CONSEIL INDEPENDANT
EN ENVIRONNEMENT

Réseau PRODUIT EN BRETAGNE

à Liffré (35 340)

Création d'une unité de transformation de pains et viennoiseries

Demande d'autorisation environnementale

ANNEXES Etude de Dangers

GES n° 192871 Novembre 2021

AGENCE OUEST
Z.I des Basses Forges
35530 NOYAL-SUR-VILAINE
Tél. 02 99 04 10 20
Fax 02 99 04 10 25
e-mail : ges-sa@ges-sa.fr

AGENCE NORD
80 rue Pierre-Gilles de Gennes
02000 BARENTON BUGNY
Tél. 03 23 23 32 68
Fax 09 72 19 35 51
e-mail : ges-laon@ges-sa.fr

AGENCE EST
870 avenue Denis Papin
54715 LUDRES
Tél. 03 83 26 02 63
Fax 03 26 29 75 76
e-mail : ges-est@ges-sa.fr

AGENCE SUD-EST-CENTRE
La Chapelle - 42155
ST-JEAN ST-MAURICE/LOIRE
Tél. 04 77 63 30 30
Fax 04 77 63 39 80
e-mail : ges-se@ges-sa.fr

AGENCE SUD-OUEST
Forge
79410 ECHIRÉ
Tél. 05 49 79 20 20
Fax 09 72 11 13 90
e-mail : ges-so@ges-sa.fr

ANNEXES

Annexe 1 : Etude des dangers ammoniac

Annexe 2 : Essais palette Efectis

Annexe 3 : Calculs D9

Annexe 4 : Calculs FLUMilog

- Annexe - Étude flux thermique Efectis
- Annexe Flumilog 1 – Picking niveau 1
- Annexe Flumilog 2 – Picking niveau 2
- Annexe Flumilog 3 - Stockage local palettes vides
- Annexe Flumilog 4 Stockage extérieur de palettes
- Annexe Flumilog 5 -Stockage emballages
- Annexe Flumilog 6- Stockage chambre froide négative (CF1)
- Annexe Flumilog 7 - Stockage MP 1-2
- Annexe Flumilog 8- Stockage MP 3-4

Annexe 5 : Etude des effets toxiques des fumées

Annexe 6 : Feuilles de calcul surpression silos

ANNEXE 1

Etude des dangers ammoniac

BRIDOR – Liffré (35)

Etude de dangers – Installation de réfrigération à l'ammoniac

Atlantic Refrigeration Consulting

Frédéric LE BRONNEC
26/10/2021

Table des matières

Glossaire **5**

1. Introduction et contexte de l'étude **6**

1.1. Introduction 6

1.2. Contexte 7

2. Description de l'environnement de l'établissement **8**

2.1. Localisation du site 8

2.2. Description de l'environnement de l'installation 9

2.3. Environnement naturel 10

2.3.1. Contexte climatique 10

2.3.2. Risques naturels 10

3. Description de l'établissement **11**

3.1. Présentation de l'entreprise 11

3.2. Principales productions et activités 11

3.3. Organisation de l'établissement 11

3.3.1. Effectif – horaires 11

3.3.2. Surveillance du site 11

4. Résumé non technique et cartographies des effets **12**

4.1. Résumé non technique 12

4.1.1. Description des installations de réfrigération 14

4.1.2. Schéma de principe 14

4.1.3. Tableau de synthèse des mesures de prévention 15

4.1.4. Résultat de l'analyse des risques – PhD retenus 16

4.1.5. Résumé des résultats 17

4.2. Cartographies des effets 19

5. Description des installations de réfrigération **20**

5.1. Généralités 20

5.2. Installations utilisant l'ammoniac 20

5.3. Implantation des installations 21

5.4. Equipements constituant le système 1 (SDM1) 22

5.4.1. Généralités 22

5.4.2. Schéma de principe 22

5.4.3. Rôles et caractéristiques des différents équipements 23

5.5. Equipements constituant le système 2, 3 & 4 (SDM2, 3 & 4) 30

5.5.1. Généralités 30

5.5.2. Schéma de principe 30

5.5.3. Rôles et caractéristiques des différents équipements 31
5.6. Autres données de fonctionnement 38
5.6.1. Rechargement d'ammoniac 38
5.6.2. Débits d'ammoniac dans le circuit HP et BP 38
5.7. Listes des bonnes pratiques et des mesures de sécurité en prévention et pour la maitrise des risques 39
5.7.1. Bonnes pratiques de prévention 39
5.7.2. Mesures de sécurité en prévention 40
5.7.3. Mesures de protection / limitation vis-à-vis de la fuite toxique 43
5.7.4. Mesures de protection / limitation vis-à-vis de l'explosion 45
5.7.5. Mesures de protection / limitation vis-à-vis de la pollution 45
5.7.6. Système de régulation et de contrôle 46
5.7.7. Tableau de synthèse des mesures de prévention 47
5.8. Les locaux et zones d'implantation 51
5.8.1. Salles des machines 51
6. Potentiels de dangers 52
6.1. Potentiels de dangers liés aux produits 52
6.1.1. Les risques liés à l'ammoniac 52
6.1.2. Autres produits 54
6.2. Potentiels de dangers liés au procédé 54
6.3. Cartographie des potentiels de dangers du système 55
6.3.1. Cartographie des zones 55
6.4. Justification des potentiels de dangers 55
7. Retour d'expérience 56
7.1. Analyse générale de l'accidentologie 56
8. Analyses préliminaires des risques 57
8.1. Causes externes 57
8.1.1. Causes exclues de l'étude de dangers 57
8.1.2. Causes génériques d'origine naturelle 57
8.1.3. Causes liées à l'activité humaine 60
8.1.4. Causes liées l'environnement industriel 60
8.2. Causes internes liées au procédé 61
8.2.1. Analyse préliminaire des risques 61
8.3. Phénomènes dangereux retenus au terme de l'APR 63
9. Caractérisation de l'intensité des phénomènes dangereux 64
9.1. Sélection des phénomènes dangereux à modéliser 64
9.2. Principales hypothèses de modélisation 66

9.3. Intensité des phénomènes dangereux 66
9.3.1. Seuils d'effets sur l'homme 66
9.3.2. Environnement 67
9.3.3. Présentation des résultats pour le système ammoniac 68
10. Caractérisation de la gravité des accidents potentiels 93
10.1. Grille d'évaluation de la gravité 93
10.2. Comptage des personnes pour évaluation de la gravité 93
11. Caractérisations des probabilités d'occurrence 94
11.1. Classes des probabilités d'occurrence 94
11.2. Détermination des probabilités d'occurrence des PhD de dispersion toxique ... 95
11.2.1. Point de départ : évaluation des fréquences des ERC 95
11.2.2. Evaluation de la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux .. 95
11.2.3. Méthodes d'évaluation des barrières de sécurité 97
11.2.4. Probabilité d'occurrence des PhD de dispersion toxique 99
11.3. Evaluation des probabilités d'occurrence des explosions en zone confinée ... 100
11.4. Présentation des probabilités des phénomènes dangereux et des accidents majeurs 100
12. Caractérisation de la cinétique des évènements 101
13. Effets dominos 101
13.1. Effets dominos issus de la réfrigération à l'ammoniac 101
13.2. Effets dominos issus d'autres installations 101
14. Bilan des phénomènes dangereux et des accidents majeurs 102
14.1. Tableau de synthèse des phénomènes dangereux et accidents majeurs 102
14.2. Positionnement des accidents dans la matrice des risques 104
14.3. Phénomènes dangereux pour le Porter à Connaissance 107
15. Références 108
16. Liste des annexes 109
Annexe 1 : Description des installations de réfrigération à l'ammoniac 109
Annexe 2 : Caractéristiques de l'ammoniac 109
Annexe 3 : Optimisation de la quantité d'ammoniac 109
Annexe 4 : Accidentologie des installations de réfrigération : synthèse et exemples d'accidents caractéristiques 109
Annexe 5 : Tableaux d'analyse préliminaire des risques (APR) 109
Annexe 6 : Bonnes pratiques et mesures de sécurité : Rappel des exigences des textes réglementaires et de la norme NF EN 378 109
Annexe 7 : Evaluation des mesures de maitrise des risques : Tableau de synthèse des évaluations 109

Annexe 8 : Caractérisation de l'intensité 109
Annexe 9 : Analyse détaillés des risques (ADR) - Arbres d'évènements génériques 109
Annexe 10 : Répartition de charge d'ammoniac 109
Annexe 11 : Schéma de principe frigorifique 109
Annexe 12 : Principe de ventilation de la SDM 109
Annexe 13 : Répartition des zones à risques 109
Annexe 14 : Scenario – version PHAST 8.22 109
Annexe 15 : Etude préalable d'implantation des détecteurs NH3 109

Glossaire

AFF	Association Française du Froid
APR	Analyse Préliminaire de Risques
BARPI	Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels
BP	Basse Pression
DC	Défaillance Critique
DMC	Défaillance Moyennement Critique
EDD	Etude de Dangers
ERC	Evènement Redouté Central
ERP	ERP Etablissement Recevant du Public
E/S	Entrée Sortie
HP	Haute Pression
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
MEG	Mono Ethylène Glycol
MPG	Mono Propylène Glycol
MMR	Mesure de Maîtrise des Risques
MP	Moyenne Pression
NC	Niveau de Confiance
PhD	Phénomène Dangereux
POI	Plan d'Opération Interne
PPRT	Plan de Prévention des Risques Technologiques
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuil des Effets Létaux
SELS	Seuil des Effets Létaux Significatifs
SIL	Safety Integrity Level
TMD	TMD Transport de Marchandises Dangereuses
USNEF	USNEF Union Syndicale Nationale des Exploitations Frigorifiques

1. Introduction et contexte de l'étude

1.1. Introduction

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par BRIDOR pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir, réduire et maitriser les risques de son installation de réfrigération qui sera située sur la commune de Liffré, dans le département de l'Ille-et-Vilaine (35), en région Bretagne.

Le site comportera dans sa situation finale **12 510 kg** d'ammoniac répartis sur 4 salles des machines :

N° de rubrique	Désignation	A, E, D, S, C, SO (*)	Situation
4735 1-a *Ex 1136*	**Emploi de l'ammoniac :** La quantité susceptible d'être présente dans l'installation étant **supérieure ou égale à 1 500 kg.**	**A**	SDM1 Système 1 : **3 930 kg** SDM2 Système 2 : **2 860 kg** SDM3 Système 3 : **2 860 kg** SDM4 Système 4 : **2 860 kg** **Quantité : 12 510 kg**
4735 1-b *Ex 1136*	**Emploi de l'ammoniac :** La quantité susceptible d'être présente dans l'installation étant **supérieure ou égale à 150 kg, mais inférieure à 1 500 kg.**	**SO**	
2921	**Refroidissement évaporatif par dispersion d'eau dans un flux d'air généré par ventilation mécanique ou naturelle (installation de) :** La puissance thermique évacuée étant **supérieure ou égale à 3 000 kW.**	**SO**	*Condenseur adiabatique à médias humidifiés (hors rubrique 2921)*
2921	**Refroidissement évaporatif par dispersion d'eau dans un flux d'air généré par ventilation mécanique ou naturelle (installation de) :** La puissance thermique évacuée étant **inférieure à 3 000 kW.**	**SO**	

A Autorisation.
E Enregistrement.
DC Déclaration.
S Servitude d'utilité publique.
C Soumis au contrôle périodique prévu par l'article L.512-11 du code de l'environnement si le site ne relève pas de rubrique en Autorisation.
SO Sans objet, donc non concerné.

La présente étude est réalisée par la société **Atlantic Refrigeration Consulting.**

1.2. Contexte

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du code de l'environnement relative aux installations classées. Selon l'article L512-1, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

La présente étude est réalisée conformément à l'article R512-9 et en respectant l'arrêté 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 classés soumises à autorisation.

Dans un objectif d'exploitation de son futur site de Liffré, BRIDOR a décidé d'utiliser l'ammoniac comme réfrigérant associé au CO2 pour la distribution. Le choix a été conduit par le résultat d'une étude des différentes solutions possibles.

Phase 1

En première phase, la salle des machines SDM1 sera réalisée pour une capacité de production correspondant à 3 lignes + un ensemble de logistique.

Phase 2

En deuxième phase, la salle des machines SDM2 sera réalisée pour une capacité de production correspondant à 2 lignes + un ensemble de logistique.

La SDM1 sera complétée par une capacité pour un premier Magasin de Grande Hauteur (-25°C) – La modification de l'installation sera significative surtout sur la partie CO2, la partie NH3 étant installée en phase 1.

Phase 3

En troisième phase, la salle des machines SDM3 sera réalisée pour une capacité de production correspondant à 2 lignes + un ensemble de logistique.

La SDM1 sera complétée par une capacité pour un deuxième Magasin de Grande Hauteur (-25°C) – La modification de l'installation sera seulement sur la partie CO2 (un compresseur de plus et des évaporateurs).

Phase 4

En quatrième phase, la salle des machines SDM4 sera réalisée pour une capacité de production correspondant à 2 lignes + un ensemble de logistique.

La SDM1 sera complétée par une capacité pour un troisième Magasin de Grande Hauteur (-25°C) – La modification de l'installation sera seulement sur la partie CO2 (extension des évaporateurs).

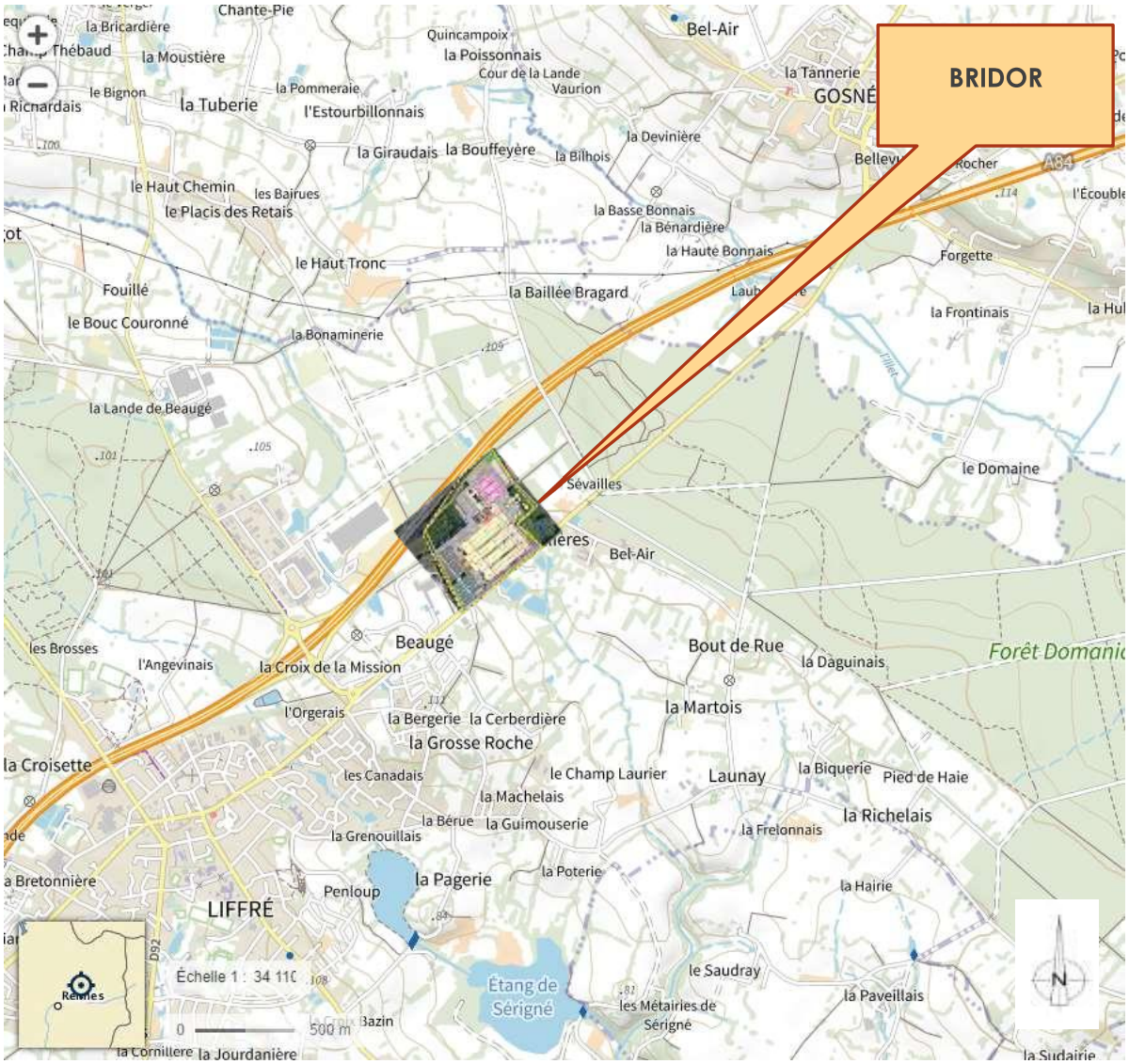
L'étude ci-présente est donc réalisée avec les charges d'ammoniac maximum / SDM.

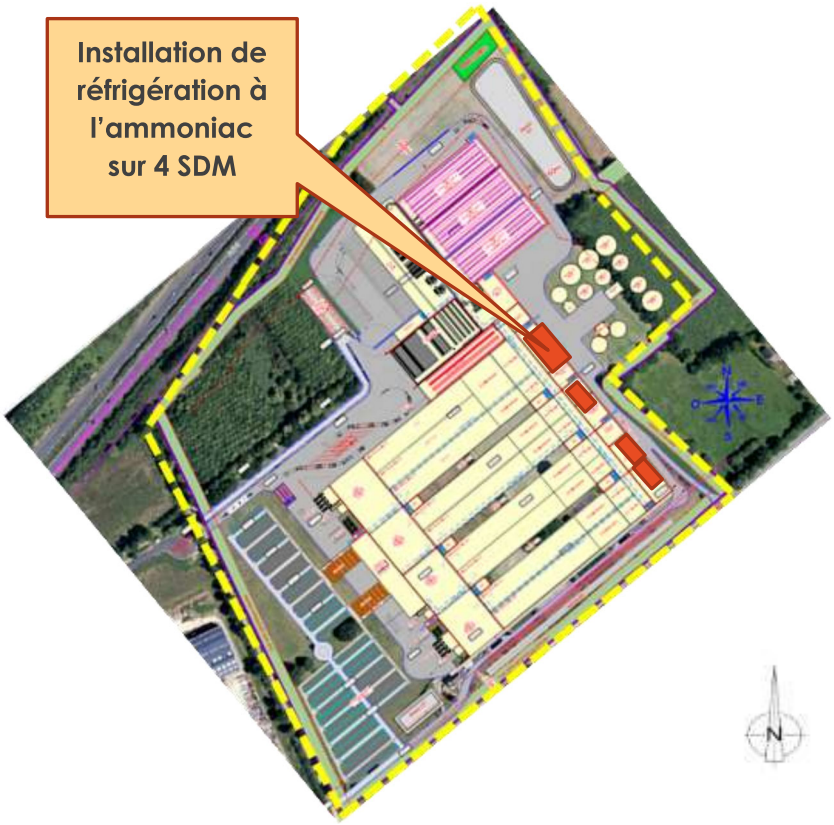
2. Description de l'environnement de l'établissement

2.1. Localisation du site

L'installation de réfrigération de BRIDOR est localisée sur la commune de Liffré, dans le département de L'Ille-et-Vilaine (35), en région Bretagne.

Le site se trouve au nord de la commune.





Ci-joint une vue aérienne de l'usine (source Géoportail) l'implantation de l'installation de réfrigération de BRIDOR (orange plein) sur la carte ci-jointe.
⌦ L'**annexe 13** montre en détail les zones à risques (présences d'ammoniac).

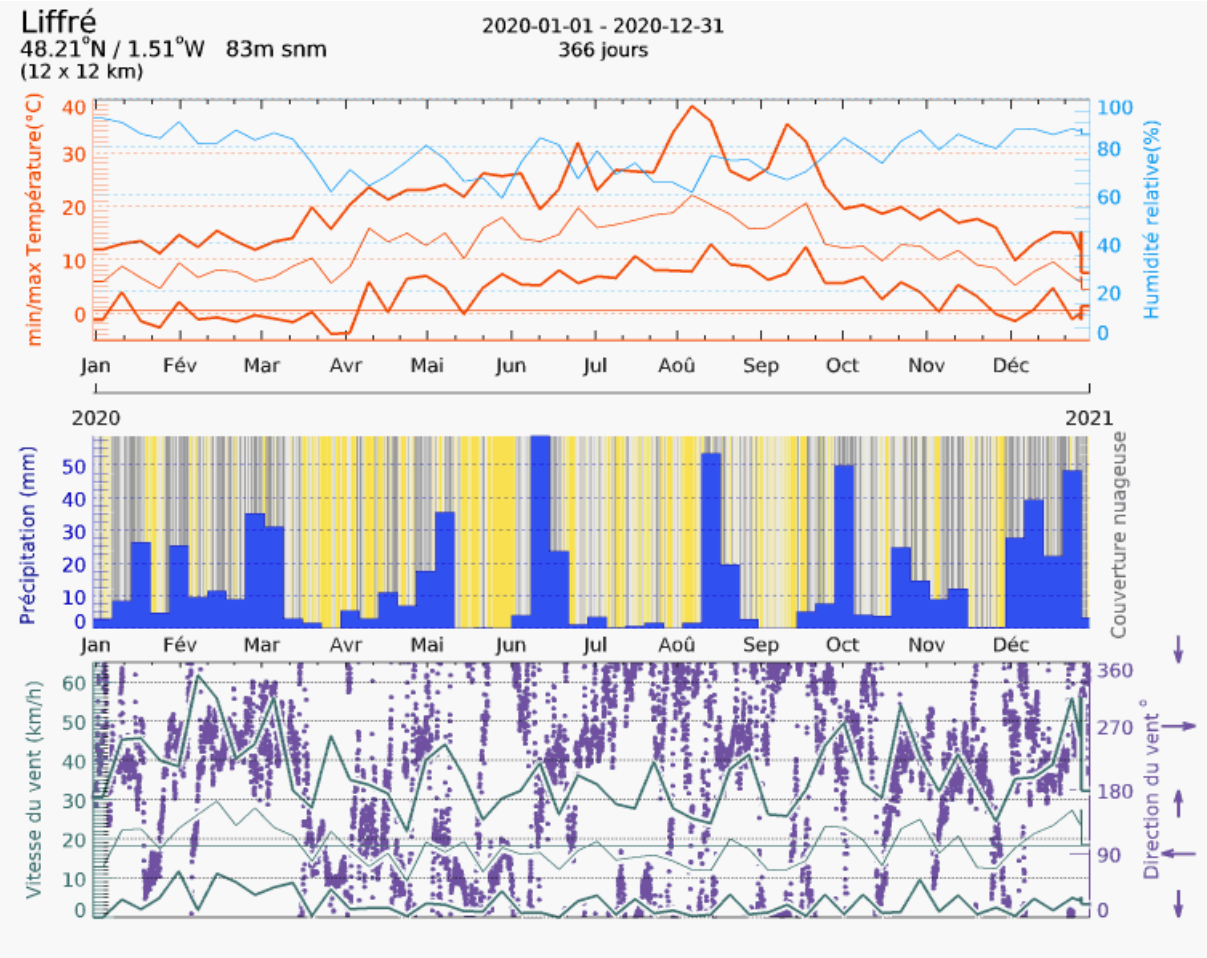
2.2. Description de l'environnement de l'installation

Ce chapitre est traité dans le dossier ICPE.

2.3. Environnement naturel

2.3.1. Contexte climatique

Les conditions climatiques sont prises en compte dans le choix des pressions de service (calcul suivant l'EN 378).



Le diagramme archive météo est composé de trois parties :

- Température et humidité relative à fréquence horaire
- Nuages (fond grisé) et ciel clair (fond jaune). Plus le gris est foncé, plus la couverture nuageuse est dense
- Vitesse du vent et direction (en degré 0° = Nord, 90° = Est, 180° = Sud et 270° = Ouest). Pour la partie dédiée au vent, les points violets représentent la direction du vent, comme indiqué sur l'axe de droite.

2.3.2. Risques naturels

Pas de risques naturels majeurs répertoriés sur la commune de Liffré (35).

3. Description de l'établissement

3.1. Présentation de l'entreprise

Raison sociale	BRIDOR LIFFRÉ
Forme juridique	
N° de SIRET	
Code ape (NAF)	1071A
Adresse	35 340 Liffré
Directeur du site	
Responsable Maintenance	

BRIDOR, société par actions simplifiée. Le site sera spécialisé dans fabrication industrielle de pain et de viennoiserie.

3.2. Principales productions et activités

La société BRIDOR sera installé sur le site de Liffré pour une unité de fabrication industrielle de pain et de viennoiserie. L'installation disposera d'une capacité totale de **12 510 kg** d'ammoniac au final. **La charge sera répartie dans 4 SDM distincts**.

3.3. Organisation de l'établissement

3.3.1. Effectif – horaires

Le site emploiera 500 personnes qui pourront travailler du lundi au dimanche en 3/8. Les services de maintenance seront de 20 personnes.

3.3.2. Surveillance du site

Le site est fermé en limite de propriété. L'accessibilité du site est autorisée aux personnes habilitées. Un système de surveillance à distance sera en place pour prévenir des alarmes. Toute alarme est transmise au service d'astreinte.

4. Résumé non technique et cartographies des effets

4.1. Résumé non technique

- **Introduction**

Le présent dossier constitue l'étude de dangers des installations de réfrigération du futur site de **BRIDOR** qui sera situé sur la commune de Liffré (35).

L'installation est soumise à autorisation :

- Capacité totale en ammoniac est **12 510 kg**.
  - Cette quantité d'ammoniac est répartie en quatre installations séparées :
    - SDM1: circuit n°1 = 3 930 kg
    - SDM2: circuit n°2 = 2 860 kg
    - SDM3: circuit n°3 = 2 860 kg
    - SDM4: circuit n°4 = 2 860 kg

L'étude s'inscrit dans une intégration de dossier ICPE complet :

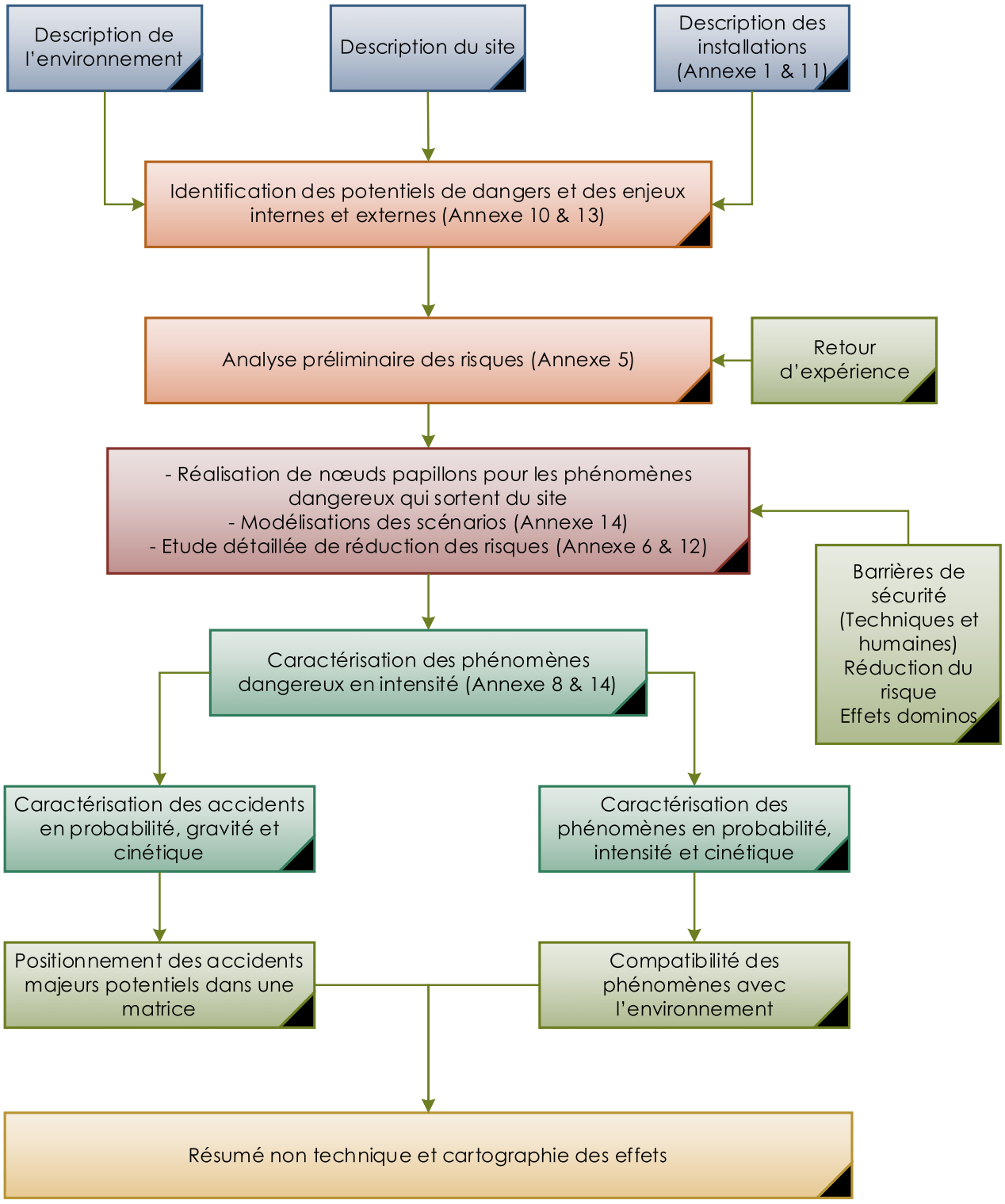
- Dossier ICPE (installation de plus de 1 500 kg d'ammoniac) et répondant en conformité à l'arrêté du 16 juillet 1997 et norme EN 378 parties 1, 2, 3 et 4 ;

- **La démarche**

L'étude de dangers est réalisée suivant « le guide de rédaction des études de dangers des installations de réfrigération à l'ammoniac », (DRA71. INERIS 27/02/2015) :

- Annexe 1 - Description des installations de réfrigération à l'ammoniac
- Annexe 2 - Caractéristiques de l'ammoniac
- Annexe 3 - Optimisation de la quantité d'ammoniac
- Annexe 4 - Accidentologie - Synthèse et exemples caractéristiques
- Annexe 5 - Tableaux d'analyse préliminaire des risques
- Annexe 6 - Bonnes pratiques et mesures de sécurité
- Annexe 7 - Evaluation d'éléments des MMR
- Annexe 8 - Caractérisation de l'intensité (Modèle gaussien)
- Annexe 9 - Arbres d'évènements génériques
- Annexe 10 - Répartition de charge d'ammoniac
- Annexe 11 - Schéma frigorifique de principe_BRIDOR III
- Annexe 12 - Principe de ventilation_BRIDOR_SDM
- Annexe 13 - Répartition des zones à risques liés à l'ammoniac_BRIDOR
- Annexe 14 – Résultats Scénarii BRIDOR III - version PHAST 8.22 (Modèle intégral)
- Annexe 15 - Etude préalable détection NH3_BRIDOR III

Architecture de la démarche EDD :



4.1.1. Description des installations de réfrigération

Les installations sont réparties en quatre installations distinctes :

Ces systèmes contiennent **3 930 kg d'NH3 pour la SDM1 et 2 860 kg pour les SDM2, 3 et 4, pour un total sur site de 12 510 kg.**

Ces systèmes sont destinés au refroidissement de deux boucles de MPG ; (0/+4°C) pour la climatisation des halls de production et (-8/-4°C) pour le process. L'ammoniac est aussi utilisé en cascade pour la condensation du CO2 de la partie BP pour la distribution sur les postes négatifs :

- Utilisateurs négatifs indirects (via le CO2).
- Utilisateurs positifs indirects (via l'eau glycolée).

A l'intérieur de la salle des machines SDM1 se trouve les systèmes 1 assurant la production de froid avec entre autres comme matériel confinant l'ammoniac :

Nombre d'équipements/ SDM	SDM1	SDM2	SDM3	SDM4
Compresseurs à vis MP (-12°C) avec séparateur d'huile	4	4	4	4
Compresseurs à vis MP (-3°C) avec séparateur d'huile	1	1	1	1
Compresseurs à pistons MP (-3°C) avec séparateur d'huile	2	2	2	2
Désurchauffeur à plaques (récupération de chaleur)	2	2	2	2
Condenseur à plaques (récupération de chaleur)	2	2	2	2
Séparateur de liquide MP10 -12°C moyenne température	1	1	1	1
Séparateur de liquide MP20 -3°C moyenne température	1	1	1	1
Échangeur spray-chiller MP10 -12°C moyenne température	2	2	2	2
Echangeur NH3/Glycol sur MP10 moyenne température	2	2	2	2
Echangeur NH3/Glycol sur MP20 moyenne température	1	1	1	1
Pot de soutirage d'huile sous les séparateurs de liquide MP	2	2	2	2
Un système de détection de fuite d'ammoniac + un extracteur de sécurité	1	1	1	1

A l'extérieur de la salle des machines se trouve le matériel suivant :

- 8 x **condenseurs adiabatiques** pour la SDM1.
- 4 x **condenseurs adiabatiques** pour les SDM2, 3 et 4.
- Les **armoires électriques** de puissance et régulation.
- Système de détection de fuite d'ammoniac / édicule.

4.1.2. Schéma de principe

⌦ L'**annexe 10** – Voir la répartition et le calcul des charges ammoniac.

⌦ L'**annexe 11** – Voir schéma de principe (fluide frigorifique).

Le schéma de principe est mis en tête de l'ANNEXE 11. C'est un schéma de principe, résumant le fonctionnement de l'installation, qui permet de situer les points éventuels de fuite envisagés par l'EDD.

4.1.3. Tableau de synthèse des mesures de prévention

Le tableau ci-dessous récapitule les mesures (bonnes pratiques et mesures de sécurité) en prévention identifiées précédemment.

⌦ L'**annexe 6** précise pour chacune des mesures indiquées dans ce paragraphe les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes (**EN 378-1-2-3-4 Système frigorifiques et pompes à chaleur** – Exigences de sécurité et d'environnement). **L'arrêté du 16 juillet 1997 demande que la salle des machines soit conforme aux normes en vigueur (article 3) et que le seuil de déclenchement de la détection ammoniac soit conforme aux normes en vigueur (article 42)**.

