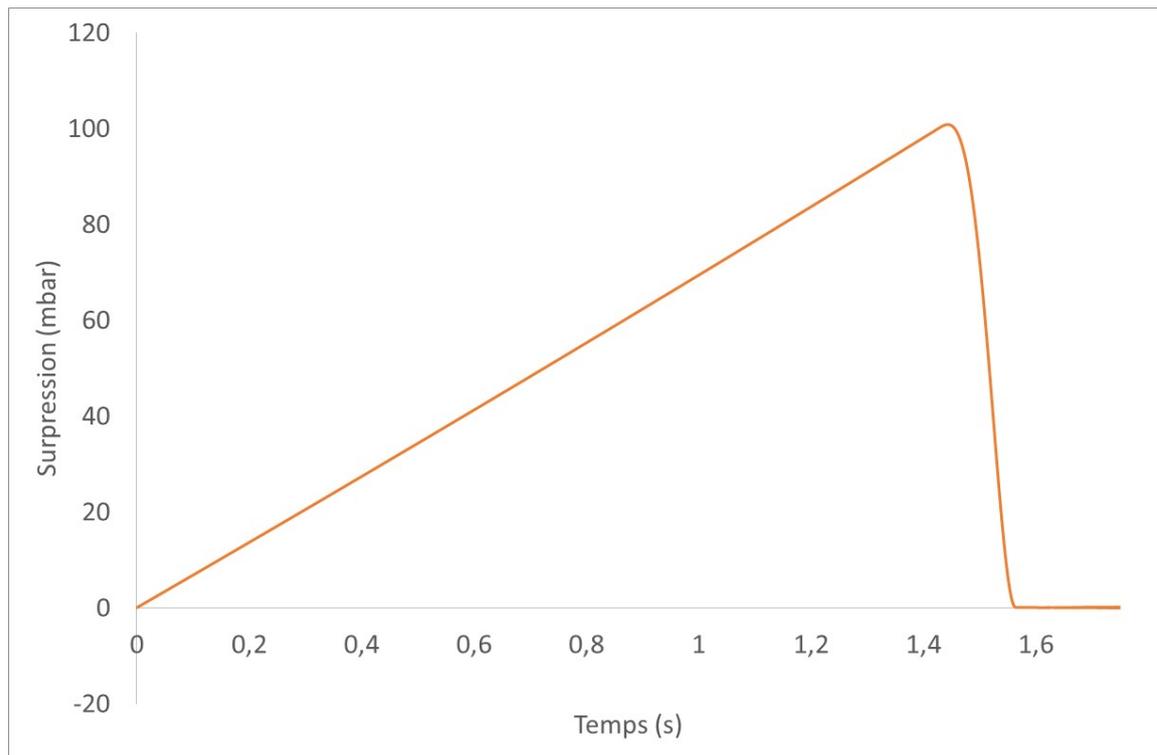


Figure 6 : Surpression dans le local au cours du temps dans le bâtiment compresseur

On s'aperçoit que la surpression maximale dans le local est limitée par la pression d'ouverture de la toiture, c'est-à-dire à 100 mbar. Ainsi, cette surpression d'explosion est inférieure à la surpression de résistance mécanique des parois et des portes du local.

Le remplissage partielle du local n'entraîne pas d'éjection d'hydrogène à l'extérieur du local lors de l'ouverture de la toiture soufflable si bien qu'il n'y a pas d'explosion secondaire.

La surpression de 100 mbar qui règne dans le bâtiment se décharge dans l'environnement. La Figure 7 présente les distances d'effets de surpression calculées à l'extérieur du bâtiment au moyen du logiciel SECONDE de l'Ineris. La hauteur 0 représente la hauteur de la toiture, c'est-à-dire 8,58 m. La décharge de l'explosion a lieu préférentiellement vers le haut. Les effets de surpression n'atteignent pas le sol.

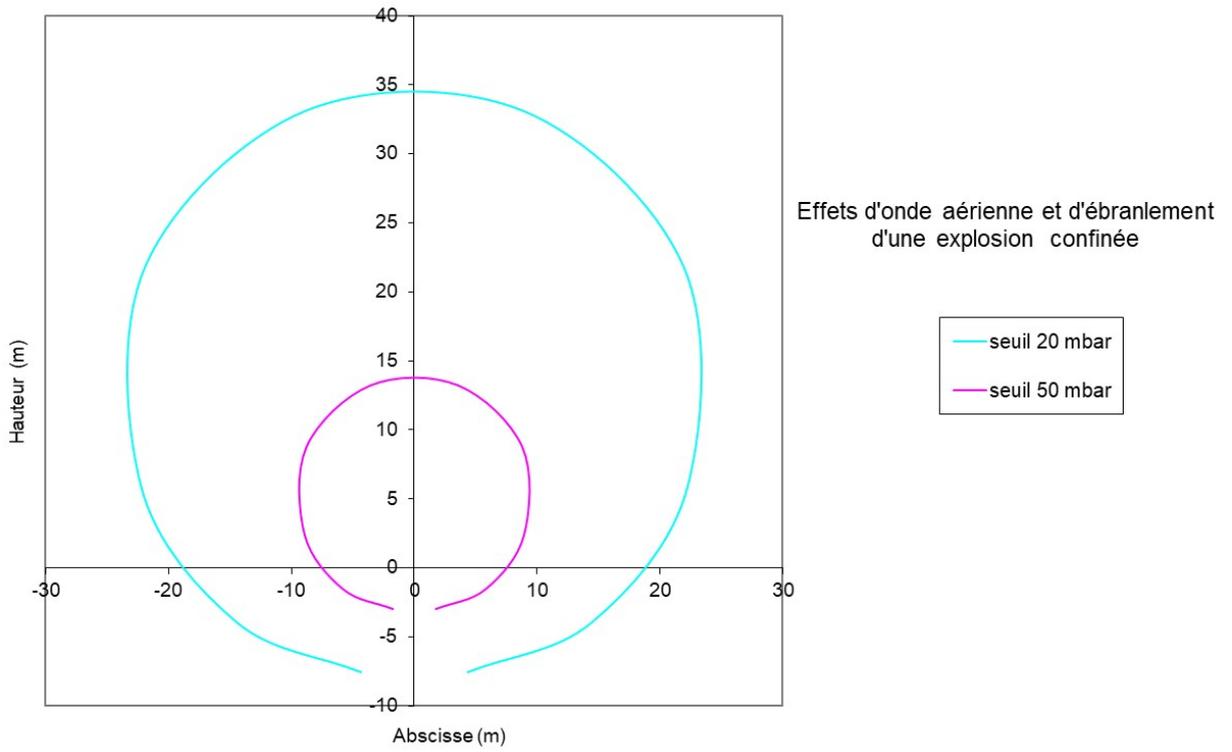


Figure 7 : Distances d'effets de surpression calculées à l'extérieur du bâtiment

4 Conclusion

Lors d'une première étude relative à la détection hydrogène, l'Ineris a montré que, malgré un temps de mise en sécurité de 1 minute du système et un taux de renouvellement horaire de 10 vol/h, une atmosphère inflammable d'hydrogène dont la concentration est supérieure est la LIE peut se former sous la toiture du local compresseur. Une explosion peut donc s'y produire.

La société H2V INDUSTRY souhaite installer une toiture soufflable sur le bâtiment compresseur afin de limiter la surpression dans le bâtiment et de conserver l'intégrité mécanique des parois dont la surpression de résistance à l'explosion est de l'ordre de 150 mbar.

Pour cela, l'Ineris a réalisé l'évaluation de la dynamique d'enrichissement de nuage inflammable au moyen du logiciel EXORIS et la caractérisation de la violence de l'explosion au moyen du logiciel EFFEX pour le local compresseur ayant fait l'objet de la précédente étude de l'Ineris et pour le bâtiment compresseur abritant ce local.

Il est supposé que toute la toiture du local et du bâtiment est soufflable à 100 mbar. Sa densité surfacique est égale à 45 kg/m².

Il est supposé que le diamètre de fuite à considérer doit être 10 % du diamètre nominal de la tuyauterie, soit un diamètre équivalent de fuite de 6,5 mm. Afin de maximiser les effets, la pression de fuite est considérée comme maximale et égale à 100 bar. Le temps de fuite considéré avant la mise en sécurité du système est de 60 s. Le taux de ventilation est considéré identique dans les deux locaux et égal à 10 vol/h.

L'étude de la dispersion d'hydrogène a montré qu'il se forme :

- sous la toiture du local, un nuage turbulent de 3,5 m d'épaisseur à une concentration maximale de l'ordre de 14,5 % d'hydrogène dans l'air,
- sous la toiture du bâtiment, un nuage turbulent de 2 m d'épaisseur à une concentration maximale de l'ordre de 10 % d'hydrogène dans l'air.

La caractérisation de la violence de l'explosion a montré que l'ouverture de la toiture à 100 mbar permet de limiter la pression :

- à 140 mbar dans le local,
- à 100 mbar dans le bâtiment compresseur.

Ces niveaux de surpression d'explosion sont inférieurs à la surpression de résistance mécanique des parois et des portes du local et du bâtiment.

5 Liste des annexes :

- Annexe 1 : Le logiciel EXORIS
- Annexe 2 : Le logiciel EFFEX
- Annexe 3 : le logiciel SECONDE

Annexe 1

Le logiciel EXORIS

1. INTRODUCTION

L'examen des conséquences des explosions de gaz requiert le plus souvent la détermination des caractéristiques du nuage explosif (taille, forme, turbulence, répartition des espèces...).

Il est extrêmement fréquent que ce nuage résulte d'une fuite qui peut prendre la forme d'un jet et/ou d'un épandage au sol suivi d'une vaporisation. Puis le gaz ou les vapeurs inflammables se dispersent dans l'environnement et forment un nuage explosif dont la forme, la taille, la richesse dépendent de la géométrie des lieux (parois, obstacles) mais aussi de la dynamique propre de l'atmosphère environnante (convection naturelle, turbulence induite par la fuite).

EXORIS est composé d'une suite (ouverte donc évolutive) de modules qui permettent de représenter ces différentes étapes. Chaque module comporte des modèles physiques (non empiriques) dont la validation est assurée d'une part par la robustesse des modèles utilisés et d'autre part par la confrontation permanente à des données expérimentales détaillées et ciblées.

Actuellement EXORIS comporte les modules suivants :

- estimation des caractéristiques de la fuite (débits, vitesses, coefficient de contraction, température, densité...)
- estimation des caractéristiques du jet issu de la fuite (répartition des espèces, champs de vitesse et de turbulence)
- estimation de l'accumulation dans un local éventuellement ventilé (répartition des espèces, turbulence)

2. CARACTERISTIQUES DE LA FUITE

Ce module concerne essentiellement les fuites de gaz éventuellement à haute pression à travers un orifice.

Il existe dans la littérature des modèles robustes de prédiction du débit à travers un orifice. On utilise typiquement l'expression :

$$\dot{Q} = C_d \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot \left[\frac{P_a}{P_{res}} \right]^{\frac{2}{\gamma}} \cdot P_{res} \cdot \rho_{res} \cdot \frac{\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left[\frac{P_a}{P_{res}} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}$$

avec

$$\frac{P_{res}}{P_a} \geq \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

où P_{res} est la pression en amont de l'orifice de section S , P_a la pression externe, C_d le coefficient de contraction (coefficient de décharge), γ le rapport des chaleurs spécifiques et Q le débit massique à travers S . Pour établir cette expression, on suppose que le gaz est parfait et idéal. On a vérifié à de nombreuses reprises que cette expression peut être très précise comme le montre par exemple la figure 1 établie pour une fuite d'hydrogène sous quelques bar d'un réservoir sous pression vers un autre (à la pression atmosphérique) à travers un orifice calibré. Si on ignore la phase transitoire de mise sous pression de la tuyauterie entre les réservoirs on constate que le régime établi est prédit avec précision.

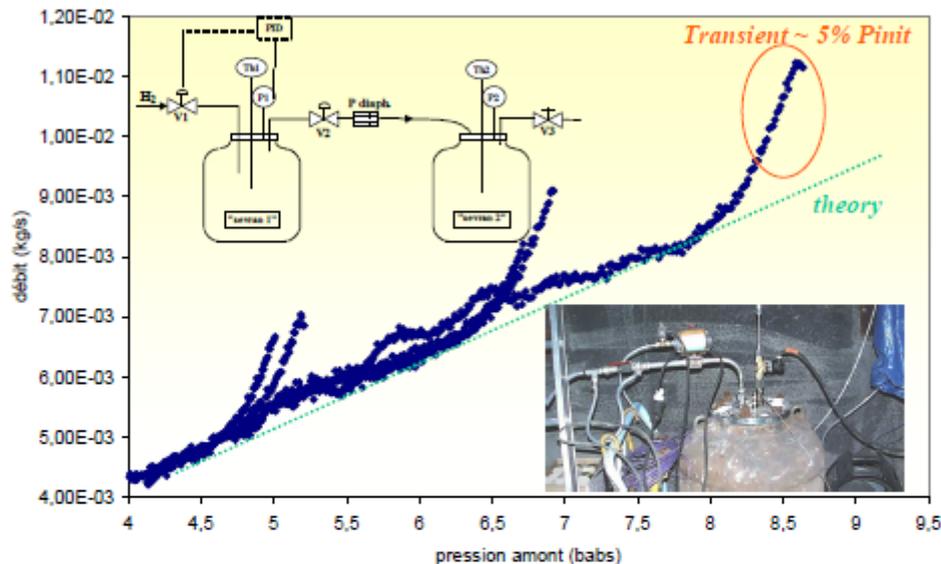


Figure 1 : mesure du débit d'hydrogène à travers un orifice de 5 mm lors de plusieurs essais successifs – le débit est déduit de la pente de la courbe de pressurisation du réservoir receveur

A la brèche, la pression peut être très significativement plus grande que P_a et l'écoulement doit subir une expansion permettant de faire baisser la pression du jet jusqu'à la pression atmosphérique. De plus le mélange avec l'air ne peut se faire que si les vitesses locales sont plus petites que les célérités du son dans les deux milieux. Il en résulte que le mélange entre les deux fluides, n'est possible qu'à partir du point x_m du jet où la pression est égale à la pression atmosphérique, et la vitesse égale à la célérité locale du son (fonction de la température et de la nature du gaz). On suppose donc le gaz subir d'abord une détente brutale, sans mélange avec l'atmosphère (« zone d'expansion »), jusqu'à la pression atmosphérique qui « ramène » le gaz à un état sonique à l'abscisse x_m où le diamètre du flux de gaz atteint D_{exp} . Dans la zone d'expansion, l'écoulement subit des chocs successifs (figure 2). Au-delà, une structure de jet (cf section 3) peut apparaître dont les propriétés sont fonction des conditions en x_m .

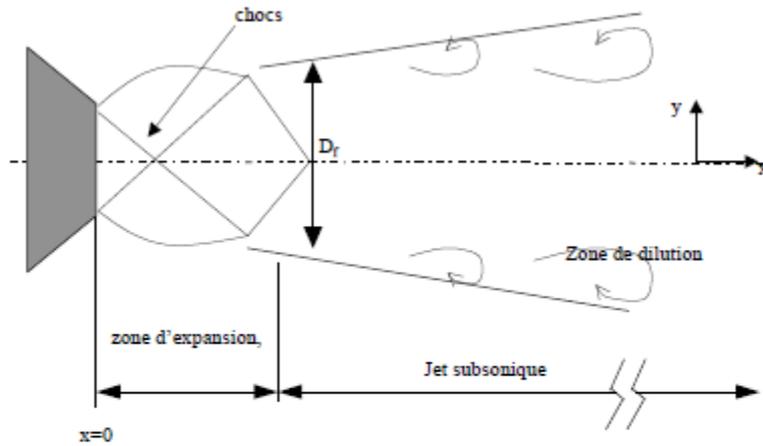


Figure 2 : Représentation simplifiée d'un jet supersonique

Les approches habituelles (Britten et al. ;1994) sont basées sur l'hypothèse de la conservation de la masse, entre la section de sortie et la section fictive, éventuellement celle de la quantité de mouvement, et l'équation de la conservation de l'énergie est fréquemment simplifiée en considérant soit que la détente est isentropique (détente adiabatique réversible qui signifie que l'entropie du gaz reste constante et son enthalpie décroît du fait qu'elle est convertie en partie en énergie cinétique) ou isenthalpique (détente adiabatique irréversible qui signifie que l'enthalpie du gaz reste constante tandis que son entropie augmente en raison des frottements). Le choix de l'une ou l'autre hypothèse a une incidence significative sur les propriétés du jet.

Dans EXORIS, le modèle d'expansion isenthalpique est retenu. On peut estimer la température du jet grâce à l'hypothèse de conservation de l'enthalpie :

$$\frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{RT}{M} + \frac{U^2}{2} = cste$$

soit entre le réservoir et l'orifice :

$$T_1 = T_0 - \frac{U_1^2 \gamma - 1}{2 \gamma} \frac{M}{R}$$

où T_0 est la température dans le réservoir, U_1 et T_1 respectivement la vitesse et la température du gaz à l'orifice, M la masse molaire du gaz (kg/mole) et R est la constante universelle des gaz parfaits en J/(mol.K). Sachant que par hypothèse la fin de la zone d'expansion correspond au lieu où la vitesse de l'écoulement est juste sonique et la pression atmosphérique, on obtient :

$$U_1 = \sqrt{\frac{\gamma P_a}{\rho_1}} \quad \text{où} \quad \rho_1 = \frac{P_a}{R/M \cdot T_1}$$

tandis que D_{exp} se déduit du principe de conservation de la masse :

$$\dot{Q} = \rho_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{exp}^2 \cdot U_1$$

L'INERIS a procédé à des expérimentations de jets libres de mélange Helium-Azote à des pressions comprises 200 à 500 bar pour un diamètre de 18 mm. Un système de visualisation a été mis en place pour observer la formation du jet près de la buse (figure 3). On constate notamment une expansion latérale avec un angle d'ouverture de l'ordre de 30°. Immédiatement en aval, suit d'une zone où le diamètre du jet commence à grandir mais avec un angle plus modeste, de l'ordre de 10 à 15 °, conforme avec les données de la littérature.

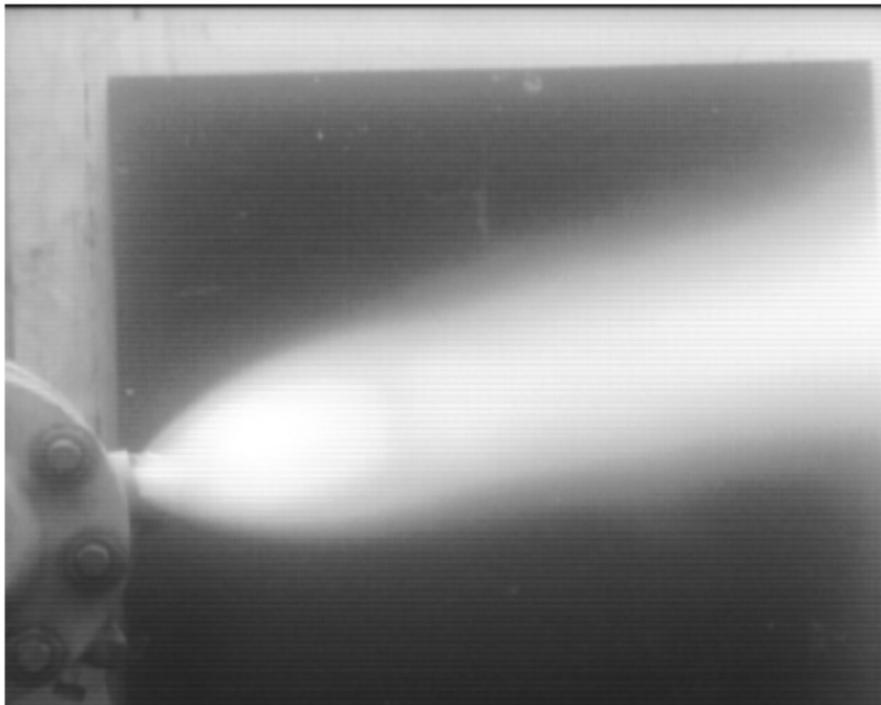


Figure 3 : observation expérimentale d'un cône de détente (50%He-50%N2 sous 200 bar à travers un orifice de 18 mm)

L'évolution de D_m en fonction des conditions d'essai est présentée sur la Figure 4. Le diamètre caractéristique varie significativement en fonction de la surpression de fuite. Les résultats expérimentaux semblent plus proches du modèle isenthalpique.

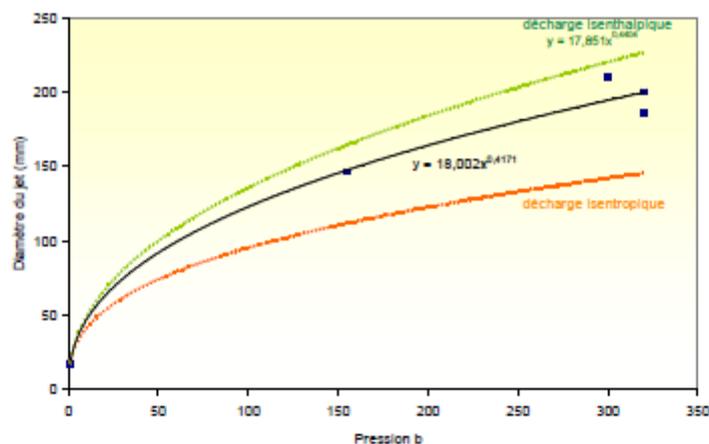


Figure 4 : évolution du diamètre du jet (mélange Hélium-Azote , immédiatement en aval de la zone d'expansion en fonction de la surpression de fuite
(points : expériences – courbe : prédiction)

Le modèle isentropique conduirait cependant à des valeurs de température de fluide près de l'orifice de l'ordre de -150°C pour une détente de 300 à 1 bar (même en tenant compte du réchauffement induit par l'arrêt brutal du fluide sur le capteur de température) alors qu'a été mesurée systématiquement une température voisine de l'ambiante (ce que prédit effectivement le modèle isenthalpique). Cependant un autre élément d'appréciation concerne la vitesse et la concentration dans le jet. L'utilisation des corrélations des jets libres, en tenant compte de la densité du gaz et du diamètre du jet en aval de la zone d'expansion après détente isentropique, fournit une valeur de la vitesse de l'écoulement sur l'axe du jet à 5 m de l'orifice et une concentration volumique à 10 m pour un jet sous 300 bar significativement différentes de celles effectivement estimées par la mesure alors que l'accord avec le modèle d'expansion isenthalpique est bien meilleur (cf section 3).

3. LA FORMATION D'UN JET

Le jet libre peut d'une certaine manière être considéré comme un écoulement de référence tant ses caractéristiques ont fait l'objet d'études expérimentales et de développements théoriques depuis le milieu du 20^{ème} siècle. La physique générale repose sur la conservation de la masse et de la quantité de mouvement. :

$$Q_{mg} = \rho_{g0} \cdot S_0 \cdot U_0 = Y_{gx} \cdot \rho_x \cdot S_x \cdot U_x \quad \text{et} \quad I = \rho_{g0} \cdot S_0 U_0^2 = \rho_x \cdot S_x \cdot U_x^2$$

où Q est le débit massique de gaz par l'orifice, S_0 la section du jet, U_0 la vitesse du jet à l'orifice, Y_{g0} la masse volumique du gaz à l'orifice, S_x la section du jet à la distance x de l'orifice, U_x la vitesse moyenne du jet à la distance x de l'orifice, ρ_{gx} la masse volumique moyenne du gaz à la distance x de l'orifice et Y_{gx} la fraction massique moyenne du gaz g à la distance x de l'orifice.

Sachant que les couches limites « s'ouvrent » suivant un angle, relativement universel, compris entre 10 et 15°, on peut établir une relation entre x et r , le rayon de S_x :

$$r \approx Kx$$

Des relations de base reliant des diverses grandeurs moyennes du jet sont ainsi obtenues :

$$\bar{Y}_{gs} = U_x / U_0 = (1/2K) \cdot (\rho_{g0} / \rho_{at})^{1/2} \cdot (D_0 / x)$$

où D_0 est le diamètre du jet à l'orifice.

On reconstitue de cette manière simple l'esprit des lois de similitude des jets (Djeridane, 1994 ; Thring et al., 1952 ; Chen et al., 1980) que l'on exprime plus précisément pour ce qui concerne l'évolution des concentration sur l'axe :

$$\bar{Y}_{gs} \approx 4 \cdot (\rho_{g0} / \rho_{at})^{1/2} \cdot (D_0 / x)$$

On note qu'au moins dans le domaine de similitude où la composition du mélange dans le jet diffère peu de celle de l'atmosphère environnante (ρ_{at}), le diamètre réel de l'orifice peut-être remplacé par un diamètre fictif équivalent de telle sorte que la relation ci-dessus devient universelle :

$$D_{eq} = D_{exp} \times \left(\frac{\rho_j}{\rho_{at}} \right)^{1/2}$$

Ce paramètre peut notamment être utilisé pour obtenir les profils radiaux de concentration selon la loi suivante (Chen et Rodi, 1980) :

$$Y_{x,r} = Y_{x,0} \times \exp\left(-\left(\frac{r}{0,17x}\right)^2\right)$$

où $Y_{x,0}$ est la concentration massique, comprise entre 0 et 1, sur l'axe à la distance x de l'orifice et $Y_{x,r}$ la concentration massique en gaz rejeté, comprise entre 0 et 1, au point de coordonnées (x,r) dans un repère cylindrique, centré sur le point de rejet.

On obtient ainsi des lois d'évolution de la concentration sur l'axe (Figure 5) en très bon accord avec l'expérience même dans l'exemple présenté avec un jet fortement sous-détendu et une forte différence de masse molaire entre l'atmosphère et la gaz.

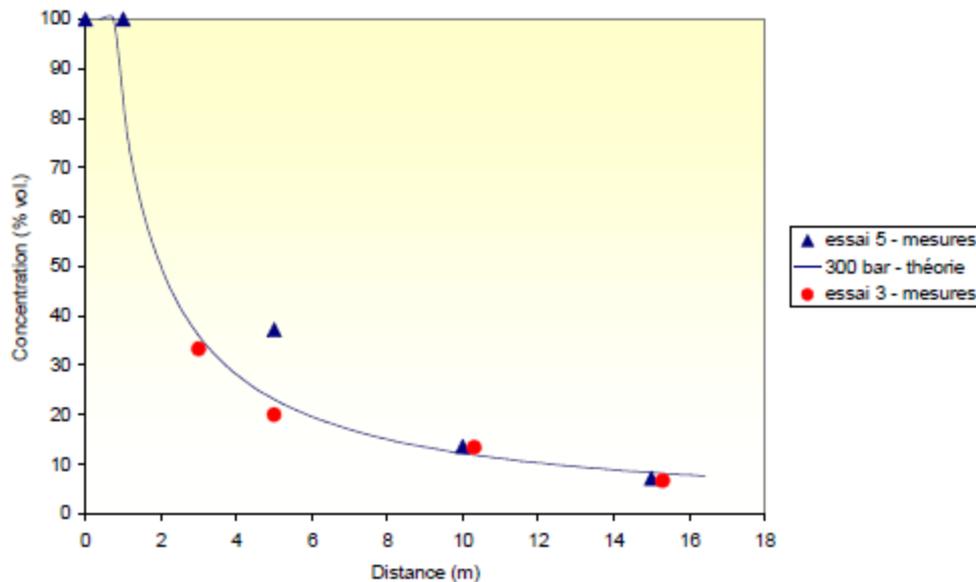


Figure 5 : concentrations mesurées et calculées en gaz sur l'axe

4. ACCUMULATION DANS UN LOCAL

4.1 LA PHYSIQUE

La situation se présente souvent d'une fuite à l'intérieur d'un bâtiment, éventuellement ventilé. Fréquemment aussi, le gaz possède une densité différente de celle de l'atmosphère. Le jet issu de la brèche frappe une paroi, s'y brise, si bien que le mélange formé au point d'impact glisse le long de la paroi et s'écoule jusqu'au sol, si le gaz est plus dense que l'air ou s'accumule au plafond s'il est plus léger. Il se forme alors une nappe sous les effets antagoniste de l'accumulation du mélange produit par le jet, la diffusion naturelle qui tend à homogénéiser l'atmosphère et le renouvellement d'air qui évacue le gaz.

Lorsque la distance libre sur l'axe de la fuite entre le point de rejet et le point d'impact est suffisante (typiquement au delà de 5 diamètres) alors un jet peut se former entre l'orifice et le point d'impact. Comme rappelé auparavant, l'atmosphère ambiante est entraînée dans le jet sous l'effet du transfert de la quantité du mouvement du gaz à l'air ambiant si bien qu'un cône se forme avec du centre à la périphérie une répartition Gaussienne des espèces et de la vitesse. Au point d'impact, la quantité de mouvement est largement transmise à la paroi si bien qu'on peut considérer que la capacité d'entraînement cesse et une nappe de gaz se forme et s'écoule latéralement avec une vitesse correspondant à celle du jet au point d'impact (d'après le théorème de Bernouilli). Si H est la distance entre le point de rejet et la paroi sur l'axe du jet, U_j la vitesse du gaz au point de rejet, D_j le diamètre de la fuite, l'application de la théorie de jets permet d'obtenir la vitesse de l'écoulement U_{max} au point d'impact ainsi que le débit total de mélange Q_t :

$$U_{\max} = \frac{5 \cdot U_j \cdot D_j}{H} \quad [1]$$

$$Q_t = \pi \cdot (0,17 \cdot H)^2 \cdot U_{\max} \quad [2]$$

Notons que Q_t est un débit d'entraînement et non le débit effectif de la fuite Q_j . La hauteur de la nappe h_{nappe} est déduite de la quantité de gaz relâchée depuis le début de la fuite :

$$h_{nappe} = \frac{Q_{t \text{ fuite}}}{S} \quad [3]$$

où t_{fuite} est le temps de fuite et S est la surface occupée par la nappe sur le sol ou le plafond.

Mais dans l'hypothèse d'un rejet vertical, le jet peut se développer dans la nappe. Comme le débit Q_t est prélevé de façon uniforme le long du cône du jet et dans son voisinage immédiat, on peut admettre que la nappe formée (au sol ou au plafond) ne peut guère être plus épaisse que H . De surcroît, la strate s'enrichit progressivement par recirculation à mesure que la quantité de gaz rejetée augmente.

A l'échelle des temps de diffusion considérée (typiquement de l'ordre de l'heure), on considère que le phénomène de formation d'une nappe de mélange de gaz est instantané si bien que cette nappe est approximativement homogène. Pour estimer entre deux instants (distants de Δt) l'évolution de la concentration moyenne de la nappe ΔC , il suffit de diviser le volume de gaz injecté dans cet intervalle par le volume de la strate V_{st} :

$$\Delta C = \frac{Q_j \cdot \Delta t}{V_{st}} \quad [4]$$

Il arrive que le bâtiment comporte plusieurs pièces et on désire savoir comme la nappe s'y développe. Si par exemple l'enceinte possède deux compartiments reliés par un passage de largeur L , le débit de gaz Q_{ch} à travers l'ouverture est défini par :

$$Q_{ch} = U_m \cdot h_{nappe} \cdot L \quad [5]$$

Et on obtient :

$$\frac{Q_{ch}}{Q_t} \cong 10 \cdot \frac{L}{H} \quad [6]$$

On pense que l'effet de striction sur l'écoulement de la nappe devient significatif dès lors que $\frac{Q_{ch}}{Q_t} \cong 1$ si bien qu'on ne peut faire l'hypothèse d'une répartition homogène de la nappe sur la surface de l'enceinte. Dans les autres circonstances, il est raisonnable

10/40

d'admettre la formation d'une nappe d'épaisseur constante et homogène dans l'ensemble du bâtiment.

La dispersion de cette nappe s'effectue par diffusion « naturelle ». Comme on admet que la nappe couvre uniformément le sol (ou le plafond), cette diffusion est globalement monodimensionnelle (selon l'altitude z). Pour la représenter, on utilise la classique loi de Fick qui peut être résolue par différences finies :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad [7]$$

Où D est le coefficient de diffusion, t le temps et C la concentration molaire de l'espèce considérée. Le coefficient de diffusion dépend des conditions ambiantes. Sa valeur minimale est théoriquement celle du coefficient de diffusion moléculaire (typiquement de l'ordre de $1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$: Cussler, 1997). Cependant, dans un local et en présence d'un jet s'y superposent des mouvements convectifs turbulents.

En matière de diffusion turbulente, le transfert d'un espèce d'une couche de l'atmosphère vers ses voisins est opéré par le transfert de matière par les volutes de l'écoulement. Ces volutes, éphémères, sont produites par le l'enroulement des lignes de courant entre elles et résultent donc de l'écoulement global. On peut représenter cela en déterminant un coefficient de diffusion turbulente D_T défini par (Hinze, 1975):

$$D_T = 0,4 u' L \quad [8]$$

Où u' est l'intensité de la turbulence représentant l'amplitude des fluctuations de vitesses de l'écoulement et L est l'échelle intégrale de turbulence représentant la taille moyenne des structures tourbillonnaires de l'écoulement. Pour estimer ces paramètres, Tamanini (Tamanini, 1998) propose une application simplifiée du modèle de turbulence k - ϵ (Hinze, 1975). On suppose une turbulence homogène et isotrope dans tout le volume considéré. Le modèle se résume à deux équations différentielles :

$$\frac{d(m.\epsilon)}{dt} = \frac{\epsilon}{k} . (C_{\epsilon 1} . P_k - C_{\epsilon 2} . \epsilon) \quad [9]$$

$$\frac{d(m.k)}{dt} = P_k - m.\epsilon \quad [10]$$

avec

$$k = \frac{3}{2} u'^2 \quad [11]$$

$$L = C_d^{3/4} \cdot \frac{k^{3/2}}{\epsilon} \quad [12]$$

♦♦♦♦♦

Où P_k représente le terme de production d'énergie cinétique $= \frac{1}{2} U_{inj} \frac{d(m)}{dt}$ (pour une injection pneumatique à la vitesse U_{inj} d'un débit massique dm/dt), m est la masse du fluide contenue dans le volume, C_{e1} et C_{e2} sont des constantes qui valent respectivement 1,64 et 1,8 environ et C_d est une constante égale à 0,09. Une équation supplémentaire permet d'évaluer l'échelle intégrale de la turbulence :

$$L = C_L V^{1/3} \quad [13]$$

où V est le volume et C_L est une constante égale à 0,05.

Les bâtiments ne sont pas hermétiques et il se produit un renouvellement d'air notamment sous l'effet du différentiel thermique entre l'intérieur et l'extérieur. Pour illustrer ce phénomène, on suppose un ouvrant de hauteur $h_{ouvrant}$. L'écart de pression qu'il existe entre l'intérieur et l'extérieur de l'enceinte est obtenu de l'équation de la statique des fluides :

$$\Delta P = \Delta \rho \cdot g \cdot h_{ouvrant} \quad [14]$$

où $\Delta \rho$ est l'écart de masse volumique entre l'extérieur et l'intérieur. Il en résulte un écoulement de vitesse U :

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad [15]$$

soit finalement en tenant compte de la surface d'admission d'air A_v :

$$Qm = C_d \cdot A_v \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta \rho \cdot g \cdot h_{ouvrant}}{\rho}} \quad [16]$$

Où Qm est le débit de renouvellement d'air et C_d le coefficient de décharge typiquement de l'ordre de 0,6. On peut exprimer $\Delta \rho$ en fonction de la différence de température ΔT entre l'intérieur et l'extérieur :

$$Qm = C_d \cdot A_v \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta T \cdot g \cdot h_{ouvrant}}{T}} \quad [17]$$

Pour résoudre l'équation de Fick, le bâtiment est divisé en N tranches identiques (volume V_N) parallèles au sol. La quantité d'air entrant entre deux instants est :

$$\frac{Qm \cdot \Delta t}{N} \quad [18]$$

Pour introduire l'effet de ce renouvellement d'air (figure 6), on suppose que le supplément d'air se mélange de façon homogène avec le contenu de chaque tranche (ce qui suppose une mise sous pression de l'enceinte) puis une quantité identique de mélange sort du bâtiment (ce qui entraîne un retour à la pression initiale). Il en résulte le remplacement d'une partie du mélange gazeux par de l'air et donc une baisse de la concentration de gaz de chaque tranche.

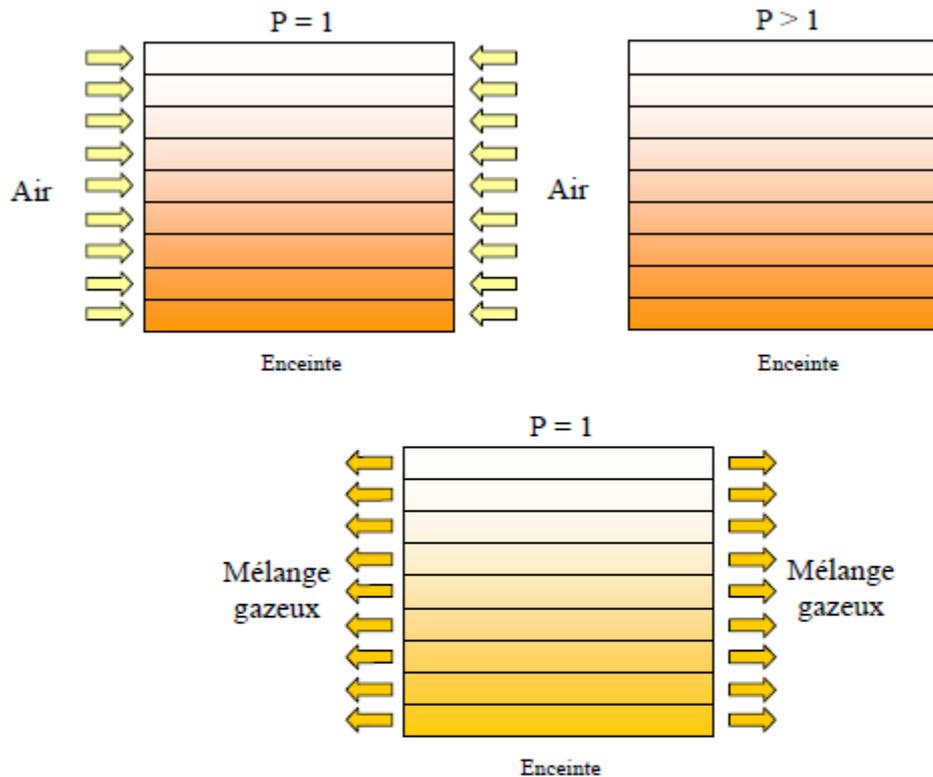


Figure 6 : Schéma de prise en compte du renouvellement d'air dans l'enceinte

La concentration C_N dans chaque tranche est alors donnée par:

$$C_N = \frac{(C_N V_N - Q_{rn} / N \cdot \Delta t)}{V_N} \quad [19]$$

4.2 CAS DES GAZ PLUS LEGERS QUE L'AIR

L'INERIS a réalisé des expérimentations (projet Européen HYSAFE) largement instrumentées (Lacome et al., 2007) afin d'étudier la formation de nuages résultant de rejets d'hydrogène et d'hélium dans une chambre d'essais isotherme (80 m^3 , $7.2 \times 3.78 \times 2.88 \text{ m}$ respectivement en longueur, largeur et hauteur). Les concentrations, et la température et le débit du rejet ont été mesurés durant toute la durée de la fuite et plusieurs heures après. Les expérimentations sur des jets verticaux ont été réalisées avec des débits de $0,2 \text{ g/s}$ à 1 g/s , sur une durée de fuite de 240 s .

Ces essais ont montré que le jet prend la forme d'un dard axial très turbulent avec de forts gradients de concentration qui vient alimenter une nappe au plafond relativement calme et homogène ce qui confirme que le jet est « brisé » à l'impact.

A titre d'exemple, la Figure 5 présente des résultats représentatifs d'un jet de 1 g/s pour un diamètre de 20 mm . Elle montre clairement une nappe de 1 m d'épaisseur, où la concentration est de l'ordre de 7% à 8% . Les capteurs (capteur 11) situés en dessous de la nappe affichent des concentrations en dessous de la LIE. Sur la Figure 7 on peut voir la couche homogène d'hydrogène près du plafond. A une altitude donnée (figure 8) pour l'ensemble des essais, il a été constaté que les concentrations sont identique ce qui confirme le caractère monodimensionnel du processus.

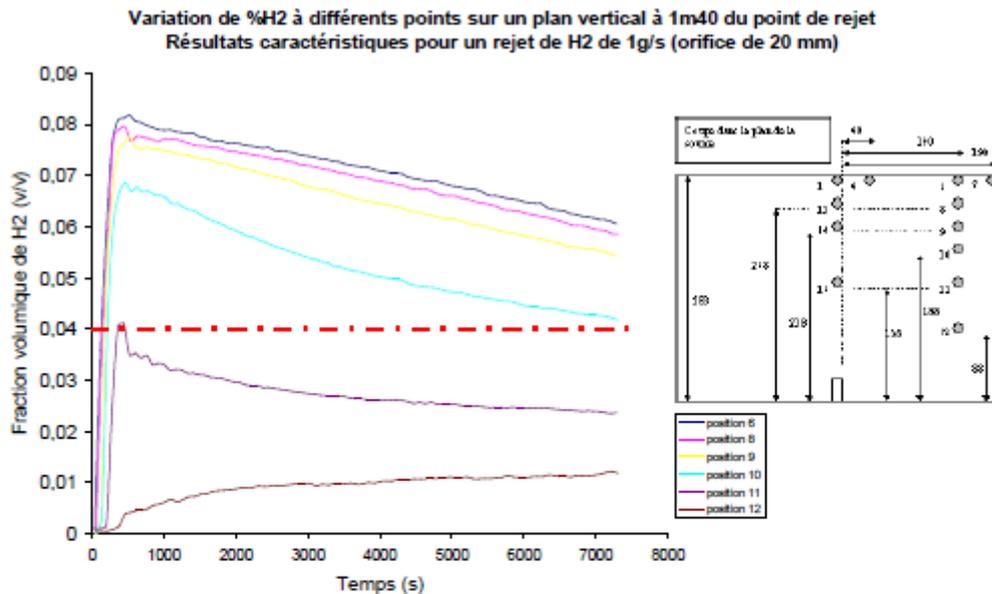


Figure 7 : concentrations mesurées à différents niveaux verticaux pour un rejet de 1 g/s ($D=20 \text{ mm}$)

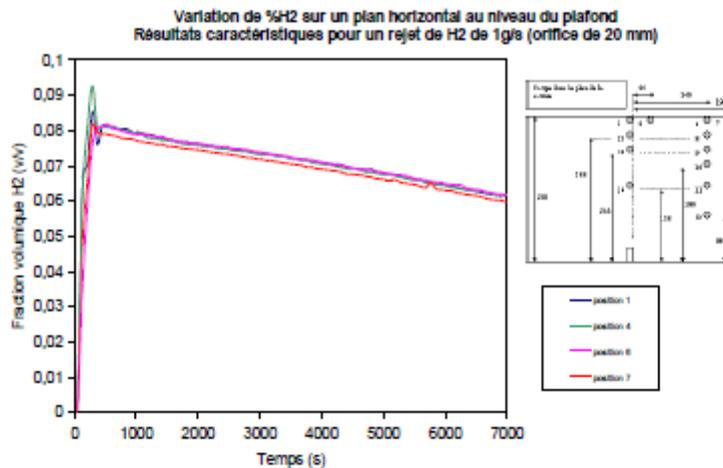


Figure 8 : concentrations mesurées sur un plan horizontal situé au plafond de la chambre pour un rejet de 1 g/s ($D=20$ mm)

La Figure 9 présente les épaisseurs de nappe et leur richesse, en hydrogène ou hélium, mesurées et calculées avec EXORIS juste après la fin de l'injection. Compte tenu notamment des incertitudes expérimentales, on constate un accord satisfaisant entre les prédictions d'EXORIS et les mesures.

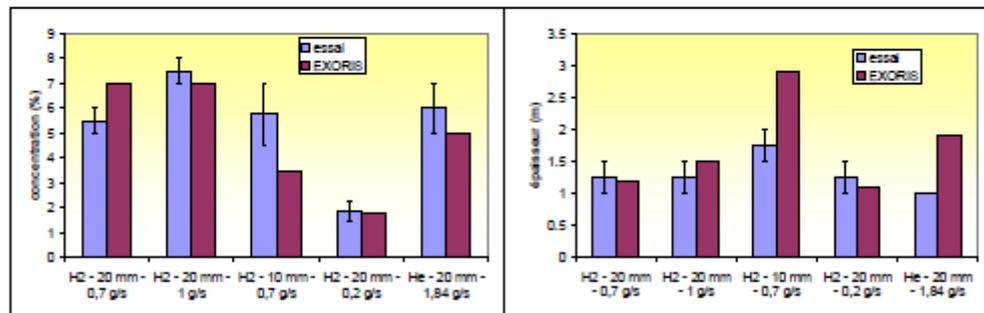


Figure 9 : Comparaison des richesses et épaisseurs de nappe mesurées et calculées avec EXORIS

4.3 CAS DES GAZ DENSES

Des expérimentations ont été réalisées avec rejets de propane (plus dense que l'air) dans une chambre de $0,9 \text{ m}^3$ ($1,2 \times 1,1 \times 0,8$ m respectivement longueur, largeur et hauteur). La chambre est compartimentée de façon à permettre un écoulement des gaz d'une partie à l'autre (Figure 10). La largeur du passage d'un compartiment à l'autre est de 24 cm. La fuite est située à 28 cm du sol sur un axe vertical et s'effectue à travers d'un orifice de 0,5 mm. La masse de propane rejetée est comprise entre 20 et 50 g. Les concentrations de gaz

sont déduites de la mesure du taux d'oxygène en différents points au moyen d'analyseurs à effet paramagnétique.

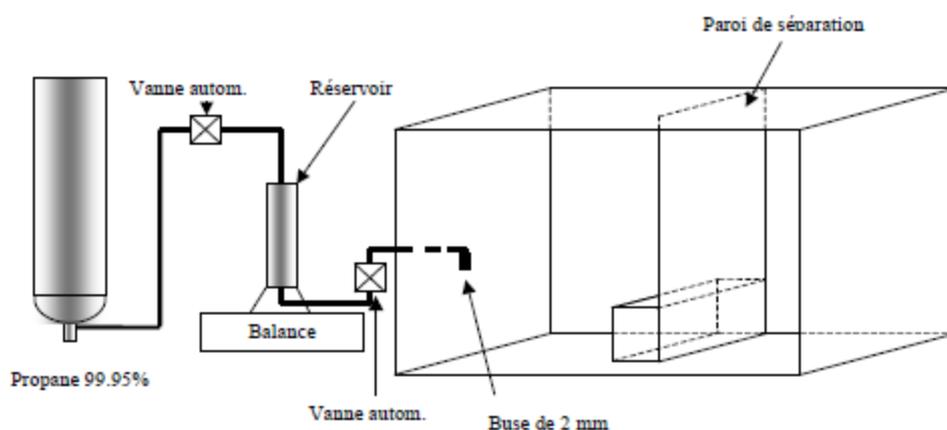


Figure 10 : Schéma de la chambre d'essai de dispersion de propane

Trois points de prélèvement ont été placés entre le sol et le point de rejet (respectivement à 0, 10 et 20 cm du sol), c'est à dire dans la nappe (figure 11). Le temps de rejet est de 150 s. Pendant le rejet, on constate que les concentrations en propane évoluent de manière identique avec un enrichissement progressif de la nappe pour atteindre une concentration moyenne autour de 2,2 %. La nappe est donc homogène et semble, dès les premiers instants, occuper l'ensemble de l'espace compris entre le sol et la buse de rejet comme le suggère le modèle.

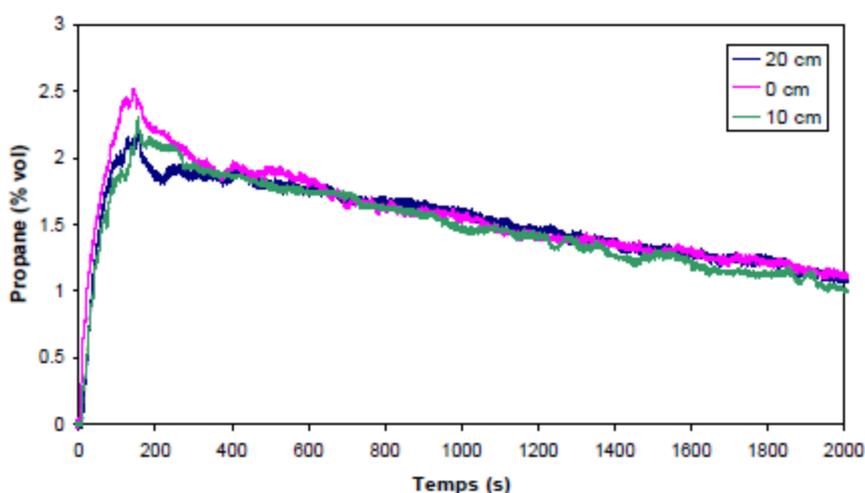


Figure 3 : évolution de la concentration de propane au cours du temps (prélèvement : 0, 10, 20 cm ; masse : 30 g)

Après la fin de la fuite, la concentration de la nappe décroît sous l'effet de la diffusion des vers le haut et du renouvellement naturel d'air. La figure 12 représente l'évolution au cours du temps des concentrations au dessus de la nappe à 30 cm et à 80 cm au dessus du sol (rejet de 20 g de propane). On constate, dès les premiers instants, une forte stratification de l'atmosphère. A la fin du rejet (~140 s), on observe une différence de 1,8 % entre le bas et le haut de la chambre. Par la suite, les concentrations évoluent dans le temps par diffusion pour aboutir à l'homogénéisation complète de la chambre.

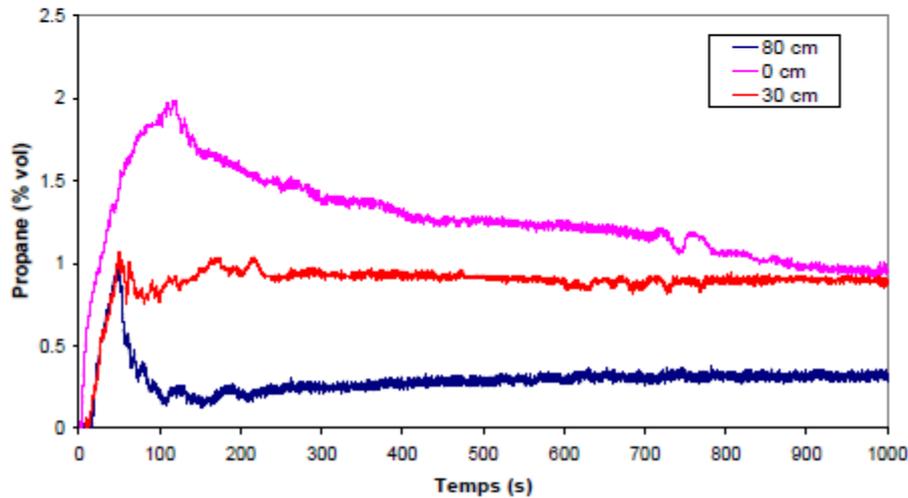


Figure 12 : évolution de la concentration de propane au cours du temps (prélèvement : 0, 30, 80 cm ; masse : 20 g)

Pour évaluer la transmission de la nappe d'un compartiment à un autre pendant le rejet des essais spécifiques ont été réalisés (rejet de 30 g de propane) en mesurant la concentration de gaz à 10 cm du sol dans les deux compartiments (figure 13). On constate que les évolutions de la concentration sont très voisine avec toutefois un décalage dans le temps (la concentration dans le deuxième compartiment augmente 18 s après celle dans le premier où est opérée l'injection). Dès la fin du rejet, les concentrations semblent identiques. A l'échelle des temps de diffusion (typiquement de l'ordre de l'heure), ce décalage que l'on peut interpréter comme le temps d'écoulement de la nappe d'un compartiment à l'autre, semble négligeable. On peut donc considérer que la nappe occupe l'ensemble de la surface de l'enceinte dès les premiers instants. Ce résultat confirme également le modèle.

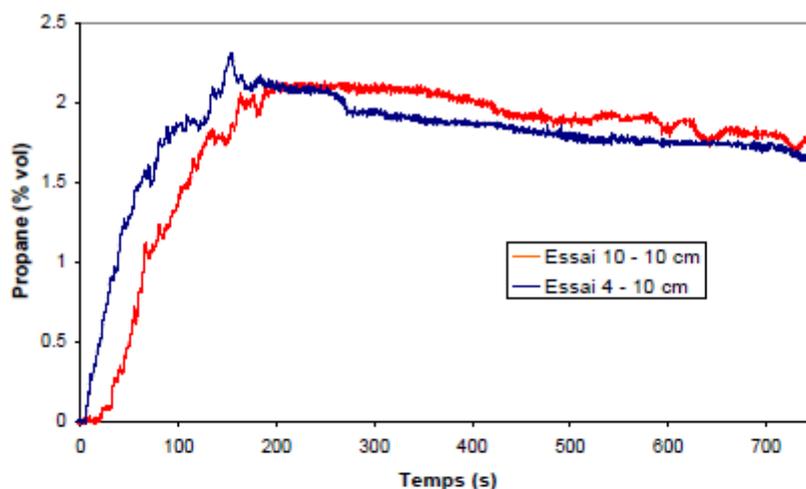


Figure 13 : répartition de concentration en propane dans le 1^{er} et le 2nd compartiment prélevé à la même hauteur (10 cm, masse 30 g).

On propose un comparaison quantitative entre les mesures et les prédictions d'EXORIS.

L'enceinte est soumise à un renouvellement d'air par la face avant. On estime que la vitesse de l'écoulement induite par les fuites interstitielles sous l'effet du gradient de densité entre la nappe propanée et l'atmosphère externe est de l'ordre de 0,4 m/s (formule [15]). Les fuites ont lieu à travers les interstices de la face de l'avant de l'ordre de 0,5 mm sur le pourtour. La surface Av d'admission d'air serait de l'ordre de 0,001 m² (seule la moitié du pourtour sert à l'apport d'air neuf et le reste à l'évacuation de l'atmosphère interne). On estime ainsi un taux de renouvellement d'air compris entre 0,4 et 1 volume/heure selon la richesse de la nappe.

Sur la figure 14 sont présentées des évolutions de la concentrations de propane au sol et à 20 cm au dessus pour un rejet de 30 g de propane. Le taux de renouvellement d'air est estimé à 0,7 volume/heure. On constate un très bon accord entre les prédictions d'EXORIS et les mesures tant pour l'étape de formation de la nappe que pour sa dispersion.

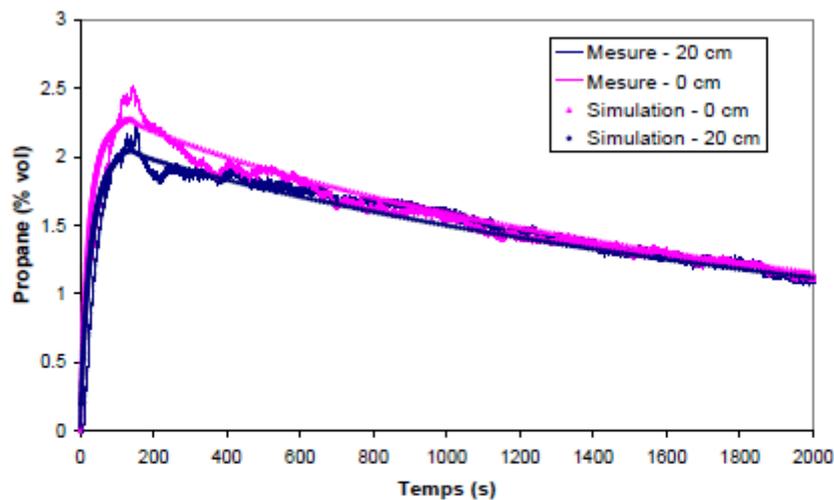


Figure 14 : comparaison entre les mesures et les résultats des simulations d'EXORIS pour un rejet de 30 g de propane dans la chambre d'essai par un orifice de 0.5 mm (points de prélèvement : 0 et 20 cm)

Pour une quantité de propane plus importante (50 g) et des points de prélèvement différents (à 40 et 60 cm du sol), le taux de renouvellement est estimé à 0,6 volume/heure. On constate aussi (figure 15) un bon accord entre les prédictions d'EXORIS et les mesures effectuées hors de la nappe de gaz.

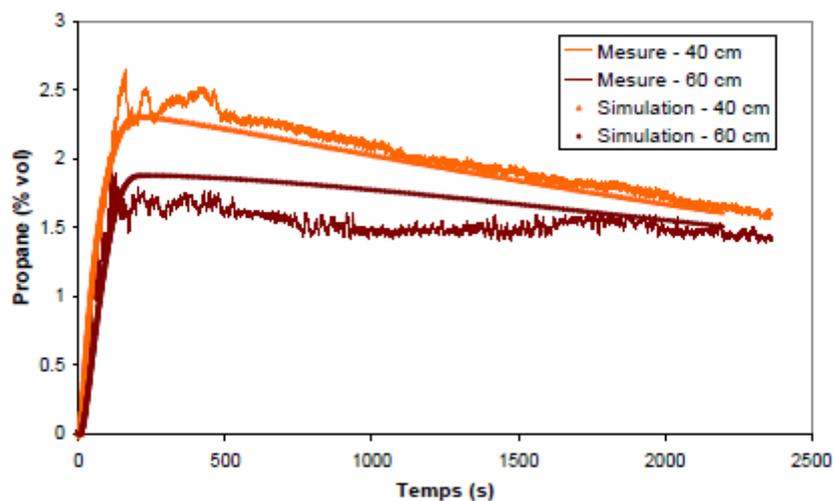


Figure 15 : comparaison entre les mesures et les résultats des simulations d'EXORIS pour un rejet de 50 g de propane dans la chambre d'essai par un orifice de 0.5 mm (points de prélèvement : 40 et 60 cm)

5. REFERENCES

1. Britter R.E., Dispersion of two phase flashing releases - Fladis field experiment.. Report FM89/2. The modelling of a pseudo-source for complex releases. CERC Ltd. December 1994.
2. Chen C.J., Rodi W. (1980). Vertical turbulent buoyant jets - A review of experimental data
3. H.T.M., The science & applications of heat and mass transfer, Pergamon Press.
4. Djeridane T. (1994). Contribution à l'étude expérimentale de jets turbulents axisymétriques à densité variable. Thèse de doctorat de l'Université d'Aix-Marseille II, n°207-94-57.
5. J.M. Lacome, Y. Dagba, L. Perrette, D. Jamois, C. Proust (2007) : Large-scale Hydrogen Release in an isothermal confined Area. Soumis au 2nd International Conference on Hydrogen Safety, San Sebastian, September 2007.
6. Thring M.W, Newby M.P (1952). *Combustion length of enclosed turbulent jet flames*. 4th International Symposium of Combustion, Pittsburgh.

Annexe 2

Le logiciel EFFEX

Introduction

Le logiciel EFFEX permet de simuler le développement d'une explosion à l'intérieur d'une enceinte en tenant compte :

- de la présence éventuelle d'ouvertures permanentes;
- de l'éclatement d'une ou plusieurs parois;
- de la projection progressive des fragments de ces parois.

Les résultats finaux sont l'évolution de la surpression interne en fonction du temps et les caractéristiques de la trajectoire des fragments.

EFFEX est développé par l'INERIS depuis le début des années 1990. Initialement dédié aux explosions de poussières, son extension aux explosions de gaz est en cours.

Caractéristiques principales

Principe de la modélisation des explosions en enceinte :

Le mélange inflammable est caractérisé par la vitesse de combustion et le taux d'expansion des produits de combustion. La vitesse de combustion retenue est fonction du degré de turbulence et des instabilités de combustion.

La surface du front de flamme est considérée constante et correspond approximativement à l'aire de la plus grande sphère inscrite dans le volume considéré.

Les variations de la pression sont fonction de la compétition entre l'augmentation induite par la production de volume due à la combustion et la diminution provoquée par les fuites à travers les ouvertures permanentes et les brèches qui se forment dès qu'une paroi se rompt.

On considère que la pression est approximativement uniforme à l'intérieur de l'équipement.

On estime par le calcul la surpression de ruine de la paroi considérée en tenant compte, le cas échéant, de phénomènes spécifiques de chargement dynamique. On doit pour cela estimer les dimensions vraisemblables des fragments. Très souvent, cette évaluation est assez « naturelle » mais, dans certaines circonstances, un calcul numérique spécifique est nécessaire.

Dès que la surpression de ruine est atteinte, les fragments sont soumis aux forces de poussée (pression totale) de l'explosion et aux forces de freinage aérodynamique. Un coefficient de traînée permet de tenir compte de la forme des fragments.

A mesure que les fragments s'éloignent de leur position initiale, la surface des interstices entre les débris augmente, ce qui accroît d'autant la surface offerte à la décharge des produits de l'explosion.