Numérotation des mesures	Intitulé général des bonnes pratiques et des mesures de sécurité en prévention et pour la maitrise des risques
O	Procédures de conduite et d'exploitation de l'installation
R	Vérifications réglementaires
P	Limitation de la montée en pression
V	Prévention des effets des vibrations
L	Préventions des coups de liquide
B	Prévention des chocs et bris mécaniques
C	Prévention de la corrosion
F	Prévention des fuites sur les organes ou tuyauteries
E	Prévention de l'échauffement excessif du moteur
H	Prévention des erreurs sur interventions
D	Prévention de la dépression
I	Prévention des effets des incendies
T	Prévention vis-à-vis de la fuite toxique
X	Prévention vis-à-vis de l'explosion
P	Prévention vis-à-vis de la pollution
N	Prévention des effets des causes naturelles
A	Prévention des effets des causes externes non naturelles

Tableau 1 : *Liste des bonnes pratiques et mesures de sécurité identifiées dans l'APR et les nœuds-papillons*

4.1.4. Résultat de l'analyse des risques – PhD retenus

- Analyses de risques retenus

PhD	Désignations
10 **20** **30** **40**	Rupture du collecteur en **gaz HP** entre compresseurs et les condenseurs dans l'édicule (au niveau d'une vanne ou accessoire)
11 **21** **31** **41**	Rupture du collecteur en **liquide HP** à la sortie du condenseur dans l'édicule (au niveau d'une vanne ou accessoire) – scénario Majorant voir résultat avec PHAST version 8.22 en Annex 14
12 **22** **32** **42**	Rupture d'une canalisation **liquide** en dessous de la bouteille BP – Installation en fonctionnement
13 **23** **33** **43**	Rupture d'une canalisation **liquide** en dessous de la bouteille BP – Installation à l'arrêt (à l'arrêt avec une élévation de la pression) - scénario Majorant voir résultat avec PHAST version 8.22 en Annex 14
14 **24** **34** **44**	Rupture d'un tube à l'intérieur du condenseur en extérieur
15 **25** **35** **45**	Relâchement des soupapes de sécurité (cas d'incendie)

4.1.5. Résumé des résultats

- Rappel des résultats suivant les scénarii étudiés après mise en œuvre des mesures de prévention et de maitrise des risques :

PhD	Commentaires	Classe proba	Distances d'effet pour une hauteur cible de 1,8 m			Cinétique	Gravité
			SELS	SEL (Z1)	SEI (Z2)		
10 **20** **30** **40**	Rupture du collecteur en gaz HP entre compresseurs et les condenseurs dans l'édicule	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac pour arrêter **immédiatement** au 2ème seuil le fonctionnement de tous les circuits de la SDM et maintenir en service le ventilateur de l'extraction de l'édicule.	Modéré
11 **21** **31** **41**	Rupture du collecteur en gaz HP entre compresseurs et les condenseurs dans l'édicule	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac pour arrêter **immédiatement** au 2ème seuil le fonctionnement de tous les circuits de la SDM et maintenir en service le ventilateur de l'extraction de l'édicule.	Modéré
12 **22** **32** **42**	Rupture d'une canalisation liquide en dessous de la bouteille BP – Installation en fonctionnement	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac pour arrêter **immédiatement** au 2ème seuil le fonctionnement de tous les circuits de la SDM et maintenir en service le ventilateur de l'extraction.	Modéré

13 **23** **33** **43**	Rupture d'une canalisation liquide en dessous de la bouteille BP – Installation à l'arrêt	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac pour arrêter **immédiatement** au 2ème seuil le fonctionnement de tous les circuits de la SDM et maintenir en service le ventilateur de l'extraction.	Modéré
14 **24** **34** **44**	Rupture d'un tube à l'intérieur du condenseur en extérieur	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac (pH mètre) pour arrêter **immédiatement** au 2ème seuil le fonctionnement de tous les circuits de la SDM et maintenir en service le ventilateur de l'extraction.	Modéré
15 **25** **35** **45**	Relâchement des soupapes de sécurité	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Rejet à l'atmosphère via un collecteur* dont la sortie est à **14,0 m** de hauteur par rapport au niveau du sol. Détection d'ammoniac avec le capteur rejet soupapes. **Un périmètre de sécurité incendie serait également mis en place**.	Modéré

(*) *le rejet des soupapes peut se faire dans le conduit de rejet de l'air ammoniaqué, à condition de respecter un rejet vertical et à au moins 1 m après l'extracteur d'air ammoniaqué – ou le rejet peut se séparément à une hauteur identique et aussi verticalement.*

o Accidents majeurs et acceptabilité des risques

Avec la mise en place des mesures expliquées dans la présente EDD et l'étude des modélisations de scénarii, il n'y a pas phénomènes pouvant conduire à des accidents majeurs, c'est-à-dire pouvant avoir potentiellement des effets à l'extérieur du site (*en prenant compte des relevés topographiques des zones alentours*).

4.2. Cartographies des effets

⌦ L'**annexe 13** apporte les détails sur les zones de rejet d'extraction d'air ammoniaqué sur la carte du site.



Les différents scénarii étudiés dans cette EDD avec les mesures qui sont mises en place n'ont pas effets au sol (1,8 m) hors des limites de propriété du site de BRIDOR (35) – voir scénarii PHAST Annexe 14 (et annexe 8)

Scénarii de dispersion retenus :

Scénarii (1er chiffre n° de salle des machines; 2ème n° de définition du scénario)

Scénarii 10; 20; 30; 40 (Gaz HP)

Scénarii 11; 21; 31; 41 (Liquide HP)

Scénarii 12; 22; 32; 42 (Liquide BP en fonctionnement)

Scénarii 13; 23; 33; 43 (Liquide BP en fonctionnement et à l'arrêt, avec remontée en pression)

Scénario 14; 24; 34; 44 (Fuite liquide sur tube condenseur évaporatif)

Scénario 15; 25; 35; 45 (Soupapes de sécurité)

Z1 (au sol) DEL = NA

Z2 (au sol) DEI = NA

N A = La valeur « N A» (Non atteint), en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol.

Voir résultats Annexe 14 (Modélisation PHAST méthode intégrale)

5. Description des installations de réfrigération

Ce chapitre a pour objectif de caractériser l'installation envisagée afin de permettre d'identifier les principaux potentiels de danger qu'elle représente, au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

Il est rappelé que le champ de l'étude est restreint aux installations de réfrigération à l'ammoniac.

5.1. Généralités

Les méthodes les plus répandues, pour produire du froid aux niveaux de température utilisés de -50°C à +20°C, sont les méthodes thermodynamiques suivantes :

- Détente directe d'un fluide tel que les fluides halogénés ou les nouveaux fluides frigorigènes. (ATTENTION EN CAS DE FUITE car ces fluides inodores prennent la place de l'oxygène et peuvent entraîner une asphyxie rapide).
- Évaporation directe d'un fluide à basse tension de vapeur, (et à basse pression) tel que l'ammoniac méthode utilisée dans cette usine (voir chapitre 1.2).
- Utilisation d'un fluide caloporteur, non toxique, sans changement d'état. Cependant ce fluide caloporteur doit être lui-même refroidi, et l'on revient dans l'une des 2 méthodes précédentes.

5.2. Installations utilisant l'ammoniac

Substance naturelle et également synthétisée en grande quantité par l'industrie chimique, l'ammoniac présente comme fluide frigorigène certains avantages et notamment :

- De bonnes propriétés thermodynamiques (transfert de chaleur/masse) permettant d'obtenir des machines avec l'un des meilleurs coefficients de performances existants,
- Une température critique très élevée,
- Une enthalpie de vaporisation très élevée, rendant son utilisation possible pour produire des températures aussi basses que –60°C,
- Une neutralité chimique vis à vis des constituants du système frigorifique, hors du cuivre et de ses alliages, ainsi qu'une insensibilité à la présence d'air humide ou d'eau,
- Une meilleure stabilité vis-à-vis de l'huile,
- Une détection relativement facile en cas de fuite même minime (détection olfactive à 5ppm, etc.),
- Une absence d'effet sur l'ozone atmosphérique ou de contribution à l'effet de serre,
- Le prix d'achat le plus bas de tous les frigorigènes (5 à 8 fois moins cher au kg, 11 à 17 fois en prenant en compte la réduction de la taille des installations),
- Des dimensions plus réduites des tuyauteries pour une même puissance frigorifique,
- Globalement, des coûts de revient d'une installation moins importants.

Il existait dans le monde en 2000 plus de 300 000 installations à compression d'ammoniac hors réfrigérateurs domestiques et installations industrielles de récupération de chaleur perdue.

Issues d'une technologie bien maîtrisée, l'ammoniac est utilisé depuis plus d'un siècle comme frigorigène, ces machines couvrent presque l'ensemble des besoins industriels ou domestiques de moyenne ou de très grande puissance frigorifique (égale ou supérieure à 100 kW en froid).

⌦ L'**annexe 1** rappelle le principe de fonctionnement des installations.

5.3. Implantation des installations

L'installation de réfrigération de BRIDOR se répartit sur les zones suivantes :

- La salle des machines **SDM1** dans laquelle se trouve le **système frigorifique 1** ;
- Une terrasse sur lesquelles se situent les condenseurs adiabatiques du système frigorifiques (avec capotage (édicule) au niveau des tuyauteries de raccordement) ;

Le tableau suivant synthétise l'emplacements des équipements en fonctions des zones.

	INTERIEUR			EXTERIEUR
Zones	SDM1	Edicule condenseur SDM	Combles techniques	Terrasses
Condenseur adiabatique	Non	Non	Non	Oui x 8
Compresseur MP (-12°C)	Oui x 4	Non	Non	Non
Compresseur MP (-3°C)	Oui x 3	Non	Non	Non
Séparateur de liquide MP (-12°C)	Oui x 1	Non	Non	Non
Séparateur de liquide MP (-3°C)	Oui x 1	Non	Non	Non
Spray-chiller (-12°C)	Oui x 2	Non	Non	Non
Echangeur à plaques	Oui	Non	Non	Non
Bouteillon de récupération d'huile	Oui x 2	Non	Non	Non
Tuyauteries	Oui	Oui	Non	Non
Vannes et accessoires	Oui	Oui	Non	Non
Soupapes de sécurités	Oui	Oui	Non	Non
Récupération de chaleur – Echangeur à plaques	Oui	Non	Non	Non

L'installation de BRIDOR est une production suivant la **méthode :**

- **Indirecte** pour la condensation du CO2 (CO2 est distribué pour les postes négatifs).
- **Indirecte** pour le refroidissement de l'eau glycolée (postes positifs).

5.4. Equipements constituant le système 1 (SDM1)

5.4.1. Généralités

Ce système contient au total environ **3 930 kg d'NH3**, destiné au refroidissement de deux boucles de MPG ; (0/+4°C) pour la climatisation des halls de production et (-8/-4°C) pour le process. L'ammoniac est aussi utilisé en cascade pour la condensation du CO2 de la partie BP pour la distribution sur les postes négatifs :

- Utilisateurs négatifs indirects (via le CO2).
- Utilisateurs positifs indirects (via l'eau glycolée).

A l'intérieur de la salle des machines SDM1 se trouve les systèmes 1 assurant la production de froid avec entre autres comme matériel confinant l'ammoniac :

- 4 x **compresseurs à vis MP (-12°C)** avec séparateur d'huile.
- 1 x **compresseurs à vis MP (-3°C)** avec séparateur d'huile.
- 2 x **compresseurs à pistons MP (-3°C)** avec séparateur d'huile.
- 2 x **Désurchauffeur à plaques** (récupération de chaleur).
- 2 x **Condenseur à plaques** (récupération de chaleur).
- 1 x **séparateur de liquide MP10 -12°C** moyenne température.
- 1 x **séparateur de liquide MP20 -3°C** moyenne température.
- 2 x **échangeur spray-chiller MP10 -12°C** moyenne température.
- 2 x **Echangeur NH3/Glycol sur MP10** moyenne température.
- 1 x **Echangeur NH3/Glycol sur MP20** moyenne température.
- 2 x **pot de soutirage d'huile** sous les séparateurs de liquide MP.
- Un système de détection de fuite d'ammoniac + un extracteur de sécurité.

A l'extérieur de la salle des machines se trouve le matériel suivant :

- 8 x **condenseurs adiabatiques**.
- Les **armoires électriques** de puissance et régulation.
- Un système de détection de fuite d'ammoniac dans l'édicule.

5.4.2. Schéma de principe

⌦ L'**annexe 10** – Voir la répartition et le calcul des charges ammoniac.

⌦ L'**annexe 11** – Voir schéma de principe (fluide frigorifique).

Le schéma de principe est mis en tête de l'ANNEXE 11. C'est un schéma de principe, résumant le fonctionnement de l'installation, qui permet de situer les points éventuels de fuite envisagés par l'EDD.

5.4.3. Rôles et caractéristiques des différents équipements

5.4.3.1. Compresseurs circuit MP10 et Spray-chiller

Rôle : Assurer la production frigorifique nécessaire pour le refroidissement de l'eau glycolée et à la condensation du CO2.

Fonctionnement : L'étage BP de chaque compresseur aspire, dans une bouteille MOYENNE PRESSION et refoule dans les condenseurs et le circuit de récupération de chaleur. Dans la bouteille MP reviennent les vapeurs surchauffées provenant de l'évaporation de l'NH3 dans les différents évaporateurs (échangeurs eau glycolée).

Chaque compresseur est isolable individuellement.

Chaque compresseur est équipé des organes de sécurité comme : pressostats HP et BP, pressostat différentiel d'huile, thermostats d'huile et surchauffe, protections électriques du moteur principal d'entraînement.

# annexe 13	**MP11**	**MP12**	**MP13**	**MP14**
Compresseur	MP10/HP	MP10/HP	MP10/HP	MP10/HP
Marque	GEA	GEA	GEA	GEA
Type	A vis	A vis	A vis	A vis
Modèle	SP1 YB-5X	SP1 YB-5X	SP1 YB-5X	SP1 YB-5X
Régime de service	-12/+35°C	-12/+35°C	-12/+35°C	-12/+35°C
Puissance frigorifique unitaire Qo	**2 105 kW**	**2 105 kW**	**2 105 kW**	**2 105 kW**
Puissance absorbée sur l'arbre Qa	483 kW	483 kW	483 kW	483 kW
Refroidissement d'huile	Oui	Oui	Oui	Oui
Moteur électrique	560 kW	560 kW	560 kW	560 kW
Equipements annexes	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration, AU individuel.	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration, AU individuel.	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration, AU individuel.	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration, AU individuel.
PS séparateur d'huile	20 bars	20 bars	20 bars	20 bars
Divers	Variateur de fréquence	Variateur de fréquence	Variateur de fréquence	Variateur de fréquence

La puissance nominale est assurée par 3 compresseurs. Il y a un compresseur de secours.
Les sélections des compresseurs ont été réalisées avec la marque GEA, d'autres compresseurs similaires pourront être installés sans modification du débit masse et donc sans impact sur les résultats.

5.4.3.2. Compresseurs circuit MP20

Rôle : Assurer la production frigorifique nécessaire pour le refroidissement de l'eau glycolée pour la climatisation des halls de production et le sous-refroidissement du débit masse du -12°C (optimisation énergétique).

Fonctionnement : L'étage BP de chaque compresseur aspire, dans une bouteille MOYENNE PRESSION et refoule dans les condenseurs et le circuit de récupération de chaleur. Dans la bouteille MP reviennent les vapeurs surchauffées provenant de l'évaporation de l'NH3 dans les différents évaporateurs (échangeurs eau glycolée).

Chaque compresseur est isolable individuellement.

Chaque compresseur est équipé des organes de sécurité comme : pressostats HP et BP, pressostat différentiel d'huile, thermostats d'huile et surchauffe, protections électriques du moteur principal d'entraînement.

# annexe 13	**MP21**	**MP22**	**MP23**
Compresseur	MP20/HP	MP20/HP	MP20/HP
Marque	GEA	GEA	GEA
Type	A vis	A pistons	A pistons
Modèle	SP1 VB-5X	V 1400	V 1400
Régime de service	-3/+35°C	-3/+35°C	-3/+35°C
Puissance frigorifique unitaire Qo	**1 741 kW**	**968 kW**	**968 kW**
Puissance absorbée sur l'arbre Qa	380 kW	198 kW	198 kW
Refroidissement d'huile	Oui	Oui	Oui
Moteur électrique	450 kW	250 kW	250 kW
Equipements annexes	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration.	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration.	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration.
PS séparateur d'huile	20 bars	20 bars	20 bars
Divers	Variateur de fréquence	Variateur de fréquence	Variateur de fréquence

La puissance nominale est assurée par 3 compresseurs. Il y a un compresseur de secours.
Les sélections des compresseurs ont été réalisées avec la marque GEA, d'autres compresseurs similaires pourront être installés sans modification du débit masse et donc sans impact sur les résultats.

5.4.3.3. Condenseurs à air (adiabatique)

Rôle : Condenser les vapeurs surchauffées d'NH3 refoulées par l'ensemble des compresseurs.

De par sa conception, il n'y a pas de dispersion d'eau dans le flux d'air, ni de refroidissement évaporatif sur la batterie sèche. Cet équipement n'est donc pas concerné par la définition de la rubrique 2921 des ICPE et n'y est pas soumis.

Caractéristiques unitaires :

Condenseur	COND n°1 à 8
Constructeur	JACIR ou similaire
Modèle	ONYX-M10-E09-D3-11730-B-4
Température Condensation	+35°C
Bulbe humide (Point de basculement) *	+23,2°C
Puissance Réjection NH3	1 250 kW
Puissance réjection huile	-
Quantité d'ammoniac	**110 kg**
PS (tarage soupapes de sécurité)	20 bars

Équipements :

- Régulation pressostatique de la pression HP par transmetteur de pression HP (AKS33) avec action sur les motos ventilateurs.
- Protection des bassins par thermoplongeurs antigel thermostatés.
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.
- Rampe de pulvérisation interne en cas de fuite d'ammoniac

(*) Le point de basculement du mode sec au mode humide (humidification des médias)

5.4.3.4. Désurchauffeur – récupération de chaleur

Rôle : Désurchauffer les vapeurs surchauffées d'NH3 refoulées par l'ensemble des compresseurs à pistons de la SDM. Production d'eau chaude.

Caractéristiques unitaires :

Désurchauffeur	DES n°1 & 2
Constructeur	THERMOWAVE ou similaire
Modèle	TL0650 KDKL-1250
Température d'entrée	+110°C
Température de sortie	+40°C
Régime d'eau	+32/+49 °C
Puissance Réjection	428 kW
Quantité d'ammoniac	**4 kg**
PS (tarage soupapes de sécurité)	20 bars

Équipements :

- Vannes d'isolement E/S.
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.

5.4.3.5. Condenseur à plaques – récupération de chaleur

Rôle : Désurchauffer et condenser les vapeurs surchauffées d'NH3 refoulées par l'ensemble des compresseurs à pistons de la SDM1. Production de MEG chaud pour les postes.

Caractéristiques unitaires :

Condenseur	COND n°1 & 2
Constructeur	THERMOWAVE ou similaire
Modèle	TL0500 TDGL-1000
Température d'entrée	+35°C
Température de condensation	+35°C
Régime d'eau (MPG)	+10°C
Puissance Réjection	+30°C
Quantité d'ammoniac	**8 kg**
PS (tarage soupapes de sécurité)	20 bars

Équipements :
- Vannes d'isolement E/S.
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.

5.4.3.6. Echangeur Spray-chiller (séparateur de liquide) MP (-12°C)

Rôle : Assurer la séparation entre la phase liquide et la phase vapeur de l'ammoniac à l'intérieur de la capacité et assurer la condensation du CO2 par échange de chaleur entre les deux fluides.

Caractéristiques	*Unités*	N°1 & 2
Diamètre de virole	*mm*	1 500
Longueur de virole	*mm*	7 000
Volume à vide (coté NH3)	*litres*	6 890
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	*kg*	**754**
Pression de service	*bars*	16
Pression d'épreuve	*bars*	32

Equipements :
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité doubles montées sur vanne inverseuse.
- Protection contre les coups de liquide des compresseurs par flotteur électrique de sécurité niveau haut.
- Le spray-chiller est également équipée de vannes manuelles d'isolement.
- Régulation de la pression par transmetteur de pression AKS33.
- Protection contre les basses pressions par pressostat de sécurité MP (au niveau de chaque compresseurs).

5.4.3.7. Séparateur de liquide Basse Pression MP10 (-12°C)

Rôle : Assurer la séparation entre la phase liquide et la phase vapeur de l'ammoniac à l'intérieur de la capacité formée par le retour de l'échangeur eau glycolée (-8/-4°C), afin de permettre aux compresseurs de n'aspirer que des vapeurs sèches.

Caractéristiques	*Unités*	
Diamètre de virole	*mm*	1 600
Longueur de virole	*mm*	4 800
Volume à vide	*litres*	10 723
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	*kg*	**255**
Pression de service	*bars*	16
Pression d'épreuve	*bars*	32

Equipements :
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité doubles montées sur vanne inverseuse.
- Protection contre les coups de liquide des compresseurs par flotteur électrique de sécurité niveau haut.
- La bouteille MP est également équipée de vannes manuelles d'isolement.
- Régulation de la pression par transmetteur de pression AKS33.
- Protection contre les basses pressions par pressostat de sécurité MP (au niveau de chaque compresseurs).

5.4.3.8. Echangeur à plaques – production MEG froid (-8/-4°C)

Rôle : Assurer le refroidissement de l'eau glycolée circulant d'un côté des plaques par l'ammoniac s'évaporant par gravité de l'autre côté des plaques.

Caractéristiques unitaires :

Evaporateur	EVAP 11	EVAP 12
Constructeur	THERMOWAVE	THERMOWAVE
Modèle	TL0650 MCIM	TL0650 KCKL
Température d'évaporation	-12°C	-12°C
Régime d'eau MEG	-8/-4°C	-8/-4°C
Puissance frigorifique*	1 170 kW	1 170 kW
Quantité d'ammoniac	**132**	**132**
Pression de service	16 bars	16 bars

Équipements :
- Vannes d'isolement E/S.
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.

(*) La puissance est donnée avec une puissance de réserve (augmentation de la surface d'échange)

5.4.3.9. Séparateur de liquide Basse Pression MP20 (-3°C)

Rôle : Assurer la séparation entre la phase liquide et la phase vapeur de l'ammoniac à l'intérieur de la capacité formée par le retour de l'échangeur eau glycolée (-8/-4°C), afin de permettre aux compresseurs de n'aspirer que des vapeurs sèches.

Caractéristiques	*Unités*	
Diamètre de virole	*mm*	1 600
Longueur de virole	*mm*	4 800
Volume à vide	*litres*	10 723
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	*kg*	**255**
Pression de service	*bars*	16
Pression d'épreuve	*bars*	32

Equipements :
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité doubles montées sur vanne inverseuse.
- Protection contre les coups de liquide des compresseurs par flotteur électrique de sécurité niveau haut.
- La bouteille MP est également équipée de vannes manuelles d'isolement.
- Régulation de la pression par transmetteur de pression AKS33.
- Protection contre les basses pressions par pressostat de sécurité MP (au niveau de chaque compresseurs).

5.4.3.10. Echangeur à plaques – production MEG froid (0/+4°C)

Rôle : Assurer le refroidissement de l'eau glycolée circulant d'un côté des plaques par l'ammoniac s'évaporant par gravité de l'autre côté des plaques.

Caractéristiques unitaires :

Evaporateur	EVAP 11
Constructeur	THERMOWAVE
Modèle	TL0650 MCKM
Température d'évaporation	-3°C
Régime d'eau MEG	0/+4°C
Puissance frigorifique	1 170 kW
Quantité d'ammoniac	**546**
Pression de service	16 bars

Équipements :
- Vannes d'isolement E/S.
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.

(*) La puissance est donnée avec une puissance de réserve (augmentation de la surface d'échange)

5.4.3.11. Bouteillon de récupération et de purge d'huile MP10

Ce bouteillon sert à récupérer l'huile entraînée par les compresseurs, les séparateurs d'huile des compresseurs n'étant pas efficaces à 100 % : Il est caractérisé par :

Caractéristiques	*Unités*	
Diamètre de virole	*mm*	273
Longueur de virole	*mm*	2 000
Volume à vide	*litres*	123
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	*kg*	**88**
PS (tarage soupapes de sécurité)	*bars*	20

Les bouteille MP et BP sont reliées à un bouteillon de purge d'huile équipé de tous les éléments de sécurité nécessaires :
- Protection contre les surpressions par soupape de décharge interne type A2CK.
- Voyants permettant un contrôle visuel de l'huile dans le bouteillon.
- Vannes d'isolement du bouteillon.
- Vanne de purge d'huile à contre poids complétée par une vanne à main.

5.4.3.12. Bouteillon de récupération et de purge d'huile MP20

Ce bouteillon sert à récupérer l'huile entraînée par les compresseurs, les séparateurs d'huile des compresseurs n'étant pas efficaces à 100 % : Il est caractérisé par :

Caractéristiques	*Unités*	
Diamètre de virole	*mm*	273
Longueur de virole	*mm*	2 000
Volume à vide	*litres*	123
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	*kg*	**88**
PS (tarage soupapes de sécurité)	*bars*	20

Les bouteille MP et BP sont reliées à un bouteillon de purge d'huile équipé de tous les éléments de sécurité nécessaires :
- Protection contre les surpressions par soupape de décharge interne type A2CK.
- Voyants permettant un contrôle visuel de l'huile dans le bouteillon.
- Vannes d'isolement du bouteillon.
- Vanne de purge d'huile à contre poids complétée par une vanne à main.

⌦ L'**annexe 1** décrit pour information les différents équipements constitutifs (principes, technologies, sécurités…).

5.5. Equipements constituant le système 2, 3 & 4 (SDM2, 3 & 4)

5.5.1. Généralités

Ce système contient au total environ **2 860 kg d'NH3**, destiné au refroidissement de deux boucles de MPG ; (0/+4°C) pour la climatisation des halls de production et (-8/-4°C) pour le process. L'ammoniac est aussi utilisé en cascade pour la condensation du CO2 de la partie BP pour la distribution sur les postes négatifs :

- Utilisateurs négatifs indirects (via le CO2).
- Utilisateurs positifs indirects (via l'eau glycolée).

A l'intérieur de la salle des machines SDM2, 3 & 4 se trouve les systèmes 1 assurant la production de froid avec entre autres comme matériel confinant l'ammoniac :

- 4 x **compresseurs à vis MP (-12°C)** avec séparateur d'huile.
- 1 x **compresseurs à vis MP (-3°C)** avec séparateur d'huile.
- 2 x **compresseurs à pistons MP (-3°C)** avec séparateur d'huile.
- 2 x **Désurchauffeur à plaques** (récupération de chaleur).
- 2 x **Condenseur à plaques** (récupération de chaleur).
- 1 x **séparateur de liquide MP10 -12°C** moyenne température.
- 1 x **séparateur de liquide MP20 -3°C** moyenne température.
- 2 x **échangeur spray-chiller MP10 -12°C** moyenne température.
- 2 x **Echangeur NH3/Glycol sur MP10** moyenne température.
- 1 x **Echangeur NH3/Glycol sur MP20** moyenne température.
- 2 x **pot de soutirage d'huile** sous les séparateurs de liquide MP.
- Un système de détection de fuite d'ammoniac + un extracteur de sécurité.

A l'extérieur de la salle des machines se trouve le matériel suivant :

- 4 x **condenseurs adiabatiques**.
- Les **armoires électriques** de puissance et régulation.
- Un système de détection de fuite d'ammoniac dans l'édicule.

5.5.2. Schéma de principe

⌦ L'**annexe 10** – Voir la répartition et le calcul des charges ammoniac.

⌦ L'**annexe 11** – Voir schéma de principe (fluide frigorifique).

Le schéma de principe est mis en tête de l'ANNEXE 11. C'est un schéma de principe, résumant le fonctionnement de l'installation, qui permet de situer les points éventuels de fuite envisagés par l'EDD.

5.5.3. Rôles et caractéristiques des différents équipements

5.5.3.1. Compresseurs circuit MP10 et Spray-chiller

Rôle : Assurer la production frigorifique nécessaire pour le refroidissement de l'eau glycolée et à la condensation du CO2.

Fonctionnement : L'étage BP de chaque compresseur aspire, dans une bouteille MOYENNE PRESSION et refoule dans les condenseurs et le circuit de récupération de chaleur. Dans la bouteille MP reviennent les vapeurs surchauffées provenant de l'évaporation de l'NH3 dans les différents évaporateurs (échangeurs eau glycolée).

Chaque compresseur est isolable individuellement.

Chaque compresseur est équipé des organes de sécurité comme : pressostats HP et BP, pressostat différentiel d'huile, thermostats d'huile et surchauffe, protections électriques du moteur principal d'entraînement.

# annexe 13	**MP11**	**MP12**	**MP13**	**MP14**
Compresseur	MP10/HP	MP10/HP	MP10/HP	MP10/HP
Marque	GEA	GEA	GEA	GEA
Type	A vis	A vis	A vis	A vis
Modèle	SP1 VB-5X	SP1 VB-5X	SP1 VB-5X	SP1 VB-5X
Régime de service	-12/+35°C	-12/+35°C	-12/+35°C	-12/+35°C
Puissance frigorifique unitaire Qo	**1 487 kW**	**1 487 kW**	**1 487 kW**	**1 487 kW**
Puissance absorbée sur l'arbre Qa	352 kW	352 kW	352 kW	352 kW
Refroidissement d'huile	Oui	Oui	Oui	Oui
Moteur électrique	400 kW	400 kW	400 kW	400 kW
Equipements annexes	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration, AU individuel.	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration, AU individuel.	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration, AU individuel.	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration, AU individuel.
PS séparateur d'huile	20 bars	20 bars	20 bars	20 bars
Divers	Variateur de fréquence	Variateur de fréquence	Variateur de fréquence	Variateur de fréquence

La puissance nominale est assurée par 3 compresseurs. Il y a un compresseur de secours.
Les sélections des compresseurs ont été réalisées avec la marque GEA, d'autres compresseurs similaires pourront être installés sans modification du débit masse et donc sans impact sur les résultats.

5.5.3.2. Compresseurs circuit MP20

Rôle : Assurer la production frigorifique nécessaire pour le refroidissement de l'eau glycolée pour la climatisation des halls de production et le sous-refroidissement du débit masse du -12°C (optimisation énergétique).

Fonctionnement : L'étage BP de chaque compresseur aspire, dans une bouteille MOYENNE PRESSION et refoule dans les condenseurs et le circuit de récupération de chaleur. Dans la bouteille MP reviennent les vapeurs surchauffées provenant de l'évaporation de l'NH3 dans les différents évaporateurs (échangeurs eau glycolée).

Chaque compresseur est isolable individuellement.

Chaque compresseur est équipé des organes de sécurité comme : pressostats HP et BP, pressostat différentiel d'huile, thermostats d'huile et surchauffe, protections électriques du moteur principal d'entraînement.

# annexe 13	**MP21**	**MP22**	**MP23**
Compresseur	MP20/HP	MP20/HP	MP20/HP
Marque	GEA	GEA	GEA
Type	A vis	A pistons	A pistons
Modèle	SP1 VB-5X	V 1400	V 1400
Régime de service	-3/+35°C	-3/+35°C	-3/+35°C
Puissance frigorifique unitaire Qo	**1 741 kW**	**968 kW**	**968 kW**
Puissance absorbée sur l'arbre Qa	380 kW	198 kW	198 kW
Refroidissement d'huile	Oui	Oui	Oui
Moteur électrique	450 kW	250 kW	250 kW
Equipements annexes	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration.	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration.	Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration.
PS séparateur d'huile	20 bars	20 bars	20 bars
Divers	Variateur de fréquence	Variateur de fréquence	Variateur de fréquence

La puissance nominale est assurée par 3 compresseurs. Il y a un compresseur de secours.
Les sélections des compresseurs ont été réalisées avec la marque GEA, d'autres compresseurs similaires pourront être installés sans modification du débit masse et donc sans impact sur les résultats.

5.5.3.3. Condenseurs à air (adiabatique)

Rôle : Condenser les vapeurs surchauffées d'NH3 refoulées par l'ensemble des compresseurs.

De par sa conception, il n'y a pas de dispersion d'eau dans le flux d'air, ni de refroidissement évaporatif sur la batterie sèche. Cet équipement n'est donc pas concerné par la définition de la rubrique 2921 des ICPE et n'y est pas soumis.

Caractéristiques unitaires :

Condenseur	COND n°1 à 4
Constructeur	JACIR ou similaire
Modèle	ONYX-M10-E09-D3-11730-B-4
Température Condensation	+35°C
Bulbe humide (Point de basculement) *	+23,2°C
Puissance Réjection NH3	1 250 kW
Puissance réjection huile	-
Quantité d'ammoniac	**110 kg**
PS (tarage soupapes de sécurité)	20 bars

Équipements :

- Régulation pressostatique de la pression HP par transmetteur de pression HP (AKS33) avec action sur les motos ventilateurs.
- Protection des bassins par thermoplongeurs antigel thermostatés.
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.
- Rampe de pulvérisation interne en cas de fuite d'ammoniac

(*) Le point de basculement du mode sec au mode humide (humidification des médias)

5.5.3.4. Désurchauffeur – récupération de chaleur

Rôle : Désurchauffer les vapeurs surchauffées d'NH3 refoulées par l'ensemble des compresseurs à pistons de la SDM. Production d'eau chaude.

Caractéristiques unitaires :

Désurchauffeur	DES n°1 & 2
Constructeur	THERMOWAVE ou similaire
Modèle	TL0650 KDKL-1250
Température d'entrée	+110°C
Température de sortie	+40°C
Régime d'eau	+32/+49 °C
Puissance Réjection	428 kW
Quantité d'ammoniac	**4 kg**
PS (tarage soupapes de sécurité)	20 bars

Équipements :

- Vannes d'isolement E/S.
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.

5.5.3.5. Condenseur à plaques – récupération de chaleur

Rôle : Désurchauffer et condenser les vapeurs surchauffées d'NH3 refoulées par l'ensemble des compresseurs à pistons de la SDM1. Production de MEG chaud pour les postes.

Caractéristiques unitaires :

Condenseur	COND n°1 & 2
Constructeur	THERMOWAVE ou similaire
Modèle	TL0500 TDGL-1000
Température d'entrée	+35°C
Température de condensation	+35°C
Régime d'eau (MPG)	+10°C
Puissance Réjection	+30°C
Quantité d'ammoniac	**8 kg**
PS (tarage soupapes de sécurité)	20 bars

Équipements :
- Vannes d'isolement E/S.
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.

5.5.3.6. Echangeur Spray-chiller (séparateur de liquide) MP (-12°C)

Rôle : Assurer la séparation entre la phase liquide et la phase vapeur de l'ammoniac à l'intérieur de la capacité et assurer la condensation du CO2 par échange de chaleur entre les deux fluides.

Caractéristiques	*Unités*	N°1 & 2
Diamètre de virole	*mm*	1 400
Longueur de virole	*mm*	6 000
Volume à vide (coté NH3)	*litres*	3 700
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	*kg*	**440**
Pression de service	*bars*	16
Pression d'épreuve	*bars*	32

Equipements :
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité doubles montées sur vanne inverseuse.
- Protection contre les coups de liquide des compresseurs par flotteur électrique de sécurité niveau haut.
- Le spray-chiller est également équipée de vannes manuelles d'isolement.
- Régulation de la pression par transmetteur de pression AKS33.
- Protection contre les basses pressions par pressostat de sécurité MP (au niveau de chaque compresseurs).

5.5.3.7. Séparateur de liquide Basse Pression MP10 (-12°C)

Rôle : Assurer la séparation entre la phase liquide et la phase vapeur de l'ammoniac à l'intérieur de la capacité formée par le retour de l'échangeur eau glycolée (-8/-4°C), afin de permettre aux compresseurs de n'aspirer que des vapeurs sèches.

Caractéristiques	*Unités*	
Diamètre de virole	*mm*	1 600
Longueur de virole	*mm*	4 800
Volume à vide	*litres*	10 723
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	*kg*	**255**
Pression de service	*bars*	16
Pression d'épreuve	*bars*	32

Equipements :
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité doubles montées sur vanne inverseuse.
- Protection contre les coups de liquide des compresseurs par flotteur électrique de sécurité niveau haut.
- La bouteille MP est également équipée de vannes manuelles d'isolement.
- Régulation de la pression par transmetteur de pression AKS33.
- Protection contre les basses pressions par pressostat de sécurité MP (au niveau de chaque compresseurs).

5.5.3.8. Echangeur à plaques – production MEG froid (-8/-4°C)

Rôle : Assurer le refroidissement de l'eau glycolée circulant d'un côté des plaques par l'ammoniac s'évaporant par gravité de l'autre côté des plaques.

Caractéristiques unitaires :

Evaporateur	EVAP 11	EVAP 12
Constructeur	THERMOWAVE	THERMOWAVE
Modèle	TL0650 MCIM	TL0650 MCIM
Température d'évaporation	-12°C	-12°C
Régime d'eau MEG	-8/-4°C	-8/-4°C
Puissance frigorifique*	1 170 kW	1 170 kW
Quantité d'ammoniac	**132**	**132**
Pression de service	16 bars	16 bars

Équipements :
- Vannes d'isolement E/S.
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.