On considère à l'heure actuelle que la « portance » des fragments est négligeable et que ces débris ne sont pas animés d'un mouvement de rotation significatif. On tient compte de l'évolution de la force de poussée en fonction de la position des fragments par rapport au jet de produits de l'explosion.

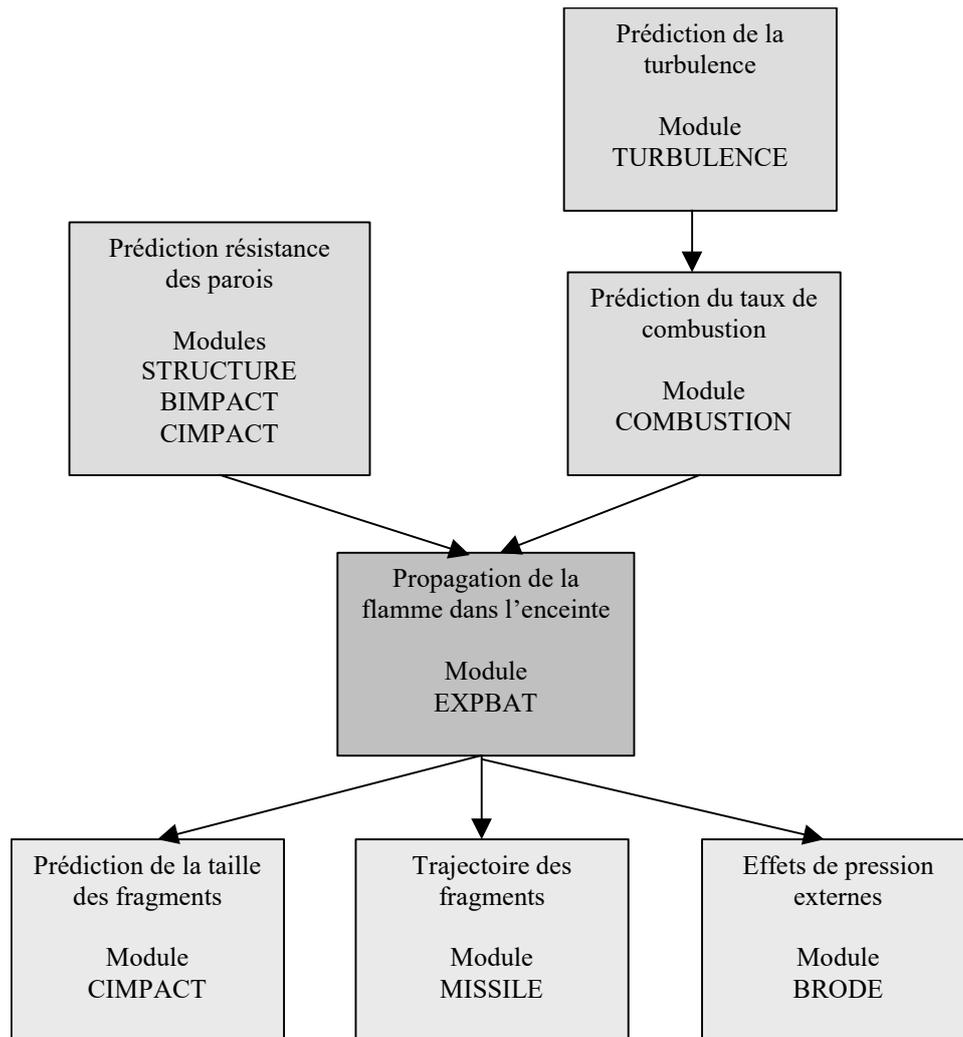
La trajectoire des fragments et ses caractéristiques (vitesse, orientation) sont calculées à partir des équations de bilan des forces.

Architecture et méthodes de résolution :

EFFEX est composé de huit modules qui permettent d'évaluer et de prédire :

- la résistance des structures,
- les propriétés du mélange inflammable dans l'enceinte (réactivité, turbulence, taux de combustion)
- les caractéristiques de la propagation de la flamme dans l'enceinte,
- la balistique des fragments.

L'organigramme qui suit présente schématiquement l'enchaînement de ces modules.



Les modules EXPBAT, MISSILE et CIMPACT sont des exécutables en langage compilé. Les autres modules se présentent sous la forme de feuilles de calcul EXCEL. Le tout fonctionne dans un environnement Windows.

Le modèle se présente sous la forme d'un ensemble d'équations différentielles (une dizaine) non linéaires.

Ces équations sont résolues simultanément par une méthode aux différences finies en suivant un schéma de résolution explicite, avec un pas de temps adaptatif qui permet de réduire fortement les erreurs de résolution et évite les oscillations numériques.

Données d'entrée et de sortie :

Les données d'entrées du module STRUCTURE sont :

- les dimensions de l'enceinte,
- les surfaces ouvertes,
- la nature des parois (matériau, densité, épaisseur)

Les données d'entrées des modules COMBUSTION et TURBULENCE sont :

- les caractéristiques de la fuite (pression, diamètre de l'orifice)
- la localisation de la fuite dans le bâtiment,
- la vitesse fondamentale de combustion

Les résultats de calcul sont :

- l'évolution temporelle de la pression dans l'enceinte (module EXPBAT)
- la trajectoire et la vitesse des fragments (module MISSILE)
- la surpression externe en fonction de la distance (module BRODE)

Types d'applications

Le logiciel EFFEX peut être utilisé pour la résolution de tous les problèmes d'explosions en enceinte. Il permet le calcul des effets externe de l'explosion, le dimensionnement d'événements, le calcul de l'explosion externe s'il y a lieu.

A l'heure actuelle, les principales limitations du logiciel sont :

- la non prise en compte des obstacles présents dans l'enceinte,
- la non prise en compte des gradients de concentration.

Exemples d'applications réalisées à l'INERIS

Le logiciel est utilisé de manière industrielle dans le domaine des explosions de poussières en enceintes, en particulier pour les études réglementaires des silos de céréales.

Dans le domaine des explosions de gaz, il est fréquemment utilisé pour évaluer la tenue à l'explosion des bâtiments susceptible d'être le siège d'une fuite de gaz.

EFFEX peut également être utilisé de manière itérative pour calculer la propagation d'une explosion d'une enceinte à une autre.

Éléments de validation

Le logiciel EFFEX n'a pas été développé sous assurance qualité.

Les performances du code ont été testées par rapport :

- à des essais d'explosion en laboratoire sur des enceintes munies d'événements (pas d'effet de fragmentation);
- à des essais d'explosion dans un bâtiment muni de paroi fragile;
- aux informations obtenues à l'occasion d'enquêtes après accident.

Il apparaît que les résultats de simulation sont en bon accord avec l'expérience notamment pour ce qui concerne les surpressions maximales, les durées d'explosion et les distances de projection des fragments. La forme des signaux de pression reste cependant assez différente des observations en raison de l'hypothèse d'une surface de flamme constante.

Les cas de validations sont décrits dans le rapport de présentation et de validation du logiciel (Proust, 2000). On peut citer :

- l'accident de Boiry-Ste-Rictrude (1982),
- l'accident de Blaye (1997).

Références bibliographiques

PROUST Ch., 2000 : Prévoir les effets des explosions de poussières sur l'environnement : EFFEX, un outil de simulation, rapport INERIS-DRA CPr/CPr 00-22751, disponible sur www.ineris.fr

Annexe 3

Le logiciel SECONDE

1. INTRODUCTION

SECONDE est issu de travaux militaires relatifs au stockage à la surface ou en souterrain, plutôt en galeries, de munitions diverses. Ces travaux ont notamment été consacrés à l'examen des effets d'ondes de surpression aérienne et d'ébranlements à travers les terrains dans l'hypothèse d'une explosion en masse dans un dépôt souterrain. Les équations, somme toute classiques, ont été rassemblées dans un guide édité par l'OTAN (OTAN, 1991). Certaines de ces expressions ont été sélectionnées puis programmées.

SECONDE a été développé essentiellement dans le but de mieux contrôler les effets induits dans l'environnement par les activités de type pyrotechniques réalisées par l'INERIS sur son site de Montlavoie. Ces activités ne sont pas toutes consacrées, loin s'en faut, à l'usage ou au test d'explosifs condensés mais plus largement à tout phénomène d'explosion (de gaz, de poussières, éclatements de réservoirs...). Une certaine adaptation des équations du guide a donc été conduite et les prédictions assez régulièrement confrontées à des mesures d'effets dans l'environnement.

2. DESCRIPTION DES PHÉNOMÈNES

Une explosion qui se déroule sur le sol ou dans le sol est une libération suffisamment rapide d'énergie pour que localement la pression augmente au-delà de la pression atmosphérique. Sous l'effet du différentiel de pression, un écoulement sur produit et se propage de proche en proche au moins à la vitesse du son. Cet écoulement est une onde de pression dont l'amplitude en un point donné de l'espace est fonction du différentiel initial de pression et du volume de l'explosion c'est-à-dire de l'énergie de pression initialement disponible (pression x volume). Comme les effets mécaniques associés à la propagation d'une onde aérienne sont le plus souvent exprimés en termes de niveaux de surpression, il est important de pouvoir relier la puissance des explosions à ce paramètre via un facteur d'échelle adapté. Des approches théoriques ont été proposées qui font apparaître le facteur d'échelle de Hopkinson (Baker, 1983) sous la forme du paramètre $x/m_{\text{tnt}}^{1/3}$ où x est la distance à l'explosion et m_{tnt} la masse de TNT dont l'énergie de pression est identique à celle de l'explosion considérée. Une abaque classique est celle donnant l'atténuation des effets de surpression aérienne autour d'un explosif détonant en espace libre (figure 1) sur lequel on constate la pertinence du paramétrage par rapport à des expériences.

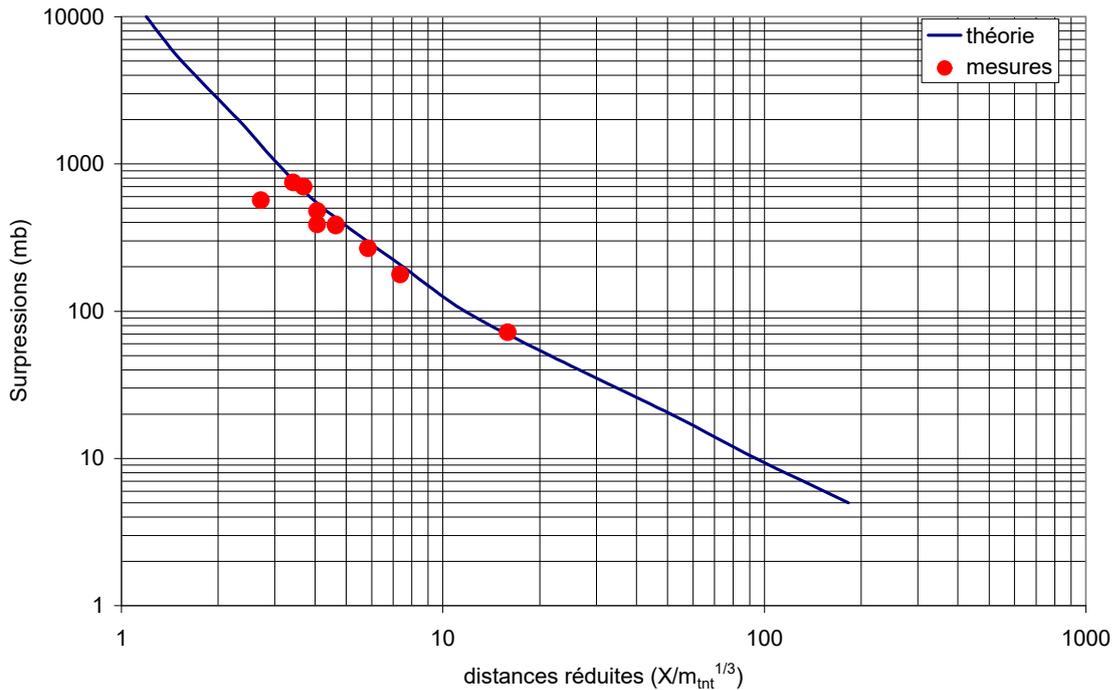


Figure 1 Evolution de la surpression en fonction de la distance réduite en kg de TNT

Au contact des terrains l'explosion applique une contrainte et un cisaillement qui peuvent se propager de proche en proche à la vitesse du son dans les terrains un peu comme l'onde de surpression dans l'atmosphère. Ces effets d'ébranlement par le sol n'ont pas apparemment fait l'objet d'une conceptualisation aussi poussée que pour les effets de l'explosion à l'air libre. L'une des raisons provient peut être de la complexité introduite par l'hétérogénéité des terrains naturels. Les mesures (Langefors, 1973) et la théorie (Proust, 2001) suggèrent que les effets s'atténuent comme $[X/m_{\text{tnt}}^{1/2}]^{-\alpha}$ (Davey-Bickford, 1991). Ce type de paramétrage paraît bien adapté (figure 2) sachant que le paramètre d'effet retenu est la vitesse matérielle des secousses que l'on peut toutefois relier à une contrainte. La limite du « ressenti » est de l'ordre de 0,2 mm/s tandis que des fissures très importantes sont produites pour des amplitudes de l'ordre de 100 mm/s.

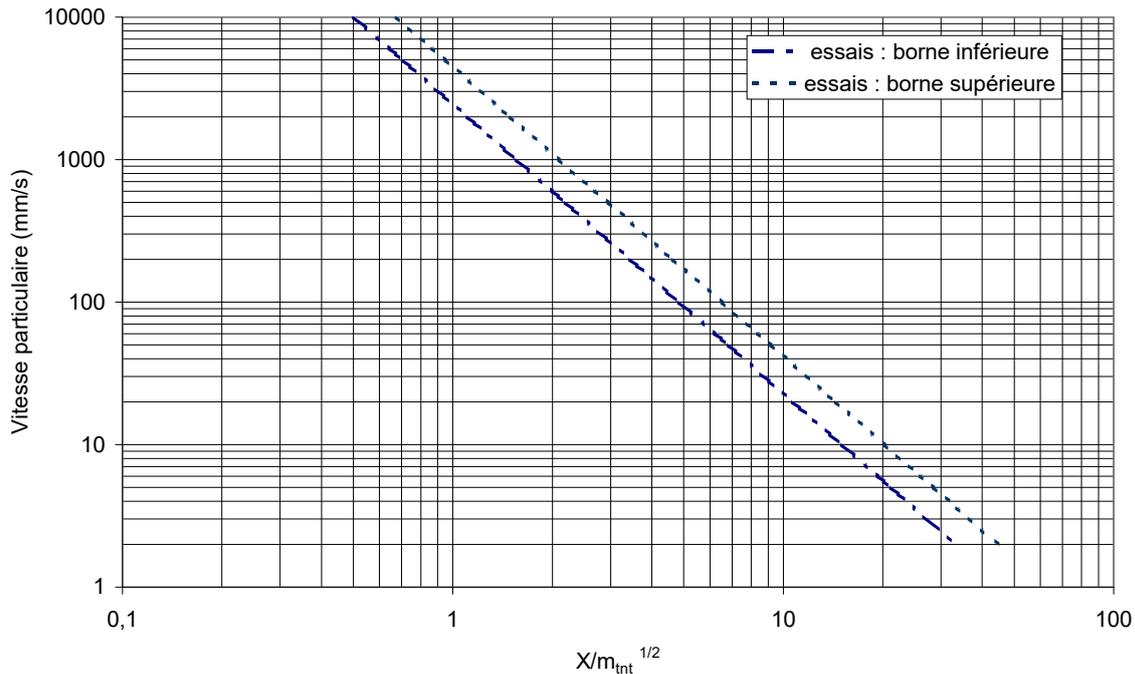


Figure 2 : Corrélation de la vitesse de vibration et du paramètre d'échelle $m_{TNT}^{1/2} / R$ (corrélations expérimentales de l'INERIS d'après Kizlo, 2001)

3. METHODE « SECONDE »

SECONDE comporte 1 module consacré à la propagation des ondes aériennes et un second consacré aux ondes sismiques.

3.1 PRÉDICTION DE L'AMPLITUDE DES ONDES AÉRIENNES

La prédiction des effets des explosions non confinées à fait l'objet de nombreuses études (Mouilleau, 1999). Dans SECONDE, on utilise la courbe classique de la figure 1. Le calcul est plus particulièrement applicable à la situation d'explosions où la vitesse de libération de l'énergie est au moins sonique (explosifs, éclatements pneumatiques,...). La masse d'équivalent TNT est déduite de l'énergie de pression disponible déduite de la formule de BRODE :

$$E_i = \frac{\Delta P_{\text{exp}} \cdot V}{\gamma - 1}$$

où :

- V est le volume de ce qui explose,
- γ est le rapport des chaleurs spécifiques du gaz sous pression.

Et la masse d'équivalent TNT est définie de la façon suivante :

$$m_{TNT} = \frac{E_i}{E_{TNT}}$$

où E_{TNT} est l'énergie de combustion du TNT soit 4,7 MJ/kg.

Les ondes aériennes issues d'une explosion confinée obéissent globalement aux lois d'atténuation dans l'espace de Hopkinson (Baker , 1983) sauf que l'amplitude de l'onde en un point de l'espace ne dépend pas que de la distance à l'épicentre (selon l'expression 1) mais également de l'angle par rapport à l'axe de la décharge des gaz de l'explosion.

$$\Delta P = K \cdot \Delta P_{\text{exp}}^{0,265} \cdot \frac{x}{m_{\text{int}}^{0,283}} \quad (1)$$

où ΔP est la surpression à la distance x du débouché de la galerie, M_{int} est la charge d'équivalent TNT, ΔP_{exp} la surpression moyenne d'explosion et K une constante qui dépend notamment de l'angle entre la direction d'observation et l'axe de la galerie (figure 3 d'après Heudier, 2004).

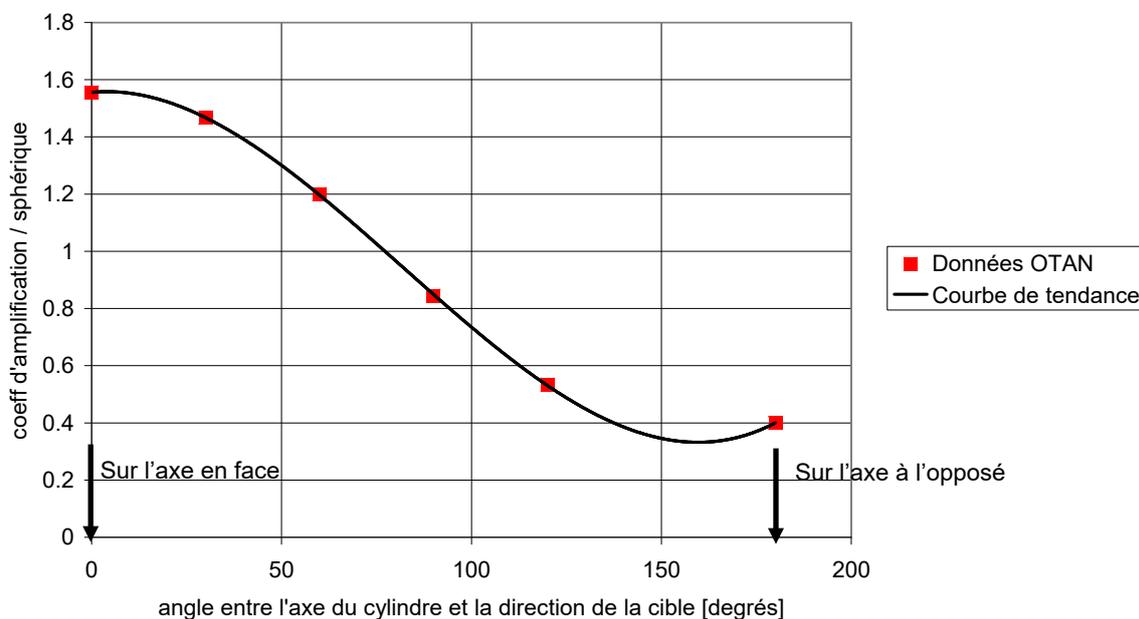


Figure 3 Coefficient d'amplification par rapport à une décharge isotrope, lié aux effets directionnels de sortie de cylindre

Des expériences ont été réalisées pour tester le modèle proposé au moyen de l'installation de la figure 4. La source d'explosion est disposée dans un cylindre en hauteur dépourvu d'extrémités (diamètre 100 mm, de longueur 300 mm). L'onde de pression qui en résulte se propage vers un ensemble de bases de mesures parallélépipédiques (bacs en matière plastique, larges de 75 cm et hauts de 35 cm) posées sur le sol et distantes de 75 cm environ les unes des autres. Le cylindre est disposé à environ 70 cm à l'aplomb du premier parallélépipède. Les surpressions sont mesurées en plusieurs points sur les faces supérieures des bases ce qui représente un spectre relativement large d'angle d'incidence (de 0 à 90° par rapport à l'axe du cylindre). La source d'explosion est constituée d'un seul détonateur ou de deux détonateurs en série (2300 et 4600 J respectivement).

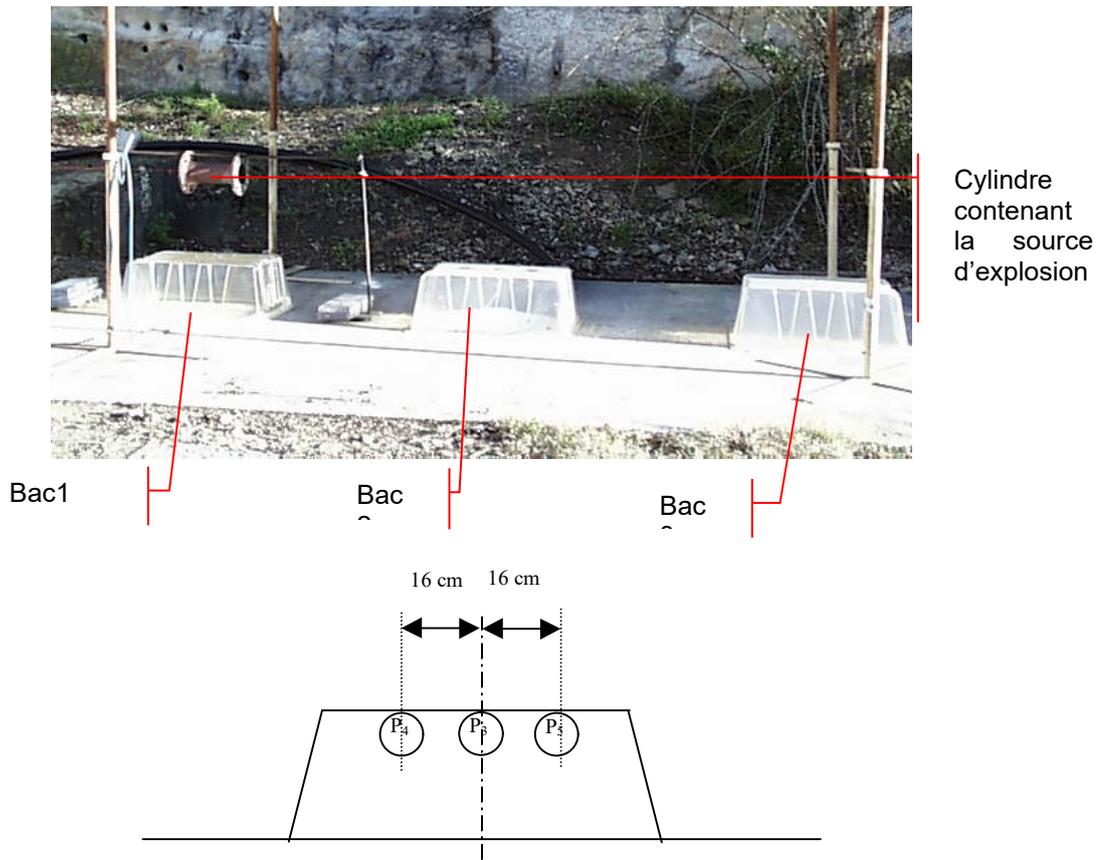


Figure 4 : Installation expérimentale

Les résultats et la comparaison avec SECONDE sont présentés sur la figure 5. On constate un bon accord global.

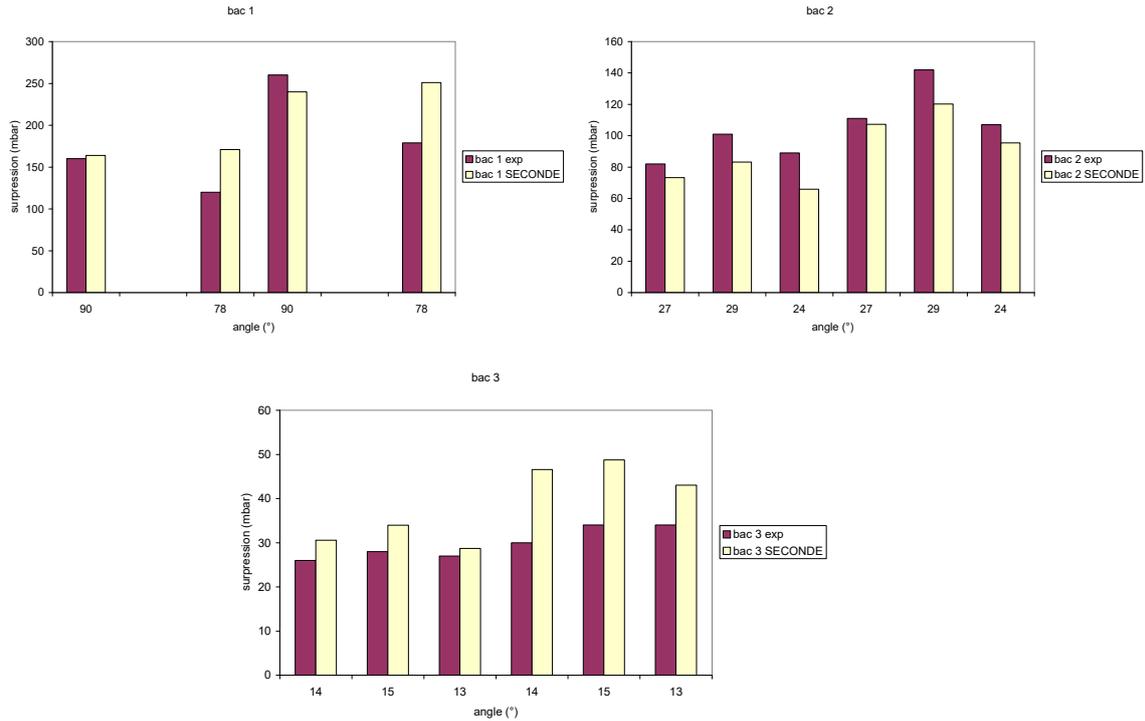


Figure 5 : Comparaison des résultats expérimentaux et des prédictions avec SECONDE (sur chaque graphe la moitié gauche correspond aux essais avec 1 seul détonateur et la moitié droite avec 2 détonateurs)

3.2 PRÉDICTION DE L'AMPLITUDE DE L'ÉBRANLEMENT

Les méthodes de prédictions de ces effets ont fait l'objet de nombreuses études expérimentales. Dans le document de l'OTAN qui sert de référence, l'expression retenue, fondée sur des mesures suite à des explosions souterraines, est :

$$v = K \cdot \left(\frac{x}{m_{mt}^{4/9}} \right)^2 \quad (2)$$

où v est la vitesse particulière de l'ébranlement que l'on relie à la contrainte σ dans le sol :

$$\sigma = \rho_{sol} \cdot a_{sol} \cdot v \quad (3)$$

où ρ_{sol} et a_{sol} sont respectivement la masse volumique et la vitesse de propagation des ondes dans le sol (typiquement 2000 à 3000 m/s et 2000 à 6000 m/s). Au droit de l'explosion σ ne peut pas être plus grande que la surpression d'explosion ΔP_{exp} . On compare sur la figure 6, les performances de ce modèle, incorporé dans SECONDE et les résultats de la figure 2. On constate un accord raisonnable.

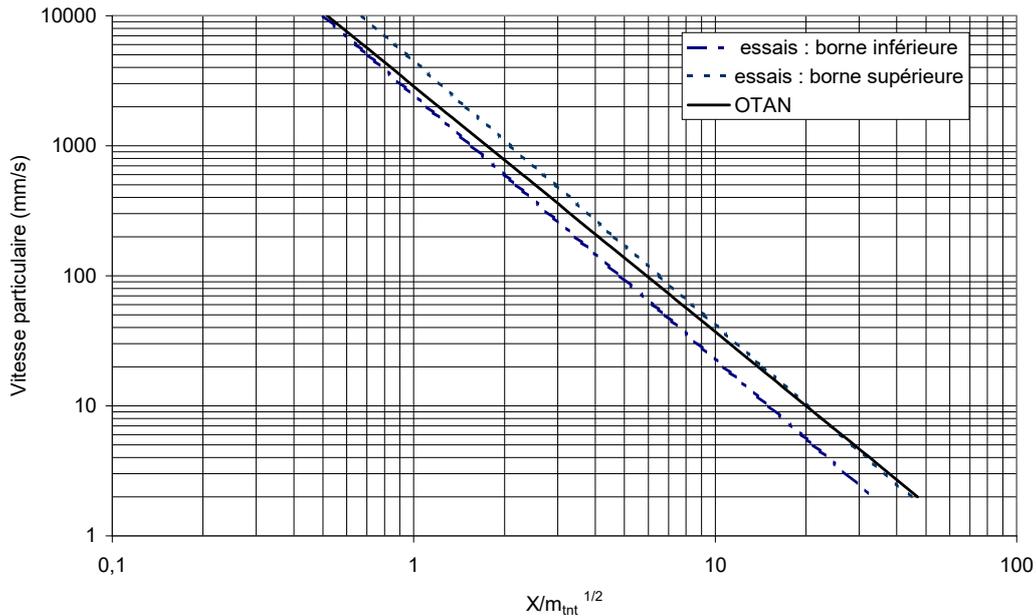


Figure 6 : Comparaison du modèle d'ébranlement de SECONDE et des données de la figure 2.

Dans SECONDE, on calcule les effets d'ébranlement pour des explosions non confinées de la même manière que pour les explosions souterraines.

3.3 UTILISATION

La méthode est programmée sous Xcel. On introduit dans une feuille les données concernant le volume de l'explosion et la surpression atteinte ce qui permet d'évaluer l'énergie de pression disponible puis la masse d'équivalent TNT. On fournit également les seuils de surpression et d'ébranlement que dont on souhaite connaître la position. Un certain paramétrage est possible, pour tenir compte par exemple d'une nature de sol spécifique. Une feuille est consacrée aux explosions non confinées, une autre aux explosions confinées (figure 7).