(*) La puissance est donnée avec une puissance de réserve (augmentation de la surface d'échange)

5.5.3.9. Séparateur de liquide Basse Pression MP20 (-3°C)

Rôle : Assurer la séparation entre la phase liquide et la phase vapeur de l'ammoniac à l'intérieur de la capacité formée par le retour de l'échangeur eau glycolée (-8/-4°C), afin de permettre aux compresseurs de n'aspirer que des vapeurs sèches.

Caractéristiques	*Unités*	
Diamètre de virole	*mm*	1 600
Longueur de virole	*mm*	4 800
Volume à vide	*litres*	10 723
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	*kg*	**255**
Pression de service	*bars*	16
Pression d'épreuve	*bars*	32

Equipements :
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité doubles montées sur vanne inverseuse.
- Protection contre les coups de liquide des compresseurs par flotteur électrique de sécurité niveau haut.
- La bouteille MP est également équipée de vannes manuelles d'isolement.
- Régulation de la pression par transmetteur de pression AKS33.
- Protection contre les basses pressions par pressostat de sécurité MP (au niveau de chaque compresseurs).

5.5.3.10. Echangeur à plaques – production MEG froid (0/+4°C)

Rôle : Assurer le refroidissement de l'eau glycolée circulant d'un côté des plaques par l'ammoniac s'évaporant par gravité de l'autre côté des plaques.

Caractéristiques unitaires :

Evaporateur	EVAP 11
Constructeur	THERMOWAVE
Modèle	TL0650 MCKM
Température d'évaporation	-3°C
Régime d'eau MEG	0/+4°C
Puissance frigorifique	1 170 kW
Quantité d'ammoniac	**546**
Pression de service	16 bars

Équipements :
- Vannes d'isolement E/S.
- Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.

(*) La puissance est donnée avec une puissance de réserve (augmentation de la surface d'échange)

5.5.3.11. Bouteillon de récupération et de purge d'huile MP10

Ce bouteillon sert à récupérer l'huile entraînée par les compresseurs, les séparateurs d'huile des compresseurs n'étant pas efficaces à 100 % : Il est caractérisé par :

Caractéristiques	*Unités*	
Diamètre de virole	*mm*	273
Longueur de virole	*mm*	2 000
Volume à vide	*litres*	123
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	*kg*	**88**
PS (tarage soupapes de sécurité)	*bars*	20

Les bouteille MP et BP sont reliées à un bouteillon de purge d'huile équipé de tous les éléments de sécurité nécessaires :
- Protection contre les surpressions par soupape de décharge interne type A2CK.
- Voyants permettant un contrôle visuel de l'huile dans le bouteillon.
- Vannes d'isolement du bouteillon.
- Vanne de purge d'huile à contre poids complétée par une vanne à main.

5.5.3.12. Bouteillon de récupération et de purge d'huile MP20

Ce bouteillon sert à récupérer l'huile entraînée par les compresseurs, les séparateurs d'huile des compresseurs n'étant pas efficaces à 100 % : Il est caractérisé par :

Caractéristiques	*Unités*	
Diamètre de virole	*mm*	273
Longueur de virole	*mm*	2 000
Volume à vide	*litres*	123
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	*kg*	**88**
PS (tarage soupapes de sécurité)	*bars*	20

Les bouteille MP et BP sont reliées à un bouteillon de purge d'huile équipé de tous les éléments de sécurité nécessaires :
- Protection contre les surpressions par soupape de décharge interne type A2CK.
- Voyants permettant un contrôle visuel de l'huile dans le bouteillon.
- Vannes d'isolement du bouteillon.
- Vanne de purge d'huile à contre poids complétée par une vanne à main.

⌦ L'**annexe 1** décrit pour information les différents équipements constitutifs (principes, technologies, sécurités…).

5.6. Autres données de fonctionnement

5.6.1. Rechargement d'ammoniac

Les opérations usuelles d'exploitation des installations (vidange d'huile tous les 15 jours à 1 mois, purge des incondensables, nettoyage des filtres à huile des compresseurs…) conduisent à des opérations de rechargement d'ammoniac sur les installations. Ces opérations de recharge sont réalisées par un professionnel (frigoriste), il n'y a pas de zone de stockage d'ammoniac sur le site (le complément est approvisionné en fonction du besoin).

Le taux de rechargement constaté sera noté dans le registre de mouvement des fluides et contrôlé lors de l'audit réglementaire annuel suivant l'arrêté du 16 juillet 1997.

5.6.2. Débits d'ammoniac dans le circuit HP et BP

Système n°1 (SDM1) :

Le débit dans la partie HP du système est déterminé par la somme du débit des compresseurs. Ce débit est de **8,32** kg/s.

Le débit dans la partie MP10 du système est déterminé par la puissance frigorifique sur cet étage. Ce débit est de **5,84** kg/s.

Le débit de la partie MP20 est déterminé par la puissance frigorifique de cet étage + la puissance de sous-refroidissement du débit masse du MP10. Ce débit est de **2,48** kg/s.

⌦ L'**annexe 10** donne les informations détaillées pour les calculs des débits masse et répartition de charge du système.

Système n°2, 3 & 4 (SDM2, 3 & 4) :

Le débit dans la partie HP du système est déterminé par la somme du débit des compresseurs. Ce débit est de **6,61** kg/s.

Le débit dans la partie MP10 du système est déterminé par la puissance frigorifique sur cet étage. Ce débit est de **4,13** kg/s.

Le débit de la partie MP20 est déterminé par la puissance frigorifique de cet étage + la puissance de sous-refroidissement du débit masse du MP10. Ce débit est de **2,48** kg/s.

⌦ L'**annexe 10** donne les informations détaillées pour les calculs des débits masse et répartition de charge du système.

5.7. Listes des bonnes pratiques et des mesures de sécurité en prévention et pour la maitrise des risques

⌦ L'**annexe 6** précise pour chacune des mesures indiquées dans ce paragraphe les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes (**EN 378-1-2-3-4 Système frigorifiques et pompes à chaleur** – Exigences de sécurité et d'environnement). **L'arrêté du 16 juillet 1997 demande que la salle des machines soit conforme aux normes en vigueur (article 3) et que le seuil de déclenchement de la détection ammoniac soit conforme aux normes en vigueur (article 42)**.

5.7.1. Bonnes pratiques de prévention

Des bonnes pratiques sont mises en œuvre sur le site qui agiront en prévention des accidents et pour la maitrise des risques :

- Formation des responsables et intervenants :
  - ✓ Exploitation sous la responsabilité d'une personne nommément désignée ;
  - ✓ Intervention sur les appareils à pression par des personnes formées ;
  - ✓ Formation au risque ammoniac de toutes les personnes intervenant sur les installations ;
  - ✓ Sensibilisation de tout le personnel de l'entreprise et des sous-traitants sur les risques de l'ammoniac ;
  - ✓ Exercices réguliers d'intervention et de conduite en marche dégradée.

- Connaissance de la quantité d'ammoniac dans l'installation (circuit ou en réserve) : un registre à jour existe, précisant les mouvements d'ammoniac.

- Existence de procédures et consignes opératoires (*mesure O*) :
  - ✓ Procédures de conduite de l'installation incluant les phases spécifiques (purges d'huile, vidange ou remplissage de l'installation…) ;
  - ✓ Procédures sur les contrôles à effectuer au cours des différentes phases (marche normale, mise à l'arrêt, remise en service après arrêt…) incluant les contrôles des dispositifs de sécurité ;
  - ✓ Procédures de travaux par point chaud ;
  - ✓ Procédures de contrôle des installations électriques ;

- Vérifications réglementaires par une personne compétente (*mesure R*) et faisant l'objet d'un compte-rendu ; ces vérifications sont réalisées au moins une fois par an (inspection annuelle), avant la première mise en service ou à la suite d'un arrêt prolongé (vérification). En particulier, l'état des tuyauteries fait l'objet de contrôles réguliers, tracés avec une attention particulière sur les points singuliers (piquages secondaires, manchons, coudes, passages dans les murs). Le calorifuge doit également être contrôlé (aspect, pose…). L'étanchéité des réservoirs est également contrôlée.

5.7.2. Mesures de sécurité en prévention

Des mesures de sécurité sont mises en œuvre agissant en prévention ou limitation des effets d'un accident :

- Limitation de la montée en pression *(mesure P) :*
  - ✓ Prévention des montées en pression :
    - L'installation est conçue pour limiter les montées en pression, notamment par l'éloignement avec de potentielles sources chaudes ;
    - Montée en température en sortie de compresseur : pour mémoire, le compresseur est équipé de systèmes de régulation et de contrôle qui évitent une température excessive au refoulement du compresseur mais il ne s'agit pas de mesures de sécurité.
  - ✓ Pressostat à l'aval du(des) compresseur(s) ;
  - ✓ Soupapes de sécurité équipant les capacités et toute partie d'installation contenant de l'ammoniac liquide pouvant être isolée en phase normale.
- Prévention des effets des vibrations (*mesure V*) : les compresseurs volumétriques présents dans l'installation sont susceptibles d'engendrer des vibrations pouvant conduire à des fuites en cas de vibrations excessives.
- Prévention des coups de liquide (ou coups de bélier) *(mesure L)* au niveau des tuyauteries et en amont des compresseurs (indicateur de niveau sur les ballons BP et MP et dispositif anti coup de liquide est également requis en amont des compresseurs). Le réseau de tuyauterie est conçu pour éviter les coups de bélier.
- Prévention des chocs et bris mécaniques (*mesure B*) : les tuyauteries ou les organes sensibles (vannes de purges, fûts de transvasement…) sont protégés des chocs par gardes métalliques ou murs de rétention, ou par une installation en hauteur et des bris mécaniques par des supports rapprochés et résistants.
- Prévention de la corrosion (*mesure C*) : Les tuyauteries sont conçues avec les matériaux et revêtements adaptés en respectant les réglementations (équipements sous pression, compresseurs…). Des vérifications réglementaires doivent aussi avoir lieu régulièrement. Dans le cas de l'utilisation d'acier carbone, il est mis en place de la bande grasse sur les tuyauteries avant isolation. La bande grasse sur les séparateurs de liquide est aussi une bonne pratique.

- Prévention des fuites sur des organes ou des tuyauteries (*mesure F*) :
  - ✓ Obturation des sorties directes de vannes à l'atmosphère, les points de purges sont obturés par des bouchons adaptés. L'expérience montre que l'utilisation de bouchon inox est recommandée, recouvert de bande grasse pour les parties soumises au gel ou à la condensation ;
  - ✓ Systèmes pour faire face aux dilatations et contractions des tuyauteries ;
  - ✓ Protection des flexibles contre les dommages mécaniques, les contraintes excessives par torsion ou par d'autres forces et contrôles réguliers (inspection visuelle), on notera que le site ne possède pas de flexible, et que les interventions avec flexibles le sont avec une société avec toutes les certifications nécessaires.
  - ✓ Surveillance de la pompe BP vis-à-vis des risques de cavitation et de fonctionnement à vide.

- Prévention de l'échauffement du moteur (*mesure E*) : pour mémoire, l'installation est équipée de systèmes de conduite et de commande en prévention de l'échauffement du moteur mais il ne s'agit pas de mesures de sécurité.

- Prévention des erreurs sur intervention (*mesure H*) (opérations de purges, transvasement…) :
  - ✓ Consignes d'intervention écrites ;
  - ✓ Formation du personnel intervenant ;
  - ✓ Repérage adaptée des équipements (tuyauteries et vannes) ;
  - ✓ Pour les purges d'huile :
    - Existence de deux vannes dont une à contrepoids ou une seule vanne cumulant les deux fonctions d'arrêt automatique et d'arrêt manuel
    - Consignes s'appuyant sur les instructions du fabricant
  - ✓ Pour les transvasements (remplissage ou vidange d'installation) :
    - Consignes d'intervention écrites ;
    - Utilisation de flexibles contrôlés régulièrement, stockés de manière à prévenir leur détérioration et ré-éprouvés ou changés régulièrement ;
    - Clapet anti-retour côté installation évitant le retour d'ammoniac depuis l'installation ;
    - Utilisation de fûts adaptés, répondant à la réglementation des équipements sous pression ;
    - Entreposage des bouteilles ou fûts dans des zones protégés sous rétention lors de la mise en service ou lors d'intervention, en temps normal le site ne stocke pas de bouteilles ni de containers sur place ;

- Prévention de la dépression (*mesure D*) : pour mémoire, l'installation est équipée de systèmes de conduite et de commande en prévention de la dépression mais il ne s'agit pas de mesures de sécurité.

- Prévention des effets des incendies (*mesure I*) :
  - ✓ Prévention des propagations d'incendie par des locaux en matériaux adaptés et avec des contraintes d'étanchéité sur les portes et passages de gaines et tuyauteries ;
  - ✓ Prévention des départs de feu dans la salle des machines par des mesures telles que permis de feu, interdiction de fumer…. Les locaux sont aussi régulièrement nettoyés et le stockage de matières inflammables autres que celles utiles à l'installation (huile en quantité aussi réduite que possible) n'est pas autorisé dans la salle des machines ;
  - ✓ Limitation des effets d'un incendie :
    - Détection : les installations (salle des machines, utilisateurs) sont équipées de détecteurs incendie. En cas de déclenchement, une alarme sonore et lumineuse est actionnée pour intervention éventuelle ;
    - Moyens de lutte contre l'incendie : des dispositifs d'extinction manuels sont installés ;
    - Intervention : un dispositif d'évacuation des fumées (extracteur ATEX 400°C) à commandes manuelle sera installés en partie haute de la salle des machines, avec des commandes manuelles situées à l'extérieur de la salle des machines, près des accès.
    - L'extraction NH3 est prioritaire sur l'extraction désenfumage. En cas de 2ème seuil NH3, l'extracteur désenfumage est coupé.

  L'ensemble de ces mesures font l'objet de vérifications périodiques (entretiens et tests par un technicien qualifié).

5.7.3. Mesures de protection / limitation vis-à-vis de la fuite toxique

⌦ L'**annexe 6** précise pour chacune des fonctions indiquées dans ce paragraphe les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes.

Les fonctions de sécurité suivantes sont mises en œuvre sur l'installation de BRIDOR :

- **Réduction du temps de fuite :** la barrière est constituée des éléments suivants :
  - ✓ Détection de fuite :
    - Détection gaz essentiellement (du fait de l'absence de personnel dans la salle des machines en marche normale) ;
    - Détection gaz dans les condenseurs adiabatique à l'extérieur (1 point de prélèvement dans chaque batterie + un point intérieur central) ;
    - Détection humaine mais avec un temps de réponse plus important qui dépend de différents facteurs (taux de présence des personnes, mode de surveillance de la salle des machines ou des autres parties d'installations…) ; l'action sur des boutons d'arrêt d'urgence (BAU) permet de déclencher les actions de sécurité.
  - ✓ Action :
    - Arrêt des installations qui se traduit par l'arrêt du compresseur et par l'arrêt de la pompe BP, sauf si la fuite se produit sur le circuit BP, hors de la salle des machines, auquel cas le compresseur est maintenu en service pour éviter une montée en pression ;
    - La détection à l'intérieur de condenseur aura pour action d'enclencher une rampe de pulvérisation interne qui aura pour objectif un abattement (réduction des émissions d'ammoniac)

- **Protection et mise à l'abri des personnes :** la barrière est constituée par la détection de fuite (cf. ci-dessus) et l'action nécessite le lancement, par une personne responsable, du plan d'urgence avec protection des personnes. Cette barrière n'est pas retenue dans le cadre de l'étude de dangers car elle fait intervenir des moyens externes à la société pour la protection des personnes à l'extérieur du site.

⌦ L'**annexe 15** précise l'implantation et le nombre des détecteurs gazeux suivant l'étude préalable d'implantation des capteurs.

- **Réduction des effets par mise en route de l'extraction :** la barrière est constituée des éléments suivants :
  - ✓ Détection de fuite : comme précédemment ;
  - ✓ Action : mise en route de l'extraction d'urgence qui se fait :
    - Automatiquement sur détection gaz ;
    - Manuellement par action sur un bouton (indépendant de celui arrêtant les installations).
  - ✓ **Nombre et débit des extracteurs d'air ammoniaqué.**

Désignation	Ventilation	Débit	Hauteur de rejet
		m^3/h	*m*
SDM 1 Local production de froid	Ventilateur SDM1	*12 500*	*14*
SDM 2 Local production de froid	Ventilateur SDM2	10 200	14
SDM 3 Local production de froid	Ventilateur SDM3	10 200	14
SDM 4 Local production de froid	Ventilateur SDM4	10 200	14

Extracteur d'air ammoniaqué :

Débit d'extraction minimum (obligatoire) est calculé à partir de la relation de la NF EN 378/3 qui est : $V = 14 \times M^{2/3}$

Avec V en l / s et M la masse NH3 du plus grand circuit de la SDM, bouteille MP ou BP

Ce débit minimum horaire (en m3/h) doit également être supérieur à 4 fois le volume de la SDM.

Ce débit minimum horaire (en m3/h) n'est pas limité en débit maximal il est ajusté en fonction de l'étude des scénarii, du refroidissement de la SDM du respect du débit d'extraction qui doit être inférieur à 15 fois le volume de la SDM. Ce qui est respecté.

5.7.4. Mesures de protection / limitation vis-à-vis de l'explosion

⌦ L'**annexe 6** précise pour chacune des fonctions indiquées dans ce paragraphe les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes.

La prévention de l'inflammation d'un nuage d'ammoniac est assurée par :

- Prévention des inflammations : des mesures sont prises pour prévenir les sources d'inflammation (permis de feu, interdiction de fumer…).
- La conception adaptée des installations électriques et leur contrôle régulier par des personnes compétentes ;
- La définition des zones ATEX : les mesures prises sur la salle des machines (détection, ventilation, arrêt des alimentations électriques…) permettent de ne pas classer la salle des machines en zone à risque ATEX
- L'arrêt des installations électriques en cas de fuite d'ammoniac dans un local ; l'arrêt de toutes les alimentations électriques est assuré, sauf celles alimentant les sécurités évitant la persistance de l'ATEX (ventilations, détections gaz). Les autres sécurités potentielles (isolement éventuel, sécurités de niveau sur les capacités, sécurités de pression haute sur les compresseurs…) doivent être de conception à sécurité positive et mettre ainsi le système en position de sécurité.
- Exigences ATEX sur l'extracteur d'urgence : le moteur est de conception ATEX. Le ventilateur évite également la formation d'étincelles.

5.7.5. Mesures de protection / limitation vis-à-vis de la pollution

⌦ L'**annexe 6** précise pour chacune des fonctions indiquées dans ce paragraphe les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes.

La salle des machines est conçue pour faire office de rétention. Ainsi, le seuil de la salle des machines est surélevé pour que le sol fasse office de rétention.

La rétention est correctement dimensionnée (vis-à-vis des capacités et résistance aux substances pouvant se déverser…).

Les matières incompatibles ne sont pas stockées dans une même rétention.

5.7.6. Système de régulation et de contrôle

Les installations de réfrigération à l'ammoniac comportent également des systèmes de régulation et de contrôle qui ne sont pas considérés comme des mesures de maîtrise des risques.

- Prévention des coups de liquide : niveau haut sur bouteille BP ou MP ;
- Prévention des dépressions sur bouteilles BP et MP ;
  - ✓ Transmetteur de pression / Pressostat (pression basse) sur bouteille BP ou MP ;
  - ✓ Transmetteur de pression / Pressostat (pression basse) sur compresseur ;
  - ✓ Les transmetteurs de pression associés à un automate programmable auront pour fonction dans un premier temps d'interdire la montée en puissance, et dans un second temps un forçage de réduction de puissance (on appelle cela faire de la limitation, activé par une pré-alarme).
- Prévention de l'échauffement excessif du moteur :
  - ✓ Relais thermique : Il a pour rôle d'arrêter le compresseur en cas de surintensité du moteur électrique (réglage suivant puissance pour compresseur BP et réglage d'aspiration pour compresseur HP) ;
  - ✓ Thermostat d'huile : il a pour rôle d'interdire le démarrage du compresseur si la température d'huile est insuffisante pour assurer une bonne lubrification ;
  - ✓ Pressostat différentiel d'huile : le pressostat arrête le compresseur en cas d'écart de pression faible entre la pression d'aspiration d'huile et la pression au refoulement ;
- Prévention excès de température au refoulement du compresseur : Transmetteur de température / thermostat de refoulement : il a pour rôle d'arrêter le compresseur en cas de température au refoulement trop élevée ; Une pré-alarme aura pour fonction dans un premier temps d'interdire la montée en puissance, et dans un second temps un forçage de réduction de puissance.
- Prévention de la cavitation de la pompe : pressostat de pompe BP : Il a pour rôle d'éviter la cavitation de la pompe ; il arrête la pompe si la pression différentielle entre le refoulement et l'aspiration est trop faible.

Tous ces organes sont régulièrement contrôlés pour en vérifier le bon fonctionnement.

5.7.7. Tableau de synthèse des mesures de prévention

Le tableau ci-dessous récapitule les mesures (bonnes pratiques et mesures de sécurité) en prévention identifiées précédemment.

⌦ L'**annexe 6** précise pour chacune des mesures indiquées dans ce paragraphe les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes (**EN 378-1-2-3-4 Système frigorifiques et pompes à chaleur** – Exigences de sécurité et d'environnement). **L'arrêté du 16 juillet 1997 demande que la salle des machines soit conforme aux normes en vigueur (article 3) et que le seuil de déclenchement de la détection ammoniac soit conforme aux normes en vigueur (article 42)**.

Numérotation des mesures	Intitulé général des bonnes pratiques et des mesures de sécurité en prévention et pour la maitrise des risques
O	Procédures de conduite et d'exploitation de l'installation
R	Vérifications réglementaires
P	Limitation de la montée en pression
V	Prévention des effets des vibrations
L	Préventions des coups de liquide
B	Prévention des chocs et bris mécaniques
C	Prévention de la corrosion
F	Prévention des fuites sur les organes ou tuyauteries
E	Prévention de l'échauffement excessif du moteur
H	Prévention des erreurs sur interventions
D	Prévention de la dépression
I	Prévention des effets des incendies
T	Prévention vis-à-vis de la fuite toxique
X	Prévention vis-à-vis de l'explosion
P	Prévention vis-à-vis de la pollution
N	Prévention des effets des causes naturelles
A	Prévention des effets des causes externes non naturelles

Tableau 1 : *Liste des bonnes pratiques et mesures de sécurité identifiées dans l'APR et les nœuds-papillons*

Note : Les mesures N et A relatives aux causes externes sont traitées dans le chapitre 8.1.

MO		Mesures opérationnelles et de suivis des installations de réfrigération
O1	3.1	Formation et exercices des intervenants
O2	3.2	Registre des mouvements de fluides
O3	3.3	Procédure de conduite et d'exploitation
O4	3.3	Procédure pour intervention par point chaud - Permis de feu
O5	3.3	Maîtrise des dysfonctionnements des installations électriques - contrôle Q18 et Q19

MR		Mesures réglementaires liées à l'utilisation de l'ammoniac dans les installations de réfrigération
R1	1	Respecter l'arrêté du 16 juillet 1997
R2	1	Respecter la norme EN 378, et le chapitre 5 de l'EN 378-3 (rendu obligatoire par l'arrêté du 16 juillet 1997, pour information)
R3	1	Respecter la réglementation des ESP (Equipements sous pression)
R4	3.4	Vérification réglementaire annuelle suivant arrêté du 16 juillet 1997
R5	3.4	Vérification réglementaire **avant** la première mise en service
R6	3.4	Contrôle périodique des tuyauteries

MP		Mesures pour limitation de la surpression
P1	3.5	Respecter un design correct des condenseurs et évaporateurs afin de prévenir les montées en pression qui serait liée à la présence d'une source chaude
P2	3.5.2	Pressostat de sécurité haute pression
P3	3.5.3	Soupapes de sécurité sur les ESP
P4	3.5.3	Collecteur soupapes (suivant EN 13136)
P5	3.5.3	Indication de l'ouverture des soupapes

MV		Mesures de prévention des effets des vibrations
V1	3.6	Analyse vibratoire à réaliser à la mise en service
V2	3.6	Mesure vibratoire tous les trois ans en comparaison avec l'origine

ML		Mesures de prévention des coups de liquide
L1	3.7	Prévention des coups de liquide en amont des compresseurs
L2	3.7	Prévention des coups de liquide au niveau des tuyauteries - design
L3	3.7	Dégivrage avec phase de vidange avant l'introduction des gaz chaud

MB		Mesure de prévention des chocs et bris mécaniques
B	3.8	Prévention des chocs et bris mécaniques

MC		Mesures de prévention de la corrosion
C1	3.9	Utilisation de la bande grasse sur les tuyauteries en acier carbone
C2	3.9	Utilisation de la bande grasse sur les séparateurs de liquides
C3	3.9	Utilisation de bouteillon d'huile en matière inox

MF		Mesures de prévention des fuites sur organes ou tuyauteries
F1	3.10	Traitement anti-corrosion des organes reliés directement à l'atmosphère
F2	3.10	Prévention des phénomènes de dilatations sur les tuyauteries de grande longueur
F3	3.10	Utilisation de flexibles avec certificat de test de pression (vérification des intervenants)
F4	3.10	Pressostat différentiel sur les pompes ammoniac

MH		Mesures de prévention des erreurs sur intervention
H1	3.12.1	Repérage des vannes et tuyauteries de l'installation
H2	3.12.1	Plan d'intervention avec procédure associée
H3	3.12.2	Utilisation de vanne à contre poids pour tous les points de purges
H4	3.12.3	Certificat de test de pression pour les flexibles de charge
H5	3.12.3	Le point de charge de l'installation sera muni d'un clapet anti-retour
H6	3.12.3	Procédure de charge d'ammoniac avec analyse des risques

MI		Mesures de prévention des effets des incendies
I1	3.14	Construction des locaux techniques en "dur" avec mur coupe-feu
I2	3.14	Utilisation de porte coupe-feu, avec barre anti-panic et avec fermeture automatique
I3	3.14	La salle des machines ne sera pas utilisée comme lieu de stockage de matières inflammables
I4	3.14	Détection incendie et alarmes en SDM
I5	3.14	Détection incendie et alarmes en combles
I6	3.14	Mise en place de système adéquats de lutte contre l'incendie
I7	3.14	Système de désenfumage (extracteur ATEX 400°C) à commande manuelle en SDM (différent de celui de la sécurité NH3)

MT		Mesures de protection / limitation vis-à-vis de la fuite toxique
T1	4.1	Utilisation d'un système de détection de fuite (intérieur SDM + extérieur condenseur)
T2	4.2	Etude préalable de l'implantation des détecteurs (voir Annexe 15)
T3	4.2	Utilisation de vanne motorisée à sécurité positive sur le départ liquide de la SDM (Annexe A EN 378 pour charge d'ammoniac > 3 000 kg). Pas utilisé ici pour le site de BRIDOR (l'ammoniac ne quitte pas la SDM et la charge est répartie dans au moins 3 réservoirs différents.
T4	4.3	Système d'arrêt automatique de la SDM au 2ème seuil de détection
T5	4.4.1	Actions d'alarmes associées aux détecteurs
T6	4.4.1	Système de surveillance de l'installation avec renvoi d'alarme à distance
T7	4.4.1	Consignes d'intervention en cas d'accident
T8	4.4.2	Arrêt d'urgence intérieur et extérieur SDM
T9	4.4.3	Equipements de protection individuels (EPI) pour le personnel
T10	4.4.4	Utilisation d'une manche à air extérieur visible de jour comme de nuit.
T11	4.4.5	Utilisation d'un extracteur ATEX en SDM
T12	4.4.5	Ventelles dynamiques sur les entrées d'air de la SDM
T13	4.4.5	Cheminée d'extraction avec hauteur de point de rejet
T14	4.4.5	Commande de l'extraction d'ammoniac
T15	4.4.5	Alimentation électrique du système de détection indépendante des autres utilisateurs
T16	4.5	Protection mécanique - Edicule condenseur ou protection sur autre équipement en extérieur

MX		Mesures de protection / Limitation vis-à vis de l'explosion
X1	5	Les mesures prises sur la SDM (détection, ventilation, arrêt des installations électriques répondent à la prévention du risque d'explosion)
X2	5	Installation d'un capteur d'ammoniac 0/100% LIE

MP		Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la pollution
P1	6	Rétention générale de la SDM
P2	6	Rétention des stations de vannes en combles (non retenu ici, car pas d'ammoniac en combles)
P3	6	Vanne motorisée sur les rejets commandé par la détection ammoniac
P4	6	Dissociation eaux procédés et eaux pluviales

5.8. Les locaux et zones d'implantation

Ce chapitre présente les caractéristiques des locaux et zones d'implantation.

5.8.1. Salles des machines

L'installation de réfrigération est implantée dans une salle des machines dédiée, avec restriction d'accès aux personnes autorisées.

Les dimensions des salles des machines sont les suivantes :

Dimensions	Surface	Hauteur	Volume
	(m^2)	*(m)*	*(m^3)*
SDM1	*644*	*8*	*5 152*
Edicule SDM1	*235*	*3*	*705*
SDM2	*504*	*8*	*4 032*
Edicule SDM2	*125*	*3*	*375*
SDM3	*504*	*8*	*4 032*
Edicule SDM3	*125*	*3*	*375*
SDM4	*504*	*8*	*4 032*
Edicule SDM4	*125*	*3*	*375*

***Tableau 2** : Dimensions des salles des machines*

Les salles des machines sont conformes à l'arrêté du 16 juillet 1997 et au chapitre 5 de la norme NF EN 378-3 et répondent notamment aux exigences de conception pour le caractère coupe-feu des parois. Les prescriptions sont reprises dans l'annexe 6 sur les bonnes pratiques et les mesures de sécurité.

Une ventilation de base (ventilation normale) permet d'assurer l'évacuation des déperditions thermiques émises par les installations.

La salle des machines est équipée d'une détection gaz, d'une ventilation mécanique d'urgence (extraction forcée) rejetant en hauteur via une conduite d'extraction.

Les caractéristiques sont les suivantes :

Désignation	Ventilation	Débit	Hauteur de rejet
		m^3/h	*m*
SDM 1 Local production de froid	Ventilateur SDM1	*12 500*	*14*
SDM 2 Local production de froid	Ventilateur SDM2	10 200	14
SDM 3 Local production de froid	Ventilateur SDM3	10 200	14
SDM 4 Local production de froid	Ventilateur SDM4	10 200	14

***Tableau 3** : Caractéristiques de la ventilation SDM*

6. Potentiels de dangers

Ce chapitre de l'étude de dangers a pour objectif de mettre en évidence les éléments de l'installation pouvant constituer un danger potentiel. Le danger peut être lié aux caractéristiques des substances, aux conditions de fonctionnement, etc…

6.1. Potentiels de dangers liés aux produits

6.1.1. Les risques liés à l'ammoniac

L'ammoniac est l'un des principaux fluides frigorigènes industriels.

Il est classé comme gaz toxique et inflammable. Il est très corrosif pour la peau, les muqueuses et les yeux. Au contact de la peau, l'ammoniac liquéfié provoque des gelures.

Il est classé aussi en dangereux pour l'environnement.

⌦ L'**annexe 2** apporte des compléments sur les propriétés de l'ammoniac.

6.1.1.1. Propriétés

L'ammoniac présente les caractéristiques suivantes :

Non	Ammoniac anhydre
Formule chimique	NH_3
Masse molaire	17.03 g
Point de fusion	-77.7 °C
Point d'ébullition	-33.4 °C à 1.013 bar
Masse volumique en phase gazeuse	0.772 kg/m³ à 0 °C 0.610 kg/m³ à 20 °C
Masse volumique en phase liquide	634 kg/m³ à 0 °C 607 kg/m³ à 20 °C

***Tableau 4** : Généralités sur l'ammoniac*

Dans les conditions normales de température et de pression (c'est-à-dire à 25°C et à 1,013 bar), l'ammoniac se trouve à l'état gazeux. Il est incolore, plus léger que l'air et son odeur est vive.

6.1.1.2. Toxicité aiguë

La fiche de toxicité aiguë de l'INERIS (cf. annexe 2) fournit les valeurs suivantes (cf. Tableau 5) :

		Temps (*min*)					
		1	**3**	**10**	**20**	**30**	**60**
Seuil des effets létaux significatifs (SELS)	*mg/m³*	19623	ND	61183	4387	3593	2543
	ppm	28033	ND	8833	6267	5133	3633
Seuil des premiers effets létaux (SEL)	*mg/m³*	17710	10290	5740	4083	3337	2380
	ppm	25300	14700	8200	5833	4767	3400
Seuil des effets irréversibles (SEI)	*mg/m³*	1050	700	606	428	350	248
	ppm	1500	1000	866	612	500	354
Seuil des effets réversibles (SER)	*mg/m³*	196	140	105	84	77	56
	ppm	280	200	150	120	110	80
Seuil olfactif	*ppm*			5			

***Tableau 5** : Seuils de toxicité aiguë pour l'ammoniac*

6.1.1.3. Inflammabilité

L'ammoniac est classé inflammable. Cependant l'allumage de mélange ammoniac – air est difficile mais, s'il se produit dans un espace confiné, il peut entrainer une explosion.

Les limites d'explosivité généralement admises pour l'ammoniac sont :

- Limite inférieure d'explosivité (ou LIE) égale à 16% v/v ;
- Limite supérieure d'explosivité (ou LSE) à 25% v/v[4].

Toutefois, une étude indique que la LIE peut être réduite de 4% v/v pour un aérosol d'huile et d'ammoniac comme, par exemple, dans le cas d'une fuite simultanée de lubrifiant.

La température d'auto-inflammation est de 650°C.

L'énergie minimale d'inflammation peut varier de quelques dizaines à plusieurs centaines de mJ.

[4] *Fiche toxicologique n°16 de l'INRS*

6.1.1.4. Dangers pour l'environnement

L'ammoniac est dangereux pour l'environnement. Il est très toxique pour les organismes aquatiques.

6.1.1.5. Réactions dangereuses et précaution d'emploi

L'ammoniac réagit violemment avec certains halogènes, certains acides, certains métaux lourds et avec de nombreux oxydes et peroxydes.

En présence d'humidité, l'ammoniac attaque rapidement certains métaux (cuivre et zinc notamment). Les équipements contenant de l'ammoniac sont construits en acier carbone, non sujet à la corrosion par l'ammoniac.

A température ordinaire, l'ammoniac gazeux est un composé stable. Sa dissociation en hydrogène et en azote ne commence que vers 450 – 500°C. En présence de certains métaux comme le fer, le nickel, l'osmium, le zinc, l'uranium, cette décomposition commence dès la température de 300°C et est presque complète vers 500 à 600°C.

6.1.2. Autres produits

Il n'y aura pas d'autres produits entreposés dans la salle des machines.

6.2. Potentiels de dangers liés au procédé

L'identification des dangers liés aux procédés tient compte :

- Des différentes catégories de dangers présentés par les produits présents,
- Des différents équipements et machines et de leurs dangers associés (pièces tournantes, huile sous pression, etc.),
- Des conditions opératoires d'utilisation et de mise en œuvre,
- Des conditions de fonctionnement.

Le tableau suivant présente une identification des dangers liés aux procédés obtenue sur la base d'un travail préalable aux analyses de risques. Les événements redoutés sont bien évidemment les pertes de confinement de l'ammoniac.

Equipement	Conditions opératoires	Evènement redouté
Réservoirs, capacités	Phases de stockage, de transfert, de remplissage	Fuite du produit (petite ou massive)
Echangeurs	Phase de fonctionnement	Risque de fuite (petite ou massive)
Tuyauteries	Phase de fonctionnement	Risque de fuite (petite ou massive
Compresseurs	Phase de fonctionnement	Risque d'éclatement et fuite

6.3. Cartographie des potentiels de dangers du système

6.3.1. Cartographie des zones

⌦ L'**annexe 13** apporte les détails sur les zones de rejet d'extraction d'air ammoniaqué sur la carte du site.



6.4. Justification des potentiels de dangers

Ce chapitre explique les choix qui ont été effectués au cours de la conception du projet pour réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation.

La conception respect les bonnes pratiques tel que respecter une pente vers la SDM pour le collecteur retour pour éviter l'accumulation de liquide dans les tuyauteries.

⌦ L'**annexe 10** apporte les justificatifs sur la quantité d'ammoniac utilisée.

⌦ L'**annexe 3** apporte des pistes de réduction du risque qui peuvent guider l'exploitant dans sa volonté de réduction du risque ou guider l'inspecteur dans l'analyse des mesures identifiées par l'exploitant.

7. Retour d'expérience

Ce chapitre présente une synthèse de l'accidentologie. Cette synthèse alimente notamment l'analyse des risques.

Ce chapitre est organisé en deux parties :

- Analyse générale des accidents en France et à l'étranger ;
- Analyse de l'installation.

7.1. Analyse générale de l'accidentologie

L'analyse de l'accidentologie a été effectuée sur la base ARIA en ciblant la recherche sur les années 1997 à 2013. La recherche a été faite en France et à l'étranger en ciblant les seules installations de réfrigération à l'ammoniac.

Il ressort de l'accidentologie que des rejets d'ammoniac sont possibles conduisant essentiellement à des rejets toxiques (gazeux et liquides). Les rejets ont conduit dans quelques cas à des morts (employés de l'installation de réfrigération).

De manière exceptionnelle, l'explosion suite à une fuite d'ammoniac a été relevée.

Des incendies sont notés affectant souvent des stockages connexes (partie entrepôts) sans lien direct avec les installations de réfrigération, sauf pour quelques incendies en salle des machines.

L'analyse de l'accidentologie conduit à retenir les scenarios suivants dans l'analyse préliminaire des risques :

- Perte de confinement sur les réservoirs et les équipements (condenseurs, évaporateurs…) ;
- Perte de confinement sur les tuyauteries (rupture guillotine ou fuite) ; les équipements peuvent être dans la salle des machines ou à l'extérieur de la salle des machines (liaisons vers les utilisateurs) ;
- Rupture de bouteilles d'ammoniac ou de fûts ;
- Fuite au niveau de flexible de raccordement en phase d'appoint ;
- Fuite par les soupapes ;
- Fuite au niveau des purges ;
- Explosion dans un local confiné (salle des machines, utilisateurs…).

Note : L'incendie dans la salle des machines ou à l'extérieur de la salle des machines est à retenir comme un évènement initiateur possible.

8. Analyses préliminaires des risques

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets.

Il existe deux types de causes qui sont étudiées successivement dans la présente étude :

- Les causes externes (naturelles ou liées à l'activité humaine) ;
- Les causes internes liées au procédé.

8.1. Causes externes

8.1.1. Causes exclues de l'étude de dangers

Les événements initiateurs (ou agressions externes) suivants sont exclus de l'analyse des risques :

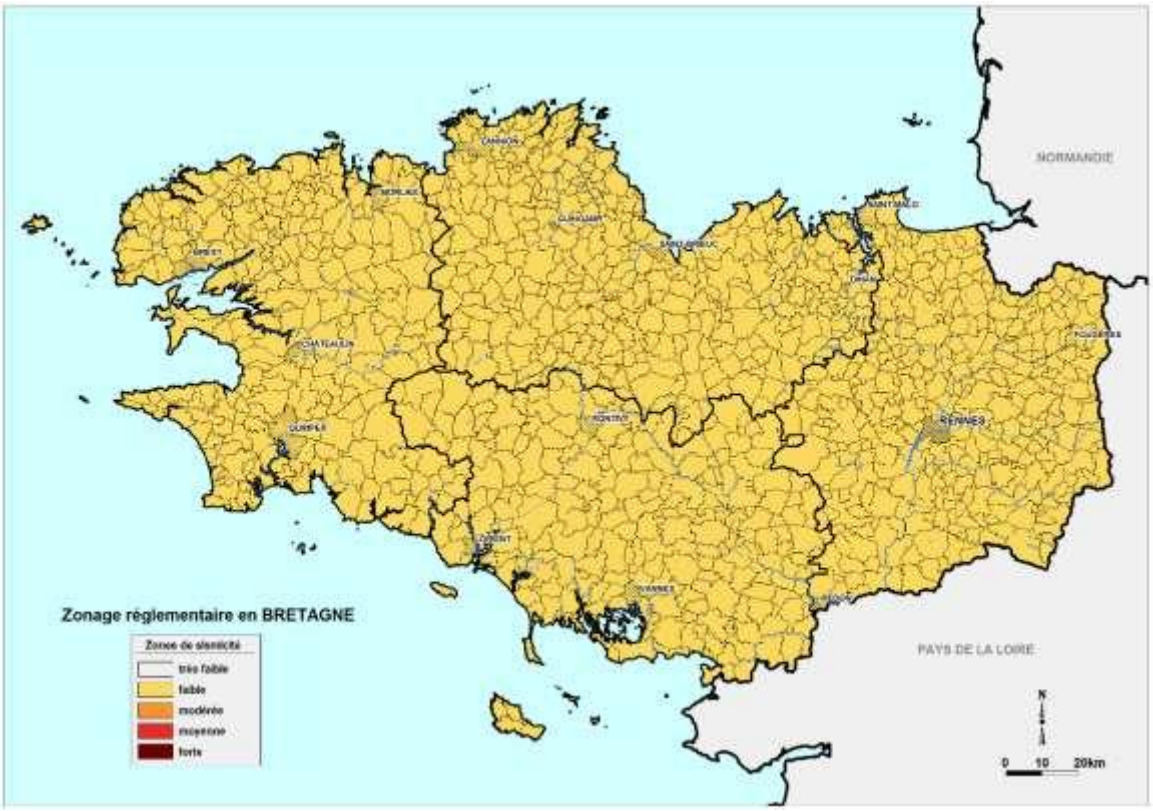
- Chute de météorite ;
- Séisme d'amplitude supérieure aux séismes maximums de référence éventuellement corrigés de facteurs, tels que définis par la réglementation applicable aux installations classées considérées ;
- Crues d'amplitude supérieure à la crue de référence, selon les règles en vigueur ;
- Événements climatiques d'intensité supérieure aux événements historiquement connus ou prévisibles pouvant affecter l'installation, selon les règles en vigueur ;
- Chute d'avion hors des zones de proximité d'aéroport ou aérodrome (rayon de 2 km des aéroports et aérodromes) ;
- Rupture de barrage de classe A ou B au sens de l'article R.214-112 du Code de l'environnement ou d'une digue de classe A, B ou C au sens de l'article R. 214- 113 du même code ;
- Actes de malveillance.

8.1.2. Causes génériques d'origine naturelle

Les causes d'agressions d'origine naturelle suivantes sont traitées dans les paragraphes suivants.

8.1.2.1. Séisme

Le site BRIDOR à Liffré se trouve en zone de sismicité 2 (faible).



8.1.2.2. Neige et vent

Neige : La présence de neige sur le site peut en gêner l'activité, principalement du fait de l'impossibilité de circulation des camions. Du fait de l'absence d'une voie de circulation publique en bordure des installations, la possibilité de la perte de trajectoire des camions n'est pas à craindre.

Vent : Compte tenu des dimensions des dispositifs installés à l'extérieur, par exemple les condenseurs, la prise au vent est importante. Les risques liés au vent fort ne sont pas nuls. Nous ne les retiendrons pas, car les structures constituant les supports de l'installation sont adaptées. **Les scénarii réalisés avec la modélisation PHAST prennent en compte les différentes conditions climatiques**.

Brouillard : Le brouillard peut, d'une part générer des phénomènes de corrosion extérieure de tuyauteries, d'autre part gêner la visibilité sur le site, en particulier lors du passage des camions. Les installations étant situées à l'intérieur des bâtiments ce risque sera retenu pour la situation actuelle et pris en compte pour la protection mécanique des condenseurs.

8.1.2.3. Canicule

A l'inverse du froid, la chaleur s'accompagne d'une élévation de la pression de vapeur saturante des gaz, qui pourraient théoriquement atteindre la pression d'ouverture des soupapes. L'installation est située en intérieur (sauf le condenseur) et donc protégée du rayonnement solaire.

Le procédé intégrera cette élévation de pression éventuelle par sa régulation (perte de rendement). Les différentes capacités isolables de l'installation, sont toutes protégées par des soupapes. Les soupapes s'ouvriront progressivement à partir de la pression de tarage. Pour qu'une telle pression soit atteinte, il faudrait que les installations soient à l'arrêt et que ces capacités soient soumises à une température élevée (>31°C) constante pendant plusieurs jours et sans tenir compte du refroidissement nocturne.

Si l'installation devait être arrêtée en période estivale pendant plusieurs jours il faudrait alors procéder à un retrait d'ammoniac de l'installation. Ce risque a été pris en compte dans le calcul des soupapes et dans une éventuelle ouverture simultanée des soupapes des circuits BP.

8.1.2.4. Foudre

La totalité des équipements sont mise à la terre, et la continuité électrique sera assurée entre les éléments contenant l'ammoniac (tuyauteries, récipients). Le site a fait l'objet d'une étude foudre spécifique par un organisme agréé. Cette étude est jointe dans le dossier général.

La probabilité de recevoir un impact foudre est en réalité faible. Nous ne retiendrons donc pas ce risque d'autant plus qu'un coup de foudre n'engendre pas forcément un incident ou dégât sur du matériel mis à la terre.

8.1.2.5. Inondation

Les installations de froid à l'ammoniac se situent en dehors de tout cours d'eau : le site de BRIDOR Liffré n'est pas en zone inondable. Le ruisseau le plus proche est celui du Bois Beau située à environ 200 m de l'autre coté de la départementale D812 (Source Géoportail).

Le risque d'inondation du site n'est pas retenu. Cependant une attention toute particulière devra être apportée au contrôle des eaux issues des dégivrages, purge condenseur et lessivage des zones soumises aux précipitations. Causes liées à l'activité humaine

8.1.3. Causes liées à l'activité humaine

8.1.3.1. Risque routier

Les voies de communication de proximité immédiate sont uniquement les voies d'accès au site. Les véhicules sont astreints aux règles de circulation internes, 10km/h maxi. De plus la zone ou sont implantées les Salles des machines sont réservé aux véhicules léger ou type camionnette.

Après ces précautions, nous ne retiendrons pas ce risque.

8.1.3.2. Risque aérien

L'aérodromes les plus proches de Liffré est celui de Rennes, situé à 25 km au Sud de la salle des machines.

Selon la Protection Civile, les risques les plus importants se situent au moment du décollage et de l'atterrissage des avions. La zone admise comme étant la plus exposée est celle qui se trouve à l'intérieur d'un rectangle délimité par :

- Une distance de 3 km de part et d'autre dans l'axe de la piste,
- Une distance de 1 km de part et d'autre perpendiculairement à la piste

La probabilité d'occurrence d'une chute d'avion à l'extérieur de cette zone est faible. Comme le site de BRIDOR est situé à l'extérieur dudit rectangle nous ne retiendrons pas ce risque.

8.1.4. Causes liées l'environnement industriel

8.1.4.1. Effets dominos – effets d'installations voisines

Il n'existe pas de bâtiments ou équipements industriels proches, dont les locaux et les installations représentent un risque particulier. Aucun phénomène d'effet « domino » venant des installations hors site n'est à craindre, en dehors de tout événement destructeur volontaire (attentat) ou non (passage de citerne de gaz ou autres combustibles).

Ils ne constituent donc pas un risque significatif pour les installations de froid à l'ammoniac de BRIDOR Liffré car celles-ci sont à l'intérieur de bâtiments fermés et situées loin des voies communales de circulation.

8.1.4.2. Travaux

Les travaux et interventions sur l'installation font l'objet de procédures spécifiques. Des plans de prévention et des permis spécifiques sont mis en œuvre incluant, le cas échéant, des permis de feu, des consignations / déconsignations….

Les travaux sont retenus comme cause possible d'agression, sauf dans le cas des interventions sur les « gros potentiels » constitués par les réservoirs (cf. annexe 5).

8.2. Causes internes liées au procédé

8.2.1. Analyse préliminaire des risques

L'identification des scenarios d'accidents liés au procédé est réalisée au travers d'une analyse préliminaire des risques. Celle-ci consiste à :

- Identifier de façon la plus exhaustive possible les phénomènes dangereux pouvant conduire à des accidents majeurs induits par différents scénarios identifiés lors de la mise en œuvre d'une méthode adaptée aux installations, conduite en groupe de travail ; la méthode est basée sur un questionnement systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible ;
- Lister les mesures de maîtrise des risques (techniques et/ou organisationnelles) de prévention et/ou de protection mises en place par l'industriel et agissant sur le scénario d'accident majeur identifié ; des propositions peuvent être faites concernant l'ajout ou la modification de mesures de maîtrise des risques ;
- Coter les phénomènes dangereux identifiés en termes d'intensité. La grille de cotation en intensité utilisé en phase d'APR est présentée paragraphe suivant ;
- Dresser une liste des phénomènes dangereux, sur la base des phénomènes pouvant avoir des distances d'effets hors du site ou conduire à des effets dominos sur les installations.
- Hiérarchiser les phénomènes dangereux en fonction de leur intensité et de l'étendue possible de leurs conséquences pour sélectionner les phénomènes dangereux qui feront l'objet d'une modélisation ;
- Coter éventuellement la probabilité d'apparition de chaque cause (en l'absence de mesures techniques ou organisationnelles de protection ou de prévention). La cotation des probabilités n'est pas faite systématiquement.

8.2.1.1. Déroulement et échelle de cotation utilisée

		Intensité
Hors Site	**4**	Forte intensité (ex : Seuil d'Effet Létal) du phénomène à l'extérieur du site – Pollution lourde
	3	Phénomène peut sortir du site avec intensité limitée à l'extérieur – Pollution légère
Sur Site	**2**	Effets dominos possible, ou atteinte des équipements de sécurité à l'intérieur du site
	1	Pas d'atteinte des équipements de sécurité à l'intérieur du site

***Tableau 6** : échelle des intensités adoptée dans l'APR*

8.2.1.2. Tableaux d'APR

Les tableaux d'analyse préliminaire des risques suivants sont présentés en annexe :

- Perte de confinement sur compresseur à vis ;
- Perte de confinement sur circuit HP (condenseur) ;
- Perte de confinement sur circuit BP et MP (séparateur de liquide, bouteillon d'huile) ;
- Perte de confinement sur toute autre partie du circuit (point de vidange, soupapes) ;

Enfin, une analyse des pertes d'utilités est effectuée.

Les phénomènes retenus au terme de l'analyse sont précisés au chapitre suivant.

⌦ Voir le détail de l'APR dans l'annexe 5.

8.3. Phénomènes dangereux retenus au terme de l'APR

Les **événements redoutés centraux** retenus au terme de l'analyse des risques sont les suivants :

- **Pertes de confinement sur les tuyauteries (10,11, 20, 21, 30, 31, 40 et 41)**, en dehors de la salle des machines et à l'extérieur de la salle des machines (terrasse, utilisateurs et/ou liaison vers utilisateurs) ; les fuites sont possibles en amont et en aval des équipements (compresseur, condenseur, évaporateur, pompe…). Les tailles de brèche retenues sont la « rupture guillotine » et la « brèche » :
  - ✓ La « rupture guillotine » peut être due à des chocs, des effets dominos, des surpressions, etc…
  - ✓ La « brèche » peut être due à des chocs, des surpressions, des ouvertures de vannes sur le circuit, de la corrosion, des vibrations, etc...
- **Pertes de confinement sur les échangeurs (14, 24, 34 et 44)** (condenseurs, évaporateurs) : les tailles de brèche retenues sont la ruine et la « petite brèche » :
  - ✓ La ruine peut être due à des chocs, des effets dominos, des surpressions…
  - ✓ La « brèche » peut correspondre à des chocs, des surpressions, des ouvertures de vannes sur l'équipement, etc....
- **Perte de confinement au niveau de soupapes (15, 25,35 et 45)** :
  - ✓ Ouverture partielle de soupape (liée à des défaillances techniques ou des fonctionnements intempestifs) ;
  - ✓ Pleine ouverture de soupape (liée à une surpression dans le réseau). La surpression pourra être maintenue ou de durée limitée selon la cause envisagée, conduisant potentiellement à un rejet de soupape de durée limitée.
- **Perte de confinement en phase d'appoint ou de vidange (13, 23, 33 et 43)** : les tailles de brèche retenues sont la rupture guillotine et la brèche de flexible.
- **Perte de confinement sur les bouteilles ou containers d'appoint ou de vidange (12, 13, 22, 23, 32 33, 42 et 43)** ; les tailles de brèche retenues sont la ruine et la « brèche » :
  - ✓ La ruine peut être due à des chocs, des effets dominos, des surpressions…
  - ✓ La « brèche » peut correspondre à des chocs, des surpressions, des ouvertures de vannes sur l'équipement, etc....

Pour les différents événements redoutés centraux retenus, les phénomènes dangereux retenus sont :

- La dispersion toxique ;
- L'explosion en cas de rejet en zone confinée (salle des machines).

La pollution n'est pas retenue dans l'étude de dangers dans la mesure où la rétention dans la salle des machines permet de recueillir les éventuels épandages et car l'ammoniac est facilement biodégradable.

***Note** : d'autres événements sont susceptibles de se produire en cas de perte de confinement sur des échangeurs (pollution du réseau, contamination du circuit d'huile au niveau des réfrigérants d'huile). Mais ces événements ne conduisent pas à des accidents majeurs et ne sont pas retenus.*

9. Caractérisation de l'intensité des phénomènes dangereux

Ce chapitre présente les principes d'évaluation des intensités des phénomènes dangereux et fournit les distances d'effet pour les phénomènes retenus dans l'étude de dangers.

Il s'articule en trois parties :

- Sélection des phénomènes dangereux à modéliser ;
- Principales hypothèses de modélisation ;
- Intensités des phénomènes dangereux modélisés.

9.1. Sélection des phénomènes dangereux à modéliser

L'analyse préliminaire des risques a identifié les phénomènes dangereux pouvant potentiellement avoir des effets à l'extérieur du site ou conduire à des effets dominos (cf. chapitre 7.3).

Parmi ces phénomènes, une sélection a été faite pour identifier ceux qui font l'objet d'une modélisation des effets.

❖ Famille de phénomènes par zone géographique

Les phénomènes ont été d'abord classés par « famille » selon la localisation des équipements :

On distingue ainsi les pertes de confinement sur des équipements situés dans les zones et locaux différents. La distinction s'appuie sur le fait que les effets peuvent être très différents, soit parce que le rejet se fait directement à l'extérieur, soit parce que les enjeux ne sont pas localisés de la même manière ou encore parce que les causes d'accident peuvent être différentes. Les zones suivantes ont été étudiées successivement :

- Extérieur (terrasse ou au sol) ;
- Salle des machines ;

❖ Pour une localisation donnée : hiérarchisation des PhD

Pour chaque « famille » de phénomènes, on classe les phénomènes par intensité décroissante des effets. L'intensité dépend de la phase (liquide ou gaz), de la pression (HP, MP ou BP) et de la quantité pouvant être libérée.

On n'a retenu dans une même zone que les phénomènes majorants en intensité.

La hiérarchisation des effets s'appuie sur le tableau ci-dessous :

Caractéristiques du rejet	Effets relatifs attendus
HP liquéfié	Effets maximums
BP liquéfié	Effets importants
HP gaz	Effets modérés
BP gaz	Effets minimes

❖ Synthèse : phénomènes retenus pour modélisation

Les phénomènes dangereux suivants sont modélisés :

Pour chaque « famille » de phénomènes, on classe les phénomènes par intensité décroissante des effets. L'intensité dépend de la phase (liquide ou gaz), de la pression (HP, MP ou BP) et de la quantité pouvant être libérée.

Zone géographique	Evènements redoutés retenus	Remarques
Extérieur	Rupture guillotine de la tuyauterie HP en aval du condenseur	Si la fuite en ras de paroi a été écartée, le rejet au niveau du collecteur de sortie de l'échangeur peut ne pas être retenu (cf. APR). La rupture guillotine de la tuyauterie en aval du collecteur est à considérer.
Salle des machines	Rupture guillotine de la tuyauterie HP en aval du condenseur	Le terme source peut être différent du précèdent, du fait des pertes de charges. Si la détente HP/BP (ou HP/MP) est située à l'extérieur, ce phénomène est remplacé par la rupture guillotine de la tuyauterie BP (ou MP) à l'aval du condenseur.
	Perte de confinement sur la bouteille BP	Il est difficile de conclure d'emblée sur la hiérarchisation des deux scénarios : perte de confinement sur la bouteille BP (non isolable et de forte capacité) et perte de confinement sur le liquide HP. La perte de confinement sur une bouteille BP peut conduire en effet à un rejet important dont les effets peuvent finalement être supérieurs à ceux d'une perte de confinement sur du HP liquéfié. On retient la rupture guillotine sur la tuyauterie de départ BP vers les utilisateurs en excluant la fuite en ras de paroi (cf. APR). Pour la modélisation, sera retenu le cas majorant entre la perte de confinement à l'aval de la pompe BP (en fonctionnement) ou en amont de la pompe BP (à l'arrêt).

9.2. Principales hypothèses de modélisation

Les principales hypothèses retenues pour l'évaluation des effets sont :

- Il est supposé que la ventilation normale mécanique soit arrêtée en cas de fuite d'ammoniac ; lorsque le fonctionnement de l'extraction forcée est envisagé, il est supposé que le démarrage de la ventilation forcée s'effectue après 30 secondes.
- Les ventelles d'air se ferment en cas de surpression dans le local ; il n'y a pas d'effets au sol hors du local (les ventelles ont été considérés lorsque la fuite génère une surpression dans le local) ;
- Le terme source est évalué en considérant des contributions amont et aval ; mais les vannes de détente, la pompe de circulation BP, le compresseur sont considérés comme des « clapets » anti-retour.
- La vidange des installations est considérée (pas d'isolement ou de d'arrêt des équipements) en cas de défaillance des barrières de limitation ; en cas de fonctionnement des barrières de limitation, les hypothèses retenues sont les suivantes :
  - ✓ L'arrêt des équipements (compresseurs) conduit à l'arrêt de la circulation des fluides ; le temps de réponse est le même que celui de démarrage de l'extraction forcée, soit 30 secondes.
- La durée d'exposition aux nuages toxiques correspond aux durées de persistance des nuages toxiques, qui dépendent du scenario envisagé. La durée maximale d'exposition retenue est de 1 heure.

9.3. Intensité des phénomènes dangereux

9.3.1. Seuils d'effets sur l'homme

Les seuils retenus sont définis par l'arrêté du 29 septembre 2005.

9.3.1.1. Effets toxiques

Les valeurs de référence de seuils d'effets toxiques pour l'homme, par inhalation, sont les suivantes :

- Les seuils des effets irréversibles (SEI) délimitent la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine » ;
- Les seuils des effets létaux (SEL) correspondant à une CL 1%6 délimitent la « zone des dangers graves pour la vie humaine » ;
- Les seuils des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à une CL 5% délimitent la « zone des dangers très graves pour la vie humaine ».

9.3.1.2. Effets de surpression

Les valeurs de référence sont les suivantes :

- Seuil des effets indirects de surpression par bris de vitre : 20 mbar,
- Seuil des effets irréversibles SEI : 50 mbar,
- Seuil des premiers effets létaux SEL : 140 mbar,
- Seuil des effets létaux significatifs SELS : 200 mbar.

9.3.1.3. Conditions météorologiques

La circulaire du 10 mai 2010 « récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 » indique que « les conditions (D,5) et (F,3) sont généralement retenues pour des rejets au niveau du sol ».

La première de ces conditions permet de représenter une situation courante (condition neutre et vitesse de vent de 5 m/s), la seconde permettant une évaluation des conséquences dans des conditions atmosphériques défavorables (conditions très stables et vitesse de 3 m/s) pour des rejets au niveau du sol.

Pour les rejets en hauteur, s'ajoutent à ces conditions météorologiques, les conditions (A,3), (B,3), (B,5), (C,5), (C,10), (D,10) et (E,3).

Stabilité atm.		**A**	**B**	**B**	**C**	**C**	**D**	**D**	**E**	**F**
Vitesse du vent	*(m/s)*	3	3	5	5	10	5	10	3	3
T° ambiante	*(°C)*	20	20	20	20	20	20	20	20	15
T° du sol	*(°C)*	20	20	20	20	20	20	20	20	15
Humidité relative	*(%)*	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Rayonnement solaire	*(kW/m²)*	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0

***Tableau 7** : Conditions météorologiques génériques*

9.3.2. Environnement

Les rejets sont considérés en champ libre, le paramètre de rugosité choisi correspond à un site industriel. Le relief sur lequel est calculée la dispersion est considéré plat et uniforme.

9.3.3. Présentation des résultats pour le système ammoniac

Le chapitre suivant a pour but de décrire les événements accidentels théoriques, de façon à vérifier si l'étendue des conséquences possibles dépasse les limites de propriété de l'établissement.

Le respect des consignes d'exploitation (en cours de mise en place et effectives avant démarrage de l'activité) et les équipements de sécurité tendront à limiter d'autant la probabilité d'une perte de confinement importante.

Les dispositions préventives prises dans la conception et la construction des appareils et annexes, permettent d'écarter la défaillance grave pour ne retenir comme origine de fuite plausible qu'un défaut inattendu, réduit et localisé.

En dehors d'un cataclysme, naturel ou non qui détruirait les locaux, ce genre d'installations, **présente les risques décrits ci-après**.

Les scénarii ont été étudiés en fonction de l'ERC majorant qui est lié à la quantité de l'ammoniac fuyant, sous forme vapeur et aérosols. Cette quantité d'ammoniac fuyant est proportionnelle à la pression et à la section de l'orifice de fuite. Par conséquent pour les pressions en jeu dans l'installation (HP et BP) nous avons choisi les diamètres les plus importants pouvant être en cause : d'où le choix des scénarii de calcul dans l'EDD.

Ces scénarii ont été tirés du résultat de l'AMDEC à partir des DMC (défaillance moyennement critique) et des DC (défaillance critique).

⌦ L'**annexe 5** apporte les justificatifs sur les scénarii retenus (synthèse p26 de l'annexe 5).

De plus nous n'avons pas tenu compte des probabilités, ni des fréquences des fuites et avons fait l'étude de manière « déterministe » et non de façon « probabiliste » ; ce qui nous pénalise en termes de résultats.

Les résultats des scénarii présentés sont calculés après mise en œuvre des mesures de maitrises des risques.

⌦ L'**annexe 8** apporte les caractérisations des résultats des scénarii.

Dans l'annexe 8, la valeur « < 10 m », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

9.3.3.1. Présentation des résultats pour le système 1 (SDM1)

Scénario 10	**Rupture du collecteur** (ou un des accessoires montés sur ce collecteur) **en gaz HP entre les compresseurs et les condenseurs ; fuite à l'intérieur de la salle des machines ou dans l'édicule condenseurs.**	**Fuite en intérieur**	
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception.		
Diamètre	Rupture d'une canalisation gaz HP à l'entrée d'un condenseur	**107,1**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **16**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par le fonctionnement de l'ensemble des compresseurs MP qui pour un régime nominal de fonctionnement ont un débit massique total refoulé vers les condenseurs.	**8,32**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans le condenseur et ses tuyauteries associées.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Le rejet se fait en partie haute de l'édicule condenseurs	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**12 500**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 11	**Rupture du collecteur** (ou un des accessoires montés sur ce collecteur) **en liquide HP à la sortie du condenseur en SDM ; fuite à l'intérieur de la salle des machines ou dans l'édicule condenseurs.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception.		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide HP à sortie d'un condenseur, ici le collecteur liquide principal retournant au réservoir liquide dans la SDM.	**53,1**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **16**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par le fonctionnement de l'ensemble des compresseurs MP qui pour un régime nominal de fonctionnement ont un débit massique total refoulé vers les condenseurs.	**8,32**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans les condenseurs et ses tuyauteries associées.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Le rejet se fait en partie haute de l'édicule condenseurs	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**12 500**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 12	**Rupture d'une canalisation (ou un des accessoires montés sur cette canalisation) liquide en dessous de la bouteille BP ; fuite à l'intérieur de la salle des machines puis extraction par le ventilateur extracteur de la salle des machines. INSTALLATION EN FONCTIONNEMENT.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Une erreur humaine lors d'une opération de maintenance		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide BP en partie basse de la bouteille BP au refoulement des pompes ammoniac.	**70,3**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression au refoulement des pompes ammoniac.	**-12** **1,66**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par la hauteur de liquide nécessaire à la recirculation d'ammoniac sur les échangeurs à plaques.	**5,84**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En amont de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans la bouteille MP. Ici charge majorante, car en fonctionnement une partie de l'ammoniac est en circulation dans les échangeurs.	**3 930**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**12 500**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 13	**Rupture d'une canalisation (ou un des accessoires montés sur cette canalisation) liquide en dessous de la bouteille BP ; fuite à l'intérieur de la salle des machines puis extraction par le ventilateur extracteur de la salle des machines. INSTALLATION A L'ARRET.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Une erreur humaine lors d'une opération de maintenance		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide BP à l'entrée d'un condenseur	**70,3**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de saturation à l'arrêt considéré.	**+10** **1,89**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression de fuite est maintenue par la remontée en pression du fait de l'arrêt de l'installation.	**9,14**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans la bouteille MP.	**3 930**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**12 500**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 14	**Fuite de gaz HP à l'intérieur du condenseur en fonctionnement à sec.**		**Fuite en extérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. La corrosion dans un milieu chaud et humide		
Diamètre	Rupture d'un faisceau de tubes des condenseurs.	**10**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **15,98**	°C *bars*
Débit masse ammoniac	Débit masse en diphasique lors d'une fuite (rupture guillotine) entre la pression HP et la pression atmosphérique	**0,114**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans le condenseur.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection du haut du condenseur.	**10,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Pas d'extracteur.		

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 15	**Echappement par les soupapes de sécurité bloquées ouvertes sur les séparateurs de liquide MP10, MP20, Spray-chiller et condenseurs.**	**Fuite en intérieur**	
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Un mauvais étalonnage de soupapes.		
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+51** **20**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Débit théorique unitaire des soupapes de sécurités (calculés suivant l'EN 13 136, ainsi que le collecteur d'évacuation)	**0,310**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	Quantité d'ammoniac cumulé correspondant à la charge de l'installation (HP).		*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**12 500**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

9.3.3.2. Présentation des résultats pour le système 2 (SDM2)

Scénario 20	**Rupture du collecteur** (ou un des accessoires montés sur ce collecteur) **en gaz HP entre les compresseurs et les condenseurs ; fuite à l'intérieur de la salle des machines ou dans l'édicule condenseurs.**	**Fuite en intérieur**	
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception.		
Diamètre	Rupture d'une canalisation gaz HP à l'entrée d'un condenseur	**107,1**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **16**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par le fonctionnement de l'ensemble des compresseurs MP qui pour un régime nominal de fonctionnement ont un débit massique total refoulé vers les condenseurs.	**6,61**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans le condenseur et ses tuyauteries associées.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Le rejet se fait en partie haute de l'édicule condenseurs	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 21	**Rupture du collecteur** (ou un des accessoires montés sur ce collecteur) **en liquide HP à la sortie du condenseur en SDM ; fuite à l'intérieur de la salle des machines ou dans l'édicule condenseurs.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception.		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide HP à sortie d'un condenseur, ici le collecteur liquide principal retournant au réservoir liquide dans la SDM.	**53,1**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **16**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par le fonctionnement de l'ensemble des compresseurs MP qui pour un régime nominal de fonctionnement ont un débit massique total refoulé vers les condenseurs.	**6,61**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans les condenseurs et ses tuyauteries associées.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Le rejet se fait en partie haute de l'édicule condenseurs	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10,200**	*m³/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 22	**Rupture d'une canalisation (ou un des accessoires montés sur cette canalisation) liquide en dessous de la bouteille BP ; fuite à l'intérieur de la salle des machines puis extraction par le ventilateur extracteur de la salle des machines. INSTALLATION EN FONCTIONNEMENT.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Une erreur humaine lors d'une opération de maintenance		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide BP en partie basse de la bouteille BP au refoulement des pompes ammoniac.	**70,3**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression au refoulement des pompes ammoniac.	**-12** **1,66**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par la hauteur de liquide nécessaire à la recirculation d'ammoniac sur les échangeurs à plaques.	**4,13**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En amont de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans la bouteille MP. Ici charge majorante, car en fonctionnement une partie de l'ammoniac est en circulation dans les échangeurs.	**2 860**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario **23**	**Rupture d'une canalisation (ou un des accessoires montés sur cette canalisation) liquide en dessous de la bouteille BP ; fuite à l'intérieur de la salle des machines puis extraction par le ventilateur extracteur de la salle des machines. INSTALLATION A L'ARRET.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Une erreur humaine lors d'une opération de maintenance		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide BP à l'entrée d'un condenseur	**70,3**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de saturation à l'arrêt considéré.	**+10** **1,89**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression de fuite est maintenue par la remontée en pression du fait de l'arrêt de l'installation.	**9,14**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans la bouteille MP.	**2 860**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m³/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 24	**Fuite de gaz HP à l'intérieur du condenseur en fonctionnement à sec.**		**Fuite en extérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. La corrosion dans un milieu chaud et humide		
Diamètre	Rupture d'un faisceau de tubes des condenseurs.	**10**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **15,98**	°C *bars*
Débit masse ammoniac	Débit masse en diphasique lors d'une fuite (rupture guillotine) entre la pression HP et la pression atmosphérique	**0,114**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans le condenseur.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection du haut du condenseur.	**10,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Pas d'extracteur.		

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 25	**Echappement par les soupapes de sécurité bloquées ouvertes sur les séparateurs de liquide MP10, MP20, Spray-chiller et condenseurs.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Un mauvais étalonnage de soupapes.		
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+51** **20**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Débit théorique unitaire des soupapes de sécurités (calculés suivant l'EN 13 136, ainsi que le collecteur d'évacuation)	**0,310**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	Quantité d'ammoniac cumulé correspondant à la charge de l'installation (HP).		*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

9.3.3.3. Présentation des résultats pour le système 3 (SDM3)

Scénario 30	**Rupture du collecteur** (ou un des accessoires montés sur ce collecteur) **en gaz HP entre les compresseurs et les condenseurs ; fuite à l'intérieur de la salle des machines ou dans l'édicule condenseurs.**	**Fuite en intérieur**	
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception.		
Diamètre	Rupture d'une canalisation gaz HP à l'entrée d'un condenseur	**107,1**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **16**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par le fonctionnement de l'ensemble des compresseurs MP qui pour un régime nominal de fonctionnement ont un débit massique total refoulé vers les condenseurs.	**6,61**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans le condenseur et ses tuyauteries associées.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Le rejet se fait en partie haute de l'édicule condenseurs	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 31	**Rupture du collecteur** (ou un des accessoires montés sur ce collecteur) **en liquide HP à la sortie du condenseur en SDM ; fuite à l'intérieur de la salle des machines ou dans l'édicule condenseurs.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception.		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide HP à sortie d'un condenseur, ici le collecteur liquide principal retournant au réservoir liquide dans la SDM.	**53,1**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **16**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par le fonctionnement de l'ensemble des compresseurs MP qui pour un régime nominal de fonctionnement ont un débit massique total refoulé vers les condenseurs.	**6,61**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans les condenseurs et ses tuyauteries associées.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Le rejet se fait en partie haute de l'édicule condenseurs	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10,200**	*m³/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 32	**Rupture d'une canalisation (ou un des accessoires montés sur cette canalisation) liquide en dessous de la bouteille BP ; fuite à l'intérieur de la salle des machines puis extraction par le ventilateur extracteur de la salle des machines. INSTALLATION EN FONCTIONNEMENT.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Une erreur humaine lors d'une opération de maintenance		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide BP en partie basse de la bouteille BP au refoulement des pompes ammoniac.	**70,3**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression au refoulement des pompes ammoniac.	**-12** **1,66**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par la hauteur de liquide nécessaire à la recirculation d'ammoniac sur les échangeurs à plaques.	**4,13**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En amont de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans la bouteille MP. Ici charge majorante, car en fonctionnement une partie de l'ammoniac est en circulation dans les échangeurs.	**2 860**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario **33**	**Rupture d'une canalisation (ou un des accessoires montés sur cette canalisation) liquide en dessous de la bouteille BP ; fuite à l'intérieur de la salle des machines puis extraction par le ventilateur extracteur de la salle des machines. INSTALLATION A L'ARRET.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Une erreur humaine lors d'une opération de maintenance		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide BP à l'entrée d'un condenseur	**70,3**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de saturation à l'arrêt considéré.	**+10** **1,89**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression de fuite est maintenue par la remontée en pression du fait de l'arrêt de l'installation.	**9,14**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans la bouteille MP.	**2 860**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m³/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 34	**Fuite de gaz HP à l'intérieur du condenseur en fonctionnement à sec.**		**Fuite en extérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. La corrosion dans un milieu chaud et humide		
Diamètre	Rupture d'un faisceau de tubes des condenseurs.	**10**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **15,98**	°C *bars*
Débit masse ammoniac	Débit masse en diphasique lors d'une fuite (rupture guillotine) entre la pression HP et la pression atmosphérique	**0,114**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans le condenseur.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection du haut du condenseur.	**10,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Pas d'extracteur.		