Paramétrage de l'explosion			
Tube/galerie ouvert(e) d'une seul côté			
Ltube =	10	m	
Dia =	3	m	
Surp expl. =	1	b	

Données pour calcul d'explosion			
Volume =	70,6858347	m ³	
Energie =	23,5619449	MJ	
Qexplosion =	5,01317977	kg TNT	
n =	1		
k =	2		
fD =	1		
mas. vol/massi	2500	kg/m ³	
vit. son massif	5000	m/s	
surpr/fond	0,1	MPa	
ébranl. max	8	mm/s	

Paramétrage des seuils d'effets			
surpression	90	mb	
surpression	55	mb	
ébranlement	1200	mm/s ->MPa	15
ébranlement	3	mm/s ->MPa	0,0375

informations			
réglementation ICPE			
réglementation Mines et Carrières			
dégâts légers	50	mb	
structure	140	mb	
fissures	10	mm/s	
(tirs répétés)			
ressenti	0,2	mm/s	

Effet sur l'environnement à	130	m	
selon un angle de	180	deg	
surpression	champ libre	1,63	mb
surpression	champ libre	138,24	dba
surpression	à l'abri	0,41	mb
surpression	à l'abri	126,20	dba
ébranlement		0,71	mm/s

Figure 7 : Feuille de données d'entrée de SECONDE

Les expressions présentées ci-dessus sont utilisées pour calculer les distances d'observation des seuils choisis et des représentations graphiques sont proposées (figure 8). L'utilisateur peut également chercher l'ordre de grandeur des effets à une distance qu'il choisit sachant que les effets directionnels ne sont pas pris en compte à ce stade.

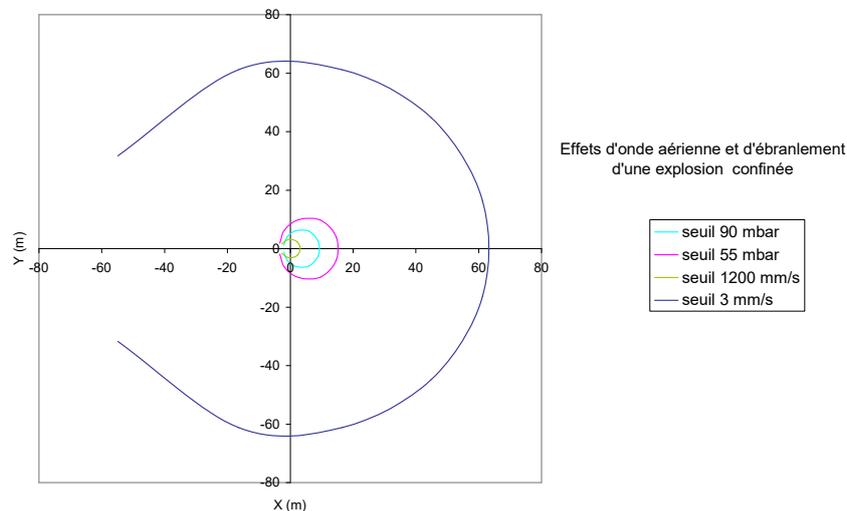


Figure 8 : Position des seuils de surpression et d'ébranlement pour une explosion confinée

Plusieurs campagnes de mesures d'effets dans l'environnement du site de Montlville ont été réalisées y compris lors d'essais non pyrotechniques. Un exemple est présenté sur la figure 9, lors d'une campagne d'explosions de poussières dans une galerie souterraine de 100 m³. On constate un accord raisonnable entre les prédictions et les mesures.

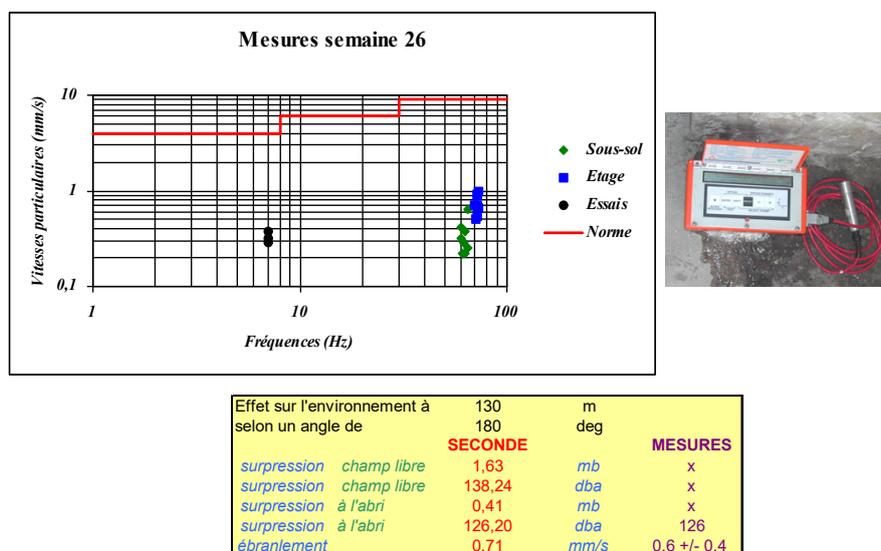


Figure 9 : Comparaison mesures et prédictions lors d'explosions de poussières dans la galerie de 100 m³ (surpressions dans la chambre d'explosion de l'ordre de 1 bar ; distance d'observation de 150 m à 180 ° d'angle et derrière une falaise).

4. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. BAKER, COX, WESTIN, KULESZ, STREHLOW, 1983, *Explosion hazards and evaluation*, édition Elsevier.
2. HEUDIER, 2004, *Les éclatements de réservoir – Phénoménologie et Modélisation des effets*, Version Projet.
3. OTAN, 1991, *Manuel sur les principes de sécurité OTAN applicables au stockage des munitions et des explosifs militaires*.
4. T.N.O., 1997, *Methods for the Calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Material (Yellow Book)*, Report of the committee for the prevention of Disasters.
5. DAVEY-BICKFORD, 1991, *Vibrations et Nuisances* , cours dispensé par Davey-Bickford
6. LANGEFORS , KIHLSSTRÖM (1973), *The modern Technique of Rock Blasting* , Ed John Wiley and Sons, New York
7. PROUST, (2001), *Déminage d'installations portuaires au Havre -nature du danger*, Rapport final, **INERIS** DRA - CPr/CPPr - 01-27684
8. MOUILLEAU (1999), *Guide des méthodes d'évaluation des effets des explosions à l'air libre*, rapport final sur le site www.ineris.com
9. KIZLO, 2001, *Dynamique des vibrations*, note interne INERIS



(ID Modèle = 454988)

Ineris - 203353 - 2491963 - v1.0

03/11/2020

**Complément à l'étude de la caractérisation
de la violence d'une explosion d'un
bâtiment compresseur d'hydrogène**

H2V INDUSTRY

PRÉAMBULE

Le présent document a été établi sur la base des informations transmises à l'Ineris. La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations fournies.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du présent document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La prestation ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser le document après cette date.

L'établissement du présent document et la prestation associée sont réalisés dans le cadre d'une obligation de moyens.

Au vu de la mission qui incombe à l'Ineris au titre de l'article R131-36 du Code de l'environnement, celui-ci n'est pas décideur. Ainsi, les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre de cette prestation ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur. Par conséquent la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du présent document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour toute utilisation du document en dehors de son objet.

En cas de contradiction entre les conditions générales de vente et les stipulations du présent préambule, les stipulations du présent préambule prévalent sur les stipulations des conditions générales de vente.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction des Risques Accidentels

Rédaction : DAUBECH Jerome -

Vérification : LEPRETTE EMMANUEL

Approbation : Document approuvé le 03/11/2020 par DUPLANTIER STEPHANE

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

Table des matières

1	Introduction.....	5
1.1	Contexte	5
1.2	Éléments contractuels	5
2	Description des installations et scénarios à considérer.....	6
2.1	Bâtiment compresseur.....	6
2.2	Scenarios à considérer.....	6
3	Résultats.....	7
3.1	Scénario 1.....	7
3.1.1	Dynamique de formation du nuage d'hydrogène.....	7
3.1.2	Caractérisation de la violence de l'explosion.....	8
3.2	Scénario 2.....	9
3.2.1	Dynamique de formation du nuage d'hydrogène.....	9
3.2.2	Caractérisation de la violence de l'explosion.....	10
4	Conclusion.....	12
5	Liste des annexes :.....	13
	Annexe 1.....	14
	Annexe 2.....	33
	Annexe 3.....	37
	Annexe 4.....	46

Pour citer ce document :

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, , Verneuil-en-Halatte : Ineris - 203353 - 2491963 - v1.0, 03/11/2020.

1 Introduction

1.1 Contexte

La société H2V INDUSTRY souhaite installer deux usines de production massive d'hydrogène vert, composées chacune d'un ensemble de deux unités de 100 MW de puissance électrique provenant du réseau. La production reposera sur l'utilisation d'électrolyseurs de forte puissance, qui permettront d'extraire l'hydrogène de l'eau.

Les deux usines seront situées à :

- Dunkerque (59). Dans le cadre de ce projet H2V59, l'hydrogène sera injecté dans le réseau de gaz naturel avec une concentration ne dépassant pas 5% (*Power-to-Gas*).
- Lillebonne (76). Dans le cadre de ce projet H2V76, l'hydrogène sera distribué à des industriels locaux désireux de « verdir » leur approvisionnement via un réseau spécifique.

La société H2V INDUSTRY a sollicité l'Ineris lors de précédentes études¹ concernant l'implantation des détecteurs d'hydrogène sur une installation de production massive d'hydrogène par électrolyse de l'eau et sur la caractérisation de la violence de l'explosion dans un local compresseur 100 bar.

La société H2V INDUSTRY sollicite l'Ineris pour compléter l'étude de la caractérisation de la violence d'une explosion susceptible de se produire dans le bâtiment compresseur 500 bar, déterminer si la surface des toitures est suffisante pour maintenir l'intégrité mécanique des façades du bâtiment et de déterminer les distances d'effets maximales lorsque l'ensemble des moyens de prévention sont inopérant.

Pour cela, il convient :

- d'évaluer la dynamique d'enrichissement du nuage inflammable qui s'accumule sous la toiture du bâtiment compresseur en tenant compte du débit de fuite, du taux de renouvellement horaire et du temps de fuite considéré.
- de caractériser la violence de l'explosion de l'atmosphère explosive formée lors de la dispersion d'hydrogène et de déterminer si la surface de la toiture est suffisante pour maintenir l'intégrité mécanique des façades du local compresseur ;
- de déterminer les distances d'effets externes aux bâtiments.

1.2 Eléments contractuels

Ce rapport fait suite :

- à l'offre Ineris - 203353 - 2451327 - v1.0 du 21/10/2020,
- à votre commande 3FRA100A-001A002-02 du 22/10/2020.

¹ Ineris - 181601 - 659686 - v2.0 et Ineris - 203353 - 2406857 - v1.0
Ineris - 203353 - 2491963 - v1.0

2 Description des installations et scénarios à considérer

2.1 Bâtiment compresseur

Le bâtiment compresseur a une surface au sol de 122 m² et une hauteur de 10,3 m.

Les parois du bâtiment et du local compresseur sont des voiles en béton banché dont la surpression de résistance mécanique à l'explosion est estimée par H2V INDUSTRY à 150 mbar. Les portes du local sont des portes anti-blast dont la surpression de résistance mécanique à l'explosion est estimée par H2V INDUSTRY à 150 mbar.

La toiture du bâtiment compresseur est une toiture soufflable composée de bacs acier, d'isolants et de revêtements d'étanchéité. La surface totale de la toiture soufflable du bâtiment est de 122 m². Leur surpression de résistance mécanique à l'explosion est estimée par H2V INDUSTRY à 100 mbar. Leur densité surfacique est de 45 kg/m².

L'hydrogène est comprimé à une pression de 500 bar. Il est véhiculé dans le bâtiment par des tuyauteries DN 65. L'hypothèse est prise d'une ventilation permanente de 10 vol/h, le débit de ventilation en situation normale et le débit de ventilation forcée étant tous deux égaux à cette valeur.

2.2 Scenarios à considérer

Le premier scénario à considérer est le rejet de 2,42 kg d'H₂ dans le bâtiment compresseur et se répartit comme suit :

- 1,1 kg d'H₂ est rejeté avant d'atteindre 1% d'H₂ dans le local, seuil de détection des détecteurs,
- 0,16 kg d'H₂ provient de la vidange de la bache de compresseur,
- 1,16 kg d'H₂ est la quantité rejetée dans le temps (1 min) de mise en sécurité du système (débit de rejet d'H₂ : 19,4 g/s).

Ces hypothèses de calcul sont proposées par la société H2V INDUSTRY dans un « extrait de l'annexe modélisation des bâtiments de production et de compression » envoyé à l'Ineris le 22/09/2020.

Il est supposé que le diamètre de fuite à considérer est 10 % du diamètre nominal de la tuyauterie², soit un diamètre équivalent de fuite de 6,5 mm. Le temps de fuite à considérer avant la mise en sécurité du système est de 60 s.

Le second scénario à considérer est la défaillance totale des moyens de prévention de formation d'un nuage inflammable d'hydrogène dans le local compresseur. Cela entraîne une fuite continue d'H₂ à un débit de 19,4 g/s.

² « le risque de fuite massique ou de rupture franche n'a pas été retenu dans l'APR »

3 Résultats

L'évaluation de la dynamique d'enrichissement de nuage inflammable est réalisée au moyen du logiciel EXORIS de l'Ineris présenté en annexe 1. Ce logiciel permet de calculer l'évolution des concentrations et de la répartition des espèces dans un nuage inflammable en tenant compte des dimensions du local, du débit de fuite et du taux de renouvellement horaire.

L'évaluation de la violence de l'explosion est réalisée au moyen du logiciel EFFEX de l'Ineris présenté en annexe 2. Ce logiciel permet de calculer la propagation de la flamme et les niveaux de pression associés dans un volume confiné en tenant compte de la forme et de la localisation du volume explosif, et de la présence éventuelle d'ouvertures.

3.1 Scénario 1

3.1.1 Dynamique de formation du nuage d'hydrogène

Le rejet de 2,42 kg de H₂ dans le local compresseur est supposé réalisé par un orifice circulaire équivalent de 6,5 mm de diamètre pendant 1 min. Un débit de fuite moyen de l'ordre de 40 g/s est retenu.

Lorsque le jet d'hydrogène issu de la brèche frappe une paroi, il s'y brise, si bien que le mélange formé au point d'impact glisse le long de la paroi et s'accumule au plafond. Il se forme alors une nappe de gaz sous les effets antagonistes de l'accumulation du mélange produit par le jet, la diffusion turbulente qui tend à homogénéiser l'atmosphère et le renouvellement d'air qui évacue le gaz.

Le logiciel EXORIS représente cette physique. La

Figure 1 présente l'évolution de la concentration en hydrogène dans la nappe de gaz qui s'accumule sous le plafond du local au cours du temps. On constate un enrichissement progressif de la nappe d'hydrogène. En même temps, l'hydrogène diffuse vers le bas en augmentant le volume inflammable. Au bout de 60 s, l'épaisseur de la nappe de gaz est de l'ordre de 2,4 m. La concentration maximale dans la nappe de gaz est de 4,6 % d'hydrogène dans l'air.

Il est considéré dans la suite de l'étude relative au local compresseur que la nappe de gaz accumulée sous le plafond est une nappe homogène d'une épaisseur de 2,4 m et de concentration maximale de 4,6 % d'hydrogène dans l'air.

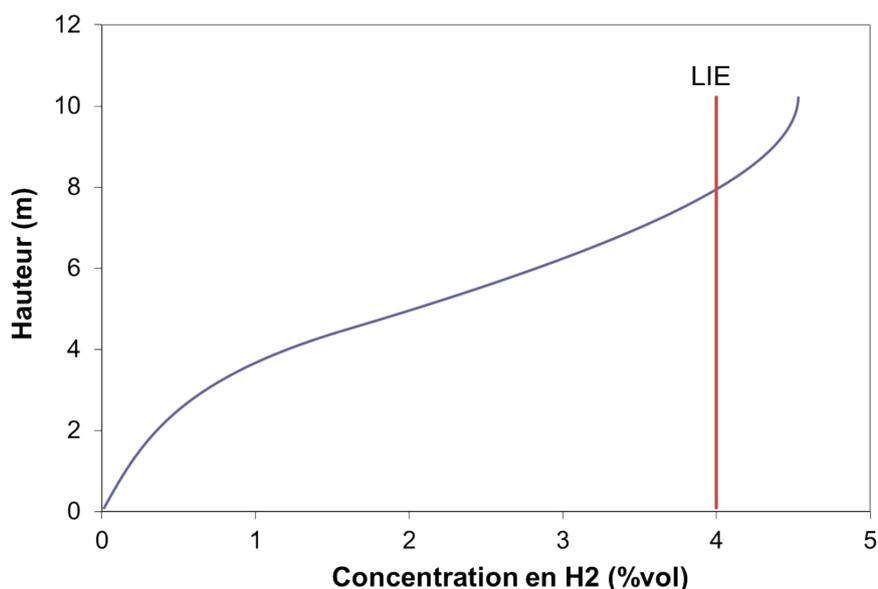


Figure 1 : Concentration en hydrogène dans la nappe de gaz au bout dans le local compresseur

3.1.2 Caractérisation de la violence de l'explosion

L'atmosphère explosive formée sous la toiture du local rencontre une source d'inflammation. Au contact de la source d'inflammation, la combustion s'amorce et les produits de combustion chauds ainsi formés, dont la température³ est comprise entre 1000 et 2000°C, servent à leur tour de "source d'inflammation" pour les zones avoisinantes. Une flamme se propage alors d'elle-même à travers le nuage. Sur son passage, elle transforme le milieu réactif "froid" en produits de combustion "chauds". Une portion du nuage traversé par la flamme subit une expansion thermique très importante (un 1 cm³ de volume du nuage initial subit, après combustion, une expansion d'environ 2,3 fois son volume pour un mélange hydrogène-air à 4,6 %).

L'expansion thermique du gaz sous l'effet de la combustion est responsable de l'augmentation de la pression interne du local.

Dans le nuage turbulent, sous l'effet de l'agitation interne qui règne dans le nuage explosible⁴, la flamme se plisse et sa surface augmente. Ainsi, plus la surface de flamme augmente, plus le taux de consommation des gaz frais augmente, donc, plus le temps de combustion sera faible et la vitesse de combustion rapide. Dans le cas d'un nuage turbulent d'hydrogène à 4,6 % dans l'air, la vitesse de combustion turbulente est de l'ordre de 3,2 m/s.

Lorsque le niveau de pression interne du local atteint le seuil de résistance mécanique de la toiture soufflable, la toiture va s'ouvrir et entraîner une dépressurisation partielle du local. Une partie des gaz frais et des gaz brûlés peut être mis à l'évent. Il s'installe alors une compétition entre le débit de production de gaz brûlés par la flamme et le débit d'évacuation des gaz. Il règne alors dans le bâtiment une pression appelée « pression réduite ».

Lorsque la flamme atteint l'extrémité inférieure de la nappe de gaz, la flamme ralentit car elle n'est plus soumise que partiellement à son expansion thermique. La propagation de la flamme dans la nappe d'hydrogène accumulé au plafond est calculée au moyen du code phénoménologique EFFEX.

La Figure 2 présente la surpression dans le local au cours du temps.

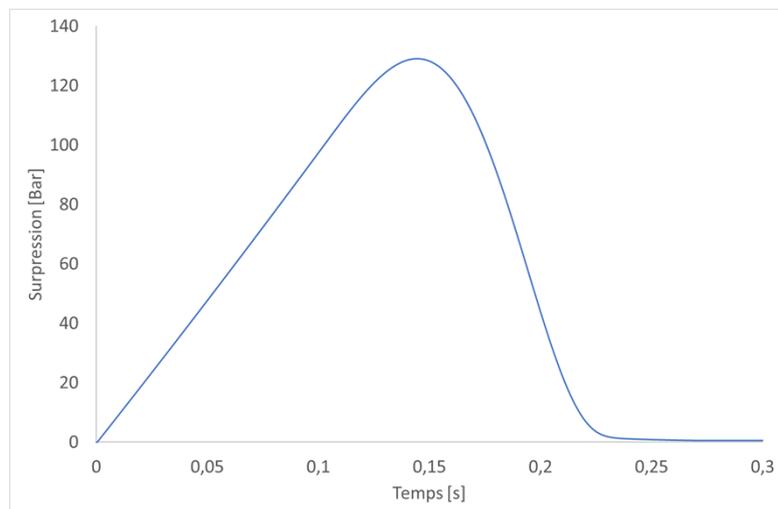


Figure 2 : Surpression dans le local au cours du temps dans le local compresseur

³ LEWIS B., Von ELBE G. (1987), " Combustion, flames and explosions of gases : 3rd edition ", Academic Press, London, ISBN 0-12-446751-2

⁴ Proust C, 2004 , « Habilitation à diriger des recherches », INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

La surpression maximale dans le local est limitée par la pression d'ouverture de la toiture à une surpression de l'ordre 130 mbar. Ainsi, cette surpression d'explosion est inférieure à la surpression de résistance mécanique des parois et des portes du local.

Le remplissage partiel du local n'entraîne pas d'éjection d'hydrogène à l'extérieur du local lors de l'ouverture de la toiture soufflable. Il n'y a pas d'explosion secondaire.

La surpression de 130 mbar qui règne dans le local se décharge dans l'environnement. La Figure 3 présente les distances d'effets de surpression calculées à l'extérieur du bâtiment au moyen du logiciel SECONDE de l'Ineris. La hauteur 0 représente la hauteur de la toiture, c'est-à-dire 10,3 m. La décharge de l'explosion a lieu préférentiellement vers le haut. Les effets de surpression n'atteignent pas le sol.

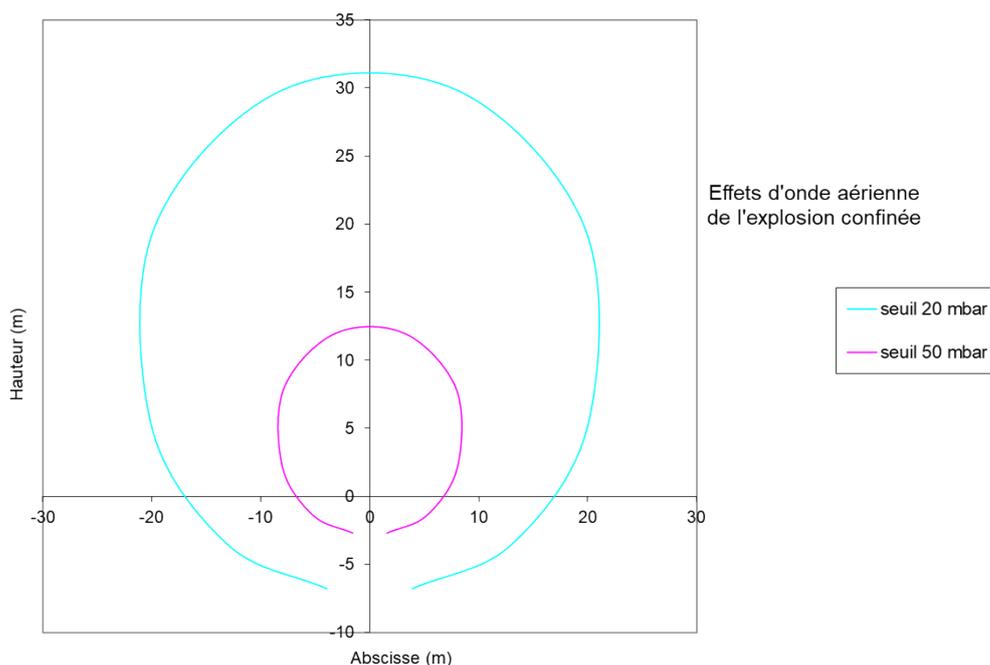


Figure 3 : Distances d'effets de surpression calculées à l'extérieur du local

3.2 Scénario 2

3.2.1 Dynamique de formation du nuage d'hydrogène

La fuite d'hydrogène dans le bâtiment compresseur par un orifice circulaire équivalent de 6,5 mm de diamètre a un débit égal à 19,4 g/s.

Le logiciel EXORIS a également été utilisé pour ce calcul. La Figure 4 présente l'évolution de la concentration en hydrogène dans la nappe de gaz qui s'accumule sous le plafond du bâtiment compresseur au cours du temps. Le nuage d'hydrogène formé dans le bâtiment est homogène turbulent. La stœchiométrie (30 % d'H₂ dans l'air) est atteinte au bout de 40 min.

Il est considéré dans la suite de l'étude relative au bâtiment compresseur que le nuage est à la stœchiométrie.

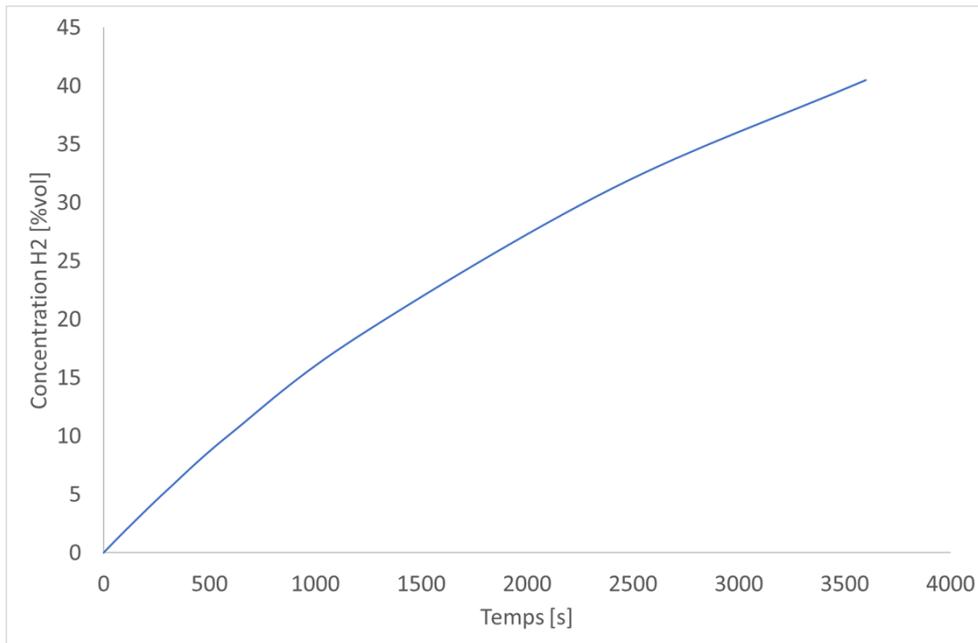


Figure 4 : Evolution de la concentration en hydrogène dans le bâtiment compresseur au cours du temps Caractérisation de la violence de l'explosion

3.2.2 Caractérisation de la violence de l'explosion

La phénoménologie de l'explosion dans le bâtiment compresseur est identique à celle présente dans le local. L'expansion thermique subie par les produits de combustion est de l'ordre 7 pour un mélange hydrogène-air à 30 %. La vitesse de combustion turbulente dans ce nuage est de l'ordre de 24 m/s.

Le logiciel EFFEX a été utilisé pour ce calcul.

La Figure 5 présente la surpression dans le local au cours du temps.

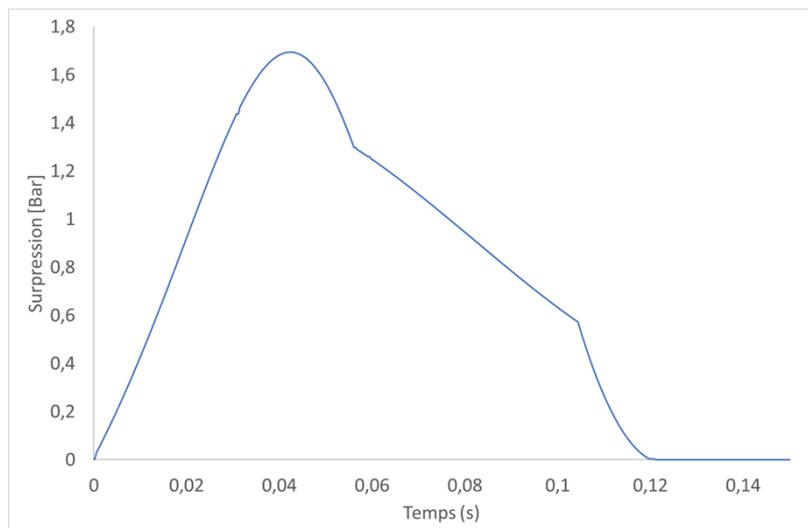


Figure 5 : Surpression dans le local au cours du temps dans le bâtiment compresseur

On s'aperçoit que malgré l'ouverture de la toiture, la surpression maximale dans le local est de l'ordre de 1,7 bar. Ainsi, cette surpression d'explosion est supérieure à la surpression de résistance mécanique des parois et des portes du local. Le bâtiment va éclater. Les distances d'effets de surpression liées à cet éclatement sont calculées au moyen du logiciel PROJEX de l'Ineris présenté à l'annexe 4. Les distances d'effets sont présentées au Tableau 1 et comptées depuis le centre du bâtiment.

Seuil d'effets de surpression	Distance d'effets
200 mbar	30 m
140 mbar	40 m
50 mbar	80 m
20 mbar	160 m

Tableau 1 : Distances d'effets de surpression comptées depuis le centre du bâtiment compresseur

4 Conclusion

La société H2V INDUSTRY a sollicité l'Ineris lors de précédentes études concernant l'implantation des détecteurs d'hydrogène de l'eau et sur la caractérisation de la violence de l'explosion dans un local compresseur 100 bar.

La société H2V INDUSTRY a souhaité compléter les précédentes études avec un travail spécifique sur le bâtiment compresseur 500 bar. La société H2V INDUSTRY souhaite :

- dans un premier temps, vérifier si la surface des toitures est suffisante pour maintenir l'intégrité mécanique des façades du bâtiment lorsque les moyens de prévention sont opérant,
- dans un second temps, déterminer les distance d'effets maximales lorsque l'ensemble des moyens de préventions sont inopérant.

Pour cela, l'Ineris a réalisé l'évaluation de la dynamique d'enrichissement de nuage inflammable au moyen du logiciel EXORIS et la caractérisation de la violence de l'explosion au moyen du logiciel EFFEX.

Il est supposé que toute la toiture du local et du bâtiment est soufflable à 100 mbar. Sa densité surfacique est égale à 45 kg/m².

Pour le premier scénario, il est supposé que le diamètre de fuite à considérer doit être 10 % du diamètre nominal de la tuyauterie, soit un diamètre équivalent de fuite de 6,5 mm et que la quantité d'H₂ rejetée est de 2,42 kg. Le temps de fuite considéré avant la mise en sécurité du système est de 60 s. Le taux de ventilation est considéré identique dans les deux locaux et égal à 10 vol/h.