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario **35**	**Echappement par les soupapes de sécurité bloquées ouvertes sur les séparateurs de liquide MP10, MP20, Spray-chiller et condenseurs.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Un mauvais étalonnage de soupapes.		
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+51** **20**	°C *bars*
Débit masse ammoniac	Débit théorique unitaire des soupapes de sécurités (calculés suivant l'EN 13 136, ainsi que le collecteur d'évacuation)	**0,310**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	Quantité d'ammoniac cumulé correspondant à la charge de l'installation (HP).		*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

9.3.3.4. Présentation des résultats pour le système 4 (SDM4)

Scénario 40	**Rupture du collecteur** (ou un des accessoires montés sur ce collecteur) **en gaz HP entre les compresseurs et les condenseurs ; fuite à l'intérieur de la salle des machines ou dans l'édicule condenseurs.**	**Fuite en intérieur**	
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception.		
Diamètre	Rupture d'une canalisation gaz HP à l'entrée d'un condenseur	**107,1**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **16**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par le fonctionnement de l'ensemble des compresseurs MP qui pour un régime nominal de fonctionnement ont un débit massique total refoulé vers les condenseurs.	**6,61**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans le condenseur et ses tuyauteries associées.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Le rejet se fait en partie haute de l'édicule condenseurs	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 41	**Rupture du collecteur** (ou un des accessoires montés sur ce collecteur) **en liquide HP à la sortie du condenseur en SDM ; fuite à l'intérieur de la salle des machines ou dans l'édicule condenseurs.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception.		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide HP à sortie d'un condenseur, ici le collecteur liquide principal retournant au réservoir liquide dans la SDM.	**53,1**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **16**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par le fonctionnement de l'ensemble des compresseurs MP qui pour un régime nominal de fonctionnement ont un débit massique total refoulé vers les condenseurs.	**6,61**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans les condenseurs et ses tuyauteries associées.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Le rejet se fait en partie haute de l'édicule condenseurs	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10,200**	*m³/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 42	**Rupture d'une canalisation (ou un des accessoires montés sur cette canalisation) liquide en dessous de la bouteille BP ; fuite à l'intérieur de la salle des machines puis extraction par le ventilateur extracteur de la salle des machines. INSTALLATION EN FONCTIONNEMENT.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Une erreur humaine lors d'une opération de maintenance		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide BP en partie basse de la bouteille BP au refoulement des pompes ammoniac.	**70,3**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression au refoulement des pompes ammoniac.	**-12** **1,66**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression est maintenue par la hauteur de liquide nécessaire à la recirculation d'ammoniac sur les échangeurs à plaques.	**4,13**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En amont de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans la bouteille MP. Ici charge majorante, car en fonctionnement une partie de l'ammoniac est en circulation dans les échangeurs.	**2 860**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario 43	**Rupture d'une canalisation (ou un des accessoires montés sur cette canalisation) liquide en dessous de la bouteille BP ; fuite à l'intérieur de la salle des machines puis extraction par le ventilateur extracteur de la salle des machines. INSTALLATION A L'ARRET.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Une erreur humaine lors d'une opération de maintenance		
Diamètre	Rupture d'une canalisation liquide BP à l'entrée d'un condenseur	**70,3**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de saturation à l'arrêt considéré.	**+10** **1,89**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Cette pression de fuite est maintenue par la remontée en pression du fait de l'arrêt de l'installation.	**9,14**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans la bouteille MP.	**2 860**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario **44**	**Fuite de gaz HP à l'intérieur du condenseur en fonctionnement à sec.**		**Fuite en extérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture par chocs (lors de travaux) ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. La corrosion dans un milieu chaud et humide		
Diamètre	Rupture d'un faisceau de tubes des condenseurs.	**10**	*mm*
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+41** **15,98**	°C *bars*
Débit masse ammoniac	Débit masse en diphasique lors d'une fuite (rupture guillotine) entre la pression HP et la pression atmosphérique	**0,114**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	En aval de la rupture, la charge d'ammoniac liquide directement mise en jeu se situe dans le condenseur.	**110**	*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection du haut du condenseur.	**10,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Pas d'extracteur.		

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

Scénario **45**	**Echappement par les soupapes de sécurité bloquées ouvertes sur les séparateurs de liquide MP10, MP20, Spray-chiller et condenseurs.**		**Fuite en intérieur**
Origine possible	Une montée anormale de pression liée à un dysfonctionnement de régulation ou un mauvais réglage ; Une rupture suite à un défaut « caché » de fabrication ou conception. Un mauvais étalonnage de soupapes.		
Pression	Pression absolue régnant dans cette canalisation est la pression de condensation de l'ammoniac avec des conditions climatiques « été » pour effet majorant	**+51** **20**	*°C* *bars*
Débit masse ammoniac	Débit théorique unitaire des soupapes de sécurités (calculés suivant l'EN 13 136, ainsi que le collecteur d'évacuation)	**0,310**	*Kg/s*
Quantité ammoniac	Quantité d'ammoniac cumulé correspondant à la charge de l'installation (HP).		*kg*
Hauteur de rejet	Hauteur du point de réjection de l'extracteur de sécurité ammoniac – via un conduit cheminé	**14,0**	*m*
Temps de réaction	Temps de réaction du système de détection pour atteindre le 2ème seuil. Au 2ème seuil toute l'installation frigorifique s'arrête en sécurité et la ventilation ATEX d'extraction de la salle des machines continue à être opérationnelle, ce, depuis le 1er seuil. Les services de maintenance, déjà avertis au 1er seuil sont à nouveau alertés au 2ème seuil.	**30**	*Sec.*
Débit extracteur	Débit maximum unitaire de l'extracteur de sécurité ammoniac (mis en service au 1er et 2ème seuil de la détection)	**10 200**	*m^3/h*

Résultats des distances d'effets du scénario supra	En DF3	En DF5
DEL (ex Z1)	Pas d'effets	Pas d'effets
DEI (ex Z2)	Pas d'effets	Pas d'effets

La mention « pas d'effets », en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol (hauteur cible = 1,8 m).

Pour l'ensemble des scénarii, le rayon des distances des effets létaux ou irréversibles reste dans les limites de propriété de BRIDOR Liffré (35).

10. Caractérisation de la gravité des accidents potentiels

10.1. Grille d'évaluation de la gravité

L'annexe III de l'Arrêté 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) définit l'échelle d'appréciation de la gravité des conséquences humaines d'un accident à l'extérieur des installations.

Les seuils considérés sont :

- les seuils d'effets létaux significatifs (SELS),
- les seuils d'effets létaux (SEL),
- les seuils d'effets irréversibles (SEI),

(Ne sont pas pris en compte pour l'estimation de la gravité les seuils correspondant aux bris de vitres et leurs effets).

Le tableau ci-dessous reprend l'échelle d'appréciation de la gravité défini dans l'Annexe III de l'Arrêté du 29 septembre 2005 :

Niveau de gravité des conséquences	SELS	SEL	SEI
Désastreux (5)	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
Catastrophique (4)	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
Important (3)	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieux (2)	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins 10 personnes exposées
Modéré (1)	Pas de zone de létalité hors de l'établissement		Présence humaine exposée à des Effets Irréversibles inférieure à 1 personne

La gravité des conséquences est ainsi définie comme la combinaison de l'intensité des effets et de la vulnérabilité des populations situées dans les zones exposées à ces effets.

10.2. Comptage des personnes pour évaluation de la gravité

Le comptage des personnes s'appuie sur les données de l'environnement du site étudié.

Les personnes présentes dans le cercle des effets (dans les habitations, les véhicules, les trains, les entreprises voisines, etc…) sont comptabilisées conformément à la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 = zone urbaine 400-600 p/ha.

11. Caractérisations des probabilités d'occurrence

Ce chapitre explicite la méthode utilisée pour évaluer la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux et des accidents majeurs.

11.1. Classes des probabilités d'occurrence

Les phénomènes dangereux et accidents sont classés en classe de probabilité conformément à l'annexe 1 (relative aux échelles de probabilité) de l'arrêté PICG du 29 septembre 2005.

Classe de probabilité	Qualitative		Sema-quantitative	Quantitative (par unté et par an)
E (1 dans la grille de criticité)	Evénement possible mais extrêmement peu probable"	N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installation	Cette échelle est intermédiaire entre les échelles qualitatives et quantitatives, et permet de tenir compte des mesures de maîtrise des risques mises en place, conformément à l'article 4 du présent arrêté	10^{-5}
D (2 dans la grille de criticité)	"événement très improbable"	S'est produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité		10^{-4}
C (3 dans la grille de criticité)	"Evénement improbable"	Un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité		10^{-3}
B (4 dans la grille de criticité)	"événement probable"	S'est produit et/ou peut se Produire pendant la durée de vie de l'installation		10^{-2}
A (5 dans la grille de criticité)	"Evénement courant"	S'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la vie de l'installation, malgré d'éventuelles mesures correctives		

Dans l'étude, les probabilités d'occurrence annuelle des phénomènes dangereux sont quantifiées en classe Fi. Pour les fortes fréquences (pour les EI), des classes complémentaires sont proposées. La correspondance avec les classes de l'arrêté du 29 septembre 2005 (A à E, pour les PhD ou accidents majeurs) est la suivante :

Classe	≤ F5 E	F4 D	F3 C	F2 B	F1 A	F0 -	F-1 -
Fréquence / an	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	

11.2. Détermination des probabilités d'occurrence des PhD de dispersion toxique

11.2.1. Point de départ : évaluation des fréquences des ERC

L'évaluation des probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux et accidents est réalisée à partir des événements redoutés centraux. La source de donnée utilisée est issue des différentes littératures reprises par l'INERIS. La méthode d'évaluation des ERC utilisée, est celle décrite dans le rapport DR34 – Opérations b et c.

⌦ L'**annexe 9** apporte des éléments méthodologiques et permet une lecture claire sur les PhD de dispersion toxique étudiés.

La valeur retenue correspond aux caractéristiques des équipements :

- Diamètre de tuyauterie (valeur la plus faible correspondant à la fréquence la plus élevée) :
- Compresseurs : type volumétrique ;
- Condenseur : à air adiabatique ;
- Evaporateurs : à plaques et tubulaire.

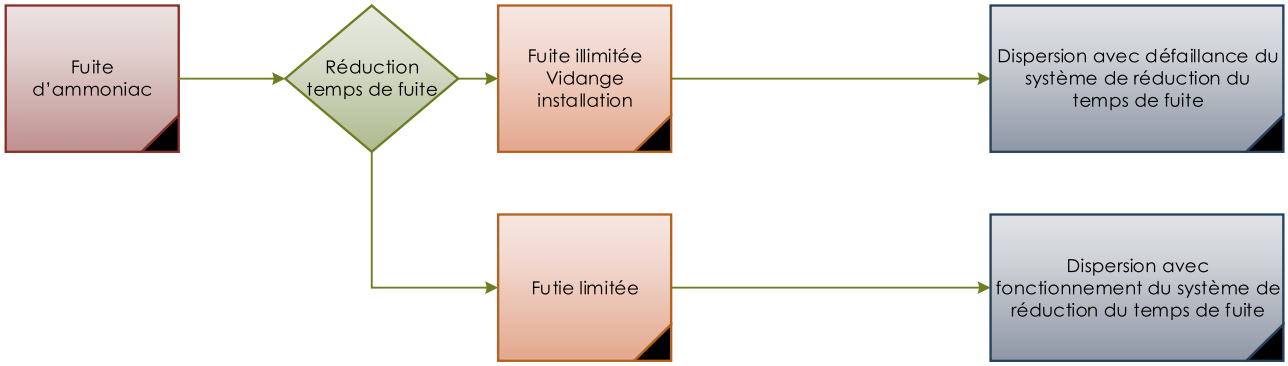
11.2.2. Evaluation de la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux

La probabilité de chaque phénomène dangereux de fuite toxique retenu pour les modélisations est évaluée en tenant compte :

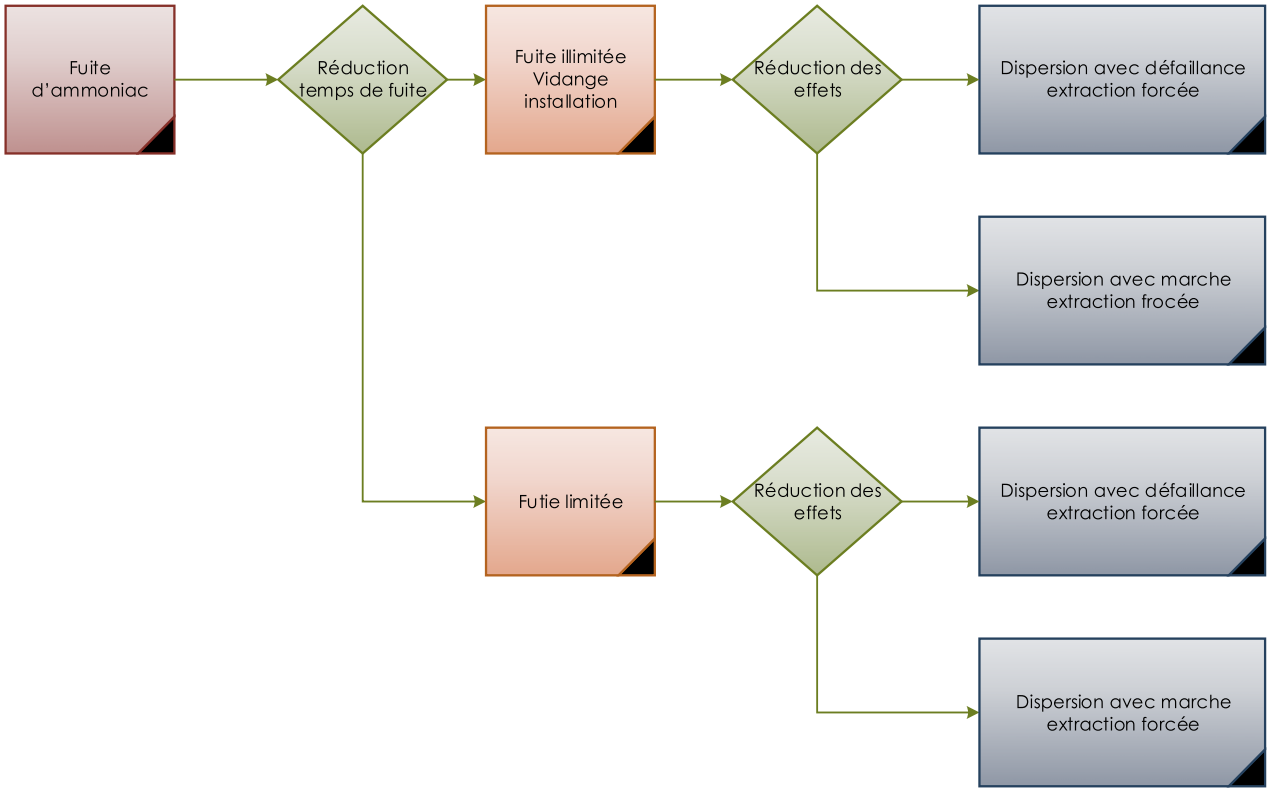
- De la fréquence de l'ERC (voir § 10.2.1)
- De la probabilité de défaillance des mesures de maîtrise des risques de limitation des effets (cf. § 10.2.3).

Des arbres de défaillance sont utilisés qui identifient les mesures de maîtrise des risques de limitation des effets :

- **Fuite d'ammoniac à l'extérieur :**



- **Fuite d'ammoniac dans la salle des machines :**



11.2.3. Méthodes d'évaluation des barrières de sécurité

Les barrières de sécurité de limitation des effets ont été évaluées en suivant les méthodologies décrites dans les deux référentiels disponibles sur le site internet de l'INERIS :

- Oméga 10^7 pour les barrières techniques de sécurité :
- Oméga 20^8 pour les barrières humaines de sécurité ; pour les barrières humaines de sécurité la fiche n°7 de la circulaire du 10 mai 2010 fournit également une méthodologie d'évaluation.

L'évaluation s'appuie sur les évaluations individuelles de chaque élément de la barrière (détection, traitement, action) mais c'est l'évaluation de la barrière globale qui est retenue dans les évaluations de probabilité des événements.

Les critères d'évaluation (communs aux barrières techniques et humaines) sont :

- **L'indépendance** : faculté d'une barrière, de par sa conception, son exploitation et son environnement, à ne pas dépendre du fonctionnement d'autres éléments et notamment d'une part d'autres barrières, et d'autre part, du système de conduite de l'installation, afin d'éviter les modes communs de défaillance ou de limiter leur fréquence d'occurrence.
- **L'efficacité** : capacité à remplir la mission/fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation
- **Le temps de réponse** : ce temps de réponse est inclus dans la cinétique de mise en œuvre d'une fonction de sécurité, cette dernière devant être en adéquation [significativement plus courte] avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser
- **Le niveau de confiance** : il traduit la fiabilité de la barrière ;
- **Le maintien des performances** des barrières (testabilité, maintenabilité).

Le mode commun de défaillance a été pris en compte dans les évaluations.

L'indépendance vis-à-vis des dispositifs de conduite pour les arrêts d'urgence et la mise en sécurité électrique des installations est mise en œuvre. L'évaluation des barrières est présentée en annexe.

⌦ L'**annexe 7** propose des tableaux synthétiques de mesures de maîtrise des risques.

Les NC retenus au terme de l'évaluation sont :

Dénomination barrières	Dispositif PASSIF	Dispositif ACTIF	Systèmes instrumentés de sécurité SIS		Temps de réponse *(secondes)*	NC
			Simple	Complexe		
Murs coupe-feu	X		Sans objet		1	2
Fermeture automatique des portes	X		Sans objet		1	2
Cuvette de rétention dans locaux	X		Sans objet		1	2
Cheminée d'extraction air ammoniaqué	X		Sans objet		1	3
Disposition du matériel à l'intérieur de locaux	X		Sans objet		1	3
Calcul des circuits selon normes en vigueur	X		Sans objet		1	3
Ventilateur d'extraction d'air ammoniaqué dans cheminée		X	Sans objet		30	3
Tour d'abattage NH3 dans laveur d'air		X	Oui		30	1
Pressostat de sécurité type double soufflet		X	Sans objet		1	3
Soupape de sécurité		X	Sans objet		1	3
Vannes de décharge en décompression		X	Sans objet		1	3
Clapet anti-retour		X	Sans objet		1	2
Bouton arrêt d'urgence		X	Sans objet		1	3
Niveau électrique de sécurité		X	Sans objet		1	2
Détecteur incendie avec capteurs		X	Oui		30	3
Détecteur NH3		X	Sans objet		15	3
Capteur NH3		X	Sans objet		1	2
Détecteur NH3 + capteurs		X	Oui		16	2
Ventilateur d'extraction d'air ammoniaqué dans cheminée secourue		X	Oui		30	2
Vanne motorisée électropneumatique à sécurité positive		X	Oui		1	2

11.2.4. Probabilité d'occurrence des PhD de dispersion toxique

La prise en compte des mesures de maîtrise des risques de limitation des effets conduit à identifier les PhD suivants dont la probabilité est évaluée comme expliqué précédemment :

⌦ L'**Annexe 11** montre le positionnement des PhD (scénarii) sur le circuit, et **l'Annexe 13** positionne physiquement la fuite dans le local.

Zone géographique	ERC	PhD retenus
Extérieur	Rupture guillotine de la tuyauterie HP	**Scénario 14, 24, 34 et 44** : Rupture guillotine d'un tube interne au condenseur.
	Relâchement des soupapes de sécurités	**Scénario 15, 25, 35 et 45** : Ouverture des soupapes de sécurité avec échappement via un collecteur en extérieur.
Edicule des condenseurs	Rupture guillotine de la tuyauterie HP en aval du condenseur	**Scénario 10, 20, 30 et 40** : Rupture guillotine de la tuyauterie vapeur haute pression HP en amont du condenseur. **Scénario 11, 21, 31 et 41** : Rupture guillotine de la tuyauterie liquide haute pression HP en aval du condenseur.
Salle des machines	Perte de confinement sur la bouteille MP/BP	**Scénario 12, 22, 32 et 42** : Rupture guillotine de la tuyauterie liquide basse pression BP en aval des pompes ammoniac. **Scénario 13, 23, 33 et 43** : Rupture guillotine de la tuyauterie liquide basse pression BP en amont des pompes ammoniac (installation à l'arrêt donc avec une pression élevée).

11.3. Evaluation des probabilités d'occurrence des explosions en zone confinée

Il n'est pas retenu d'explosion en cas de fuite à l'extérieur d'un local.

Une explosion en milieu confiné (salle des machines, utilisateurs) est possible.

La probabilité de l'explosion fait intervenir la fréquence de fuite dans le local (engendrant une concentration suffisante pour créer les conditions d'inflammabilité) et la probabilité de l'inflammation retardée.

La fréquence de fuite dans le local est détaillée dans l'annexe 9 dans le tableau 9.5.

La probabilité d'inflammation retenue est 10^{-2}.

Cette valeur est retenue car l'ammoniac est faiblement réactif et que des détecteurs d'ammoniac sont installés dans les lieux potentiels de fuite avec coupure des alimentations électriques non dimensionnées pour une utilisation en atmosphère explosible.

Perte d'utilité - Disfonctionnement de l'extracteur d'air ammoniaqué :

En cas de disfonctionnement de l'extracteur d'air ammoniaqué (Extracteur de sécurité) et présence d'une fuite d'ammoniac, le mélange air-ammoniac sortira par la cheminée d'extraction. En effet le local est étanche au niveau des grilles d'entrée d'air par la pose de grille à ventelles dynamiques coté intérieur, le sens du flux d'air ne peut être que de l'extérieur vers l'intérieur, alors qu'au niveau de l'extracteur un clapet s'ouvre vers l'extérieur. Donc sans extracteur, la fuite crée une surpression dans le local et fait ouvrir le clapet au niveau de ventilateur.

Le risque, sans extraction est donc une d'explosion de l'ammoniac. Ce risque est maitrisé par la détection (voir annexe 15), en effet il y a plusieurs détecteur NH3 dans la SDM (Voir NC = 3 ; justifié par le fait de la redondance + détecteur SIL (**S**afety **I**ntregrety **L**evel) + contrôle périodique sur l'étalonnage et la coupure des seuils. De plus on installera deux détecteur d'ammoniac ATEX 0/100% LIE avec un seuil d'avertissement prévenant du seuil d'explosivité (15 et 20%), pour avoir une lecture en cas de forte concentration d'ammoniac et donc l'anticipation d'une évacuation dans un périmètre de sécurité.

L'ensemble du système de détection, la ventilation de sécurité et l'éclairage de secours doivent répondre à la réglementation **ATEX** pour un classement en **Zone 2** (Présence de matières inflammables dans des conditions anormales pendant de courtes périodes uniques).

Les protections **IP6X** doivent être adaptées (presse-étoupe adapté), le câblage de l'ensemble doit être réalisé avec du câble pour **zone ATEX 2**.

Ammoniac (Groupe de gaz IIA, classement température T1).

11.4. Présentation des probabilités des phénomènes dangereux et des accidents majeurs

Le chapitre 13 présente des tableaux récapitulatifs des phénomènes dangereux et accidents majeurs en explicitant les intensités, les gravités, les probabilités d'occurrence et la cinétique.

12. Caractérisation de la cinétique des évènements

L'ensemble des phénomènes dangereux et accidents majeurs retenus dans la présente étude de dangers sont à cinétique rapide.

Il est à noter que l'adéquation de la cinétique de mise en œuvre des barrières de sécurité et de la cinétique des phénomènes dangereux conduisant aux accidents majeurs potentiels a été prise en compte.

Ainsi :

- Les barrières ont été retenues comme barrière de sécurité, sous réserve d'un temps de réponse compatible avec la cinétique des accidents ;
- Les temps de réponse des barrières de sécurité ont été pris en compte pour déterminer les intensités des phénomènes dangereux intégrant le fonctionnement des barrières (durée d'isolement, durée de démarrage de l'extraction forcée…).

13. Effets dominos

13.1. Effets dominos issus de la réfrigération à l'ammoniac

Une libération brutale d'ammoniac peut conduire à une montée en pression dans le local qui conduit à l'émission de bouffées au niveau du sol par les ouvertures (vantelles, interstices sous les portes…).

La mise en service de l'extracteur et les ouvertures dans le local SDM suffisent à éviter une montée en pression conduisant à un éclatement du local.

13.2. Effets dominos issus d'autres installations

Le seul effet domino possible, est un incendie des locaux avoisinant la SDM. C'est un risque qui est étudié dans le scénario n°15 dans la présente étude (Relâchement des soupapes de sécurité).

14. Bilan des phénomènes dangereux et des accidents majeurs

14.1. Tableau de synthèse des phénomènes dangereux et accidents majeurs

Ce chapitre synthétise les caractéristiques de l'ensemble des phénomènes dangereux et accidents majeurs identifiés dans l'étude de dangers. Par souci de simplification, un seul tableau a été retenu qui regroupe pour chaque phénomène dangereux et accident majeur associé :

- Les distances pour les seuils d'effets SELS, SEL, SEI et bris de vitre ;
- La gravité ;
- Les probabilités d'occurrence ;
- La cinétique.

Ces caractéristiques ont été évaluées dans les chapitres précédents.

PhD	Commentaires	Classe proba	Distances d'effet pour une hauteur cible de 1,8 m			Cinétique	Gravité
			SELS	SEL (Z1)	SEI (Z2)		
10 **20** **30** **40**	Rupture du collecteur en gaz HP entre compresseurs et les condenseurs dans l'édicule	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac pour arrêter **immédiatement** au 2ème seuil le fonctionnement de tous les circuits de la SDM et maintenir en service le ventilateur de l'extraction de l'édicule.	Modéré
11 **21** **31** **41**	Rupture du collecteur en gaz HP entre compresseurs et les condenseurs dans l'édicule	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac pour arrêter **immédiatement** au 2ème seuil le fonctionnement de tous les circuits de la SDM et maintenir en service le ventilateur de l'extraction de l'édicule.	Modéré

12 **22** **32** **42**	Rupture d'une canalisation liquide en dessous de la bouteille BP – Installation en fonctionnement	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac pour arrêter **immédiatement** au 2ème seuil le fonctionnement de tous les circuits de la SDM et maintenir en service le ventilateur de l'extraction.	Modéré
13 **23** **33** **43**	Rupture d'une canalisation liquide en dessous de la bouteille BP – Installation à l'arrêt	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac pour arrêter **immédiatement** au 2ème seuil le fonctionnement de tous les circuits de la SDM et maintenir en service le ventilateur de l'extraction.	Modéré
14 **24** **34** **44**	Rupture d'un tube à l'intérieur du condenseur en extérieur	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac (pH mètre) pour arrêter **immédiatement** au 2ème seuil le fonctionnement de tous les circuits de la SDM et maintenir en service le ventilateur de l'extraction.	Modéré
15 **25** **35** **45**	Relâchement des soupapes de sécurité	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Rejet à l'atmosphère via un collecteur* dont la sortie est à **14,0 m** de hauteur par rapport au niveau du sol. Détection d'ammoniac avec le capteur rejet soupapes. **Un périmètre de sécurité incendie serait également mis en place**.	Modéré

(*) le rejet des soupapes peut se faire dans le conduit de rejet de l'air ammoniaqué, à condition de respecter un rejet vertical et à au moins 1 m après l'extracteur d'air ammoniaqué – ou le rejet peut se séparément à une hauteur identique et aussi verticalement.

14.2. Positionnement des accidents dans la matrice des risques

Les risques sont positionnés suivant leurs criticités dans la matrice des risques ci-dessous. C'est le classement des criticités après préconisations.

La criticité (C) de la défaillance est donnée par le couple (Gravité ; Probabilité) de ces deux valeurs, la criticité peut donc varier de 11 à 55.

⌦ L'**annexe 5** apporte tous les détails sur l'analyse préliminaire des risques pour les systèmes 1 et 2 qui conduit au résultat ci-dessous, l'APR est basée sur une expérience concrète et mise à jour régulièrement.

Classement du nombre des criticités sans MMR (Mesures de Maitrise des Risques)

Gravité des conséquences sur les personnes exposées au risque	Probabilité (sens croissant de E vers A (note 1))				
	E (1)	D (2)	C (3)	B (4)	A (5)
Désastreux (5)	0 51	0 52	0 53	0 54	0 55
Catastrophique (4)	0 41	0 42	0 43	0 44	0 45
Important (3)	1 31	1 32	9 33	0 34	0 35
Sérieux (2)	1 21	4 22	6 23	9 24	0 25
Modéré (1)	0 11	9 12	13 13	26 14	2 15

Classement du nombre des criticités avec MMR (Mesures de Maitrise des Risques)

Gravité des conséquences sur les personnes exposées au risque	Probabilité (sens croissant de E vers A (note 1))				
	E (1)	D (2)	C (3)	B (4)	A (5)
Désastreux (5)	**0** 51	**0** 52	**0** 53	**0** 54	**0** 55
Catastrophique (4)	**0** 41	**0** 42	**0** 43	**0** 44	**0** 45
Important (3)	**0** 31	**0** 32	**0** 33	**0** 34	**0** 35
Sérieux (2)	**0** 21	**0** 22	**0** 23	**0** 24	**0** 25
Modéré (1)	**8** 11	**72** 12	**0** 13	**0** 14	**0** 15

**AM 10/05/2000 : Certains événements externes pouvant provoquer des accidents majeurs peuvent ne pas être pris en compte dans l'étude de dangers et notamment comme ici l'actes de malveillance*

L'étude de dangers démontre que les conditions d'acceptabilité sont satisfaites après mise en place des mesures.

Les scénarii sont positionnés suivant leurs criticités dans la matrice des risques ci-dessous. C'est le classement des criticités **après mise en place des MMR** (**M**esures de **M**aitrise des **R**isques).

Gravité des conséquences sur les personnes exposées au risque	**Probabilité (sens croissant de E vers A (note 1))**				
	E (1)	**D (2)**	**C (3)**	**B (4)**	**A (5)**
Désastreux (5)	51	52	53	54	55
Catastrophique (4)	41	42	43	44	45
Important (3)	31	32	33	34	35
Sérieux (2)	21	22	23	24	25
Modéré (1)	**Scénario** 11 14 21 24 31 34 41 44 11	**Scénarii** 11 12 13 14 15 21 22 23 24 25 31 32 33 34 35 41 42 43 44 45 12	13	14	15

14.3. Phénomènes dangereux pour le Porter à Connaissance

Les phénomènes dangereux permettent d'élaborer le Porter à Connaissance (cf. Circulaire du 4 mai 2007).

Les phénomènes dangereux étudiés et maitrisés dans cette EDD maintenus pour le Porter à Connaissance sont les suivants :

PhD	Désignations
10 **20** **30** **40**	Rupture du collecteur en **gaz HP** entre compresseurs et les condenseurs dans l'édicule (au niveau d'une vanne ou accessoire)
11 **21** **31** **41**	Rupture du collecteur en **liquide HP** à la sortie du condenseur dans l'édicule (au niveau d'une vanne ou accessoire) – scénario Majorant voir résultat avec PHAST version 8.22 en Annex 14
12 **22** **32** **42**	Rupture d'une canalisation **liquide** en dessous de la bouteille BP – Installation en fonctionnement
13 **23** **33** **43**	Rupture d'une canalisation **liquide** en dessous de la bouteille BP – Installation à l'arrêt (à l'arrêt avec une élévation de la pression) - scénario Majorant voir résultat avec PHAST version 8.22 en Annex 14
14 **24** **34** **44**	Rupture d'un tube à l'intérieur du condenseur en extérieur
15 **25** **35** **45**	Relâchement des soupapes de sécurité (cas d'incendie)

15. Références

Les références utilisées dans l'étude et ses annexes sont les suivantes :

1 AFF, *Installations frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac – leur impact sur l'environnement – Guide d'étude des risques technologiques,* avril 1999.
2 AFF et ADEME, *Guide des bonnes pratiques pour les installations frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac*, février 2003.
3 Ministère de l'environnement, *l'Ammoniac et la réfrigération*, SEI/BARPI ED0389, février 1995 et son complément 2002.
4 CSST (Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec), *Systèmes de réfrigération fonctionnant à l'ammoniac, mesures de prévention*, 2ème édition, 2009.
5 Article EPA – CEPP – *Hazards of ammonia releases at ammonia refrigeration facilities (update)* – August 2001.
6 HSE, Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments – (FRED), 28 juin 2012.
7 LNE, Handboek Faalfrequenties (Handboek Kanscijfers – AMINAL), *guide* méthodologique, 2009.
8 RIVM, Reference manual BEVI risk assessment (Purple book), 2009
9 RIVM report n° 620100003/2005 - P.A.M. Uijt de Haag. Distance table for ammonia cooling plants, 2005.
10 ICSI, Résumé des travaux du groupe de travail « fréquence des événements initiateurs d'accidents et disponibilité des barrières de protection et de prévention », juillet 2006.
11 SINTEF, OREDA (Offshore Reliability Database).
12 BARPI, Retour d'expérience – L'ammoniac et la réfrigération, SEI/BARPI ED0389, février 1995.
13 INERIS, Rapport □-19 – Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA-35) – Détermination des grandeurs caractéristiques du terme source nécessaires à l'utilisation d'un modèle de dispersion atmosphérique des rejets accidentels, INERIS-DRA-2005- P46055-C51706, novembre 2006.
14 BONNET P. et LACOME J-M., Experimental study of accidental industrial LPG releases rain-out investigation, 40th Loss Prevention Symposium, Florida, 2006.
15 BOUET R., Ammoniac – Essais de dispersion atmosphérique à grande échelle, INERIS DRA-RBo-1999-20410, 1999.
16 BOUET R, DUPLANTIER S. et SALVI O., *Ammonia large scale atmospheric dispersion experiments*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 18, pg 512-519, 2005.
17 GENTILHOMME O., DRA-72: Experimental results of liquefied ammonia releases in a congested environment, DRA-12-95340-01141A, 2012.
18 UFIP, Guide méthodologique UFIP pour la réalisation des études de dangers en raffineries, stockages et dépôts de produits liquides et liquéfies, vol1, juillet 2002.
19 UIC, Emission à la brèche, Débit en phase gazeuse, Débit en phase liquide, Formation et vaporisation des flaques, Cahier de sécurité n°11, 1987.
20 ANDERSON J.D., Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications, McGraw Hill, 1995.
21 FERZIGER J.H. et PERIC M., Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer Verlag, 1999.