L'étude de la dispersion d'hydrogène a montré qu'il se forme sous la toiture du local, un nuage turbulent de 2,4 m d'épaisseur à une concentration maximale de l'ordre de 4,6 % d'hydrogène dans l'air. La caractérisation de la violence de l'explosion a montré que l'ouverture de la toiture à 100 mbar permet de limiter la pression à 130 mbar dans le bâtiment compresseur.

Ces niveaux de surpression d'explosion sont inférieurs à la surpression de résistance mécanique des parois et des portes du local et du bâtiment.

Pour le second scénario, il est supposé que le débit de fuite d'H₂ est de 19,4 g/s. Il se forme dans le bâtiment un mélange homogène turbulent. La stœchiométrie est atteinte au bout de 40 min.

Malgré l'ouverture de la toiture à 100 mbar, l'explosion dans le bâtiment entraîne une surpression de l'ordre de 1,7 bar dans le bâtiment. Cela provoque son éclatement avec des effets de surpression à l'extérieur :

- Le seuil des effets domino (200 mbar) est atteint à 30 m.
- Le seuil des effets létaux significatifs (140 mbar) est atteint à 40 m.
- Le seuil des effets irréversibles (50 mbar) est atteint à 80 m.
- Le seuil des bris de vitres (20 mbar) est atteint à 160 m.

5 Liste des annexes :

- Annexe 1 : le logiciel EXORIS
- Annexe 2 : le logiciel EFFEX
- Annexe 3 : le logiciel SECONDE
- Annexe 4 : le logiciel PROJEX

Annexe 1

Le logiciel EXORIS

1. INTRODUCTION

L'examen des conséquences des explosions de gaz requiert le plus souvent la détermination des caractéristiques du nuage explosif (taille, forme, turbulence, répartition des espèces...).

Il est extrêmement fréquent que ce nuage résulte d'une fuite qui peut prendre la forme d'un jet et/ou d'un épandage au sol suivi d'une vaporisation. Puis le gaz ou les vapeurs inflammables se dispersent dans l'environnement et forment un nuage explosif dont la forme, la taille, la richesse dépendent de la géométrie des lieux (parois, obstacles) mais aussi de la dynamique propre de l'atmosphère environnante (convection naturelle, turbulence induite par la fuite).

EXORIS est composé d'une suite (ouverte donc évolutive) de modules qui permettent de représenter ces différentes étapes. Chaque module comporte des modèles physiques (non empiriques) dont la validation est assurée d'une part par la robustesse des modèles utilisés et d'autre part par la confrontation permanente à des données expérimentales détaillées et ciblées.

Actuellement EXORIS comporte les modules suivants :

- estimation des caractéristiques de la fuite (débits, vitesses, coefficient de contraction, température, densité...)
- estimation des caractéristiques du jet issu de la fuite (répartition des espèces, champs de vitesse et de turbulence)
- estimation de l'accumulation dans un local éventuellement ventilé (répartition des espèces, turbulence)

2. CARACTERISTIQUES DE LA FUITE

Ce module concerne essentiellement les fuites de gaz éventuellement à haute pression à travers un orifice.

Il existe dans la littérature des modèles robustes de prédiction du débit à travers un orifice. On utilise typiquement l'expression :

$$\dot{Q} = C_d \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot \left[\frac{P_a}{P_{res}} \right]^{\frac{2}{\gamma}} \cdot P_{res} \cdot \rho_{res} \cdot \frac{\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left[\frac{P_a}{P_{res}} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]}$$

avec

$$\frac{P_{res}}{P_a} \geq \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

où P_{res} est la pression en amont de l'orifice de section S , P_a la pression externe, C_d le coefficient de contraction (coefficient de décharge), γ le rapport des chaleurs spécifiques et Q le débit massique à travers S . Pour établir cette expression, on suppose que le gaz est parfait et idéal. On a vérifié à de nombreuses reprises que cette expression peut être très précise comme le montre par exemple la figure 1 établie pour une fuite d'hydrogène sous quelques bar d'un réservoir sous pression vers un autre (à la pression atmosphérique) à travers un orifice calibré. Si on ignore la phase transitoire de mise sous pression de la tuyauterie entre les réservoirs on constate que le régime établi est prédit avec précision.

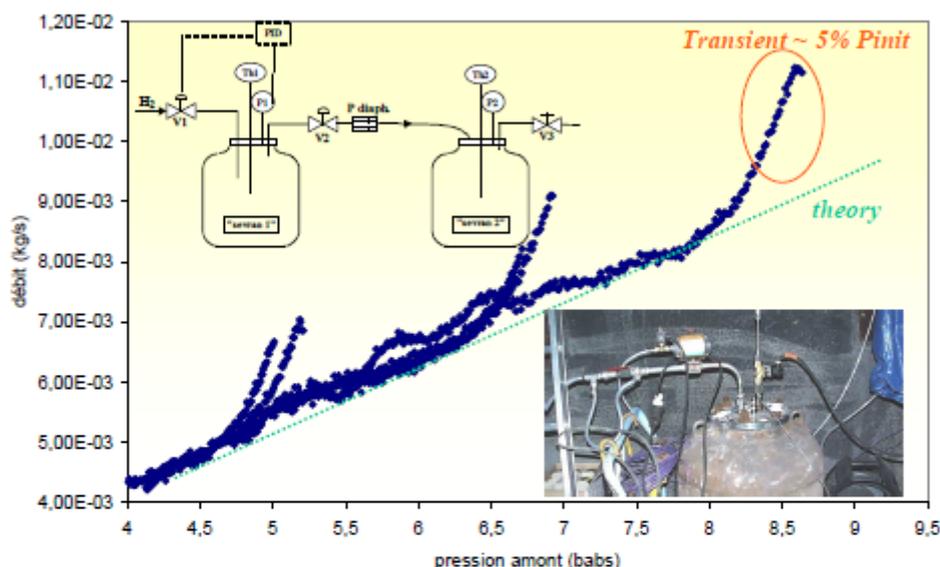


Figure 1 : mesure du débit d'hydrogène à travers un orifice de 5 mm lors de plusieurs essais successifs – le débit est déduit de la pente de la courbe de pressurisation du réservoir receveur

A la brèche, la pression peut être très significativement plus grande que P_a et l'écoulement doit subir une expansion permettant de faire baisser la pression du jet jusqu'à la pression atmosphérique. De plus le mélange avec l'air ne peut se faire que si les vitesses locales sont plus petites que les célérités du son dans les deux milieux. Il en résulte que le mélange entre les deux fluides, n'est possible qu'à partir du point x_m du jet où la pression est égale à la pression atmosphérique, et la vitesse égale à la célérité locale du son (fonction de la température et de la nature du gaz). On suppose donc le gaz subir d'abord une détente brutale, sans mélange avec l'atmosphère (« zone d'expansion »), jusqu'à la pression atmosphérique qui « ramène » le gaz à un état sonique à l'abscisse x_m où le diamètre du flux de gaz atteint D_{exp} . Dans la zone d'expansion, l'écoulement subit des chocs successifs (figure 2). Au-delà, une structure de jet (cf section 3) peut apparaître dont les propriétés sont fonction des conditions en x_m .

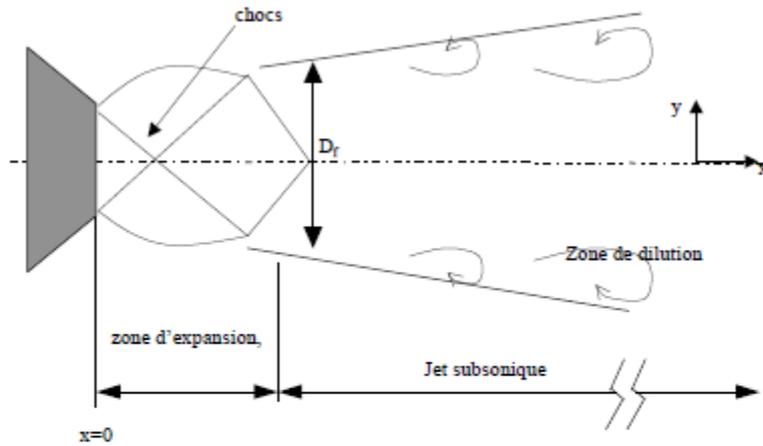


Figure 2 : Représentation simplifiée d'un jet supersonique

Les approches habituelles (Britten et al. ;1994) sont basées sur l'hypothèse de la conservation de la masse, entre la section de sortie et la section fictive, éventuellement celle de la quantité de mouvement, et l'équation de la conservation de l'énergie est fréquemment simplifiée en considérant soit que la détente est isentropique (détente adiabatique réversible qui signifie que l'entropie du gaz reste constante et son enthalpie décroît du fait qu'elle est convertie en partie en énergie cinétique) ou isenthalpique (détente adiabatique irréversible qui signifie que l'enthalpie du gaz reste constante tandis que son entropie augmente en raison des frottements). Le choix de l'une ou l'autre hypothèse a une incidence significative sur les propriétés du jet.

Dans EXORIS, le modèle d'expansion isenthalpique est retenu. On peut estimer la température du jet grâce à l'hypothèse de conservation de l'enthalpie :

$$\frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{RT}{M} + \frac{U^2}{2} = cste$$

soit entre le réservoir et l'orifice :

$$T_1 = T_0 - \frac{U_1^2 \gamma - 1}{2 \gamma} \frac{M}{R}$$

où T_0 est la température dans le réservoir, U_1 et T_1 respectivement la vitesse et la température du gaz à l'orifice, M la masse molaire du gaz (kg/mole) et R est la constante universelle des gaz parfaits en J/(mol.K). Sachant que par hypothèse la fin de la zone d'expansion correspond au lieu où la vitesse de l'écoulement est juste sonique et la pression atmosphérique, on obtient :

$$U_1 = \sqrt{\frac{\gamma P_a}{\rho_1}} \quad \text{où} \quad \rho_1 = \frac{P_a}{R/M \cdot T_1}$$

tandis que D_{exp} se déduit du principe de conservation de la masse :

$$\dot{Q} = \rho_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{exp}^2 \cdot U_1$$

L'INERIS a procédé à des expérimentations de jets libres de mélange Helium-Azote à des pressions comprises 200 à 500 bar pour un diamètre de 18 mm. Un système de visualisation a été mis en place pour observer la formation du jet près de la buse (figure 3). On constate notamment une expansion latérale avec un angle d'ouverture de l'ordre de 30°. Immédiatement en aval, suit d'une zone où le diamètre du jet commence à grandir mais avec un angle plus modeste, de l'ordre de 10 à 15°, conforme avec les données de la littérature.

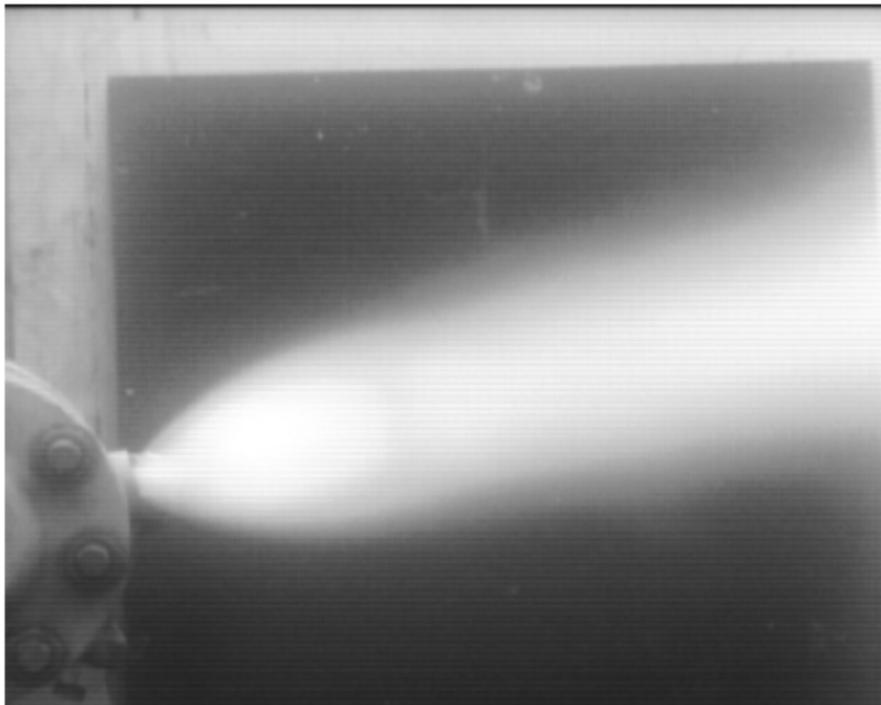


Figure 3 : observation expérimentale d'un cône de détente (50%He-50%N2 sous 200 bar à travers un orifice de 18 mm)

L'évolution de D_m en fonction des conditions d'essai est présentée sur la Figure 4. Le diamètre caractéristique varie significativement en fonction de la surpression de fuite. Les résultats expérimentaux semblent plus proches du modèle isenthalpique.

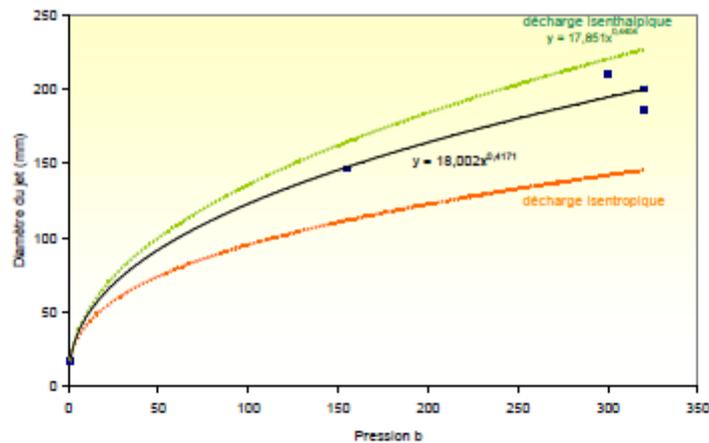


Figure 4 : évolution du diamètre du jet (mélange Hélium-Azote , immédiatement en aval de la zone d'expansion en fonction de la surpression de fuite
(points : expériences – courbe : prédiction)

Le modèle isentropique conduirait cependant à des valeurs de température de fluide près de l'orifice de l'ordre de -150°C pour une détente de 300 à 1 bar (même en tenant compte du réchauffement induit par l'arrêt brutal du fluide sur le capteur de température) alors qu'a été mesurée systématiquement une température voisine de l'ambiante (ce que prédit effectivement le modèle isenthalpique). Cependant un autre élément d'appréciation concerne la vitesse et la concentration dans le jet. L'utilisation des corrélations des jets libres, en tenant compte de la densité du gaz et du diamètre du jet en aval de la zone d'expansion après détente isentropique, fournit une valeur de la vitesse de l'écoulement sur l'axe du jet à 5 m de l'orifice et une concentration volumique à 10 m pour un jet sous 300 bar significativement différentes de celles effectivement estimées par la mesure alors que l'accord avec le modèle d'expansion isenthalpique est bien meilleur (cf section 3).

3. LA FORMATION D'UN JET

Le jet libre peut d'une certaine manière être considéré comme un écoulement de référence tant ses caractéristiques ont fait l'objet d'études expérimentales et de développements théoriques depuis le milieu du 20^{ème} siècle. La physique générale repose sur la conservation de la masse et de la quantité de mouvement. :

$$Q_{mg} = \rho_{g0} \cdot S_0 \cdot U_0 = Y_{gx} \cdot \rho_x \cdot S_x \cdot U_x \quad \text{et} \quad I = \rho_{g0} \cdot S_0 U_0^2 = \rho_x \cdot S_x \cdot U_x^2$$

où Q est le débit massique de gaz par l'orifice, S_0 la section du jet, U_0 la vitesse du jet à l'orifice, Y_{g0} la masse volumique du gaz à l'orifice, S_x la section du jet à la distance x de l'orifice, U_x la vitesse moyenne du jet à la distance x de l'orifice, ρ_{gx} la masse volumique moyenne du gaz à la distance x de l'orifice et Y_{gx} la fraction massique moyenne du gaz g à la distance x de l'orifice.

Sachant que les couches limites « s'ouvrent » suivant un angle, relativement universel, compris entre 10 et 15°, on peut établir une relation entre x et r , le rayon de S_x :

$$r \approx Kx$$

Des relations de base reliant des diverses grandeurs moyennes du jet sont ainsi obtenues :

$$\bar{Y}_{gs} = U_x / U_0 = (1/2K) \cdot (\rho_{g0} / \rho_{at})^{1/2} \cdot (D_0 / x)$$

où D_0 est le diamètre du jet à l'orifice.

On reconstitue de cette manière simple l'esprit des lois de similitude des jets (Djeridane, 1994 ; Thring et al., 1952 ; Chen et al., 1980) que l'on exprime plus précisément pour ce qui concerne l'évolution des concentration sur l'axe :

$$\bar{Y}_{gs} \approx 4 \cdot (\rho_{g0} / \rho_{at})^{1/2} \cdot (D_0 / x)$$

On note qu'au moins dans le domaine de similitude où la composition du mélange dans le jet diffère peu de celle de l'atmosphère environnante (ρ_{at}), le diamètre réel de l'orifice peut-être remplacé par un diamètre fictif équivalent de telle sorte que la relation ci-dessus devient universelle :

$$D_{eq} = D_{exp} \times \left(\frac{\rho_j}{\rho_{at}} \right)^{1/2}$$

Ce paramètre peut notamment être utilisé pour obtenir les profils radiaux de concentration selon la loi suivante (Chen et Rodi, 1980) :

$$Y_{x,r} = Y_{x,0} \times \exp\left(-\left(\frac{r}{0,17x}\right)^2\right)$$

où $Y_{x,0}$ est la concentration massique, comprise entre 0 et 1, sur l'axe à la distance x de l'orifice et $Y_{x,r}$ la concentration massique en gaz rejeté, comprise entre 0 et 1, au point de coordonnées (x,r) dans un repère cylindrique, centré sur le point de rejet.

On obtient ainsi des lois d'évolution de la concentration sur l'axe (Figure 5) en très bon accord avec l'expérience même dans l'exemple présenté avec un jet fortement sous-détendu et une forte différence de masse molaire entre l'atmosphère et la gaz.

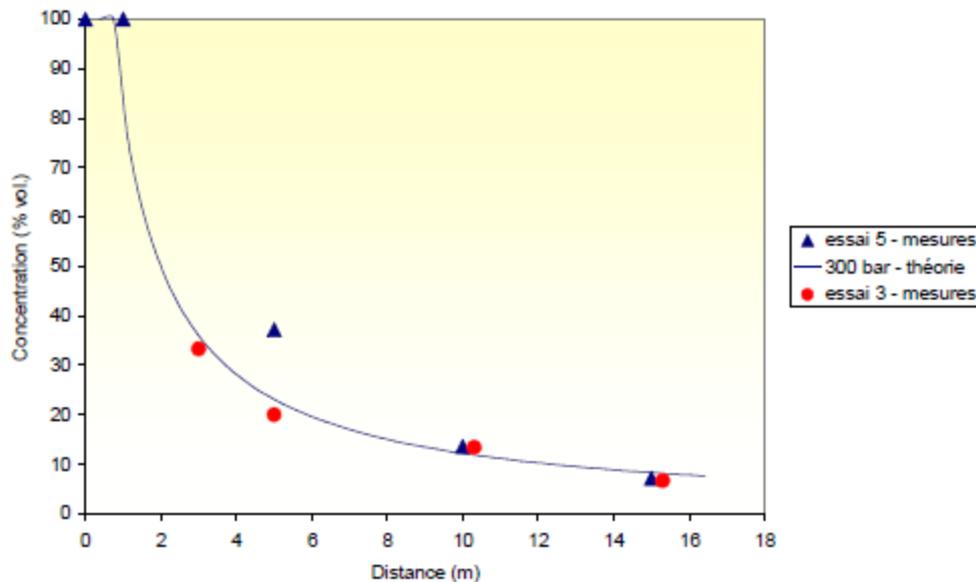


Figure 5 : concentrations mesurées et calculées en gaz sur l'axe

4. ACCUMULATION DANS UN LOCAL

4.1 LA PHYSIQUE

La situation se présente souvent d'une fuite à l'intérieur d'un bâtiment, éventuellement ventilé. Fréquemment aussi, le gaz possède une densité différente de celle de l'atmosphère. Le jet issu de la brèche frappe une paroi, s'y brise, si bien que le mélange formé au point d'impact glisse le long de la paroi et s'écoule jusqu'au sol, si le gaz est plus dense que l'air ou s'accumule au plafond s'il est plus léger. Il se forme alors une nappe sous les effets antagonistes de l'accumulation du mélange produit par le jet, la diffusion naturelle qui tend à homogénéiser l'atmosphère et le renouvellement d'air qui évacue le gaz.

Lorsque la distance libre sur l'axe de la fuite entre le point de rejet et le point d'impact est suffisante (typiquement au delà de 5 diamètres) alors un jet peut se former entre l'orifice et le point d'impact. Comme rappelé auparavant, l'atmosphère ambiante est entraînée dans le jet sous l'effet du transfert de la quantité du mouvement du gaz à l'air ambiant si bien qu'un cône se forme avec du centre à la périphérie une répartition Gaussienne des espèces et de la vitesse. Au point d'impact, la quantité de mouvement est largement transmise à la paroi si bien qu'on peut considérer que la capacité d'entraînement cesse et une nappe de gaz se forme et s'écoule latéralement avec une vitesse correspondant à celle du jet au point d'impact (d'après le théorème de Bernouilli). Si H est la distance entre le point de rejet et la paroi sur l'axe du jet, U_j la vitesse du gaz au point de rejet, D_j le diamètre de la fuite, l'application de la théorie de jets permet d'obtenir la vitesse de l'écoulement U_{max} au point d'impact ainsi que le débit total de mélange Q_t :

$$U_{\max} = \frac{5 \cdot U_j \cdot D_j}{H} \quad [1]$$

$$Q_t = \pi \cdot (0,17 \cdot H)^2 \cdot U_{\max} \quad [2]$$

Notons que Q_t est un débit d'entraînement et non le débit effectif de la fuite Q_j . La hauteur de la nappe h_{nappe} est déduite de la quantité de gaz relâchée depuis le début de la fuite :

$$h_{\text{nappe}} = \frac{Q_{t \text{ fuite}}}{S} \quad [3]$$

où t_{fuite} est le temps de fuite et S est la surface occupée par la nappe sur le sol ou le plafond.

Mais dans l'hypothèse d'un rejet vertical, le jet peut se développer dans la nappe. Comme le débit Q_t est prélevé de façon uniforme le long du cône du jet et dans son voisinage immédiat, on peut admettre que la nappe formée (au sol ou au plafond) ne peut guère être plus épaisse que H . De surcroît, la strate s'enrichit progressivement par recirculation à mesure que la quantité de gaz rejetée augmente.

A l'échelle des temps de diffusion considérée (typiquement de l'ordre de l'heure), on considère que le phénomène de formation d'une nappe de mélange de gaz est instantané si bien que cette nappe est approximativement homogène. Pour estimer entre deux instants (distants de Δt) l'évolution de la concentration moyenne de la nappe ΔC , il suffit de diviser le volume de gaz injecté dans cet intervalle par le volume de la strate V_{st} :

$$\Delta C = \frac{Q_j \cdot \Delta t}{V_{st}} \quad [4]$$

Il arrive que le bâtiment comporte plusieurs pièces et on désire savoir comme la nappe s'y développe. Si par exemple l'enceinte possède deux compartiments reliés par un passage de largeur L , le débit de gaz Q_{ch} à travers l'ouverture est défini par :

$$Q_{ch} = U_m \cdot h_{\text{nappe}} \cdot L \quad [5]$$

Et on obtient :

$$\frac{Q_{ch}}{Q_t} \cong 10 \cdot \frac{L}{H} \quad [6]$$

On pense que l'effet de striction sur l'écoulement de la nappe devient significatif dès lors que $\frac{Q_{ch}}{Q_t} \cong 1$ si bien qu'on ne peut faire l'hypothèse d'une répartition homogène de la nappe sur la surface de l'enceinte. Dans les autres circonstances, il est raisonnable

10/40

d'admettre la formation d'une nappe d'épaisseur constante et homogène dans l'ensemble du bâtiment.

La dispersion de cette nappe s'effectue par diffusion « naturelle ». Comme on admet que la nappe couvre uniformément le sol (ou le plafond), cette diffusion est globalement monodimensionnelle (selon l'altitude z). Pour la représenter, on utilise la classique loi de Fick qui peut être résolue par différences finies :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad [7]$$

Où D est le coefficient de diffusion, t le temps et C la concentration molaire de l'espèce considérée. Le coefficient de diffusion dépend des conditions ambiantes. Sa valeur minimale est théoriquement celle du coefficient de diffusion moléculaire (typiquement de l'ordre de $1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$: Cussler, 1997). Cependant, dans un local et en présence d'un jet s'y superposent des mouvements convectifs turbulents.

En matière de diffusion turbulente, le transfert d'un espèce d'une couche de l'atmosphère vers ses voisins est opéré par le transfert de matière par les volutes de l'écoulement. Ces volutes, éphémères, sont produites par le l'enroulement des lignes de courant entre elles et résultent donc de l'écoulement global. On peut représenter cela en déterminant un coefficient de diffusion turbulente D_T défini par (Hinze, 1975):

$$D_T = 0,4 u' L \quad [8]$$

Où u' est l'intensité de la turbulence représentant l'amplitude des fluctuations de vitesses de l'écoulement et L est l'échelle intégrale de turbulence représentant la taille moyenne des structures tourbillonnaires de l'écoulement. Pour estimer ces paramètres, Tamanini (Tamanini, 1998) propose une application simplifiée du modèle de turbulence k - ϵ (Hinze, 1975). On suppose une turbulence homogène et isotrope dans tout le volume considéré. Le modèle se résume à deux équations différentielles :

$$\frac{d(m.\epsilon)}{dt} = \frac{\epsilon}{k} . (C_{\epsilon 1} . P_k - C_{\epsilon 2} . \epsilon) \quad [9]$$

$$\frac{d(m.k)}{dt} = P_k - m.\epsilon \quad [10]$$

avec

$$k = \frac{3}{2} u'^2 \quad [11]$$

$$L = C_d^{3/4} \cdot \frac{k^{3/2}}{\epsilon} \quad [12]$$

♦♦♦♦♦

Où P_k représente le terme de production d'énergie cinétique $= \frac{1}{2} U_{inj} \frac{d(m)}{dt}$ (pour une injection pneumatique à la vitesse U_{inj} d'un débit massique dm/dt), m est la masse du fluide contenue dans le volume, C_{e1} et C_{e2} sont des constantes qui valent respectivement 1,64 et 1,8 environ et C_d est une constante égale à 0,09. Une équation supplémentaire permet d'évaluer l'échelle intégrale de la turbulence :

$$L = C_L V^{1/3} \quad [13]$$

où V est le volume et C_L est une constante égale à 0,05.

Les bâtiments ne sont pas hermétiques et il se produit un renouvellement d'air notamment sous l'effet du différentiel thermique entre l'intérieur et l'extérieur. Pour illustrer ce phénomène, on suppose un ouvrant de hauteur $h_{ouvrant}$. L'écart de pression qu'il existe entre l'intérieur et l'extérieur de l'enceinte est obtenu de l'équation de la statique des fluides :

$$\Delta P = \Delta \rho \cdot g \cdot h_{ouvrant} \quad [14]$$

où $\Delta \rho$ est l'écart de masse volumique entre l'extérieur et l'intérieur. Il en résulte un écoulement de vitesse U :

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad [15]$$

soit finalement en tenant compte de la surface d'admission d'air A_v :

$$Q_m = C_d \cdot A_v \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta \rho \cdot g \cdot h_{ouvrant}}{\rho}} \quad [16]$$

Où Q_m est le débit de renouvellement d'air et C_d le coefficient de décharge typiquement de l'ordre de 0,6. On peut exprimer $\Delta \rho$ en fonction de la différence de température ΔT entre l'intérieur et l'extérieur :

$$Q_m = C_d \cdot A_v \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta T \cdot g \cdot h_{ouvrant}}{T}} \quad [17]$$

Pour résoudre l'équation de Fick, le bâtiment est divisé en N tranches identiques (volume V_N) parallèles au sol. La quantité d'air entrant entre deux instants est :

$$\frac{Q_m \cdot \Delta t}{N} \quad [18]$$

Pour introduire l'effet de ce renouvellement d'air (figure 6), on suppose que le supplément d'air se mélange de façon homogène avec le contenu de chaque tranche (ce qui suppose une mise sous pression de l'enceinte) puis une quantité identique de mélange sort du bâtiment (ce qui entraîne un retour à la pression initiale). Il en résulte le remplacement d'une partie du mélange gazeux par de l'air et donc une baisse de la concentration de gaz de chaque tranche.

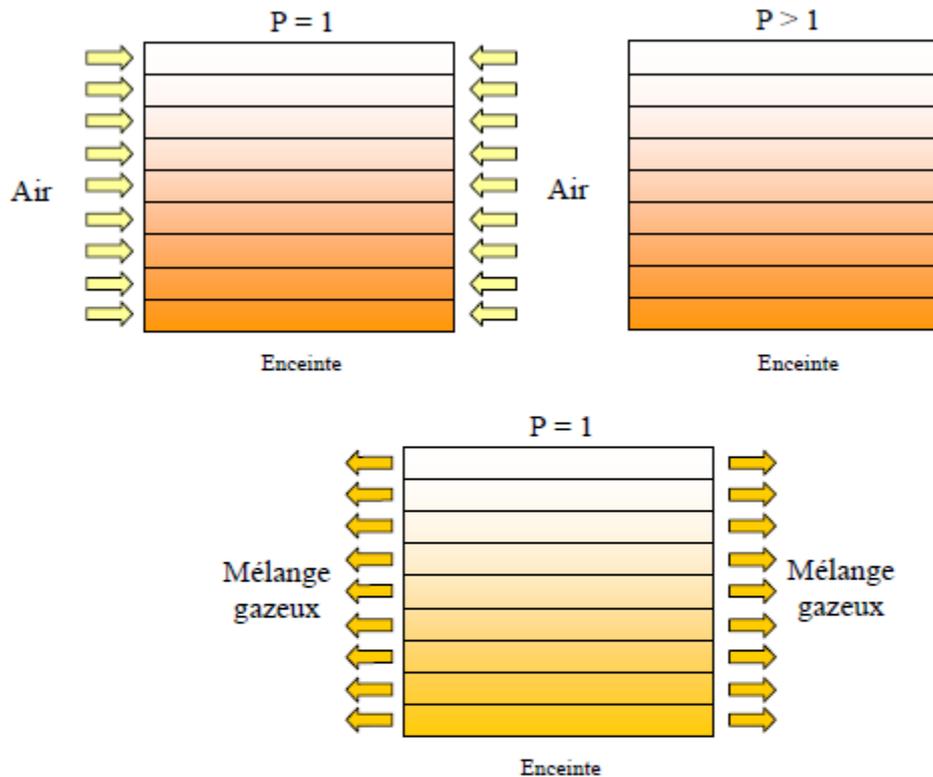


Figure 6 : Schéma de prise en compte du renouvellement d'air dans l'enceinte

La concentration C_N dans chaque tranche est alors donnée par:

$$C_N = \frac{(C_N V_N - Q_{rn} / N \cdot \Delta t)}{V_N} \quad [19]$$

4.2 CAS DES GAZ PLUS LEGERS QUE L'AIR

L'INERIS a réalisé des expérimentations (projet Européen HYSAFE) largement instrumentées (Lacome et al., 2007) afin d'étudier la formation de nuages résultant de rejets d'hydrogène et d'hélium dans une chambre d'essais isotherme (80 m^3 , $7.2 \times 3.78 \times 2.88 \text{ m}$ respectivement en longueur, largeur et hauteur). Les concentrations, et la température et le débit du rejet ont été mesurés durant toute la durée de la fuite et plusieurs heures après. Les expérimentations sur des jets verticaux ont été réalisées avec des débits de $0,2 \text{ g/s}$ à 1 g/s , sur une durée de fuite de 240 s .