16. Liste des annexes

Annexe 1 : Description des installations de réfrigération à l'ammoniac

Annexe 2 : Caractéristiques de l'ammoniac

Annexe 3 : Optimisation de la quantité d'ammoniac

Annexe 4 : Accidentologie des installations de réfrigération : synthèse et exemples d'accidents caractéristiques

Annexe 5 : Tableaux d'analyse préliminaire des risques (APR)

Annexe 6 : Bonnes pratiques et mesures de sécurité : Rappel des exigences des textes réglementaires et de la norme NF EN 378

Annexe 7 : Evaluation des mesures de maitrise des risques : Tableau de synthèse des évaluations

Annexe 8 : Caractérisation de l'intensité

Annexe 9 : Analyse détaillés des risques (ADR) - Arbres d'évènements génériques

Annexe 10 : Répartition de charge d'ammoniac

Annexe 11 : Schéma de principe frigorifique

Annexe 12 : Principe de ventilation de la SDM

Annexe 13 : Répartition des zones à risques

Annexe 14 : Scenario – version PHAST 8.22

Annexe 15 : Etude préalable d'implantation des détecteurs NH3

Annexe 16 : Complément MMR CO2

Atlantic Refrigeration Consulting

Annexe 1

Description des installations de réfrigération à l'ammoniac

Frédéric LE BRONNEC
23/02/2021

Table des matières

Glossaire 3

1. Principe d'une installation de réfrigération – Ammoniac et autres fluides frigorigènes 4

1.1. Principes 4

1.2. Schéma de principe d'une installation de réfrigération 6

1.3. Fluides frigorigènes 6

1.4. Pressions et température de l'ammoniac dans le cycle 8

2. Différents types d'installations de réfrigération fonctionnant avec l'ammoniac 9

2.1. Systèmes mono-étagés ou bi-étagés 9

2.1.1. Système mon-étagés 9

2.1.2. Système bi-étagés 10

2.2. Position du condenseur 10

2.3. Système direct ou indirect coté froid 10

2.4. Différents types d'installations de réfrigération ammoniac 11

2.4.1. Classement suivant les températures d'évaporation 11

2.4.2. Classement suivant le système de distribution des fluides 11

2.4.3. Classement suivant le mode de condensation 12

2.4.4. Classement suivant le nombre d'étages de compression 12

2.4.5. Classement par type d'installation (8 applications principales) 12

2.5. Quelques caractéristiques importantes 19

2.5.1. Quantité totale d'ammoniac 19

2.5.2. Répartition entre les installations HP, MP et BP 19

2.5.3. Rechargement en ammoniac 19

2.5.4. Débits d'ammoniac dans le circuit HP et BP 20

3. Caractéristiques des principaux équipements 21

3.1. Compresseurs 21

3.1.1. Principe des compresseurs 21

3.1.2. Séparateur d'huile 22

3.1.3. Sécurité sur le compresseur 22

3.2. Condenseur 23

3.2.1. Condenseur à air 23

3.2.2. Condenseur adiabatique à médias 24

3.2.3. Condenseur évaporatif 24

3.2.4. Condenseur à eau 24

3.3. Purgeur d'incondensables 24

3.4. Réservoir de liquide HP 25

3.5. Détendeur 25
3.6. Séparateur de liquide MP 25
3.7. Séparateur de liquide BP 26
3.8. Evaporateur 26
3.8.1. Principe 26
3.8.2. Dégivrage 27
3.8.3. Aéroréfrigérant 27
3.9. Systèmes de distribution de l'ammoniac 27
3.9.1. Systèmes à détente directe 27
3.9.2. Systèmes à détente indirecte 28

Glossaire

AFF	Association Française du Froid
APR	Analyse Préliminaire de Risques
BARPI	Pureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels
BP	Basse Pression
EDD	Etude de Dangers
ERC	Evènement Redouté Central
ERP	ERP Etablissement Recevant du Public
HP	Haute Pression
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
MMR	Mesure de Maîtrise des Risques
MP	Moyenne Pression
NC	Niveau de Confiance
PhD	Phénomène Dangereux
POI	
PPRT	Plan de Prévention des Risques Technologiques
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuil des Effets Létaux
SELS	Seuil des Effets Létaux Significatifs
SIL	Safety Integrity Level
TMD	TMD Transport de Marchandises Dangereuses
USNEF	USNEF Union Syndicale Nationale des Exploitations Frigorifiques

1. Principe d'une installation de réfrigération – Ammoniac et autres fluides frigorigènes

ⓘ Cette annexe décrit le principe des installations de réfrigération à l'ammoniac et donne des informations sur les équipements constituant les installations.

Les informations sont issues de différents documents (dont réf. [1], [2], [3]) et d'échanges avec l'AFF.

1.1. Principes

Une installation de réfrigération doit assurer le maintien d'un milieu à une basse température. La température requise varie en fonction des utilisations finales qui peuvent être variées (stockage, entreposage de denrées, pistes de patinoire, refroidissement de réacteurs en chimie…). L'installation est soumise à autorisation au titre des installations classées.

On regroupe les installations en trois grandes catégories :

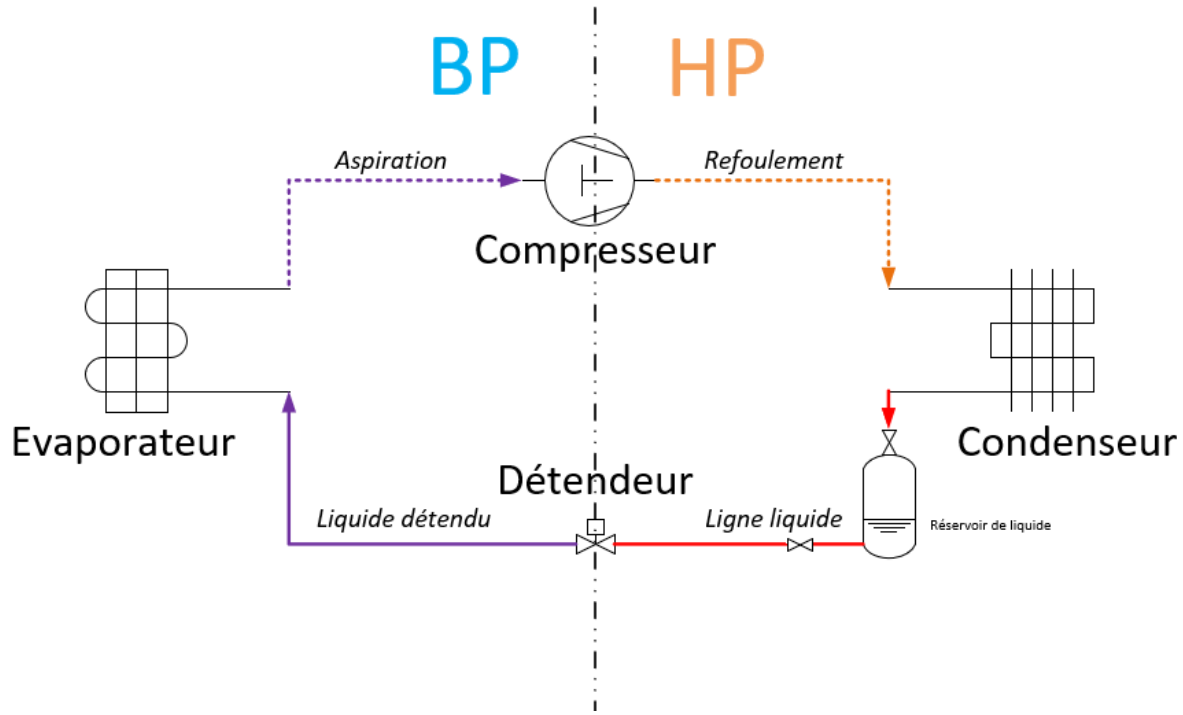
Utilisation	Systèmes	Température requise
Surgélation / Congélation	Basse ou moyenne température	-50°C à -25°C
Réfrigération (négative)	Haute température	-10°C à 0°C
Réfrigération (positive)	Très haute température	> 0°C

On s'intéresse dans ce guide aux installations de réfrigération fonctionnant avec de l'ammoniac comme fluide frigorigène mais il existe d'autres fluides qui sont utilisables en fonction des températures requises.

L'ammoniac présente l'avantage de couvrir tout le champ des températures d'utilisation. C'est un fluide naturel qui n'a pas d'impact sur le réchauffement climatique ou la couche d'ozone. Il existe cependant des freins à son développement du fait notamment de son caractère toxique et de son caractère faiblement inflammable. Cette annexe présente d'autres fluides utilisables en fonction des besoins de froid. La réduction du risque à la source peut conduire à mettre en œuvre des systèmes multi-fluides combinant ammoniac et autres fluides jugés moins dangereux, selon le contexte.

La production de froid est assurée au niveau d'un évaporateur situé dans un système à refroidir : tunnel de surgélation, chambre froide, etc. Un liquide frigorigène, plus froid que le milieu à refroidir, est évaporé dans cet évaporateur. Le fluide suit ensuite un cycle frigorifique avec compression, condensation et détente.

Le schéma de principe d'une installation est représenté figure suivante :



Le choix des caractéristiques de l'installation (températures et pressions) est imposé par les températures de la source froide et celles de la source chaude.

Evaporateur : la température d'évaporation du fluide doit être plus basse que celle du milieu à refroidir ; selon les températures de froid à maintenir le côté BP du système sera de 0,7 bar abs à 5 bars abs ; à noter qu'en phase d'arrêt d'installation, l'ammoniac est ramené dans le ballon séparateur et la pression est celle correspondante à la température ambiante, soit environ 8 bars abs.

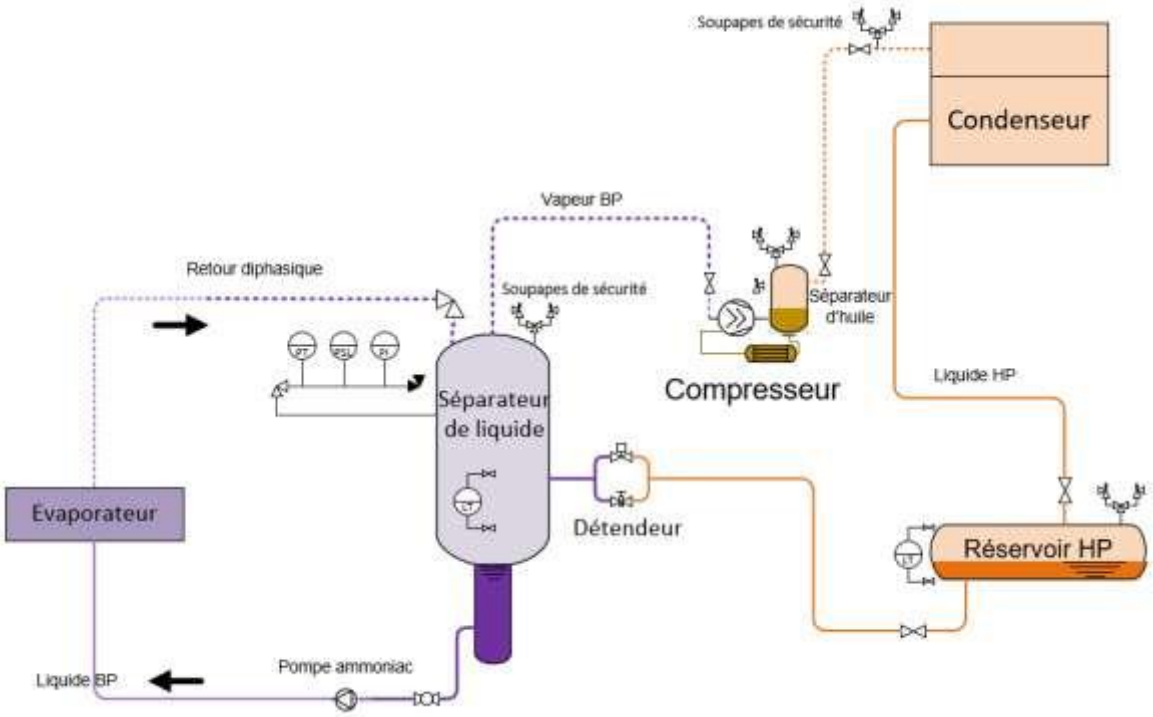
Condenseur : la température de condensation doit être plus élevée que celle du milieu constituant la source chaude. Selon les sources de refroidissement (eau ou air) et les saisons (température de l'air variable), la pression côté HP sera de 8 bars abs à 13,5 bars abs.

Compresseur : le fluide est comprimé dans un compresseur en recevant de l'énergie ; la pression et la température de fin de compression permettent d'assurer ensuite l'échange avec la source chaude au niveau du condenseur.

Détenteur : le fluide est détendu ; sa pression diminue ; il commence à se vaporiser.

1.2. Schéma de principe d'une installation de réfrigération

Le schéma ci-dessous présente un exemple d'installation de réfrigération à l'ammoniac.



1.3. Fluides frigorigènes

Les fluides frigorigènes sont des fluides chimiques purs ou en mélanges utilisés dans les circuits frigorifiques. Leur choix par le frigoriste dépend d'un certain nombre de critères :

- Thermodynamiques, thermiques et technologiques ;
- Écologiques vis-à-vis de l'environnement ; les effets des fluides frigorigènes sur l'environnement se mesurent par deux paramètres :
    - La capacité de destruction de la couche d'ozone : ODP (Ozone Depletion Potential) ;
    - Le réchauffement climatique : GMP (Global Warming Potential) ;
- De sécurité vis-à-vis des personnes et des biens.

Les fluides historiques sont les fluides dits naturels : ammoniac, CO2 et SO2.

Les fluides de synthèse (CFC, HCFC, HFC) sont apparus beaucoup plus tard, dans les années 1930 jusqu'à maintenant encore pour les fluides de nouvelle génération :

- Les Chlorofluorocarbures (CFC) : R11, R12, R502… ;
- Les Hydro Chlorofluorocarbures (HCFC) : R22… ;
- Les Hydrofluorocarbures (HFC) : R134a, R404A, R407C ou R410A.
- Les HFO.

Suite aux Protocole de Montréal (1987) et de Kyoto (1997), l'usage des fluides à base de chlore (CFC et HCFC) a été progressivement limité à cause de leur impact sur la couche d'ozone et sur le réchauffement climatique. Or la part des HCFC dans les installations est importante, comme le montre le tableau ci-dessous :

Fluide	Répartition
HCFC	45%
Ammoniac (R717)	45%
CO2 (R744)	10%

De nombreuses installations sont donc en cours de conversion posant ainsi la question des fluides de substitution. Les HFC présentent un fort taux GWP et ne sont donc pas recommandés à long terme. Ils font l'objet d'une nouvelle réglementation européenne[1] qui prévoit leur interdiction progressive.

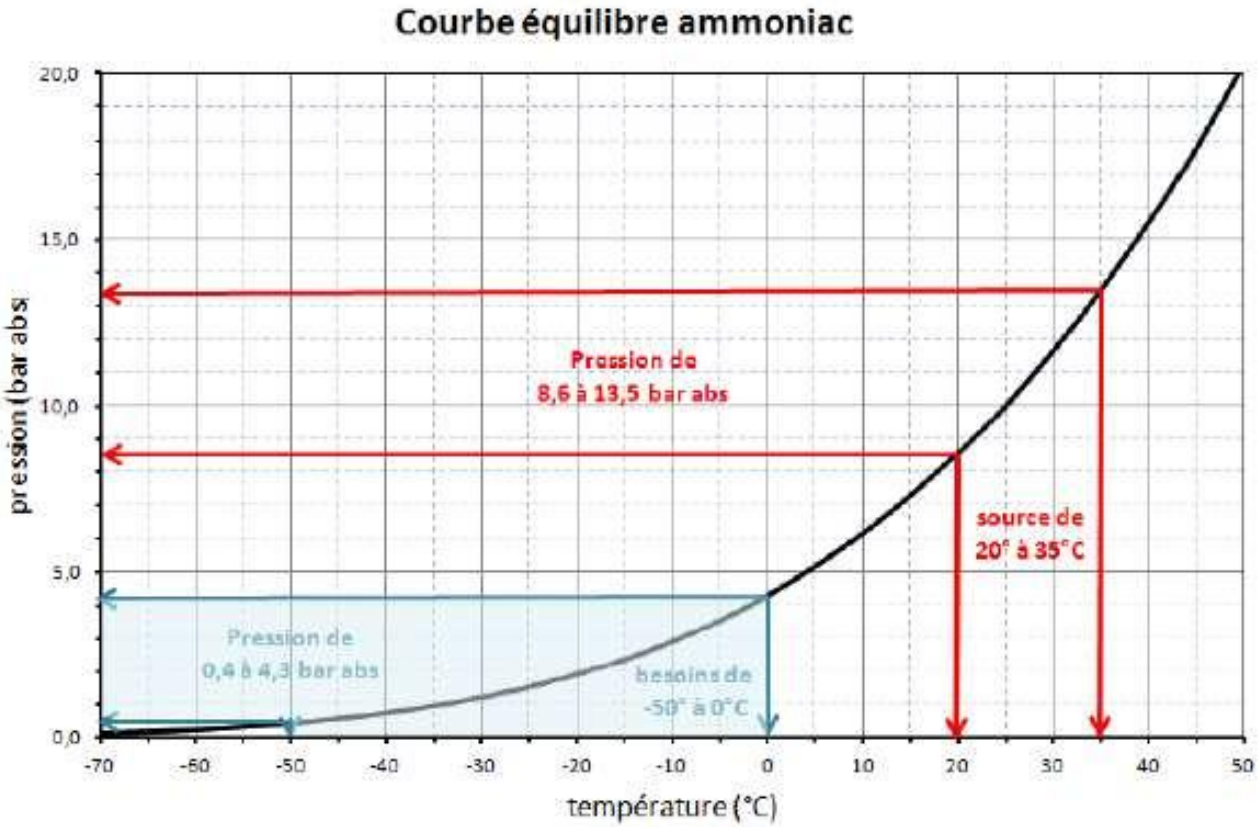
Pour limiter les quantités d'ammoniac, les installations peuvent être composées de différents circuits : circuit primaire et circuits secondaires avec des fluides différents adaptés aux besoins. On parle aussi d'installations en cascade.

1.4. Pressions et température de l'ammoniac dans le cycle

Comme précisé précédemment, le choix des caractéristiques du cycle frigorifique (pressions et températures) dépend des températures de la source froide et de la source chaude. La figure ci-dessous représente la courbe d'équilibre de l'ammoniac.

Pour des besoins de -50°C à 10°C, la pression côté BP est de 0,5 bar abs à 5 bars abs.

Pour des températures de fluide côté source chaude (eau ou air) de 18°C à 35°C, la pression côté BP est de 8 à 13,5 bars abs.



2. Différents types d'installations de réfrigération fonctionnant avec l'ammoniac

Les installations de réfrigération à l'ammoniac se distinguent par plusieurs aspects :

- Systèmes monoétagés ou bi-étagés ;
- Position du condenseur ;
- Systèmes directs ou indirects.

2.1. Systèmes mono-étagés ou bi-étagés

Si la différence de pression entre le côté BP et le côté HP est important, deux étages de compression peuvent être nécessaires. En pratique, en cas de systèmes bi-étagés, l'installation sera composée de deux compresseurs (BP -> MP et MP -> HP) avec refroidissement intermédiaire dans un ballon MP ou d'un seul compresseur avec admission à deux niveaux de pression (BP et MP) ; on parle dans ce dernier cas de système « superfeed ». Si l'écart de pression n'est pas trop important, un seul compresseur est nécessaire (BP-HP).

2.1.1. Système mon-étagés

Ces systèmes trouvent des applications dans les domaines suivants :

2.1.1.1. Systèmes mono-étagés à détente sèche

Ces systèmes trouvent des applications dans les domaines suivants :

- Froid domestique et commercial ;
- Petit industriel (jusqu'à 50 kW frigorifique).

2.1.1.2. Système mono-étagés à recirculation

Ces systèmes trouvent des applications dans les domaines suivants :

- Froid industriel positif ;
- 100 kW – 1 MW frigorifique.

2.1.1.3. Systèmes mono-étagés à frigoporteurs

Ces systèmes trouvent des applications dans les domaines suivants :

- Froid industriel positif et grosse climatisation ;
- 100 kW – 1 MW frigorifique ;
- Ratio classique : 1-2 kg de fluide par kW frigorifique.

2.1.2. Système bi-étagés

2.1.2.1. Systèmes bi-étagés à injection partielle ou totale et distribution par pompe

Ces systèmes trouvent des applications dans les domaines suivants :

- Froid industriel négatif (-40°C), chambres froides, certains surgélateurs (dont plaques) ;
- 100 kW – 1 MW.

2.1.2.2. Autres systèmes

Des systèmes avec un seul compresseur avec admission à deux niveaux de pression (BP et MP) ; on parle dans ce dernier cas de système « superfeed ».

2.2. Position du condenseur

Le condenseur peut être installé en salle des machines ou à l'extérieur de la salle des machines. La position dépend du fluide utilisé pour la condensation.

- Des condenseurs de type aéro (fonctionnant par refroidissement par air éventuellement couplé avec de l'eau) sont nécessairement à l'extérieur ; l'inconvénient majeur de cette configuration est que les effets sont majorés en cas de fuite. Une des pratiques de réduction du risque est de confiner ces condenseurs en changeant de fluide (eau exclusivement utilisée à la place de l'air) ou a minima de capoter les collecteurs d'entrée et sortie d'ammoniac (cf. annexe 3) ;

- Des condenseurs fonctionnant par refroidissement par eau : ces condenseurs peuvent être installés à l'intérieur de la salle des machines.

2.3. Système direct ou indirect coté froid

Le refroidissement du milieu à refroidir peut s'effectuer soit directement soit indirectement.

Système direct : le milieu à refroidir est en contact avec l'évaporateur où se vaporise le fluide frigorigène (ammoniac) produisant le froid ; le refroidissement direct est beaucoup utilisé dans les industries agroalimentaires pour la réfrigération, la congélation et le stockage à des températures supérieures à 0°C. L'inconvénient de ce type de refroidissement est que l'ammoniac BP n'est pas confiné en salle des machines.

Système indirect : le refroidissement est indirect lorsque le transfert par un fluide intermédiaire (fluide frigoporteur) circulant dans un circuit fermé (circuit frigoporteur) est utilisé. Un système d'échangeur de chaleur entre l'ammoniac et le fluide frigoporteur (eau glycolée, saumures, alcali…) est utilisé. Ce type de refroidissement permet de confiner l'ammoniac BP à la salle des machines.

2.4. Différents types d'installations de réfrigération ammoniac

Les installations peuvent être classées selon différents critères tels que température d'évaporation, système de distribution de l'ammoniac, mode de condensation, nombre d'étages de compression et bien entendu selon les différentes applications. L'ammoniac, utilisé comme fluide frigorigène, est confiné en permanence à l'intérieur des circuits du système ci avant référencé de l'installation frigorifique dont l'ensemble peut être classé comme suit, (*en fonction du référentiel guide retour d'expérience SEI/BARPI EDO 389 de février 1995*).

2.4.1. Classement suivant les températures d'évaporation

Systèmes	Températures (°C)	Applications
T1 – Basse température	< -35 à -50	Surgélation
T2 – Moyenne température	-20 à -35	Stockages surgelés
T3 – Haute température	> -20 à +5	Réfrigération
T4 – Très haute température	To > +10, Tk < +70	P.A.C. haute température

2.4.2. Classement suivant le système de distribution des fluides

D1 - Détendeur thermostatique ou électronique : système peu utilisé dans l'industrie, mais pouvant avoir des applications en groupe de refroidissement de liquide, P.A.C. et installations commerciales ou petits industriels (abattoirs).

D2 - Par gravité : à partir de bouteilles BP alimentées par détendeur à flotteur, le débit circulant peut être de 6 à 8 fois le débit vaporisé, la pression est sensiblement la même que la pression d'évaporation, les tuyauteries de liaison ont des diamètres équivalents. Toutes les applications qui suivent sont généralement confinées dans des bâtiments.

- De nombreuses chambres froides de petites et moyennes dimensions renferment des évaporateurs à ailettes alimentés par gravité par des bouteilles individuelles (chambres à fruits, abattoirs).
- Evaporateurs de tunnels de réfrigération ou de congélation alimentés par bouteilles individuelles (tunnels à yaourts, lits fluidisés, etc.).
- Evaporateurs immergés dans des bacs à eau glacée ou saumure alimentés par bouteille de surchauffe (laiteries, fabriques de glace, etc.).
- Evaporateurs multitubulaires alimentés par détendeur à flotteur (refroidisseurs d'eau ou d'eau glycolée pour brasseries, etc.).

D3 - Par pompe basse pression : à partir d'une bouteille alimentaire dont le liquide est détendu par un détendeur à flotteur HP ou BP, le débit de liquide de la pompe est de 4 à 10 fois le débit vaporisé et la pression de refoulement est de 3 à 4 b supérieure à la pression d'aspiration. Les tuyauteries de liaison peuvent être longues, de diamètres importants, et sont confinées dans les bâtiments. Certaines sections peuvent circuler à l'air libre sur un portique. Les applications sont de plus en plus nombreuses (tunnels de réfrigération ou de congélation, armoires à plaques de congélation, grandes chambres froides).

2.4.3. Classement suivant le mode de condensation

C1 - Par voie aérienne :

- Condenseur à air : il est installé à l'extérieur sauf dans le cas des P.A.C., le condenseur et le sous-refroidisseur sont alors intégrés dans le procédé.
- Evapo-condenseur (extérieur) : le réservoir se situe généralement en sortie de liquide.

C2 - Par eau :

- Condenseur multitubulaire horizontal (à l'extérieur ou à l'intérieur).
- Condensateur vertical à ruissellement (extérieur).

2.4.4. Classement suivant le nombre d'étages de compression

E1 - Groupes à un seul étage : écart de température (Tk - T0) inférieur à 50°K.

E2 - Groupes à 2 étages : écart de température (Tk - T0) supérieur à 50°K.

2.4.5. Classement par type d'installation (8 applications principales)

Différents exemples de schémas mono-étagés ou bi-étagés sont présentés ci-dessous. La nature des circuits dépend des besoins de froid. *Selon le guide AFF (cf. réf. [1])*, il existe 7 grands types d'installation correspondant à 7 applications.

- **A1** : refroidisseur de liquide (toutes industries agroalimentaires, climatisation…)
- **A2** : pistes de patinage
- **A3** : bac à glace ou eau glacée (laiteries, climatisation...)
- **A4** : chambres à produits réfrigérés
- **A5** : chambres à produits congelés
- **A6** : chambres et systèmes de réfrigération
- **A7** : chambres et systèmes de congélation

Points communs sur la partie HP

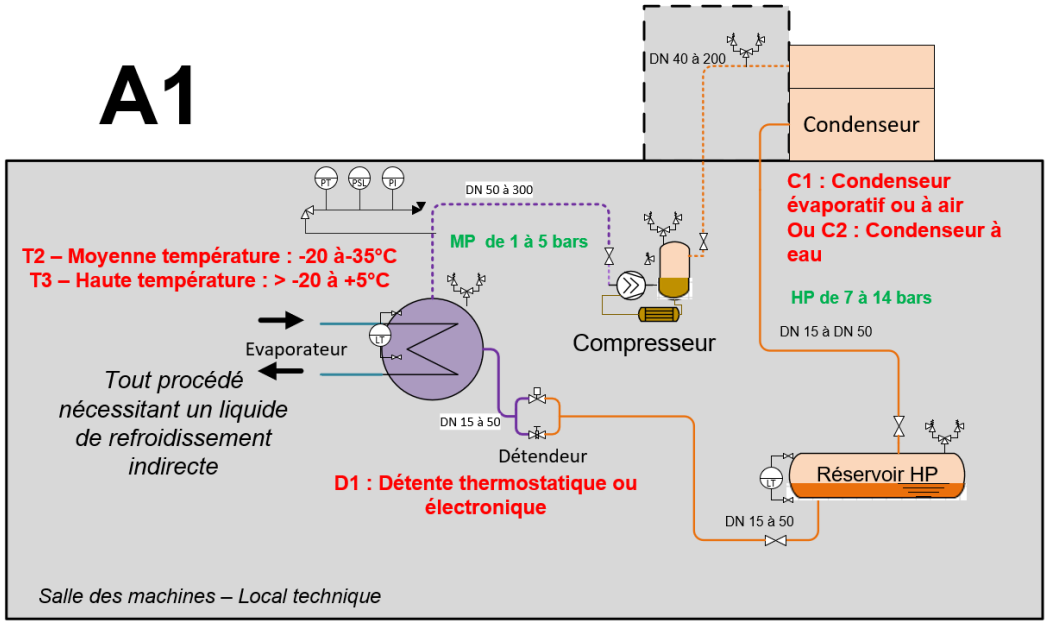
Un compresseur mono-étagé est suffisant pour assurer la montée en pression. En pratique, la pression au refoulement du compresseur peut-être plus élevée que celle indiquée sur les schémas, pour assurer la condensation en période de chaleur ; ainsi, en été, la pression au refoulement du compresseur peut atteindre 13,5 bars abs (correspondant à une température d'équilibre de +35°C).

Les schémas font apparaître des condenseurs évaporatifs ou de type multitubulaire ; ces derniers tendent à disparaitre pour être remplacés par des échangeurs à plaques. Ceux-ci permettent de limiter la quantité d'ammoniac présente dans l'installation.

Le condenseur peut se trouver dans la salle des machines s'il s'agit d'un échangeur multitubulaire ou à plaques ; dans le cas d'un condenseur évaporatif, il est nécessairement à l'extérieur de la salle des machines.

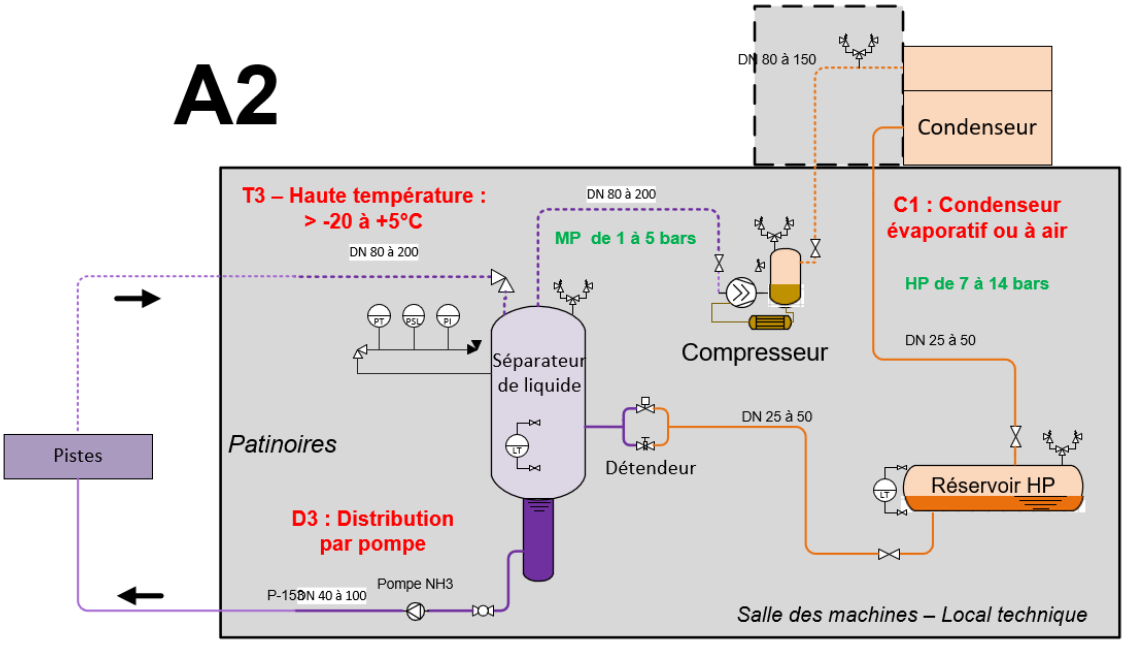
Le réservoir de liquide HP ne se trouve pas dans toutes les configurations. Elle tend à disparaitre, ce qui réduit la quantité d'ammoniac HP dans les installations.

A1 : refroidisseur de liquide (toutes industries agroalimentaires, climatisation…)



L'évaporateur se situe dans la salle des machines. A l'heure actuelle se sont des installations en monobloc avec des charges d'ammoniac très réduites.

A2 : pistes de patinage

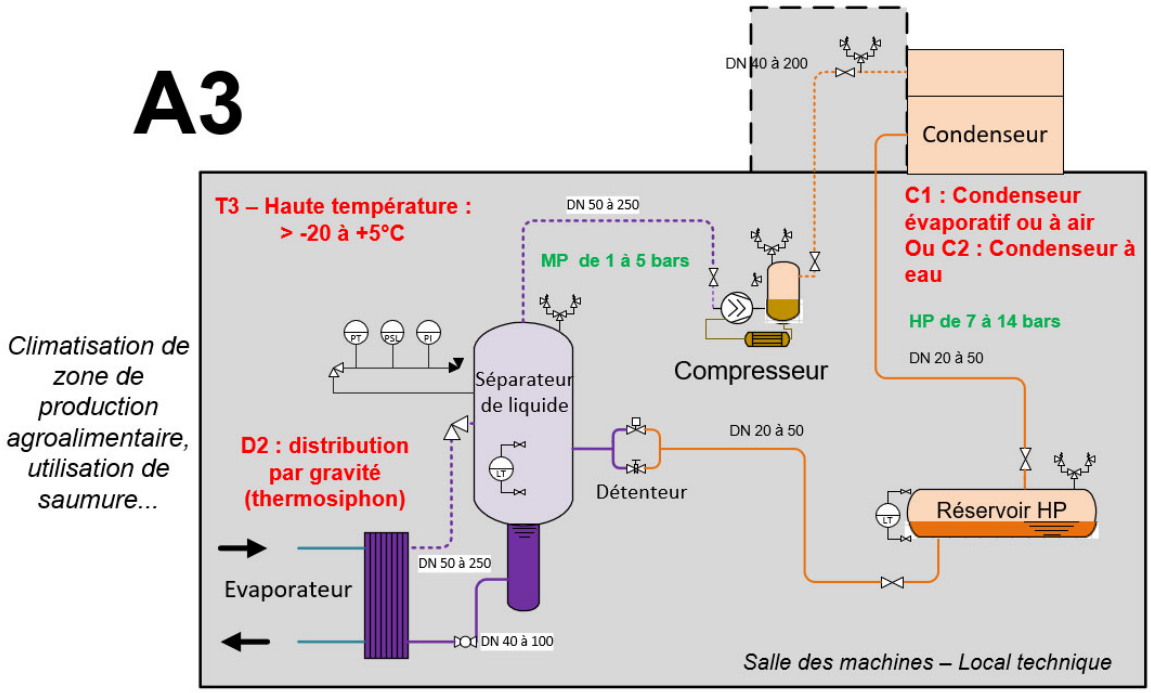


Le schéma des pistes de patinage est proche du schéma classique relatif aux chambres à produits réfrigérés. L'utilisateur (piste de patinage) est situé à l'extérieur de la salle des machines. Les pistes sont alimentées en ammoniac via une pompe en aval de la bouteille BP.

L'ammoniac n'étant pas confiné à la salle des machines, des fuites sont possibles le long des cheminements de tuyauteries ou au niveau des utilisateurs.

Note : cette configuration tend à disparaître, l'ammoniac étant remplacé par un autre fluide (alcali ou eau glycolée). Selon la quantité d'ammoniac, ce schéma peut ne pas être autorisé par la norme NF EN 378 (limitation de la charge en cas d'évaporateur dans des zones occupées).