Ces essais ont montré que le jet prend la forme d'un dard axial très turbulent avec de forts gradients de concentration qui vient alimenter une nappe au plafond relativement calme et homogène ce qui confirme que le jet est « brisé » à l'impact.

A titre d'exemple, la Figure 5 présente des résultats représentatifs d'un jet de 1 g/s pour un diamètre de 20 mm . Elle montre clairement une nappe de 1 m d'épaisseur, où la concentration est de l'ordre de 7% à 8% . Les capteurs (capteur 11) situés en dessous de la nappe affichent des concentrations en dessous de la LIE. Sur la Figure 7 on peut voir la couche homogène d'hydrogène près du plafond. A une altitude donnée (figure 8) pour l'ensemble des essais, il a été constaté que les concentrations sont identique ce qui confirme le caractère monodimensionnel du processus.

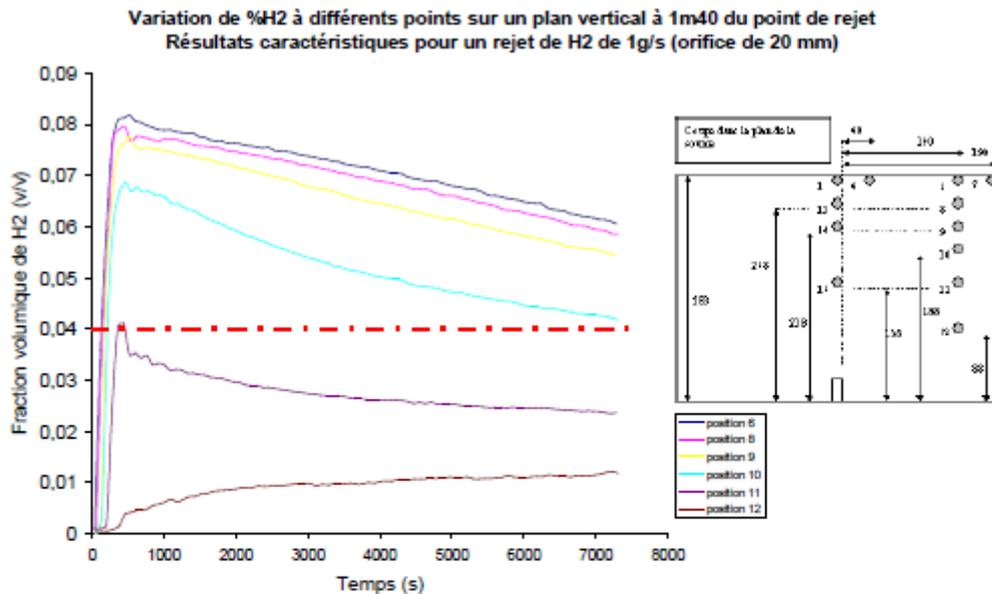


Figure 7 : concentrations mesurées à différents niveaux verticaux pour un rejet de 1 g/s ($D=20 \text{ mm}$)

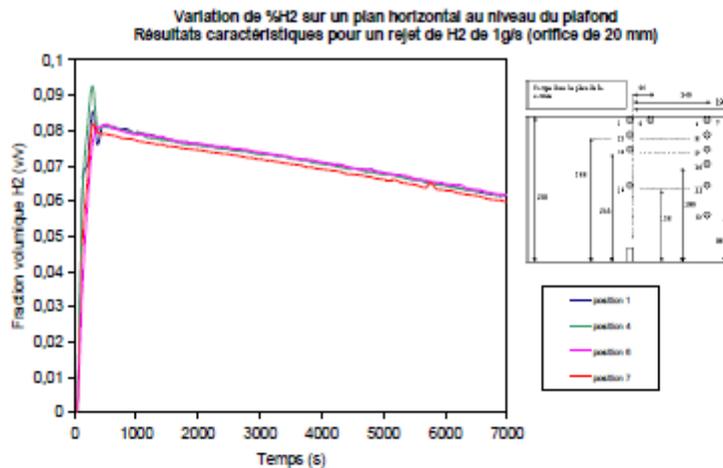


Figure 8 : concentrations mesurées sur un plan horizontal situé au plafond de la chambre pour un rejet de 1 g/s ($D=20$ mm)

La Figure 9 présente les épaisseurs de nappe et leur richesse, en hydrogène ou hélium, mesurées et calculées avec EXORIS juste après la fin de l'injection. Compte tenu notamment des incertitudes expérimentales, on constate un accord satisfaisant entre les prédictions d'EXORIS et les mesures.

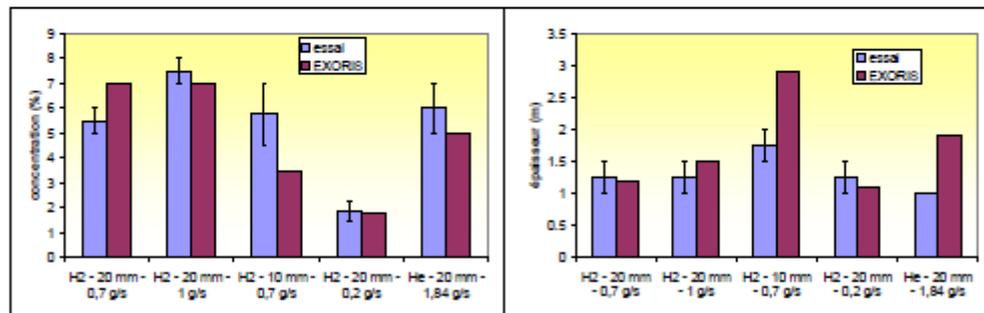


Figure 9 : Comparaison des richesses et épaisseurs de nappe mesurées et calculées avec EXORIS

4.3 CAS DES GAZ DENSES

Des expérimentations ont été réalisées avec rejets de propane (plus dense que l'air) dans une chambre de $0,9 \text{ m}^3$ ($1,2 \times 1,1 \times 0,8$ m respectivement longueur, largeur et hauteur). La chambre est compartimentée de façon à permettre un écoulement des gaz d'une partie à l'autre (Figure 10). La largeur du passage d'un compartiment à l'autre est de 24 cm. La fuite est située à 28 cm du sol sur un axe vertical et s'effectue à travers d'un orifice de 0,5 mm. La masse de propane rejetée est comprise entre 20 et 50 g. Les concentrations de gaz

sont déduites de la mesure du taux d'oxygène en différents points au moyen d'analyseurs à effet paramagnétique.

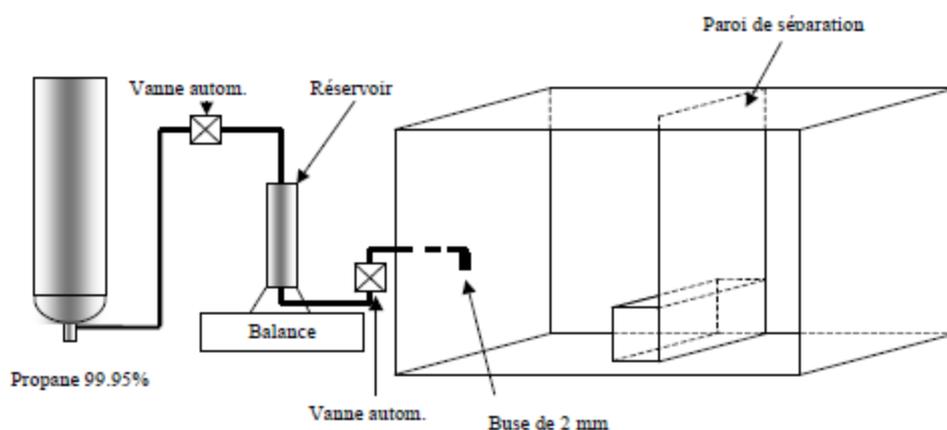


Figure 10 : Schéma de la chambre d'essai de dispersion de propane

Trois points de prélèvement ont été placés entre le sol et le point de rejet (respectivement à 0, 10 et 20 cm du sol), c'est à dire dans la nappe (figure 11). Le temps de rejet est de 150 s. Pendant le rejet, on constate que les concentrations en propane évoluent de manière identique avec un enrichissement progressif de la nappe pour atteindre une concentration moyenne autour de 2,2 %. La nappe est donc homogène et semble, dès les premiers instants, occuper l'ensemble de l'espace compris entre le sol et la buse de rejet comme le suggère le modèle.

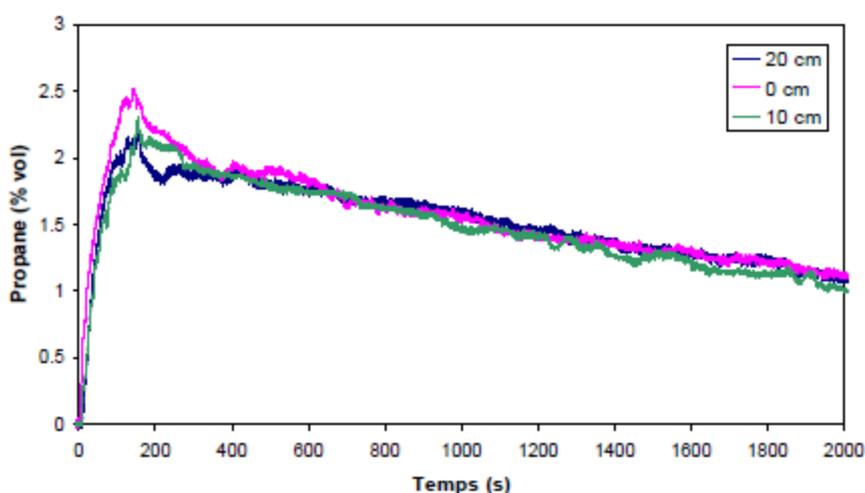


Figure 3 : évolution de la concentration de propane au cours du temps (prélèvement : 0, 10, 20 cm ; masse : 30 g)

Après la fin de la fuite, la concentration de la nappe décroît sous l'effet de la diffusion des vers le haut et du renouvellement naturel d'air. La figure 12 représente l'évolution au cours du temps des concentrations au dessus de la nappe à 30 cm et à 80 cm au dessus du sol (rejet de 20 g de propane). On constate, dès les premiers instants, une forte stratification de l'atmosphère. A la fin du rejet (~140 s), on observe une différence de 1,8 % entre le bas et le haut de la chambre. Par la suite, les concentrations évoluent dans le temps par diffusion pour aboutir à l'homogénéisation complète de la chambre.

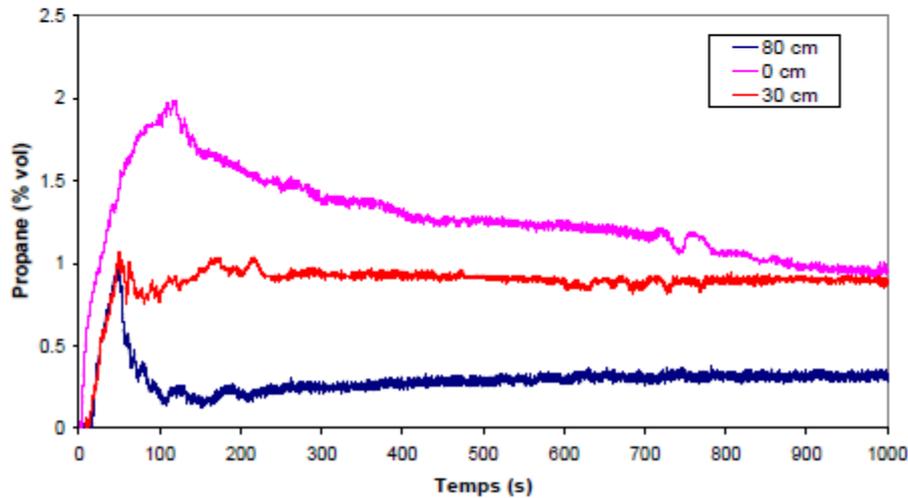


Figure 12 : évolution de la concentration de propane au cours du temps (prélèvement : 0, 30, 80 cm ; masse : 20 g)

Pour évaluer la transmission de la nappe d'un compartiment à un autre pendant le rejet des essais spécifiques ont été réalisés (rejet de 30 g de propane) en mesurant la concentration de gaz à 10 cm du sol dans les deux compartiments (figure 13). On constate que les évolutions de la concentration sont très voisine avec toutefois un décalage dans le temps (la concentration dans le deuxième compartiment augmente 18 s après celle dans le premier où est opérée l'injection). Dès la fin du rejet, les concentrations semblent identiques. A l'échelle des temps de diffusion (typiquement de l'ordre de l'heure), ce décalage que l'on peut interpréter comme le temps d'écoulement de la nappe d'un compartiment à l'autre, semble négligeable. On peut donc considérer que la nappe occupe l'ensemble de la surface de l'enceinte dès les premiers instants. Ce résultat confirme également le modèle.

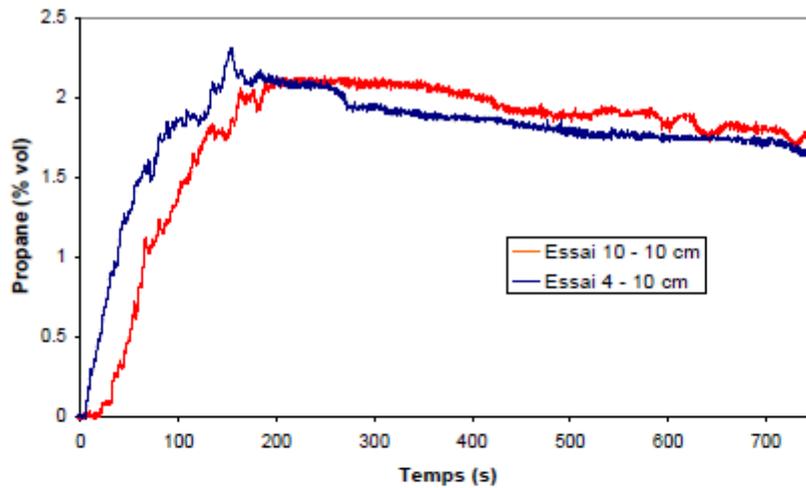


Figure 13 : répartition de concentration en propane dans le 1^{er} et le 2nd compartiment prélevé à la même hauteur (10 cm, masse 30 g).

On propose un comparaison quantitative entre les mesures et les prédictions d'EXORIS.

L'enceinte est soumise à un renouvellement d'air par la face avant. On estime que la vitesse de l'écoulement induite par les fuites interstitielles sous l'effet du gradient de densité entre la nappe propanée et l'atmosphère externe est de l'ordre de 0,4 m/s (formule [15]). Les fuites ont lieu à travers les interstices de la face de l'avant de l'ordre de 0,5 mm sur le pourtour. La surface Av d'admission d'air serait de l'ordre de 0,001 m² (seule la moitié du pourtour sert à l'apport d'air neuf et le reste à l'évacuation de l'atmosphère interne). On estime ainsi un taux de renouvellement d'air compris entre 0,4 et 1 volume/heure selon la richesse de la nappe.

Sur la figure 14 sont présentées des évolutions de la concentrations de propane au sol et à 20 cm au dessus pour un rejet de 30 g de propane. Le taux de renouvellement d'air est estimé à 0,7 volume/heure. On constate un très bon accord entre les prédictions d'EXORIS et les mesures tant pour l'étape de formation de la nappe que pour sa dispersion.

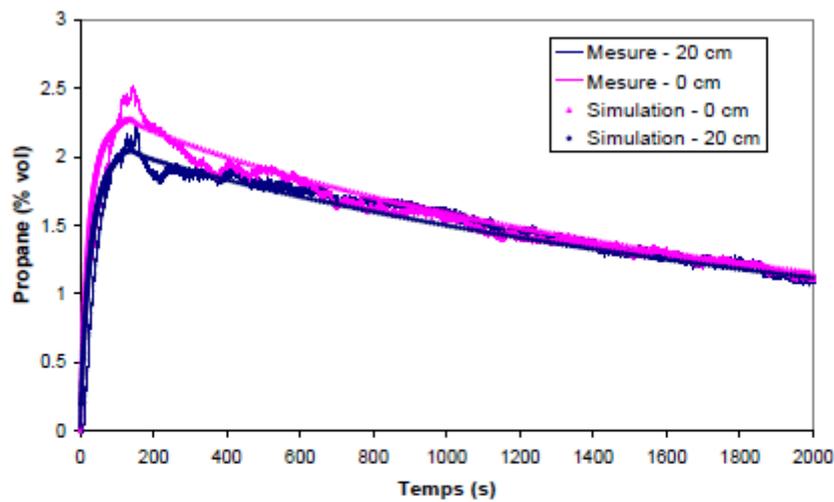


Figure 14 : comparaison entre les mesures et les résultats des simulations d'EXORIS pour un rejet de 30 g de propane dans la chambre d'essai par un orifice de 0.5 mm (points de prélèvement : 0 et 20 cm)

Pour une quantité de propane plus importante (50 g) et des points de prélèvement différents (à 40 et 60 cm du sol), le taux de renouvellement est estimé à 0,6 volume/heure. On constate aussi (figure 15) un bon accord entre les prédictions d'EXORIS et les mesures effectuées hors de la nappe de gaz.

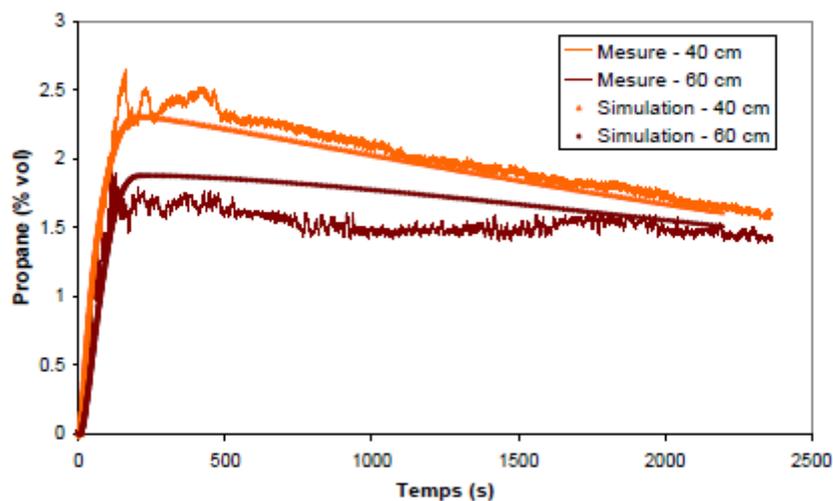


Figure 15 : comparaison entre les mesures et les résultats des simulations d'EXORIS pour un rejet de 50 g de propane dans la chambre d'essai par un orifice de 0.5 mm (points de prélèvement : 40 et 60 cm)

5. REFERENCES

1. Britter R.E., Dispersion of two phase flashing releases - Fladis field experiment.. Report FM89/2. The modelling of a pseudo-source for complex releases. CERC Ltd. December 1994.
2. Chen C.J., Rodi W. (1980). Vertical turbulent buoyant jets - A review of experimental data
3. H.T.M., The science & applications of heat and mass transfer, Pergamon Press.
4. Djeridane T. (1994). Contribution à l'étude expérimentale de jets turbulents axisymétriques à densité variable. Thèse de doctorat de l'Université d'Aix-Marseille II, n°207-94-57.
5. J.M. Lacome, Y. Dagba, L. Perrette, D. Jamois, C. Proust (2007) : Large-scale Hydrogen Release in an isothermal confined Area. Soumis au 2nd International Conference on Hydrogen Safety, San Sebastian, September 2007.
6. Thring M.W, Newby M.P (1952). *Combustion length of enclosed turbulent jet flames*. 4th International Symposium of Combustion, Pittsburgh.

Annexe 2

Le logiciel EFFEX

Introduction

Le logiciel EFFEX permet de simuler le développement d'une explosion à l'intérieur d'une enceinte en tenant compte :

- de la présence éventuelle d'ouvertures permanentes;
- de l'éclatement d'une ou plusieurs parois;
- de la projection progressive des fragments de ces parois.

Les résultats finaux sont l'évolution de la surpression interne en fonction du temps et les caractéristiques de la trajectoire des fragments.

EFFEX est développé par l'INERIS depuis le début des années 1990. Initialement dédié aux explosions de poussières, son extension aux explosions de gaz est en cours.

Caractéristiques principales

Principe de la modélisation des explosions en enceinte :

Le mélange inflammable est caractérisé par la vitesse de combustion et le taux d'expansion des produits de combustion. La vitesse de combustion retenue est fonction du degré de turbulence et des instabilités de combustion.

La surface du front de flamme est considérée constante et correspond approximativement à l'aire de la plus grande sphère inscrite dans le volume considéré.

Les variations de la pression sont fonction de la compétition entre l'augmentation induite par la production de volume due à la combustion et la diminution provoquée par les fuites à travers les ouvertures permanentes et les brèches qui se forment dès qu'une paroi se rompt.

On considère que la pression est approximativement uniforme à l'intérieur de l'équipement.

On estime par le calcul la surpression de ruine de la paroi considérée en tenant compte, le cas échéant, de phénomènes spécifiques de chargement dynamique. On doit pour cela estimer les dimensions vraisemblables des fragments. Très souvent, cette évaluation est assez « naturelle » mais, dans certaines circonstances, un calcul numérique spécifique est nécessaire.

Dès que la surpression de ruine est atteinte, les fragments sont soumis aux forces de poussée (pression totale) de l'explosion et aux forces de freinage aérodynamique. Un coefficient de traînée permet de tenir compte de la forme des fragments.

A mesure que les fragments s'éloignent de leur position initiale, la surface des interstices entre les débris augmente, ce qui accroît d'autant la surface offerte à la décharge des produits de l'explosion.

On considère à l'heure actuelle que la « portance » des fragments est négligeable et que ces débris ne sont pas animés d'un mouvement de rotation significatif. On tient compte de l'évolution de la force de poussée en fonction de la position des fragments par rapport au jet de produits de l'explosion.

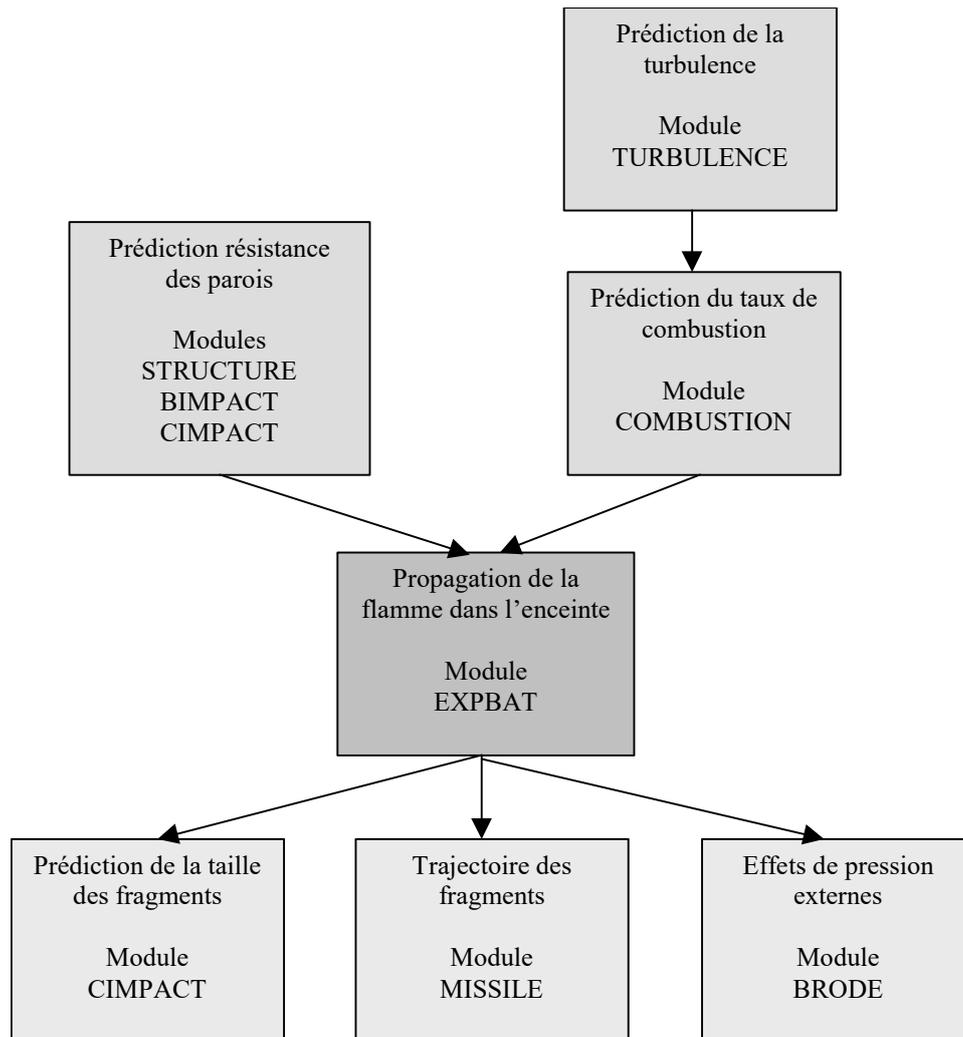
La trajectoire des fragments et ses caractéristiques (vitesse, orientation) sont calculées à partir des équations de bilan des forces.

Architecture et méthodes de résolution :

EFFEX est composé de huit modules qui permettent d'évaluer et de prédire :

- la résistance des structures,
- les propriétés du mélange inflammable dans l'enceinte (réactivité, turbulence, taux de combustion),
- les caractéristiques de la propagation de la flamme dans l'enceinte,
- la balistique des fragments.

L'organigramme qui suit présente schématiquement l'enchaînement de ces modules.



Les modules EXPBAT, MISSILE et CIMPACT sont des exécutables en langage compilé. Les autres modules se présentent sous la forme de feuilles de calcul EXCEL. Le tout fonctionne dans un environnement Windows.

Le modèle se présente sous la forme d'un ensemble d'équations différentielles (une dizaine) non linéaires.

Ces équations sont résolues simultanément par une méthode aux différences finies en suivant un schéma de résolution explicite, avec un pas de temps adaptatif qui permet de réduire fortement les s de résolution et évite les oscillations numériques.

Données d'entrée et de sortie :

Les données d'entrées du module STRUCTURE sont :

- les dimensions de l'enceinte,
- les surfaces ouvertes,
- la nature des parois (matériau, densité, épaisseur)

Les données d'entrées des modules COMBUSTION et TURBULENCE sont :

- les caractéristiques de la fuite (pression, diamètre de l'orifice)
- la localisation de la fuite dans le bâtiment,
- la vitesse fondamentale de combustion

Les résultats de calcul sont :

- l'évolution temporelle de la pression dans l'enceinte (module EXPBAT)
- la trajectoire et la vitesse des fragments (module MISSILE)
- la surpression externe en fonction de la distance (module BRODE)

Types d'applications

Le logiciel EFFEX peut être utilisé pour la résolution de tous les problèmes d'explosions en enceinte. Il permet le calcul des effets externe de l'explosion, le dimensionnement d'événements, le calcul de l'explosion externe s'il y a lieu.

A l'heure actuelle, les principales limitations du logiciel sont :

- la non prise en compte des obstacles présents dans l'enceinte,
- la non prise en compte des gradients de concentration.

Exemples d'applications réalisées à l'INERIS

Le logiciel est utilisé de manière industrielle dans le domaine des explosions de poussières en enceintes, en particulier pour les études réglementaires des silos de céréales.

Dans le domaine des explosions de gaz, il est fréquemment utilisé pour évaluer la tenue à l'explosion des bâtiments susceptible d'être le siège d'une fuite de gaz.

EFFEX peut également être utilisé de manière itérative pour calculer la propagation d'une explosion d'une enceinte à une autre.

Éléments de validation

Le logiciel EFFEX n'a pas été développé sous assurance qualité.

Les performances du code ont été testées par rapport :

- à des essais d'explosion en laboratoire sur des enceintes munies d'événements (pas d'effet de fragmentation);
- à des essais d'explosion dans un bâtiment muni de paroi fragile;
- aux informations obtenues à l'occasion d'enquêtes après accident.

Il apparaît que les résultats de simulation sont en bon accord avec l'expérience notamment pour ce qui concerne les surpressions maximales, les durées d'explosion et les distances de projection des fragments. La forme des signaux de pression reste cependant assez différente des observations en raison de l'hypothèse d'une surface de flamme constante.

Les cas de validations sont décrits dans le rapport de présentation et de validation du logiciel (Proust, 2000). On peut citer :

- l'accident de Boiry-Ste-Rictrude (1982),
- l'accident de Blaye (1997).

Références bibliographiques

PROUST Ch., 2000 : Prévoir les effets des explosions de poussières sur l'environnement : EFFEX, un outil de simulation, rapport INERIS-DRA CPr/CPr 00-22751, disponible sur www.ineris.fr

Annexe 3

Le logiciel SECONDE

Introduction

SECONDE est issu de travaux militaires relatifs au stockage à la surface ou en souterrain, plutôt en galeries, de munitions diverses. Ces travaux ont notamment été consacrés à l'examen des effets d'ondes de surpression aérienne et d'ébranlements à travers les terrains dans l'hypothèse d'une explosion en masse dans un dépôt souterrain. Les équations, somme toute classiques, ont été rassemblées dans un guide édité par l'OTAN (OTAN, 1991). Certaines de ces expressions ont été sélectionnées puis programmées.

SECONDE a été développé essentiellement dans le but de mieux contrôler les effets induits dans l'environnement par les activités de type pyrotechniques réalisées par l'INERIS sur son site de Montlavoie. Ces activités ne sont pas toutes consacrées, loin s'en faut, à l'usage ou au test d'explosifs condensés mais plus largement à tout phénomène d'explosion (de gaz, de poussières, éclatements de réservoirs...). Une certaine adaptation des équations du guide a donc été conduite et les prédictions assez régulièrement confrontées à des mesures d'effets dans l'environnement.

Description des phénomènes

Une explosion qui se déroule sur le sol ou dans le sol est une libération suffisamment rapide d'énergie pour que localement la pression augmente au-delà de la pression atmosphérique. Sous l'effet du différentiel de pression, un écoulement sur produit et se propage de proche en proche au moins à la vitesse du son. Cet écoulement est une onde de pression dont l'amplitude en un point donné de l'espace est fonction du différentiel initial de pression et du volume de l'explosion c'est-à-dire de l'énergie de pression initialement disponible (pression x volume). Comme les effets mécaniques associés à la propagation d'une onde aérienne sont le plus souvent exprimés en termes de niveaux de surpression, il est important de pouvoir relier la puissance des explosions à ce paramètre via un facteur d'échelle adapté. Des approches théoriques ont été proposées qui font apparaître le facteur d'échelle de Hopkinson (Baker, 1983) sous la forme du paramètre $x/m_{\text{tnt}}^{1/3}$ où x est la distance à l'explosion et m_{tnt} la masse de TNT dont l'énergie de pression est identique à celle de l'explosion considérée. Une abaque classique est celle donnant l'atténuation des effets de surpression aérienne autour d'un explosif détonant en espace libre (figure 1) sur lequel on constate la pertinence du paramétrage par rapport à des expériences.

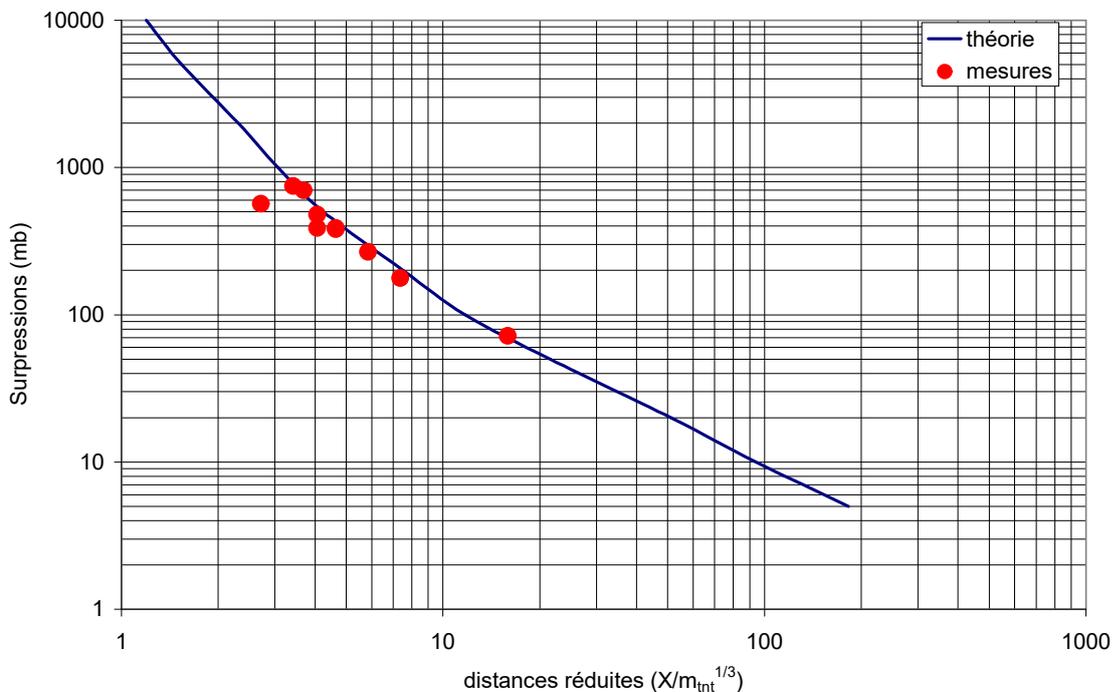


Figure 1 Evolution de la surpression en fonction de la distance réduite en kg de TNT

Au contact des terrains l'explosion applique une contrainte et un cisaillement qui peuvent se propager de proche en proche à la vitesse du son dans les terrains un peu comme l'onde de surpression dans l'atmosphère. Ces effets d'ébranlement par le sol n'ont pas apparemment fait l'objet d'une conceptualisation aussi poussée que pour les effets de l'explosion à l'air libre. L'une des raisons provient peut-être de la complexité introduite par l'hétérogénéité des terrains naturels. Les mesures (Langefors, 1973) et la théorie (Proust, 2001) suggèrent que les effets s'atténuent comme $[X/m_{TNT}^{1/2}]^{-\alpha}$ (Davey-Bickford, 1991). Ce type de paramétrage paraît bien adapté (figure 2) sachant que le paramètre d'effet retenu est la vitesse matérielle des secousses que l'on peut toutefois relier à une contrainte. La limite du « ressenti » est de l'ordre de 0,2 mm/s tandis que des fissures très importantes sont produites pour des amplitudes de l'ordre de 100 mm/s.

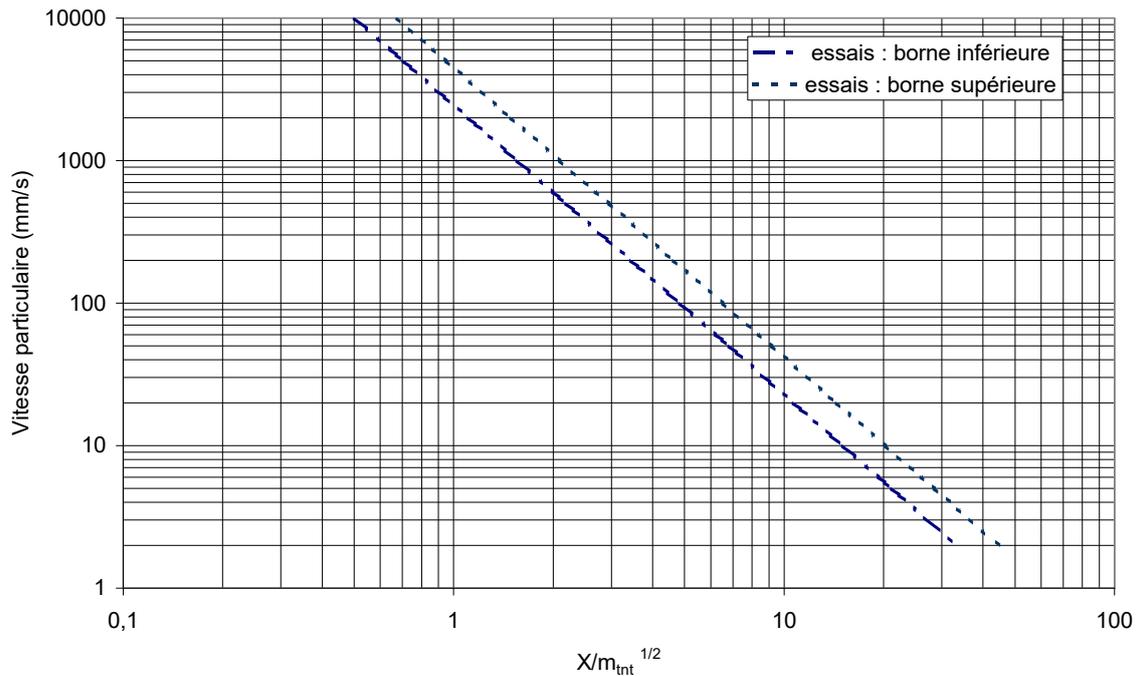


Figure 2 : Corrélation de la vitesse de vibration et du paramètre d'échelle $m_{TNT}^{1/2} / R$ (corrélations expérimentales de l'INERIS d'après Kizlo, 2001)

Methode « SECONDE »

SECONDE comporte 1 module consacré à la propagation des ondes aériennes et un second consacré aux ondes sismiques.

Prédiction de l'amplitude des ondes aériennes

La prédiction des effets des explosions non confinées à fait l'objet de nombreuses études (Mouilleau, 1999). Dans SECONDE, on utilise la courbe classique de la figure 1. Le calcul est plus particulièrement applicable à la situation d'explosions où la vitesse de libération de l'énergie est au moins sonique (explosifs, éclatements pneumatiques,...). La masse d'équivalent TNT est déduite de l'énergie de pression disponible déduite de la formule de BRODE :

$$E_i = \frac{\Delta P_{\text{exp}} \cdot V}{\gamma - 1}$$

où :

- V est le volume de ce qui explose,
- γ est le rapport des chaleurs spécifiques du gaz sous pression.

Et la masse d'équivalent TNT est définie de la façon suivante :

$$m_{TNT} = \frac{E_i}{E_{TNT}}$$

où E_{TNT} est l'énergie de combustion du TNT soit 4,7 MJ/kg.

Les ondes aériennes issues d'une explosion confinée obéissent globalement aux lois d'atténuation dans l'espace de Hopkinson (Baker, 1983) sauf que l'amplitude de l'onde en un point de l'espace ne dépend pas que de la distance à l'épicentre (selon l'expression 1) mais également de l'angle par rapport à l'axe de la décharge des gaz de l'explosion.

$$\Delta P = K \cdot \Delta P_{exp}^{0,265} \cdot \frac{x}{m_{int}^{0,283}} \quad (1)$$

où ΔP est la surpression à la distance x du débouché de la galerie, M_{int} est la charge d'équivalent TNT, ΔP_{exp} la surpression moyenne d'explosion et K une constante qui dépend notamment de l'angle entre la direction d'observation et l'axe de la galerie (figure 3 d'après Heudier, 2004).

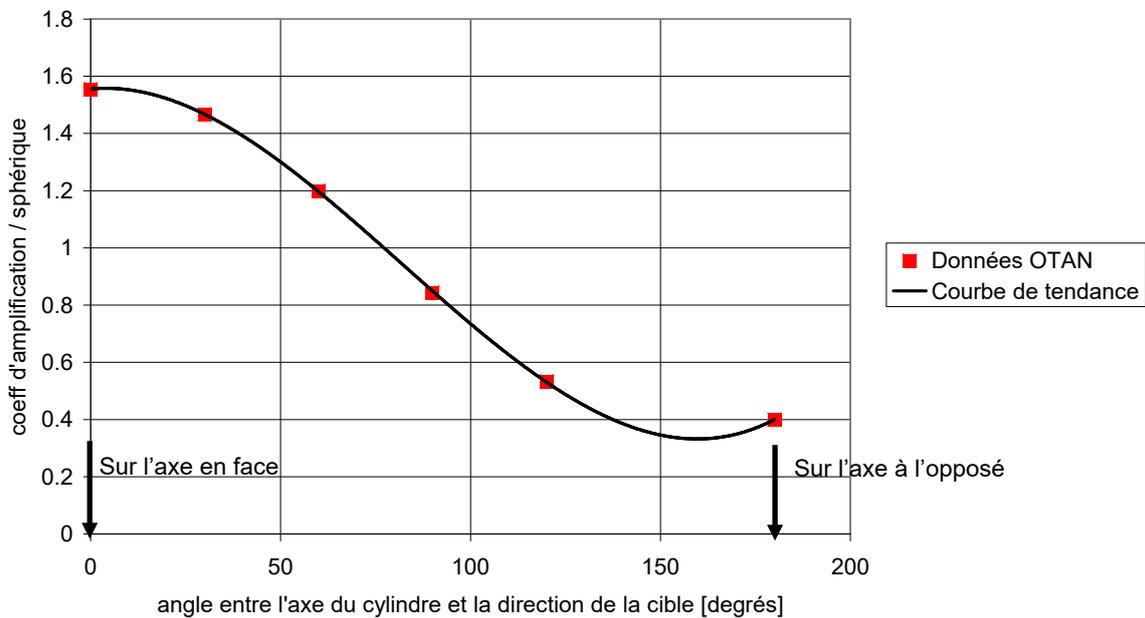


Figure 3 : Coefficient d'amplification par rapport à une décharge isotrope, lié aux effets directionnels de sortie de cylindre

Des expériences ont été réalisées pour tester le modèle proposé au moyen de l'installation de la figure 4. La source d'explosion est disposée dans un cylindre en hauteur dépourvu d'extrémités (diamètre 100 mm, de longueur 300 mm). L'onde de pression qui en résulte se propage vers un ensemble de bases de mesures parallélépipédiques (bacs en matière plastique, larges de 75 cm et hauts de 35 cm) posées sur le sol et distantes de 75 cm environ les unes des autres. Le cylindre est disposé à environ 70 cm à l'aplomb du premier parallélépipède. Les surpressions sont mesurées en plusieurs points sur les faces supérieures des bases ce qui représente un spectre relativement large d'angle d'incidence (de 0 à 90° par rapport à l'axe du cylindre). La source d'explosion est constituée d'un seul détonateur ou de deux détonateurs en série (2300 et 4600 J respectivement).

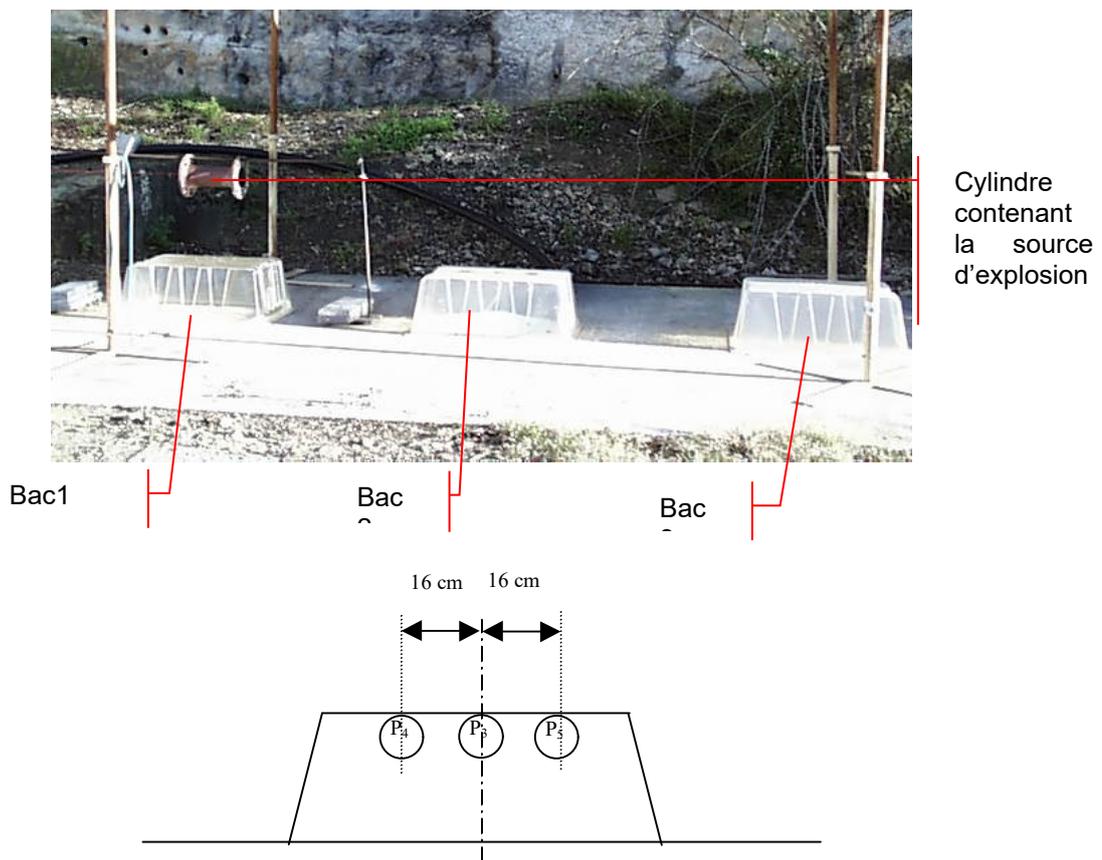


Figure 4 : Installation expérimentale

Les résultats et la comparaison avec SECONDE sont présentés sur la figure 5. On constate un bon accord global.

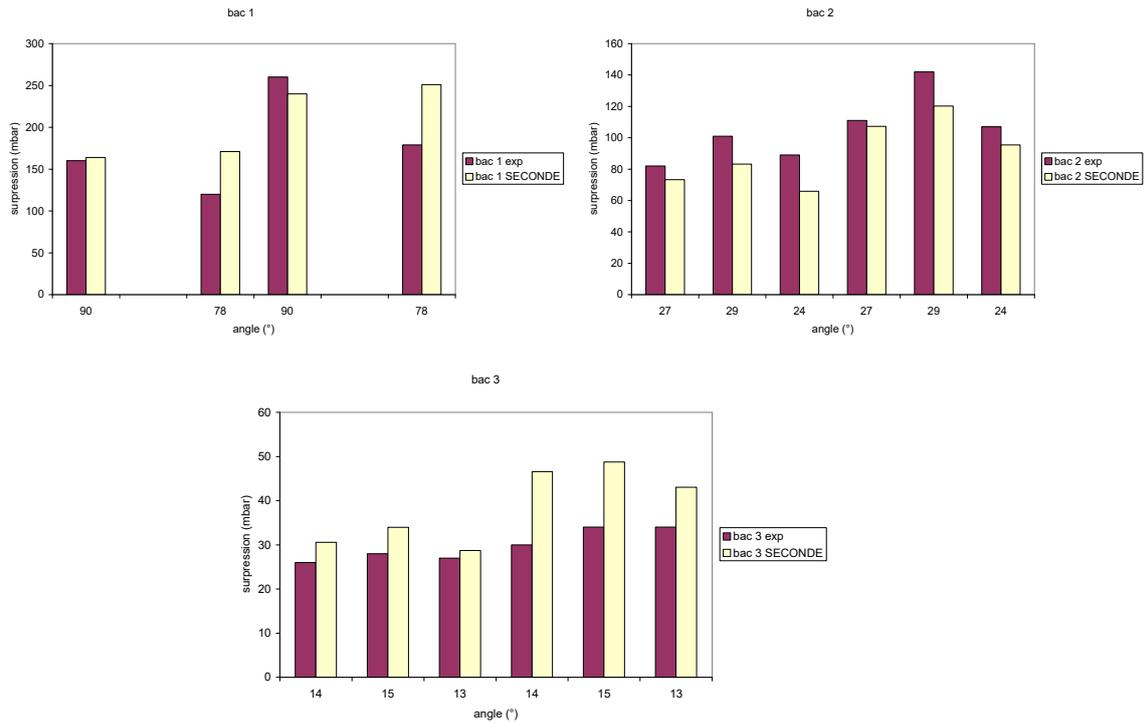


Figure 5 : Comparaison des résultats expérimentaux et des prédictions avec SECONDE (sur chaque graphe la moitié gauche correspond aux essais avec 1 seul détonateur et la moitié droite avec 2 détonateurs)

Prédiction de l'amplitude de l'ébranlement

Les méthodes de prédictions de ces effets ont fait l'objet de nombreuses études expérimentales. Dans le document de l'OTAN qui sert de référence, l'expression retenue, fondée sur des mesures suite à des explosions souterraines, est :

$$v = K \cdot \left(\frac{x}{m_{mt}^{4/9}} \right)^2 \quad (2)$$

où v est la vitesse particulière de l'ébranlement que l'on relie à la contrainte σ dans le sol :

$$\sigma = \rho_{sol} \cdot a_{sol} \cdot v \quad (3)$$

où ρ_{sol} et a_{sol} sont respectivement la masse volumique et la vitesse de propagation des ondes dans le sol (typiquement 2000 à 3000 m/s et 2000 à 6000 m/s). Au droit de l'explosion σ ne peut pas être plus grande que la surpression d'explosion ΔP_{exp} . On compare sur la figure 6, les performances de ce modèle, incorporé dans SECONDE et les résultats de la figure 2. On constate un accord raisonnable.

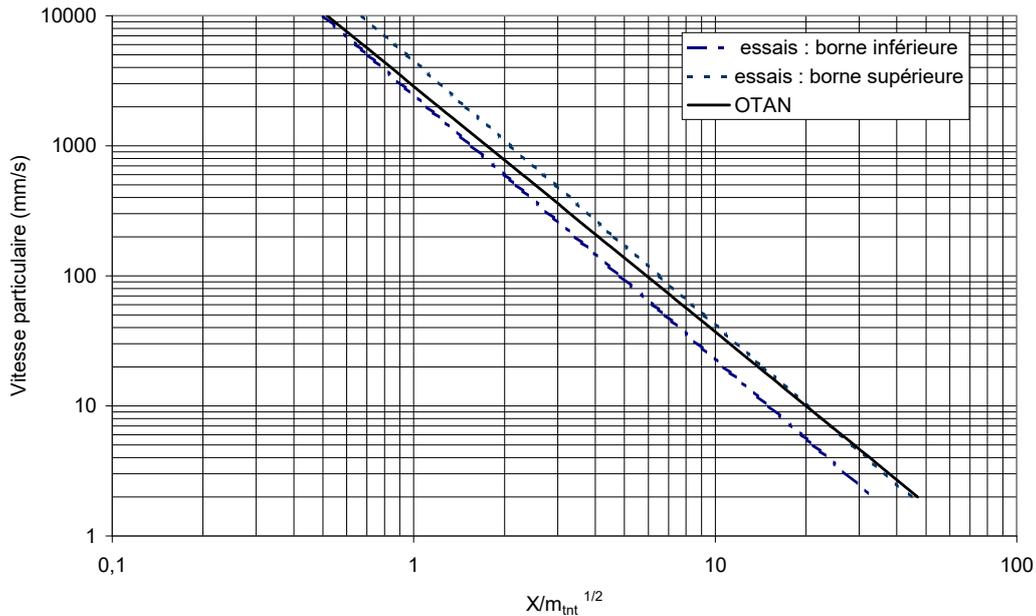


Figure 6 : Comparaison du modèle d'ébranlement de SECONDE et des données de la figure 2

Dans SECONDE, on calcule les effets d'ébranlement pour des explosions non confinées de la même manière que pour les explosions souterraines.

Utilisation

La méthode est programmée sous Xcel. On introduit dans une feuille les données concernant le volume de l'explosion et la surpression atteinte ce qui permet d'évaluer l'énergie de pression disponible puis la masse d'équivalent TNT. On fournit également les seuils de surpression et d'ébranlement que dont on souhaite connaître la position. Un certain paramétrage est possible, pour tenir compte par exemple d'une nature de sol spécifique. Une feuille est consacrée aux explosions non confinées, une autre aux explosions confinées (figure 7).

Paramétrage de l'explosion			
Tube/galerie ouvert(e) d'une seul côté			
Ltube =	10	m	
Dia =	3	m	
Surp expl.=	1	b	

Paramétrage des seuils d'effets			
surpression	90	mb	
surpression	55	mb	
ébranlement	1200	mm/s ->MPa	15
ébranlement	3	mm/s ->MPa	0,0375

Données pour calcul d'explosion			
Volume=	70,6858347	m3	
Energie =	23,5619449	MJ	
Qexplosion =	5,01317977	kg TNT	
n=	1		
k=	2		
fD=	1		
mas. vol/massi	2500	kg/m3	
vit. son massif	5000	m/s	
surpr/fond	0,1	MPa	
ébranl. max	8	mm/s	

informations			
réglementation ICPE			
réglementation Mines et Carrières			
dégâts légers	50	mb	
structure	140	mb	
fissures	10	mm/s	
(tirs répétés)			
ressenti	0,2	mm/s	

Effet sur l'environnement à	130	m	
selon un angle de	180	deg	
surpression champ libre	1,63	mb	
surpression champ libre	138,24	dba	
surpression à l'abri	0,41	mb	
surpression à l'abri	126,20	dba	
ébranlement	0,71	mm/s	

Figure 7 : Feuille de données d'entrée de SECONDE

Les expressions présentées ci-dessus sont utilisées pour calculer les distances d'observation des seuils choisis et des représentations graphiques sont proposées (figure 8). L'utilisateur peut également chercher l'ordre de grandeur des effets à une distance qu'il choisit sachant que les effets directionnels ne sont pas pris en compte à ce stade.

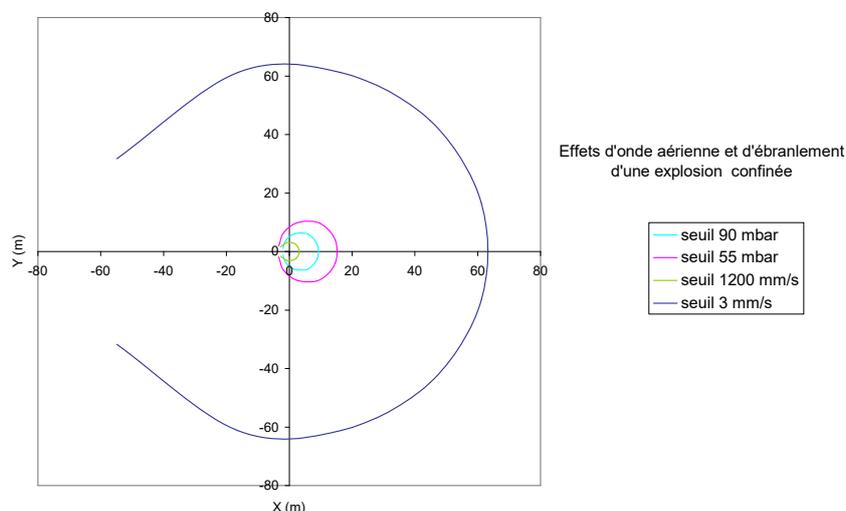


Figure 8 : Position des seuils de surpression et d'ébranlement pour une explosion confinée

Plusieurs campagnes de mesures d'effets dans l'environnement du site de Montlaville ont été réalisées y compris lors d'essais non pyrotechniques. Un exemple est présenté sur la figure 9, lors d'une campagne d'explosions de poussières dans une galerie souterraine de 100 m³. On constate un accord raisonnable entre les prédictions et les mesures.

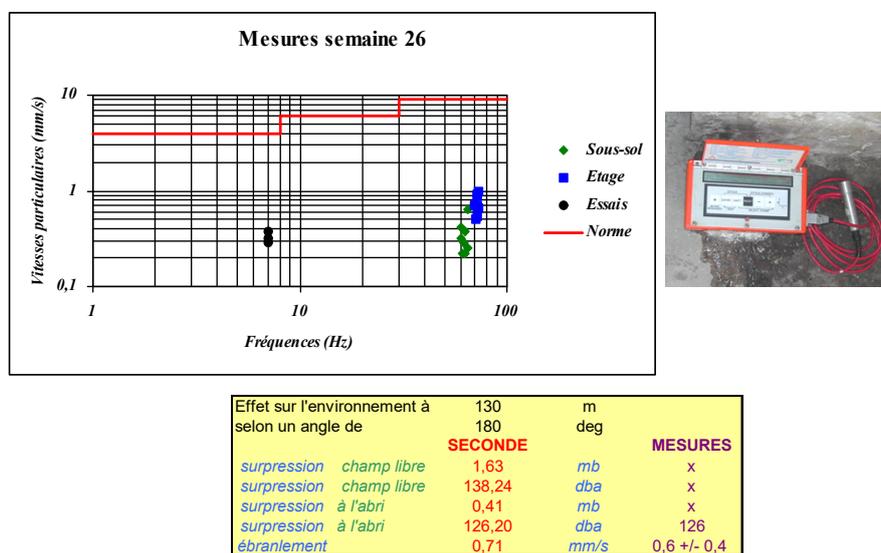


Figure 9 : Comparaison mesures et prédictions lors d'explosions de poussières dans la galerie de 100 m³ (surpressions dans la chambre d'explosion de l'ordre de 1 bar ; distance d'observation de 150 m à 180° d'angle et derrière une falaise)

Références bibliographiques

1. BAKER, COX, WESTIN, KULESZ, STREHLOW, 1983, *Explosion hazards and evaluation*, édition Elsevier.
2. HEUDIER, 2004, *Les éclatements de réservoir – Phénoménologie et Modélisation des effets, Version Projet*.
3. OTAN, 1991, *Manuel sur les principes de sécurité OTAN applicables au stockage des munitions et des explosifs militaires*.
4. T.N.O., 1997, *Methods for the Calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Material (Yellow Book)*, Report of the committee for the prevention of Disasters.
5. DAVEY-BICKFORD, 1991, *Vibrations et Nuisances*, cours dispensé par Davey-Bickford
6. LANGEFORS, KIHLSSTRÖM (1973), *The modern Technique of Rock Blasting*, Ed John Wiley and Sons, New York
7. PROUST, (2001), *Déminage d'installations portuaires au Havre -nature du danger, Rapport final, INERIS DRA - CPr/CPr - 01-27684*
8. MOUILLEAU (1999), *Guide des méthodes d'évaluation des effets des explosions à l'air libre*, rapport final sur le site www.ineris.com
9. KIZLO, 2001, *Dynamique des vibrations*, note interne INERIS

Annexe 4

Le logiciel PROJEX

Modélisation des scénarios d'éclatement de capacité

1- Estimation des effets de pression

Pour estimer les effets de pression consécutifs à l'éclatement d'un réservoir, il est recommandé de distinguer un champ proche et un champ lointain.

Dans le champ proche, la propagation des ondes de pression s'apparente à ce qui se passe dans les « tubes à choc » et la phénoménologie dépend de la nature et de l'état des gaz initialement contenus dans le réservoir et de la géométrie de la "source" (volume, forme, effets directionnels).

Dans le champ lointain, les caractéristiques de l'onde de souffle dépendent essentiellement de l'énergie totale libérée et des caractéristiques de l'atmosphère.