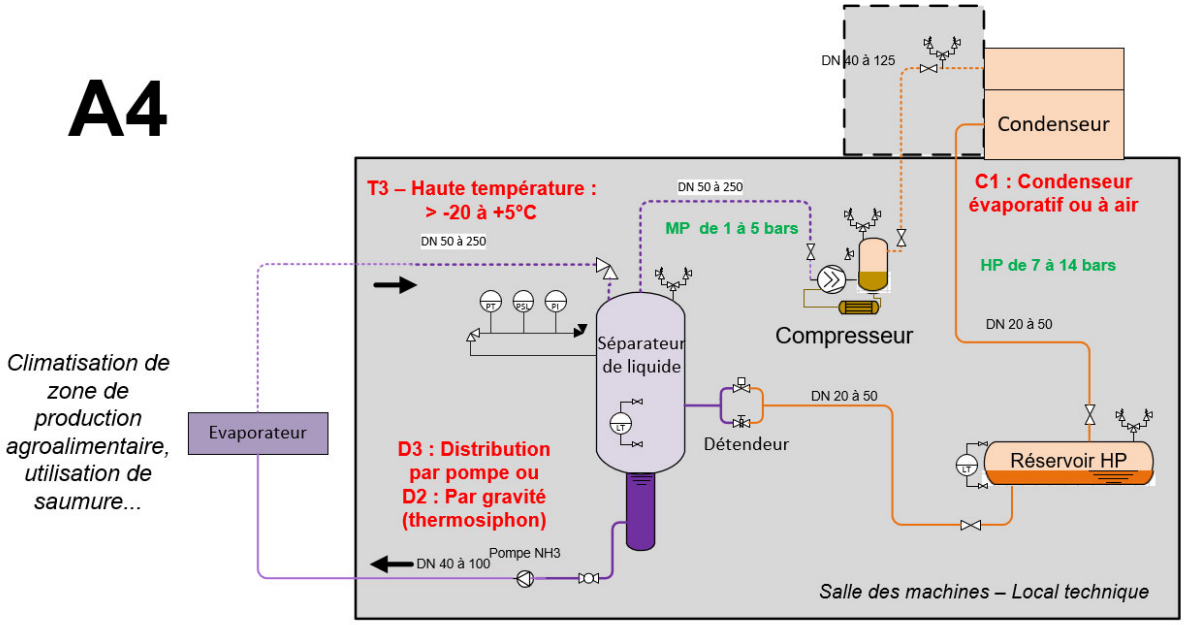
A3 : bac à glace ou eau glacée (laiteries, climatisation...)



Ce schéma fait apparaître des échangeurs côté utilisateurs de type « bacs à glace ou eau glacée » (composés de « herses ») qui tendent à disparaitre pour être remplacées par des échangeurs à plaques ou des ruisseleurs (plaques ouvertes). Ces derniers permettent ainsi de limiter la quantité d'ammoniac présente dans l'installation. Les percements de tubes sur les « herses » (identifiés dans l'accidentologie) sont ainsi évités.

L'évaporateur se situe dans la salle des machines.

A4 : chambres à produits réfrigérés

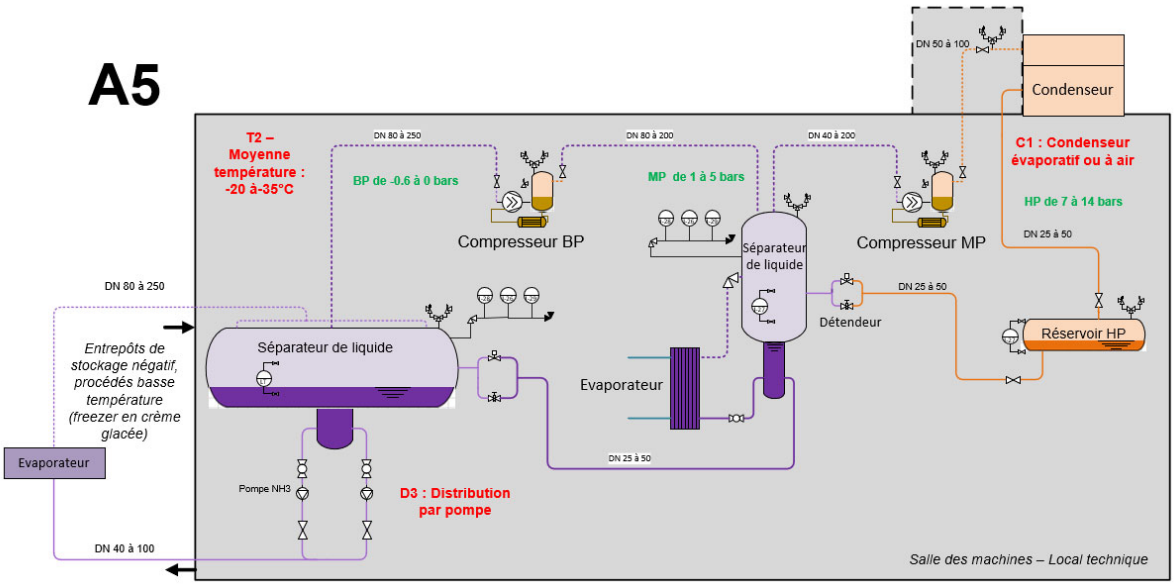


Ce schéma est une configuration classique dans lequel les utilisateurs (chambres froides) sont situés à l'extérieur de la salle des machines. Ils sont alimentés en ammoniac via une pompe en aval de la bouteille BP.

L'ammoniac n'étant pas confiné à la salle des machines, des fuites sont possibles le long des cheminements de tuyauteries (souvent en combles techniques) ou au niveau des utilisateurs.

La préoccupation de réduction du risque à la source peut conduire dans les configurations critiques en termes d'enjeux à une modification progressive de ces systèmes avec passage en système indirect (Système à l'eau glycolée).

A5 : chambres à produits congelés

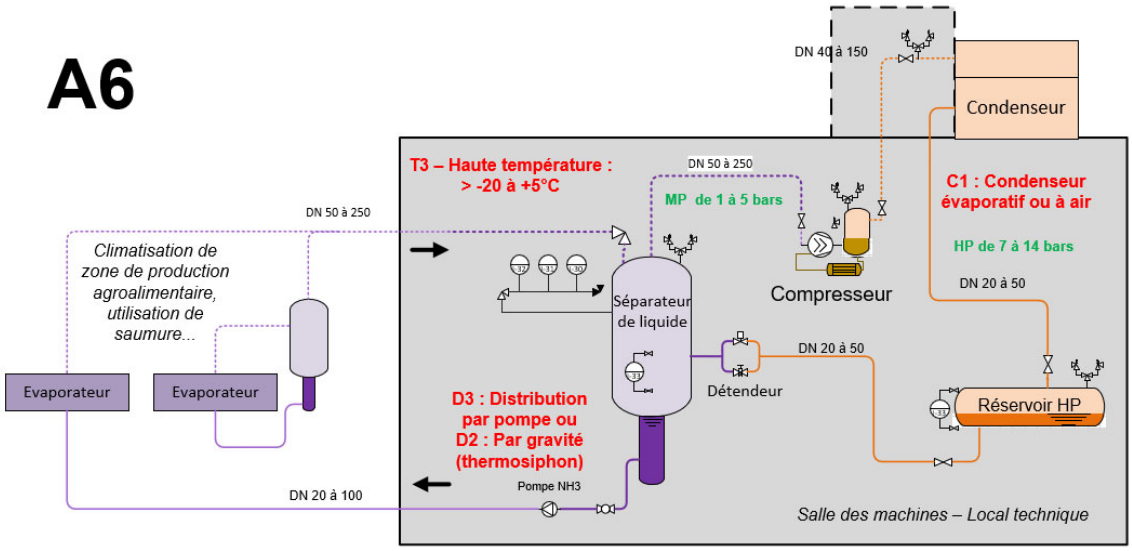


Ce schéma est un schéma classique dans lequel les utilisateurs (chambres froides) sont situés à l'extérieur de la salle des machines. Ils sont alimentés en ammoniac via une pompe en aval de la bouteille BP. L'ammoniac n'étant pas confiné à la salle des machines, des fuites sont possibles le long des cheminements de tuyauteries (souvent en combles techniques) ou au niveau des utilisateurs.

La volonté de réduction du risque à la source conduit à une modification progressive de ces systèmes avec passage en systèmes indirects.

Des systèmes dits « superfeed (économiseur) » permettent d'assurer le taux de compression avec un seul niveau de compression ; dans ce cas, le compresseur est alimenté à deux niveaux de pression : BP et MP.

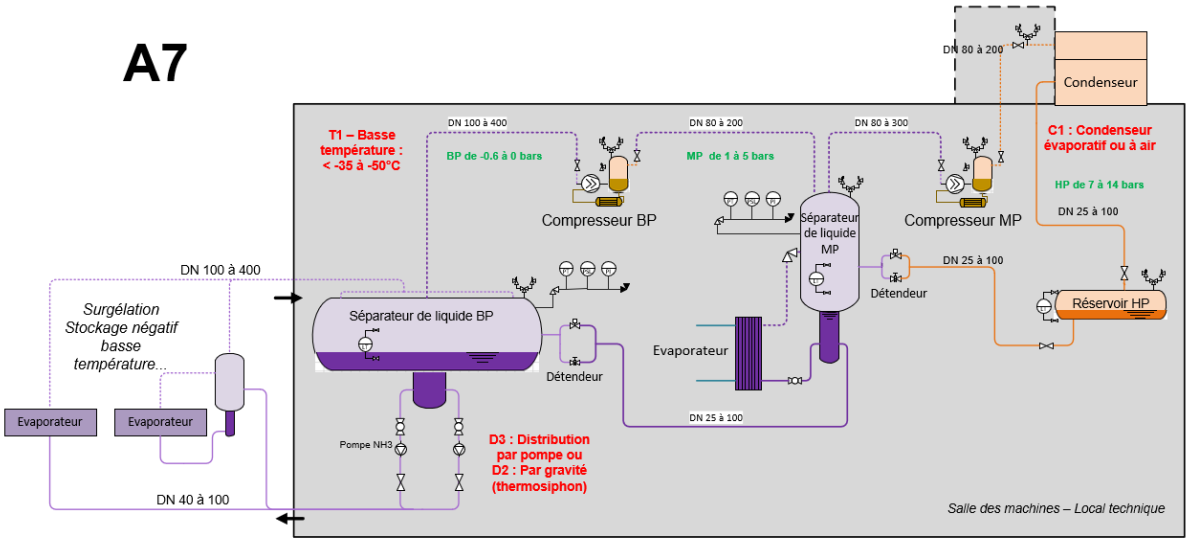
A6 : chambres et systèmes de réfrigération



Ce schéma n'est plus utilisé actuellement car il met en œuvre des échangeurs noyés directement alimentés par des bouteilles BP locales ; ces bouteilles sont alors à l'extérieur de la salle des machines. L'ammoniac n'est pas confiné dans la salle des machines et des quantités relativement importantes peuvent se situer dans les bouteilles locales.

La volonté de réduction du risque à la source conduit à la suppression de ces systèmes.

A7 : chambres et systèmes de congélation



Ce système est identique au précédent A5 dans son principe. La position verticale ou horizontale de la bouteille ne dépend que de la géométrie de la salle des machines et des contraintes d'installation / exploitation.

La volonté de réduction du risque à la source conduit à une modification progressive de ces systèmes avec passage en systèmes indirects.

Un 8ème groupe « A8 » constitué par les pompes à chaleur air/air à haute températures n'est pas schématisé ici.

Le tableau de synthèse suivant reprend toutes les installations visées ci-dessus en y associant les différents critères de classement présentés.

Application	Evaporation	Distribution	Condensation	Etages
A1	T2 ou T3	D1	C1 ou C2	1 ou 2
A2	T3	D3	C1	1
A3	T3	D2	C1 ou C2	1
A4	T3	D2 ou D3	C1	1
A5	T2	D3	C1	2
A6	T3	D2 ou D3	C1	1
A7	T1	D2 ou D3	C1	2
A8	T4	D1	C2	1 ou 2

2.5. Quelques caractéristiques importantes

Ce chapitre présente des valeurs guides de caractéristiques des installations. Elles sont fournies pour apporter des éléments de comparaison et de réflexion avec l'installation étudiée. Les valeurs réelles sont à adapter au cas par cas.

2.5.1. Quantité totale d'ammoniac

Les installations de réfrigération d'ammoniac contiennent des quantités de plus en plus réduites d'ammoniac, dans un objectif de réduction du risque à la source.

Il y a une trentaine d'années, des installations (telles que des brasseries) pouvaient contenir plusieurs dizaines de tonnes d'ammoniac. A ce jour plus de 90% des installations contiennent moins de 3,5 tonnes d'ammoniac. Il reste encore des systèmes avec de grandes quantités d'ammoniac. La durée de vie de telles installations est de 30 à 40 ans.

Un ratio de 2 à 2,5 kg d'ammoniac par kW frigorifique (pour un besoin de froid à -25°C) est usuel dans les installations et correspond à une installation bien conçue. Ce ratio (moyen) est différent selon les installations :

- En particulier, il augmente lorsque la température des besoins diminue : pour des besoins de -10°C, le ratio est de l'ordre de 0,5 à 1 kg par kW frigorifique ;
- Il diminue dans le cas d'installations en cascade (utilisant partiellement d'autres fluides que l'ammoniac).

2.5.2. Répartition entre les installations HP, MP et BP

Un ordre de grandeur de la répartition d'ammoniac dans les différentes parties du système est donné dans le tableau ci-dessous :

Pressions	Répartition massique d'ammoniac
HP	5%
MP	10%
BP	85%

Tableau 3 : Ordre de grandeur de la répartition de l'ammoniac dans une installation.

Ceci est une généralité, il conviendra d'étudier précisément la répartition de la charge d'ammoniac pour l'étude.

2.5.3. Rechargement en ammoniac

Les opérations usuelles d'exploitation des installations (vidange d'huile tous les 15 jours à 1 mois, purge des incondensables[2], nettoyage des filtres à huile des compresseurs…) conduisent à des opérations de rechargement d'ammoniac sur les installations.

Le taux de rechargement d'ammoniac annuel « normal » est de l'ordre de 3% de la quantité maximale d'ammoniac. Le rechargement est effectué classiquement tous les ans ou tous les 2 ans. La procédure de rechargement est généralement effectuée en connectant une bouteille de 43 kg à l'installation, via un flexible.

Le taux dépend des technologies retenues :

- Sur les nouvelles installations, l'huile est réintégrée de manière automatique vers le compresseur, ce qui limite la quantité d'ammoniac perdue ;

- Les installations fonctionnant à des pressions basses (exemple des installations de production de glace) peuvent avoir des entrées d'air plus importantes. L'utilisation de désaérateurs avec purges automatiques permet de limiter la quantité d'ammoniac perdue, sous réserve d'un bon réglage. A défaut, le taux de rechargement peut atteindre 15%.

Le poste de chargement comprend une prise avec un robinet (avec vanne à contrepoids) et un raccord en attente. Mais la position de ce poste varie d'une installation à l'autre. Le raccord permet la liaison par flexible (diamètre < 25 mm) à une bouteille d'ammoniac liquide (43 kg). Un clapet anti-retour est installé côté installation (pour éviter le retour d'ammoniac de l'installation vers les bouteilles).

Note : pour le remplissage initial de l'installation, des containers d'ammoniac (450 kg) sont généralement utilisés.

2.5.4. Débits d'ammoniac dans le circuit HP et BP

Le débit dans la partie HP du système est déterminé par le débit du compresseur. Ce débit varie selon les installations. L'ordre de grandeur est de 0,1 à 0,5 kg/s (soit de 360 à 1800 kg/h).

Le débit dans la partie BP du système est déterminé par le débit des pompes de circulation à l'aval des bouteilles BP. Ce débit varie selon les installations. L'ordre de grandeur du débit est de 0,5 à 1,5 kg/s (soit de 1800 à 5400 kg/h).

3. Caractéristiques des principaux équipements

3.1. Compresseurs

3.1.1. Principe des compresseurs

L'objectif des compresseurs est :

- D'aspirer les vapeurs formées dans l'évaporateur ;
- De comprimer le gaz jusqu'à la pression de condensation ;
- De refouler les vapeurs jusqu'au condenseur.

Il existe deux grandes catégories de compresseurs : les volumétriques et les centrifuges. Les compresseurs centrifuges ne sont pas utilisés pour l'ammoniac. Seuls sont utilisés les compresseurs volumétriques qui peuvent être à pistons, à vis et à spirales ou à palettes.

Selon les installations, ces compresseurs sont équipés d'un système de régulation de puissance.

Selon le taux de compression requis, la compression pourra s'effectuer en un ou deux étages. Si l'écart de pression entre la « basse pression » et la « haute pression » est de plus de 14 bars, deux étages de compression peuvent être requis, selon la technologie des compresseurs :

- Un compresseur à vis simple étage peut être utilisé ; mais un refroidissement de l'huile sera nécessaire (forte montée en température) ;
- Deux étages sont théoriquement nécessaires pour des compresseurs à pistons. Mais des systèmes dits « superfeed » existent dans lesquels le seul compresseur est alimenté en deux niveaux : un étage BP et un étage MP.

Lorsque l'installation fonctionne en HP flottante en régulation, la pression au refoulement est variable selon la température de bulbe humide. Cette régulation permet d'optimiser le rendement des installations.

Un groupe compresseur (cf. réf. [1]) est un ensemble comprenant un compresseur, son moteur d'entrainement et des accessoires, pré-assemblés en usine sur un châssis commun. On trouve trois types de compresseurs :

- **Motocompresseur hermétique** (carter étanche, non démontable… ; pas de parties mobiles sortant du carter) ;
- **Motocompresseur hermétique** accessible (carter étanche avec des joints boulonnés permettant le démontage en service ; de parties mobiles sortant du carter) ;
- **Motocompresseur ouvert** : le compresseur et le moteur ne sont pas dans le même carter. Il y a donc une garniture d'étanchéité à la sortie du compresseur. Ces compresseurs sont employés dans les industries de moyenne ou grande puissance (installation industrielle, tunnel de surgélation…). L'entrainement est assuré par un accouplement entre le compresseur et son moteur qui peut être :
    - Soit direct (nécessite un alignement précis) ;
    - Soit par transmission par courroie à l'aide de poulies.

3.1.2. Séparateur d'huile

Un séparateur d'huile est une capacité se trouvant au refoulement du compresseur et permettant de séparer l'huile utilisée pour la lubrification du compresseur et le fluide frigorigène. Cette séparation est nécessaire pour l'ammoniac car ce fluide est peu miscible avec l'huile.

Cependant l'huile ne peut pas être totalement séparée ; elle se retrouve partiellement dans le circuit frigorifique.

Un refroidisseur d'huile est indispensable pour refroidir l'huile qui s'échauffe dans le compresseur, en particulier pour les compresseurs à vis (qui tournent très vite). Le refroidissement peut être de 4 types :

- Par injection directe du fluide frigorigène sur le compresseur ;
- Par un échangeur refroidi par l'air ;
- Par un échangeur refroidi par l'eau ;
- Par un échangeur refroidi par le fluide frigorigène ou thermo-siphon.

3.1.3. Sécurité sur le compresseur

Les principales sécurités sur un compresseur sont les pressostats BP et HP, une soupape sur le séparateur d'huile, un pressostat différentiel de pression d'huile.

La réglementation relative aux compresseurs est constituée de trois textes en vigueur :

L'arrêté du 15 janvier 1962 (modifié en 1966 et 1983) : « réglementation des compresseurs volumétriques » ; y sont soumis les compresseurs d'ammoniac lorsque les conditions suivantes sont requises :

- Pression refoulement Pr > 10 bars ;
- Et produit « pression refoulement » par « débit de refoulement en m3/minute » : Pr x Vr > 50 bars.m3/minute.

Les marches conventionnelles sont :

- Aspiration P0 = pression de saturation à -10°C ;
- Refoulement PMS = pression de saturation à +40°C.

Les organes de sécurité suivants doivent être présents :

- Manomètres en aval de chaque étage et au refoulement ; si de plus le compresseur n'aspire pas à la pression atmosphérique, il doit être muni d'un manomètre de contrôle de la pression d'aspiration et d'un dispositif signalant toute diminution dangereuse de cette pression ;
- Organe de sécurité limitant la pression (soupapes…) ;
- Dispositif approprié pour éviter l'apparition d'une surpression dangereuse dans les carters des compresseurs à piston et assurer éventuellement l'évacuation du débit de fluide susceptible de pénétrer dans ces carters ;

Note : par ailleurs, la norme NF EN 378 conseille le pressostat haute pression.

D'autre part, si les compresseurs aspirent plus de 2 m³/mn, ils doivent satisfaire aux conditions ci-après :

- « a) Le taux de compression volumétrique de chaque étage ne doit pas dépasser 4 ; […
- c) Le refoulement doit être équipé d'un refroidisseur déshuileur ; […]
- e) Si le refroidissement intermédiaire ou final est réalisé à l'eau et en l'absence d'un dispositif thermostatique d'arrêt, il doit être conçu et aménagé de façon que le personnel de conduite soit immédiatement averti de toute interruption de la circulation de l'eau. »

L'arrêté du 25 avril 1979 : « interdiction d'emploi de certains compresseurs frigorifiques » ; hormis les compresseurs hermétiques, les compresseurs frigorifiques volumétriques doivent être munis d'un dispositif anti-coup de liquide.

L'arrêté du 26 juillet 1962 : « réglementation des compresseurs autres que volumétriques ». Les compresseurs à l'ammoniac (volumétriques) ne sont pas concernés par ce texte.

3.2. Condenseur

L'objectif du condenseur est :

- D'évacuer la chaleur fournie par le compresseur et les évaporateurs ;
- De condenser l'ammoniac.

La condensation varie en fonction de la température ambiante. Ainsi, la pression est généralement régulée en fonction de la température ambiante, ce qui permet de réduire la pression lors des basses températures et d'améliorer le rendement de l'installation.

Les principales sécurités relatives au condenseur sont des sécurités visant à vérifier la marche du condenseur (niveau d'eau et marche pompe) et à limiter la surpression (soupapes).

- **Il y a trois types de condenseur** :
  - Condenseur à air sec ;
  - Condenseur adiabatique à médias ;
  - Condenseur évaporatif (air + eau) ;
  - À eau (généralement associé à une tour de refroidissement).

Le choix du mode de condensation dépend de différents facteurs (fluide utilisé, puissance de l'installation, conditions climatiques locales, fourniture et prix de l'eau).

3.2.1. Condenseur à air

Il s'agit d'échangeurs possédant des tubes à ailettes de petit diamètre intérieur (environ 15 mm).

Ces échangeurs présentent des inconvénients :

- Non confinement de l'ammoniac (l'échangeur est nécessairement placé à l'extérieur) ;

- Dimensionnement devant tenir compte de la température maximale de l'air en été (qui peut être importante), ce qui peut conduire à des pressions plus élevées qu'avec les autres types de condenseurs.

3.2.2. Condenseur adiabatique à médias

Les condenseurs adiabatiques à médias humidifiés sont de même technologie que les simples condenseurs à air. Ils ont une particularité de fonctionnement avec une humidification d'un média. L'humidification permet un refroidissement basé sur la température de bulbe humide de l'air.

3.2.3. Condenseur évaporatif

La condensation s'effectue dans un condenseur de type évaporatif à ruissellement d'eau refroidi par air.

Ces échangeurs présentent des inconvénients :

- Non confinement de l'ammoniac (l'échangeur est nécessairement placé à l'extérieur) ;
- Problème de légionellose possible.

3.2.4. Condenseur à eau

Les condenseurs à eau peuvent être de deux technologies :

- Échangeur à plaques ;
- Échangeur tubes et calandres

Ces échangeurs présentent l'avantage de pouvoir être installés à l'intérieur. Les échangeurs étant plus compacts, ils sont préférentiellement installés car ils permettent aussi de réduire la capacité d'ammoniac dans l'échangeur.

L'échange de chaleur se faisant avec de l'eau, la température de condensation est réduite avec ces échangeurs à eau.

Mais il est ensuite nécessaire de refroidir l'eau qui s'est échauffée en condensant l'ammoniac. L'eau est alors refroidie sur des aéroréfrigérants (système fermé) ou sur des tours de refroidissement (système ouvert avec problème de légionellose potentiel).

3.3. Purgeur d'incondensables

Des gaz incondensables s'accumulent dans la partie HP du circuit et conduisent à une montée en pression au condenseur et au refoulement du compresseur. Des purgeurs automatiques doivent assurer la purge du circuit sans rejet d'ammoniac.

3.4. Réservoir de liquide HP

Le réservoir de liquide HP, contenant le liquide sous « haute pression », est installée en aval du condenseur. Son rôle est d'assurer une capacité tampon entre la quantité provenant du condenseur et celle nécessaire à l'évaporateur pour la production de froid (cas d'absence de ballon séparateur BP).

Dans le cas particulier des compresseurs à vis, ce réservoir peut également être utilisé pour assurer le refroidissement d'huile.

Le réservoir de liquide HP présente un potentiel de danger important, la tendance actuelle est, dans la mesure du possible, de les supprimer.

3.5. Détendeur

Il s'agit d'un organe de détente avec un orifice calibré en fonction d'une puissance frigorifique, et destiné à faire passer le fluide frigorigène de la pression de condensation à une pression inférieure. Selon les installations, cette pression peut être :

- Une pression intermédiaire ou « moyenne pression » ;
- Une pression d'évaporation ou « basse pression ».

Le réglage de cet organe conditionne le fonctionnement des installations. Cet organe de détente peut être un détendeur, un régleur, un flotteur ou un purgeur. C'est un organe qui peut être de type électronique et associé à une régulation de niveau des séparateurs de liquide.

3.6. Séparateur de liquide MP

Il s'agit d'un réservoir de fluide frigorigène sous forme liquide et vapeur et se trouvant à « moyenne pression ». Il peut s'agir de :

- Une bouteille intermédiaire en cours de compression d'une installation à deux niveaux de compression ;
- Une capacité tampon pour distribution à température moyenne (réfrigération, climatisation…) ;
- Une capacité séparatrice liquide-vapeur ;
- Une bouteille de sur-alimentation pour une installation avec un compresseur à vis se nommant aussi « superfeed » ou « économiseur ».

Rôle : Assurer le sous refroidissement du liquide MP avant détente vers la BP. Cette bouteille assure également la séparation entre la phase liquide et la phase vapeur de l'ammoniac à l'intérieur de la capacité formée par la bouteille MP, afin de permettre aux compresseurs de n'aspirer que des vapeurs sèches par l'orifice économiseur. Assurer une réserve de liquide pour les systèmes fonctionnant en thermosiphon (flood).

3.7. Séparateur de liquide BP

La bouteille « basse pression » assure un rôle de capacité tampon pour la distribution par pompes en basse température (congélation, surgélation…). Elle assure une réserve de charge en cas de fluctuation de régime.

La bouteille BP est dimensionnée pour recueillir le volume total de liquide en fonctionnement normal et aussi en phase de maintenance.

Elle assure également la séparation liquide-vapeur. Elle permet d'éviter l'aspiration de liquides (y compris gouttelettes) au niveau du compresseur. Seules les vapeurs saturantes sont aspirées au compresseur.

Elle assure aussi la séparation de l'huile de l'ammoniac. L'huile s'accumule en fond des capacités. Une purge (manuelle avec robinet à contrepoids ou automatique avec retour à l'aspiration des compresseurs) permet de récupérer l'huile.

Un pot de récupération d'huile séparé du ballon peut exister si la pression dans le séparateur BP est inférieure à la pression atmosphérique.

3.8. Evaporateur

3.8.1. Principe

C'est un échangeur thermique dans lequel le fluide frigorigène liquide, après détente ou abaissement de sa pression partielle, est évaporé en prélevant de la chaleur dans un milieu à refroidir. Ce type de production de froid se nomme détente directe (échangeur ammoniac dans le milieu à refroidir, sans fluide intermédiaire).

Les évaporateurs sont de trois types :

- Ouverts (cubiques ou double flux) avec ou sans diffuseurs, sur les installations de réfrigération, les quais climatisés, les chambres froides de petite taille ;
- Fermés (caissons) pour les chambres froides de grande taille ;
- Refroidisseurs de fluide pour d'autres applications (multitubulaires, coaxiaux, plaques…). On trouve des échangeurs multitubulaires de trois types :
    - Les évaporateurs immergés : constitués de tubes lisses contenant l'ammoniac, reliés par des collecteurs, et immergés dans un bac en acier ou en béton ; l'accumulation de froid s'effectue par la formation de glace sur les tubes. La circulation d'eau permet la restitution du froid en fonction des besoins. Ces échangeurs contiennent une quantité importante d'ammoniac, ce qui tend à en réduire l'utilisation ;
    - Les évaporateurs multitubulaires « secs » ou « à surchauffe » ou « dry-ex » : l'ammoniac est vaporisé dans les tubes. Il se pose le problème de l'accumulation d'huile dans l'évaporateur, ce qui nécessite l'emploi d'huile miscible avec l'ammoniac ;

- Les évaporateurs multitubulaires « noyés » ou « à regorgement » : l'ammoniac circule dans la calandre ; un collecteur recueille les vapeurs et assure la séparation des gouttelettes avant envoi au compresseur. L'huile doit être purgée régulièrement par des robinets à contrepoids, des systèmes automatiques avec retour direct vers les compresseurs ou par des systèmes avec pot intermédiaire dans le cas où la pression dans l'évaporateur est inférieure à la pression atmosphérique.

3.8.2. Dégivrage

Les évaporateurs doivent être dégivrés. Il existe quatre types principaux de dégivrage : par air, par eau, par gaz chauds, électrique (cannes chauffantes ou air chaud à convection forcée).

3.8.3. Aéroréfrigérant

Il s'agit d'un échangeur thermique dans lequel circule un fluide frigoporteur préalablement refroidi et qui absorbe de la chaleur au milieu extérieur sans changement d'état (exemple : eau glycolée). Ce type de production de froid s'appelle « échange indirect ».

3.9. Systèmes de distribution de l'ammoniac

L'alimentation de l'évaporateur est assurée par deux types de systèmes :

- Les systèmes à détente directe : les évaporateurs « secs » ou « à surchauffe » sont directement alimentés en frigorigène par un détendeur placé à leur entrée ; une certaine surchauffe (3°C à 8°C) des vapeurs est assurée en sortie pour avoir de la vapeur sèche en sortie d'évaporateur ;
- Les systèmes à détente indirecte : le système est alimenté par thermosiphon ou pompes BP.

3.9.1. Systèmes à détente directe

Détendeur thermostatique

Ce système est constitué par un corps de robinet renfermant un orifice calibré obturé par un pointeau dont la position dépend de la pression d'aspiration et de la surchauffe du fluide frigorigène. Pour diverses raisons (difficulté de réglage, givrage important, mauvaises adaptations aux fluctuations de charge…), ce système est peu utilisé pour l'ammoniac.

Détendeur multi orifices

Le principe est le même que le détendeur thermostatique sauf qu'il est composé de trois orifices permettant une meilleure adaptation aux fluctuations de charges. Ce système est également peu utilisé pour l'ammoniac.

Détendeur électrique

La section de passage de l'orifice est constante mais les durées d'ouverture et fermeture sont gérées par un régulateur électrique en fonction des deux paramètres : température de surchauffe et température d'évaporation.

Ce type de détendeur permet une fluctuation des charges et sert aussi de robinet électrique d'arrêt.

Il est utilisé pour l'ammoniac mais une protection du compresseur (piège à liquide) est nécessaire et la récupération de l'huile est également requise.

Les applications sont :

- Évaporateurs refroidisseurs d'air ;
- Évaporateurs refroidisseurs de liquide de type intra tubulaire ;
- Évaporateurs à plaques.

3.9.2. Systèmes à détente indirecte

Par système thermosiphon gravitaire diphasique ou « regorgement »

Un ballon séparateur basse pression de liquide est placé en charge au-dessus des évaporateurs. Le liquide basse pression est envoyé dans les évaporateurs par une tuyauterie verticale ; les vapeurs et liquides en excès (mélange diphasique) retournent au séparateur. La séparation du liquide et des vapeurs est assurée dans le ballon séparateur.

Ce système nécessite que les différents évaporateurs soient situés dans une même enceinte, avec des charges thermiques identiques.

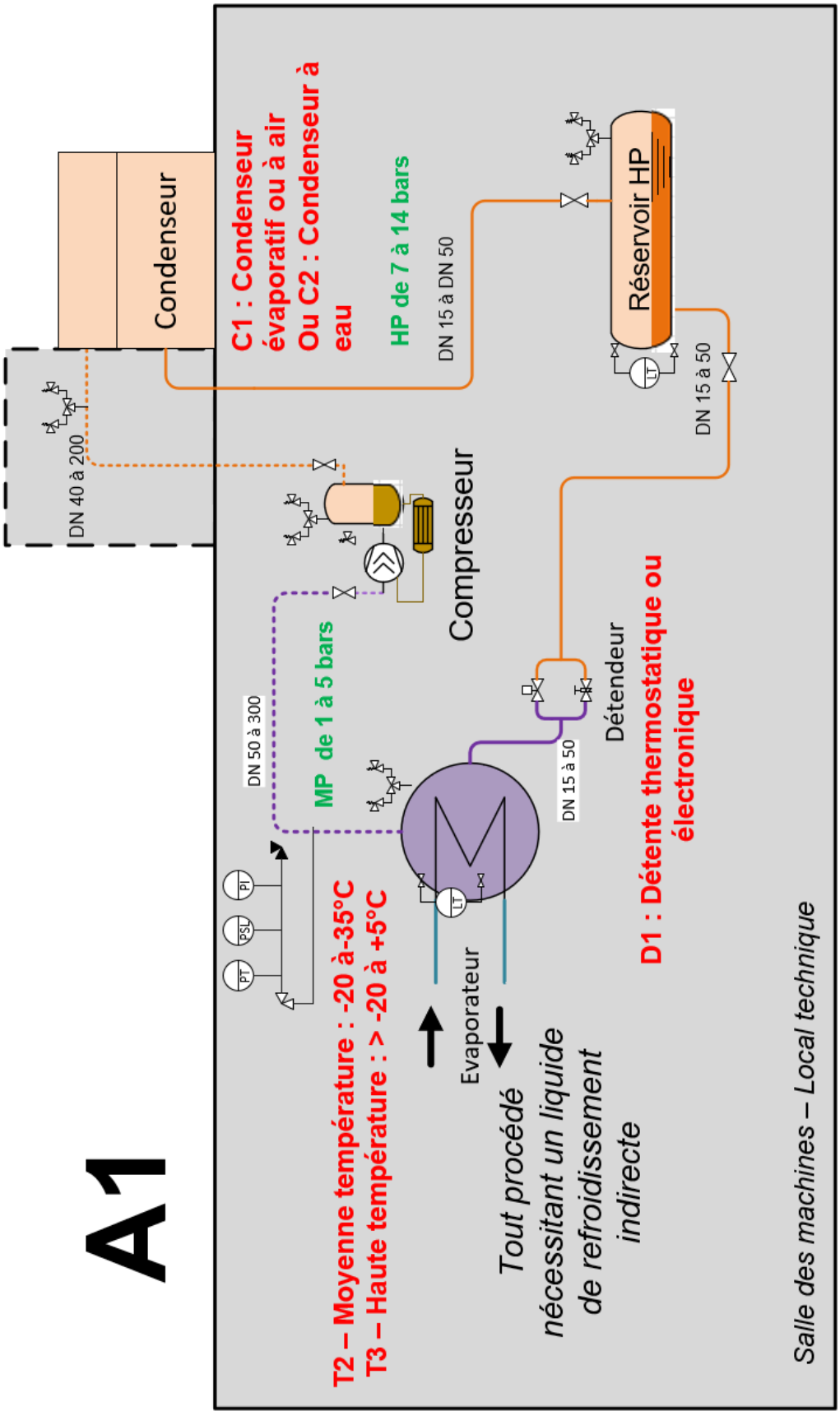
Il permet une bonne protection du compresseur contre les coups de liquide et permet de mouiller parfaitement la surface interne de l'évaporateur.