D'après BRODE, le paramètre qui permet de différencier champ proche et champ lointain est la masse de gaz contenue dans la capacité avant éclatement. On estime que le champ proche s'étend sur une zone de rayon R_0 donné par :

$R_0 < 1,7 * (M_r / \rho_0)^{1/3}$ où ρ_0 (kg/m³) est la masse volumique de l'air et M_r la masse de gaz dans le réservoir

Une estimation précise des niveaux de pression dans le champ proche requiert en principe le recours à un code de calcul car le champ de pression résulte d'interactions complexes entre ondes de choc et ondes de détente. Toutefois, une estimation par excès de la pression maximale auprès du réservoir peut être obtenue en calculant la « pression de contact » P_c entre le gaz du réservoir et l'atmosphère environnante, juste après l'explosion, obtenue d'après la théorie des tubes à choc.

$$\frac{P_r}{P_0} = \left(\frac{P_c}{P_0} \right) \left[1 - \frac{(\gamma_r - 1) \left(\frac{a_0}{a_r} \right) \left(\frac{P_c}{P_0} - 1 \right)}{\left[2\gamma_0 \left(2\gamma_0 + (\gamma_0 + 1) \left(\frac{P_c}{P_0} - 1 \right) \right) \right]^{1/2}} \right]^{-2\gamma_r / (\gamma_r - 1)}$$

Les indices "r" et "0" correspondent respectivement aux conditions du réservoir et de l'atmosphère.

S'agissant du champ lointain, les caractéristiques de l'onde de souffle peuvent être obtenues au moyen des abaques qui décrivent l'évolution de la pression maximale (de l'onde de choc) en fonction de la distance au centre de l'explosion. On utilise par exemple la courbe d'indice 10 de l'abaque Multi-Energy. Ces abaques ont été établis sur la base de résultats de simulations numériques d'expansion (sous l'effet d'une combustion par exemple) de charges hémisphériques de gaz. L'évolution de la surpression est donnée en fonction d'une distance réduite qui s'exprime à l'aide de l'énergie totale E libérée lors de l'éclatement. D'après BRODE, une bonne estimation de E est $(P_r - P_0) * V_{réservoir} / (\gamma_r - 1)$.

2- Prédiction de la trajectoire des fragments

Un fragment projeté par l'éclatement d'une enceinte ou la ruine d'une structure obéit à des équations de balistique classique, du type :

$$M_f \frac{d[V_f(t)]}{dt} = -M_f g z + \frac{1}{2} C_x S_f \rho_0 \cdot \|U - V_f\| \cdot (U - V_f)$$

avec :

- U et V_f , les vecteurs vitesse de l'écoulement issu de la brèche et du fragment dans un repère fixe,
- z , le vecteur unité de direction verticale dirigé vers le haut,
- M_f et S_f , les masse et surface du fragment (surface projetée dans le plan perpendiculaire à l'écoulement),
- C_x , le coefficient de traînée du fragment, typiquement de l'ordre de 1 pour une plaque mince (Heudier, 2004),
- ρ_0 , la masse volumique de l'atmosphère.

Cette modélisation, qui tient compte des effets de traînée et de la compressibilité de l'air non négligeable à grande vitesse, permet de calculer :

- la trajectoire du fragment déduite du bilan des forces extérieures appliquées au fragment,
- les caractéristiques du point d'impact au sol telles que : la distance, la vitesse et l'angle de la trajectoire du fragment par rapport au sol.

Le fragment est supposé offrir sa plus grande surface à l'écoulement pendant toute la durée de la trajectoire, ce qui maximise la poussée reçue, mais accroît par ailleurs le freinage. On admet que ces deux effets contraires se compensent. Enfin, les mouvements de rotation du fragment, de même que les effets de portance, ne sont pas considérés dans la modélisation du phénomène.

La comparaison des calculs numériques et de quelques résultats expérimentaux a montré que cette méthode de calcul permet d'estimer les caractéristiques du point d'impact avec une précision satisfaisante (Proust, 2000).

Un exemple de trajectoire de bardages projetés par une explosion en enceinte est présenté sur la figure 1.

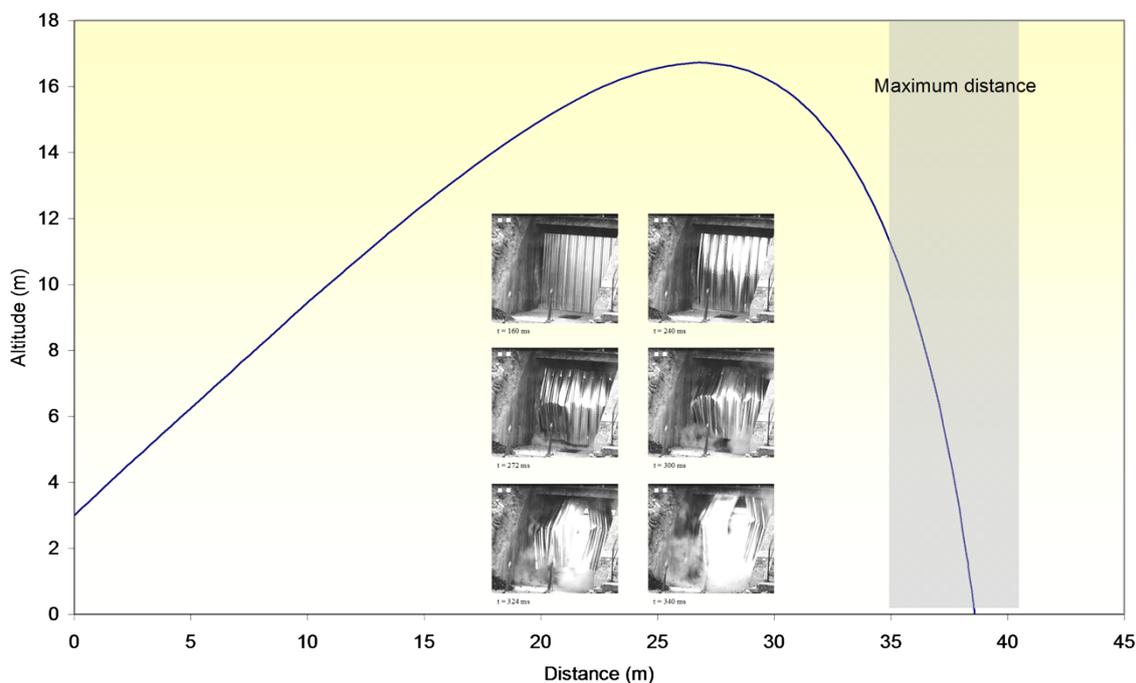


Figure 1 : Trajectoire de bardages projetés par une explosion dans une chambre de 100 m³.
Essais INERIS

3- Vitesse initiale

Outre les caractéristiques du fragment, une donnée essentielle est la vitesse initiale. Dans PROJEX, elle est déduite du calcul de l'impulsion de pression communiquée par le jet de gaz issu de la brèche. L'impulsion est une fonction de la surpression maximale et du temps de décharge du réservoir. Dans le cas d'un gaz sous pression, ce temps résulte de la propagation d'ondes soniques. Dans le cas d'un liquide qui se vaporise, ce temps résulte de la propagation d'une « onde de vaporisation ».

4- Références

1. HEUDIER L., 2004, *Les éclatements de réservoir – Phénoménologie et Modélisation des effets*, rapport INERIS Ω15, téléchargeable sur www.ineris.fr.
2. PROUST Ch., 2000, *Prévoir les effets des explosions de poussières sur l'environnement*, EFFEX, un outil de simulation, www.ineris.fr, réf. 22751.

ANNEXE EDD.11

**NOTE TECHNIQUE MESURE DE PRESSION
NIVEAU BAS**



Note Technique
Mesure pression « Niveau Bas »

Project

100MW GREEN HYDROGEN PLANT

Sheet

1 / 6

Issue

01



NOTE TECHNIQUE

Mesure de pression « Niveau Bas » comme MMR

3					
2					
1	Issued for information	JR/LS	BV	JML	20/11/2020
Issue	Description	Prepared	Checked	Approved	Date

	Note Technique Mesure pression « Niveau Bas »					
	Project	100MW GREEN HYDROGEN PLANT	Sheet	2 / 6	Issue	01

CONTENTS

1.	INTRODUCTION	2
2.	DESCRIPTION GENERALE	2
2.1	FUITE EXTERIEURE EN AMONT DES COMPRESSEURS	2
2.2	FUITE EXTERIEURE EN AVAL DES COMPRESSEURS	4
3.	FIABILITE.....	5
4.	CONCLUSION.....	6

1. INTRODUCTION

L'objet de ce document est de présenter la solution technique de mesures de pression « Niveau Bas » dans les canalisations d'hydrogène sous pression et d'évaluer la probabilité de défaillance dans le cadre de leur utilisation comme MMR (Mesure de maîtrise de Risque) pour le site de production d'hydrogène de H2V NORMANDY

2. DESCRIPTION GENERALE

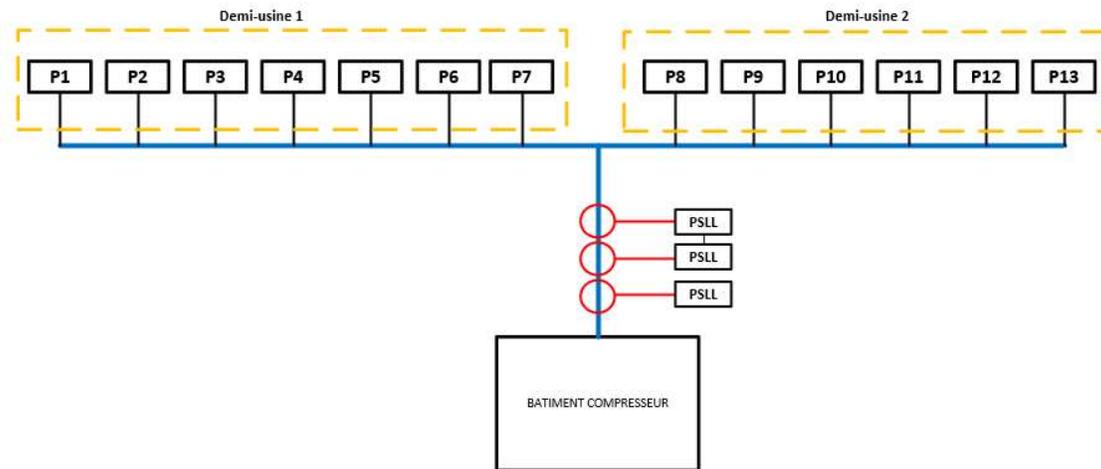
En cas de fuites d'hydrogène gazeux sur les systèmes de production, les transmetteurs de pressions associés à des interrupteurs de pression, peuvent être considérés comme des moyens de maîtrise des risques dans les conditions décrites ci-après.

2.1 FUITE EXTERIEURE EN AMONT DES COMPRESSEURS

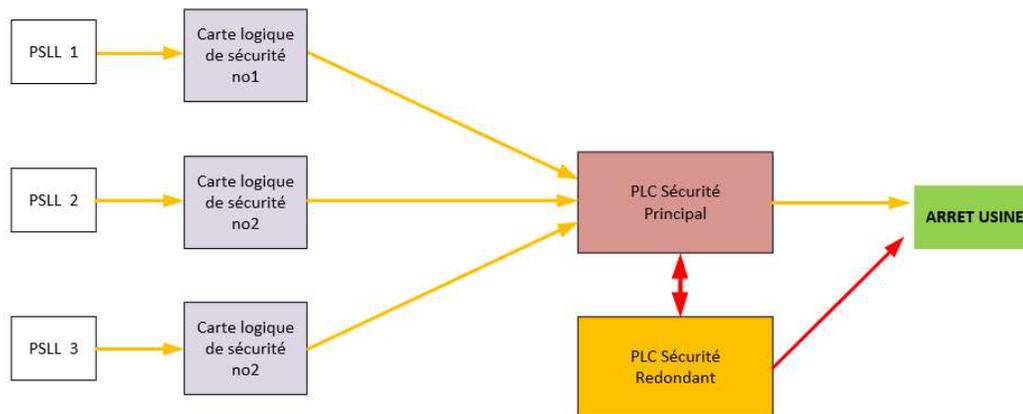
En cas de fuite en extérieur sur le collecteur commun qui amène l'hydrogène aux compresseurs, une chute de pression aura lieu (surtout en cas de fuite importante). Pour cela H2V souhaite installer trois capteurs redondants.

La localisation des capteurs est présentée ci-dessous :

	Note Technique Mesure pression « Niveau Bas »					
	Project	100MW GREEN HYDROGEN PLANT	Sheet	3 / 6	Issue	01



Les transmetteurs de pressions pourront indiquer un niveau de pression basse aux opérateurs via le Système SCADA (si la pression mesurée est inférieure au seuil limite basse).
Des interrupteurs de sécurité pression basse seront associés à la chaîne de sécurité et entraîneront un arrêt complet de l'installation.



Un minimum de deux capteurs détectant une pression basse est nécessaire pour enclencher la chaîne de sécurité qui comprendra les actions suivantes :

- Les électrolyseurs seront arrêtés (l'alimentation électrique aux bornes des stacks sera coupée)
- Les vannes d'isolation en aval des électrolyseurs ainsi que sur les collecteurs communs seront fermées.
- Le compresseur sera arrêté et les vannes d'isolation seront également fermées.
- L'inventaire présent dans l'unité de production sera envoyé à la torchère pour être brûlé.
- L'inventaire restant dans le collecteur commun après isolation continuera à être libéré à l'atmosphère jusqu'à atteindre une dépressurisation naturelle complète.
- Les inventaires dans la canalisation d'export et des compresseurs seront aussi envoyés à la torchère pour éviter les effet dominos.



Note Technique Mesure pression « Niveau Bas »

Project

100MW GREEN HYDROGEN PLANT

Sheet

4 / 6

Issue

01

Les vannes sont naturellement fermées et elles nécessitent d'être fonctionnelles pour être ouvertes (« Fail safe » en position fermées).

La vitesse d'action du système sur une fuite en extérieur sur le réseau amont des compresseurs dépend fortement de la taille de la fuite.

En considérant une fuite équivalente à 10% du DN nominal (10% du DN200), on a un débit possible de fuite de 0.5 kg/s qui correspond approximativement au débit maximum de production de l'unité de production.

L'inventaire des tuyauteries et des purificateurs représentent approximativement 27.6 kg à 30 barg. Pour atteindre une pression de 27 barg (2.2 kg/m³), avec une fuite de 0.5 kg/s, il faut que l'inventaire soit réduit à 25 kg (approximativement).

Le système permet de réagir en 60 secondes à une fuite équivalente à 10% du DN nominal.

La cinétique de la fuite est la suivante :

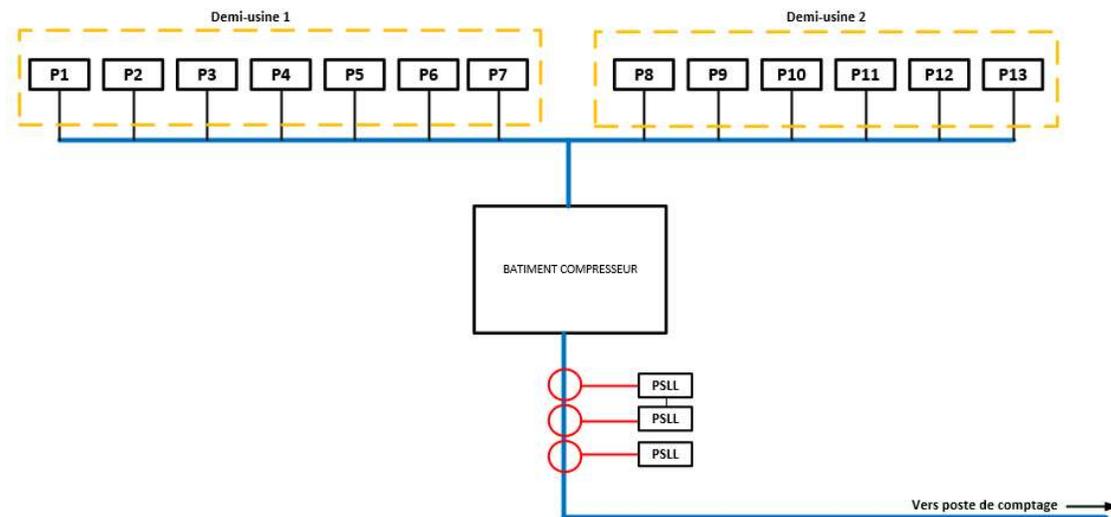
- Temps de détection de la fuite par le capteur : 40s
- Traitement du signal : 5s
- Arrêt de la production et isolement du collecteur principal : 15s

2.2 FUITE EXTERIEURE EN AVAL DES COMPRESSEURS

De la même manière trois capteurs redondants avec transmetteurs seront installés en aval de compresseur.

En cas de fuite en extérieur sur la canalisation qui exporte l'hydrogène comprimé en aval des compresseurs, une chute de pression sera détectée.

La localisation des capteurs est présentée ci-dessous :



Les transmetteurs de pressions pourront indiquer cette perte de pression aux opérateurs via le Système SCADA (si la pression mesurée est inférieure au seuil fixé de limite basse) et les interrupteurs de pression seront associés à la chaîne de sécurité et entraîneront un arrêt complet de l'installation. Un minimum de deux capteurs détectant une pression basse est nécessaire pour enclencher la chaîne de sécurité :

- Les électrolyseurs seront arrêtés (l'électricité aux bornes des stacks sera coupée) ;

	Note Technique Mesure pression « Niveau Bas »					
	Project	100MW GREEN HYDROGEN PLANT	Sheet	5 / 6	Issue	01

- Les vannes d'isolation en aval des électrolyseurs ainsi que sur les collecteurs communs seront fermées ;
- Les vannes d'isolation sur le collecteur seront fermées ;
- Le compresseur sera arrêté et les vannes d'isolation seront également fermées ;
- L'inventaire présent dans l'unité de production sera envoyé à la torchère pour être brûlé ;
- L'inventaire restant dans la canalisation après isolation continuera à être libéré à l'atmosphère jusqu'à atteindre une dépressurisation naturelle complète.

Les vannes sont naturellement fermées et elles nécessitent d'être fonctionnelles pour être ouvertes (« Fail safe » en position fermées).

La vitesse d'action du système sur une fuite en extérieur en aval des compresseurs, dépend fortement de la taille de la fuite.

En considérant une fuite équivalente à 10% du DN nominal (10% du DN100) on a un débit possible de fuite de 0.4 kg/s. débit maximum dans la canalisation d'export : 1.1 kg/s.

L'inventaire de la canalisation d'export et des deux compresseurs est de 156 kg approximativement (en prenant une densité de 6.9 kg/m³, cela représente : 22.6 m³ à 90 barg). A 80 barg, la densité est de 6.18 kg/m³, il faut donc une masse de 139.7 kg pour le même volume.

En considérant une fuite de 0.4 kg/s, il faut donc 41 secondes pour atteindre 80 barg en partant de 90 barg. (en estimant que la production est consommé à l'export dans les mêmes volumes / débits et que le compresseur ne peut pas ajuster sa vitesse en 40 secondes).

La cinétique de la fuite est la suivante :

- Temps de détection de la fuite par le capteur : 40s
- Traitement du signal : 5s
- Arrêt de la production et isolement du réseau aval compresseur : 15s

3. FIABILITE

Selon L'OREDA 2002, les PSL (PT, PS, PI, etc...) ont un taux de défaillance moyen de 5.3 pour 10⁶ heures (millions d'heure). Taux moyen de réparation : 5.3 heures (MTTR)

Donc la disponibilité d'un capteur de pression est de

$$A = (1 \text{ million d'heures} - 5.3 \times 5.3) / 1 \text{ million d'heures} = \mathbf{99.997\%}$$

La chaîne de détection pour le « Niveau Bas » de la pression sur le réseau 30barg et 100barg sera **SIL2**. Pour cela un automate de sécurité redondant sera installé. Son rôle principal sera de surveiller et vérifier le bon fonctionnement du contrôleur principal de sécurité. Ceci va se faire via un échange d'information **toutes les 2ms** entre les deux contrôleurs. En cas de non-fonctionnement du contrôleur principal (ou dépassement de cette limite de 2ms pour la communication), le contrôleur redondant enclenche directement un arrêt d'urgence de l'installation, sans validation préalable d'une fuite d'hydrogène.

Les capteurs sont installés en mode 2 sur 3, alors la disponibilité et la fiabilité augmente.

	Note Technique Mesure pression « Niveau Bas »					
	Project	100MW GREEN HYDROGEN PLANT	Sheet	6 / 6	Issue	01

Pour diminuer au maximum les éventuelles défaillances internes qui peuvent apparaître en fonctionnement une vérification de la chaîne de sécurité sera faite par un organisme externe tous les 6 mois.

4. CONCLUSION

Tenant compte du fait que la solution finale implémentée aura 3 capteurs redondants, que la chaîne de sécurité est redondante et conçue SIL2 et que deux contrôles techniques seront effectués chaque année par un organisme spécialisé extérieurs la fiabilité de la chaîne de détection « Niveau Bas » pour la pression sur le collecteur principal en amont compresseur et sur le réseau aval compresseur est estimée à 10^{-5} .

ANNEXE EDD.12

PROCEDURE D'ALERTE

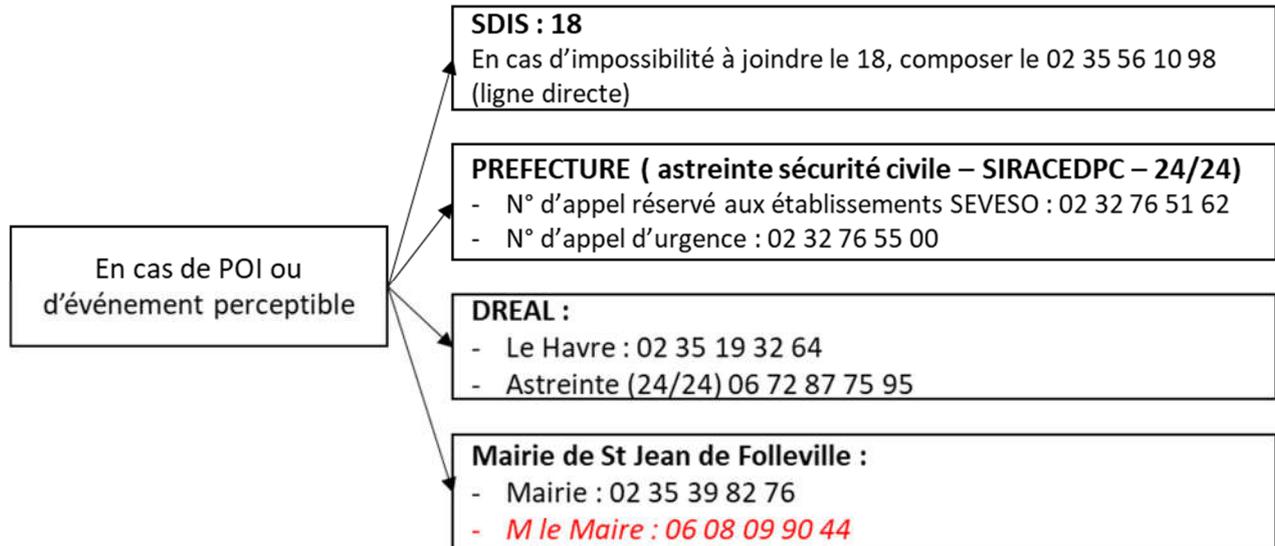
NUMEROS DE TELEPHONE D'URGENCE

POMPIERS	18 (ou 02.35.56.10.98)
SAMU	15 (ou 02.32.73.32.15)
GENDARMERIE	17
PREFECTURE DE ROUEN (Astreinte sécurité civile – SIRACEDPDC – 24/24) <i>N° d'appel réservé aux établissements SEVESO</i> <i>N° d'appel d'urgence</i> <i>SIRACEDPC</i>	Tél : 02.32.76.50.00 Fax : 02.32.76.51.19 <i>02.32.76.51.62</i> <i>02.32.76.55.00</i> <i>02.32.76.51.19</i>
DRIRE LE HAVRE	02.35.19.32.64
DREAL <i>LE HAVRE</i> <i>ROUEN – DIEPPE</i> <i>Services risques</i> <i>Astreinte (24/24)</i>	<i>02.35.19.32.99</i> <i>02.32.91.97.97</i> <i>02.35.88.74.38</i> <i>06.72.87.75.95</i>
MAIRIE DE ST JEAN DE FOLLEVILLE <i>Monsieur Le Maire</i>	02.35.39.82.76 <i>06.08.09.90.44</i>
MAIRIE DE PORT JEROME SUR SEINE <i>Astreintes des Services Techniques</i>	02.35.38.60.13 <i>06.11.68.70.36</i>
MAIRIE DE LILLEBONNE	02.32.84.50.50
MAIRIE DE QUILLEBEUF SUR SEINE	02.32.57.51.25

**PROCEDURE D'ALERTE
EN CAS D'ÉVENEMENT SIGNIFICATIF**

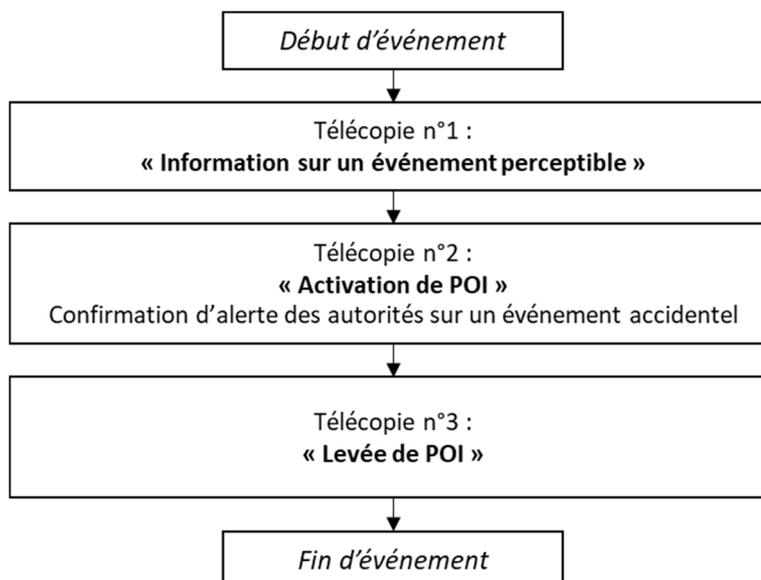
1^{ère} ETAPE : INFORMATION PAR TELEPHONE

A réaliser dès la connaissance de l'événement

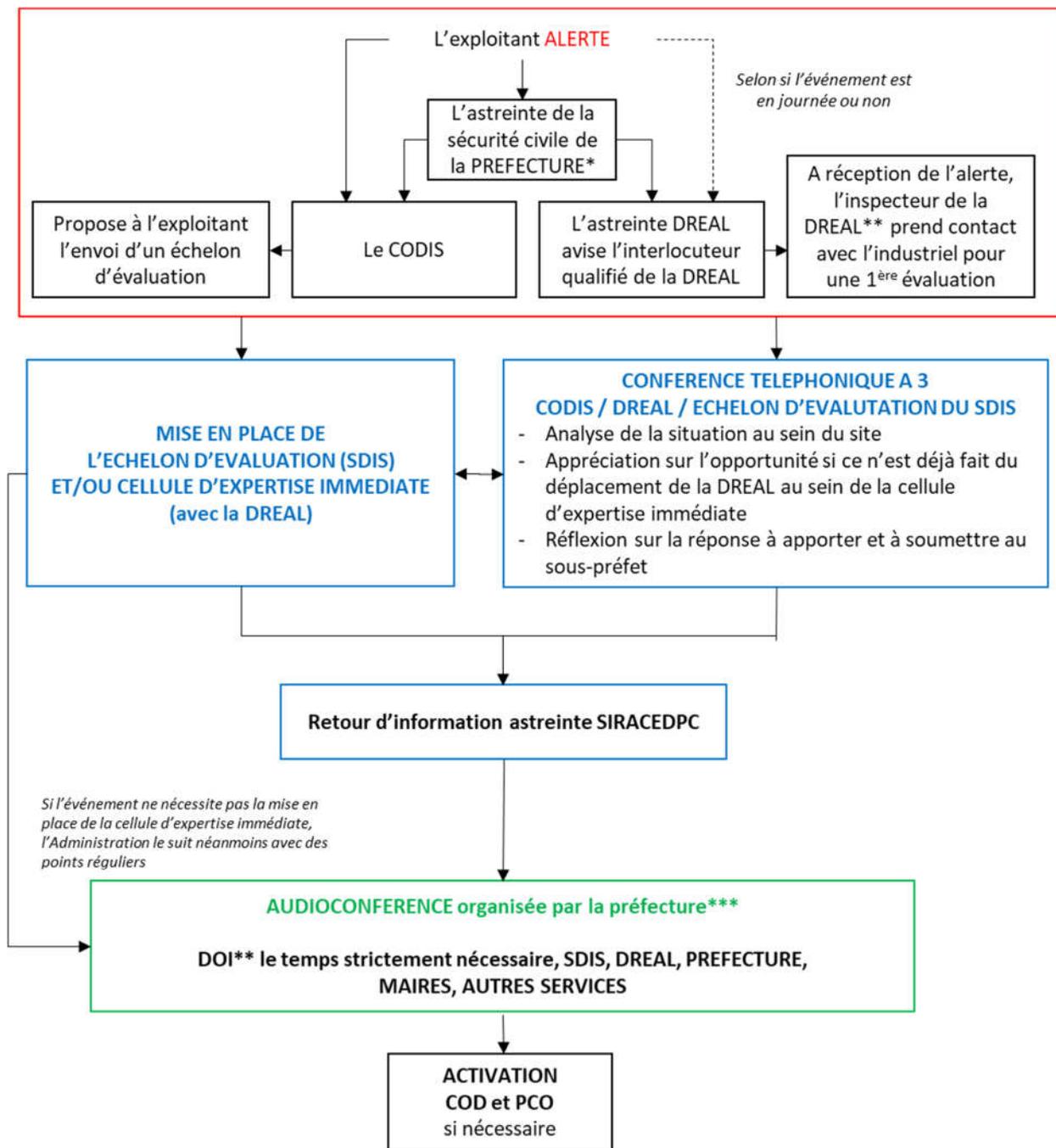


2^{ème} ETAPE : INFORMATION PAR TELECOPIE

- | | | |
|---------------|---------------------------------|---|
| - SIRACEDPC : | 02 32 76 51 19 | - Mairie St Jean de Folleville : 02 35 39 97 19 |
| - SDIS : | 02 35 56 10 80 | - Forces de l'ordre |
| - DREAL : | 02 35 88 74 38 (Service risque) | - DREAL LE HAVRE : 02 35 19 32 99 |



FICHE PROCEDURE EN CAS D'INCIDENT TECHNOLOGIQUE AVEC DECLENCHEMENT DU POI



*En cas d'événement à cinétique rapide et aux conséquences majeures, l'exploitant prévient sans délai le SDIS, la DREAL, le sous-préfet de permanence, les maires des communes concernées, les populations (déclenchement des sirènes) et les exploitants voisins.

**Ou son représentant

***La liste des services à associer est disponible sur la fiche G5 du classeur de permanence.