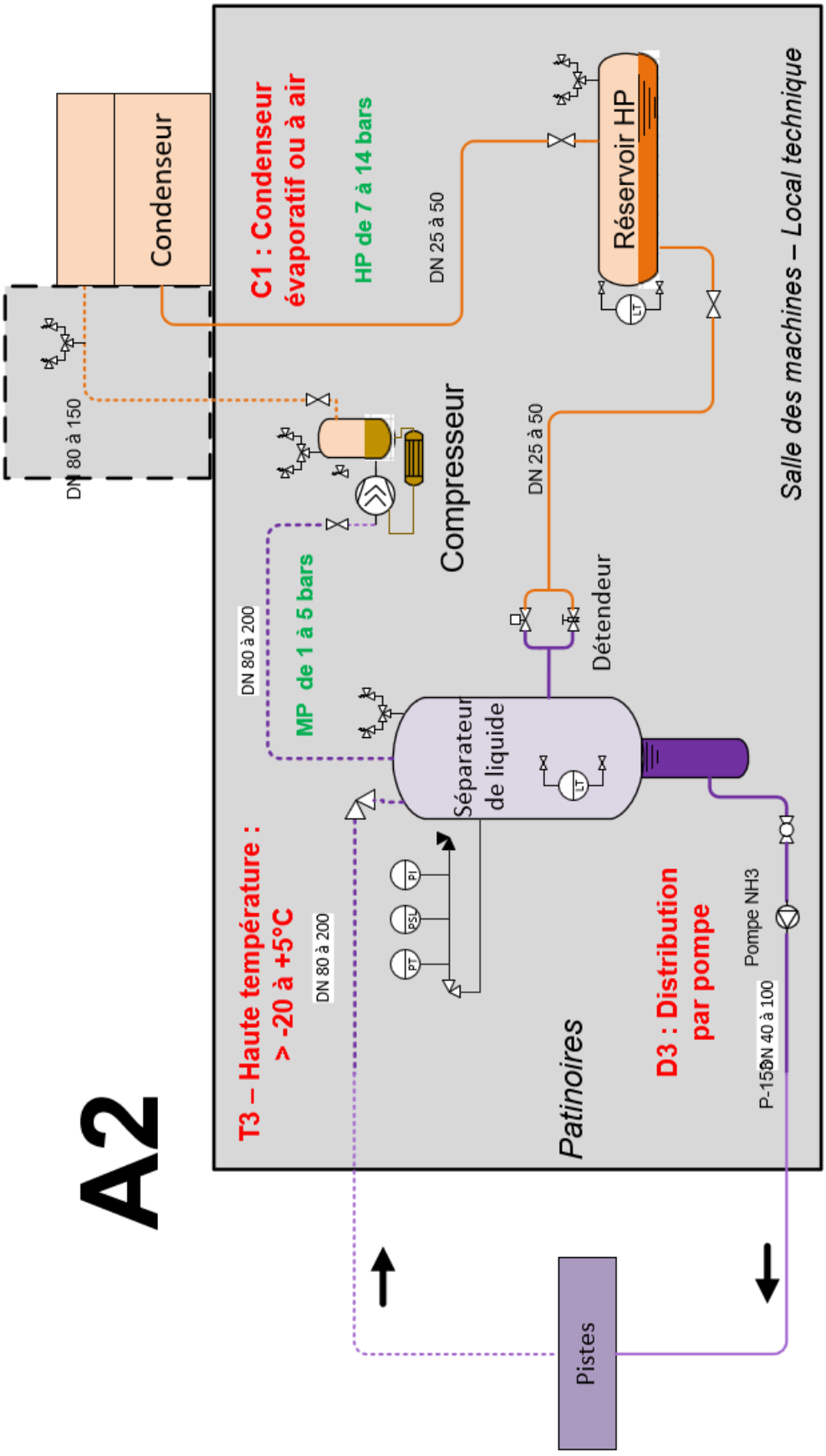
Ce système est usuel avec de l'ammoniac pour des utilisations en entrepôts frigorifiques, stations fruitières, tunnel de congélation et échangeurs à plaques refroidisseurs de liquides.

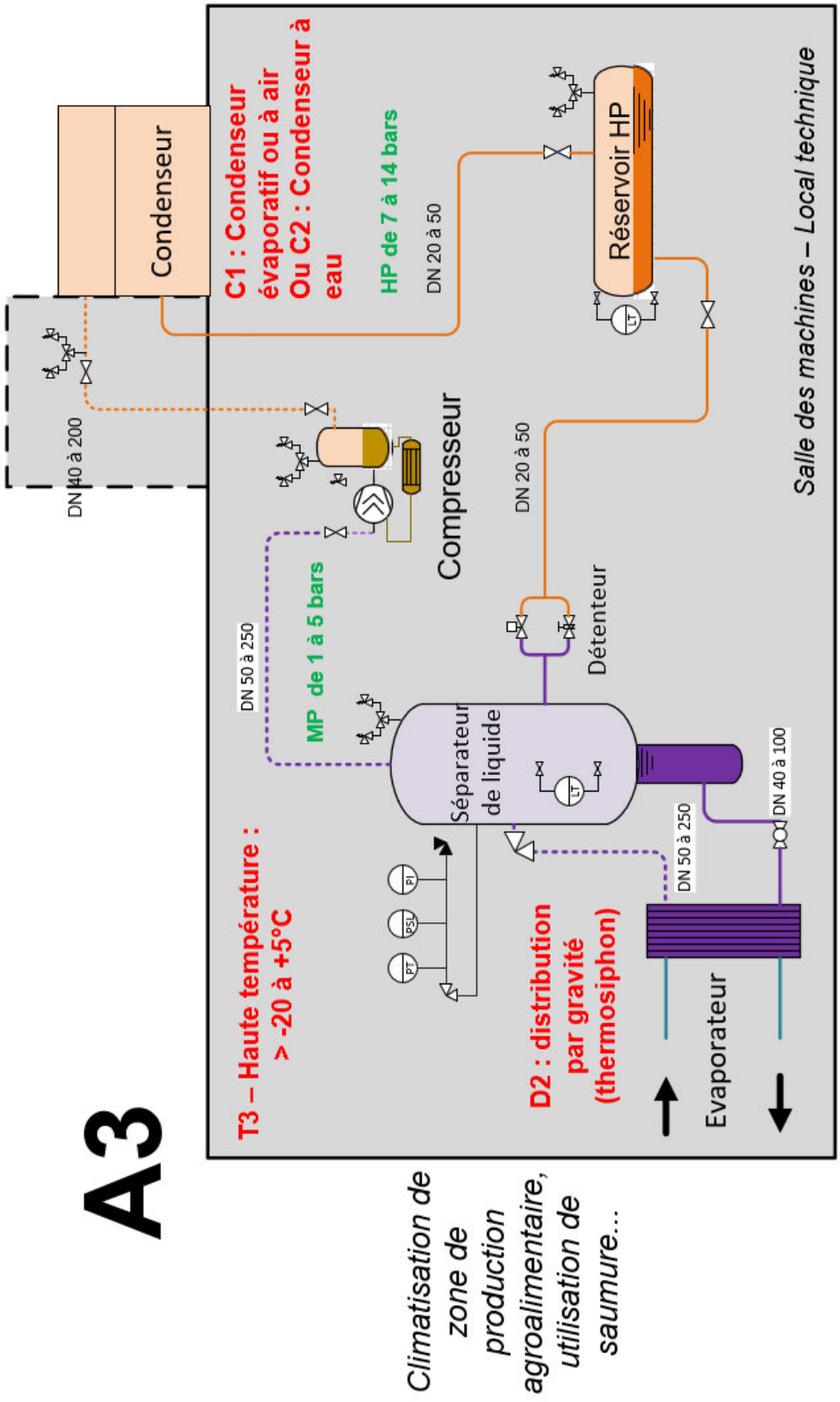
Par pompe BP

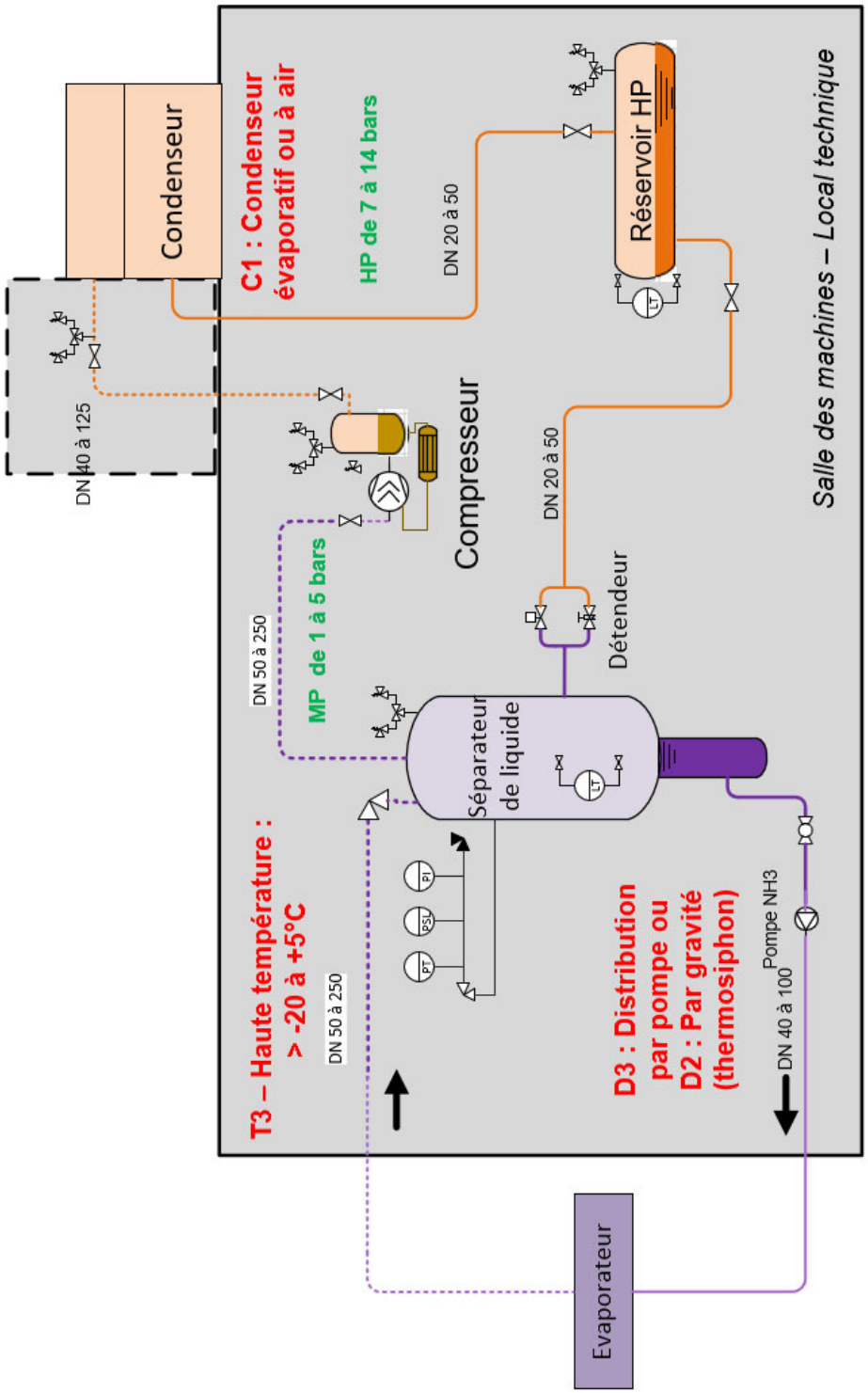
Comme dans le système thermosiphon gravitaire, un ballon séparateur basse pression alimente les évaporateurs mais l'alimentation n'est plus gravitaire mais est assurée par des pompes basse pression.

Ce système est très répandu dans les installations industrielles.


A1
Condenseur
C1 : Condenseur évaporatif ou à air
Ou C2 : Condenseur à eau
HP de 7 à 14 bars
DN 15 à DN 50
Réservoir HP
DN 40 à 200
DN 15 à 50
Compresseur
DN 50 à 300
MP de 1 à 5 bars
Détendeur
DN 15 à 50
D1 : Détente thermostatique ou électronique
T2 – Moyenne température : -20 à-35°C
T3 – Haute température : > -20 à +5°C
Evaporateur
Tout procédé nécessitant un liquide de refroidissement indirecte
Salle des machines – Local technique

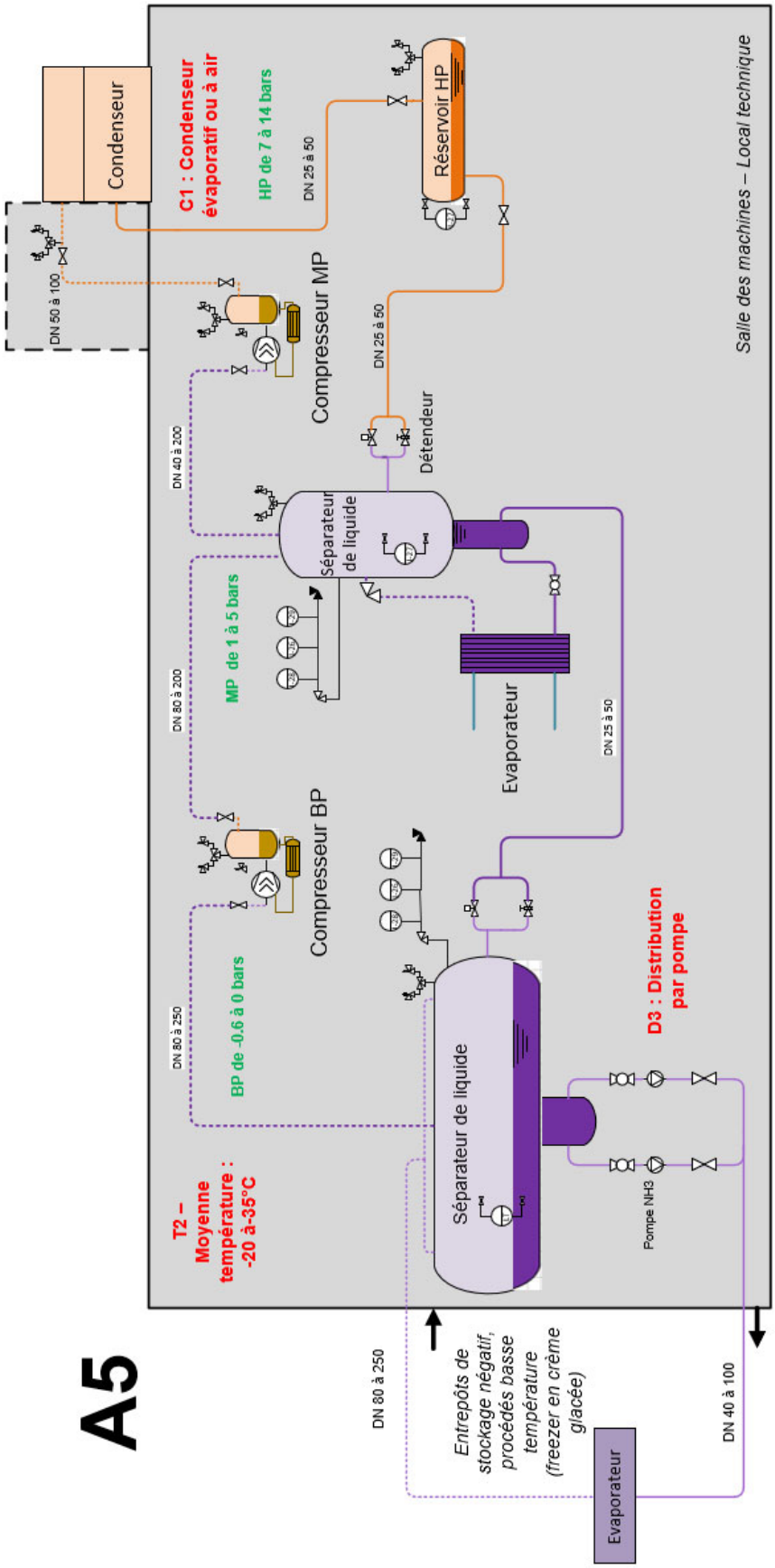

A2
Salle des machines – Local technique
Condenseur
C1 : Condenseur évaporatif ou à air
HP de 7 à 14 bars
DN 25 à 50
Réservoir HP
DN 80 à 150
Compresseur
DN 25 à 50
Détendeur
DN 80 à 200
MP de 1 à 5 bars
Séparateur de liquide
T3 – Haute température : > -20 à +5°C
DN 80 à 200
D3 : Distribution par pompe
Pompe NH3
DN 40 à 100
P-15
Patinoires
Pistes

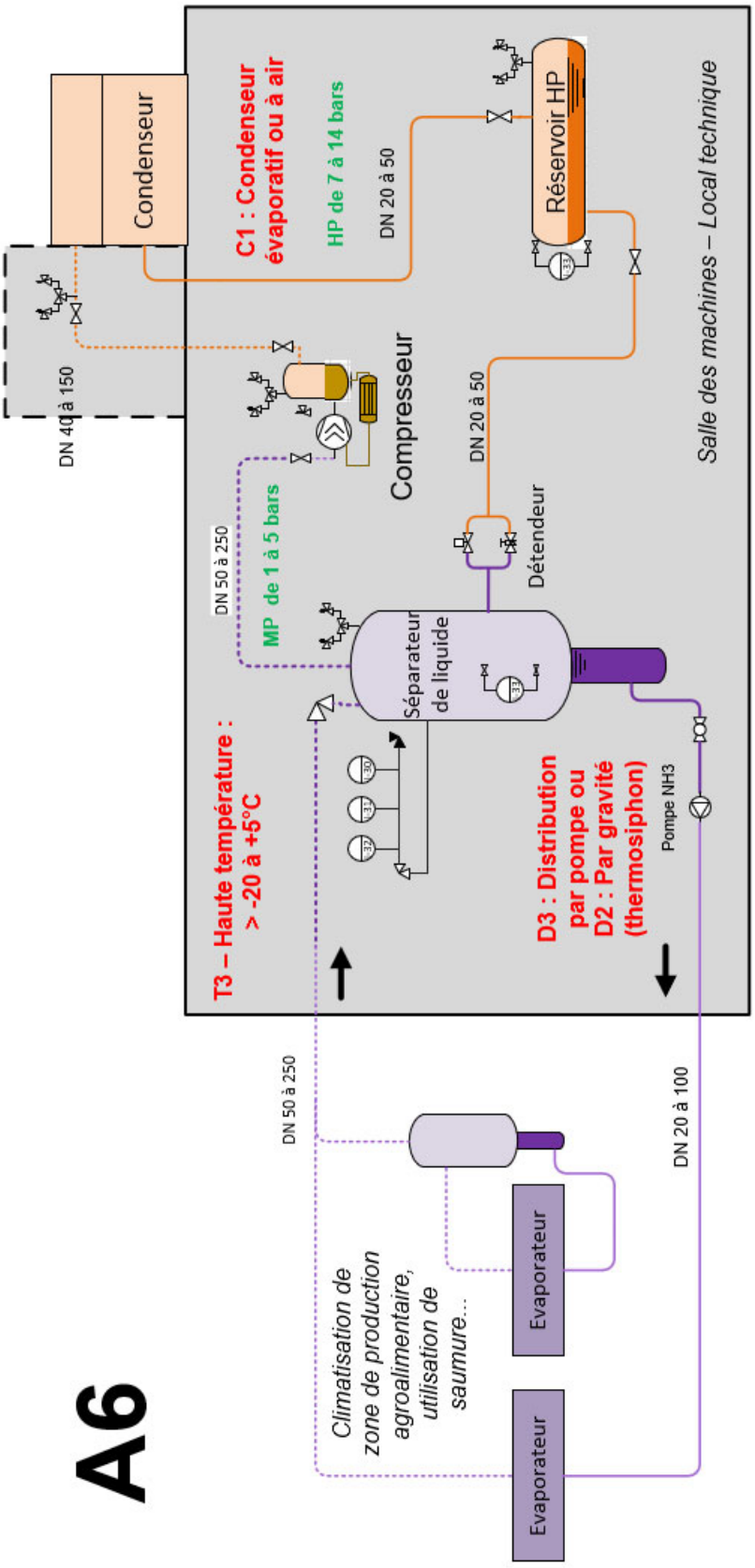

A3
Climatisation de zone de production agroalimentaire, utilisation de saumure…
Salle des machines – Local technique
Condenseur
C1 : Condenseur évaporatif ou à air
Ou C2 : Condenseur à eau
HP de 7 à 14 bars
DN 20 à 50
Réservoir HP
DN 40 à 200
Compresseur
DN 20 à 50
MP de 1 à 5 bars
DN 50 à 250
Détenteur
Séparateur de liquide
T3 – Haute température : > -20 à +5°C
D2 : distribution par gravité (thermosiphon)
DN 50 à 250
DN 40 à 100
Evaporateur

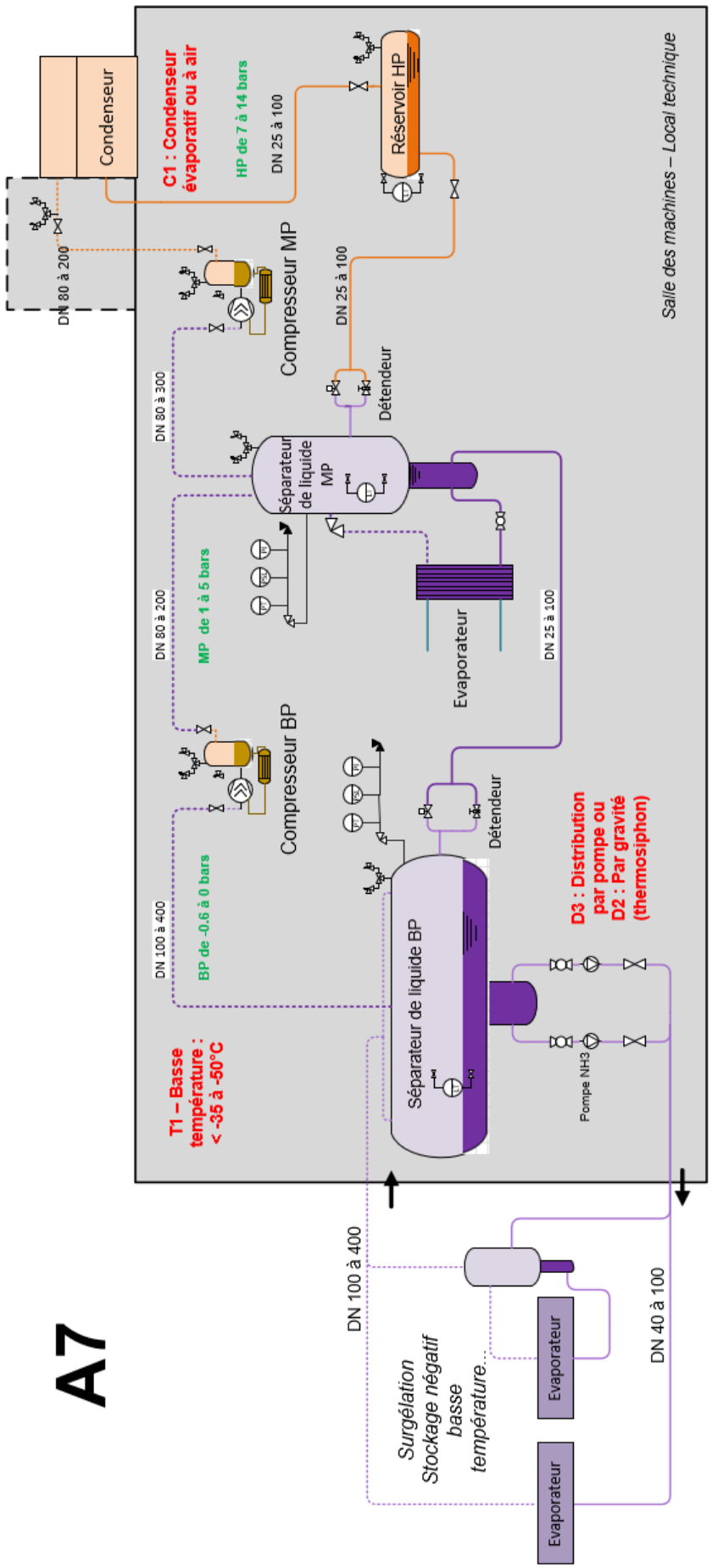


A4

Climatisation de zone de production agroalimentaire, utilisation de saumure…


A5
Salle des machines – Local technique
Condenseur
C1 : Condenseur évaporatif ou à air
HP de 7 à 14 bars
DN 25 à 50
Réservoir HP
DN 50 à 100
Compresseur MP
DN 25 à 50
Détendeur
DN 40 à 200
Séparateur de liquide
MP de 1 à 5 bars
DN 80 à 200
Evaporateur
DN 25 à 50
Compresseur BP
D3 : Distribution par pompe
DN 80 à 250
BP de -0,6 à 0 bars
T2 – Moyenne température : -20 à-35°C
Séparateur de liquide
Pompe NH3
DN 80 à 250
Entrepôts de stockage négatif, procédés basse température (freezer en crème glacée)
DN 40 à 100
Evaporateur


A6
Condenseur
C1 : Condenseur évaporatif ou à air
HP de 7 à 14 bars
DN 20 à 50
Réservoir HP
DN 40 à 150
Compresseur
DN 20 à 50
Salle des machines – Local technique
DN 50 à 250
MP de 1 à 5 bars
Détendeur
Séparateur de liquide
T3 – Haute température : > -20 à +5°C
D3 : Distribution par pompe ou D2 : Par gravité (thermosiphon)
Pompe NH3
DN 50 à 250
DN 20 à 100
Climatisation de zone de production agroalimentaire, utilisation de saumure...
Evaporateur
Evaporateur


A7
Condenseur
C1 : Condenseur évaporatif ou à air
HP de 7 à 14 bars
DN 25 à 100
Réservoir HP
DN 80 à 200
Compresseur MP
DN 25 à 100
Détendeur
Salle des machines – Local technique
DN 80 à 300
Séparateur de liquide MP
DN 80 à 200
MP de 1 à 5 bars
Evaporateur
DN 25 à 100
Compresseur BP
Détendeur
D3 : Distribution par pompe ou D2 : Par gravité (thermosiphon)
DN 100 à 400
BP de -0.6 à 0 bars
Séparateur de liquide BP
Pompe NH3
T1 – Basse température : < -35 à -50°C
DN 100 à 400
Surgélation
Stockage négatif
basse température...
Evaporateur
DN 40 à 100
Evaporateur

Atlantic Refrigeration Consulting

Annexe 2

Caractéristiques de l'ammoniac

Frédéric LE BRONNEC
23/02/2021

Table des matières

1. Propriétés chimiques de l'ammoniac 2
1.1. Introduction 2
1.2. Données thermodynamiques 2
1.3. Solubilité de l'ammoniac dans l'eau 3
1.4. Densité et masse volumique 3
1.5. Inflammabilité - Explosivité 3
1.5.1. Environnement humain 3
1.5.2. Température d'auto-inflammation 3
1.5.3. Energie minimale d'inflammation 4
1.5.4. Vitesse fondamentale de flamme 4
1.5.5. Agents extincteurs 4
1.6. Réaction avec des contaminants 4
1.6.1. Halogènes et interhalogènes 4
1.6.2. Métaux lourds 4
1.6.3. Oxydants et peroxydes 5
1.6.4. Acides 5
1.6.5. Autres aspects 5
1.6.6. Stabilité 5
2. Effets sur l'humain 6
2.1. Généralités 6
2.2. Toxicité aiguë 7
2.3. Toxicologie sur les lieux de travail 7
2.4. Synthèse des effets aigus chez l'humain par inhalation 8
3. Effets sur l'environnement 8

1. Propriétés chimiques de l'ammoniac

1.1. Introduction

L'ammoniac est identifié de la manière suivante :

Nom	Ammoniac anhydre
Numéro CAS	7664-41-7
Numéro CEE	007-001-00-5
Code de danger RTMD	268
Numéro ONU	1005
Formule chimique	NH_3
Masse molaire	17,03 g

Dans les conditions normales de température et de pression (c'est-à-dire à 25°C et à 1,013 bar), l'ammoniac se trouve à l'état gazeux. Il est incolore, plus léger que l'air et son odeur est vive.

1.2. Données thermodynamiques

Les principales données thermodynamiques de l'ammoniac sont les suivantes :

- Point de fusion = - 77,7°C
- Point d'ébullition = -33,4°C à 1,013 bar
- Pression de vapeur saturante en fonction de la température

Relation pression / température					
Température (°C)	-77,7	-33,3	0	20	30
Pression absolue (bars)	0.061	1,013	4,29	8,56	11,66

- Température critique = 132,4°C
- Pression critique = 114,8 bars
- Chaleur de fusion = 323,3 kJ/kg (à 1,013 bar)
- Chaleur de vaporisation = 1210 kJ/kg à -15°C et 1370 à -33,4°C
- Viscosité dynamique du liquide = 10,225 mPa.s à -33,4°C

1.3. Solubilité de l'ammoniac dans l'eau

L'ammoniac est très soluble dans l'eau. Le Tableau 6 renseigne la solubilité de l'ammoniac en fonction de la température [WHO, 1986] :

Solubilité de l'ammoniac dans l'eau				
Température (°C)	0	20	40	60
Solubilité (g/l)	895	529	316	168

Par ailleurs, cette dissolution de l'ammoniac dans l'eau est fortement exothermique : 2000 kJ par kg d'ammoniac dissous dans l'eau.

1.4. Densité et masse volumique

En phase gazeuse, l'ammoniac a une masse volumique de 0,772 kg/m3 à 0°C et de 0,610 kg/m3 à 20°C, soit une densité de 0,597 par rapport à l'air.

En phase liquide, la masse volumique de l'ammoniac est fonction de la température, tel que reporté dans le Tableau ci-dessous.

Masse volumique = f(T)										
Température (°C)	-40	-33,3	-20	-10	0	10	20	30	50	100
Masse volumique (kg/m³)	690	679	659	647	634	621	607	592	558	452

1.5. Inflammabilité - Explosivité

1.5.1. Environnement humain

Selon les sources, les limites d'explosivité peuvent varier légèrement mais il est généralement admis que la limite inférieure d'explosivité (ou LIE) est égale à 16% v/v et la limite supérieure d'explosivité (ou LSE) à 25% v/v4. Toutefois, une étude indique que la LIE peut être réduite de 4% v/v pour un aérosol d'huile et d'ammoniac comme, par exemple, dans le cas d'une fuite simultanée de lubrifiant [12].

1.5.2. Température d'auto-inflammation

La température d'auto-inflammation correspond à la température à partir de laquelle le mélange gazeux d'air et d'ammoniac est le siège d'une réaction d'oxydoréduction suffisamment rapide pour qu'une flamme apparaisse spontanément et se propage dans tout le mélange. Elle est habituellement prise à 650°C.

1.5.3. Energie minimale d'inflammation

L'énergie minimale d'inflammation, ou la quantité de chaleur minimale à mettre en jeu localement pour enflammer le mélange gazeux d'air et d'ammoniac, est plus délicate à quantifier. Cette énergie minimale d'inflammation peut varier de quelques dizaines à plusieurs centaines de mJ pour l'ammoniac.

1.5.4. Vitesse fondamentale de flamme

La vitesse fondamentale de flamme détermine la vitesse de propagation de la flamme. Pour un mélange gazeux constitué d'air et d'ammoniac à 23% v/v, cette vitesse fondamentale est de 0,07 m/s.

1.5.5. Agents extincteurs

Dès lors que de l'ammoniac liquide peut être localement présent, les agents extincteurs à utiliser sont uniquement le CO2 ou les poudres. En effet, le contact de l'eau sur l'ammoniac liquide communique de la chaleur à ce dernier et favorise sa vaporisation.

1.6. Réaction avec des contaminants

1.6.1. Halogènes et interhalogènes

Les halogènes (fluor, chlore, brome, iode) réagissent vivement sur l'ammoniac et ses solutions. Des réactions explosives peuvent également avoir lieu avec les produits suivants : acétaldéhyde, acide hypochloreux, ferricyanure de potassium. Il se produit des composés explosifs tels que les trihalogénures d'azote.

Par exemple ;

- Avec le chlore, Cl2, les mélanges sont explosifs s'ils sont chauffés ou si le chlore est en excès, à cause de la formation de trichlorure d'azote,
- Avec du pentafluorure de brome, BrF5, des explosions sont probables.

1.6.2. Métaux lourds

L'ammoniac est capable de réagir avec quelques métaux lourds (argent, or, mercure…) pour produire des matériaux qui peuvent exploser violemment quand ils sont séchés ;

- Avec du chlorure d'or, AuCl3, sous une large variété de conditions, la présence d'ammoniac conduit à des composés explosifs ou fulminants qui explosent quand ils sont chauffés,
- Avec les oxydes d'argent, AgO, Ag2O, il y a formation de composés explosifs,
- Avec du mercure, Hg, la réaction donne des produits qui sont fortement explosifs et qui détonent facilement. On ne doit pas utiliser d'instrument contenant du mercure si celui-ci peut entrer en contact avec de l'ammoniac [BIT, 1993].

1.6.3. Oxydants et peroxydes

L'ammoniac réagit sur de nombreux oxydes et peroxydes : le peroxyde de chlore à froid, l'anhydrique iodique à chaud, les perchlorates qui donnent lieu à une réaction violente vers 250°C. Le mélange d'un composé oxydant et d'ammoniac liquéfié peut exploser sous l'effet d'un choc.

Par exemple ;

- Avec le peroxyde d'hydrogène, H_2O_2, de l'ammoniac dissous dans 99,6% de peroxyde donne une solution instable qui explose violemment,
- Avec le chlorure de nitryle, $ClNO_2$, l'interaction est très violente, même à -75°C,
- Avec le difluorure de trioxygène, F_2O_3, la réaction peut causer des inflammations et des explosions, même à -183°C. Avec de l'ammoniac solide, il réagit pour donner des inflammations ou des explosions,
- Avec de l'oxygène, O_2, s'ils sont mis en contact dans un appareil réfrigérant, il peut y avoir une explosion. De plus, en présence d'ammoniac, l'oxygène peut accélérer ou provoquer de la corrosion.

1.6.4. Acides

Avec certains acides, des réactions violentes sont observés telles que :

- Avec l'acide hypochloreux pur, HClO, l'ammoniac sous forme gazeuse explose à son contact et libère du chlore,
- Avec l'acide nitrique, HNO_3, un jet d'ammoniac brûle dans une atmosphère d'acide nitrique.

1.6.5. Autres aspects

L'ammoniac peut aussi causer des réactions incandescentes, par exemple :

- Avec le bore, B, chauffé dans une atmosphère d'ammoniac sec,
- Avec l'anhydre chromique, CrO_3, l'ammoniac gazeux décompose le trioxyde sec avec incandescence à la température ambiante.

L'ammoniac peut également former des mélanges auto-inflammables :

- Avec l'acide nitrique, HNO_3,
- Avec le dichlorure de chromyle, CrO_2Cl_2, l'ammoniac peut être enflammé par ce produit.

1.6.6. Stabilité

A température ordinaire, l'ammoniac gazeux est un composé stable. Sa dissociation en hydrogène et en azote ne commence que vers 450 – 500°C. En présence de certains métaux comme le fer, le nickel, l'osmium, le zinc, l'uranium, cette décomposition commence dès la température de 300°C et est presque complète vers 500 à 600°C.

2. Effets sur l'humain

2.1. Généralités

Concernant la toxicité de l'ammoniac, il existe différentes valeurs publiées pour un même effet donné. A cela, on peut avancer trois raisons différentes :

- L'absence d'expérimentation humaine pour les concentrations élevées,
- La disparité des individus constituant un échantillonnage humain par rapport à un échantillonnage d'animaux de laboratoire sélectionnés pour lequel la réponse varie peu d'un animal à l'autre,
- La difficulté à extrapoler à l'homme des résultats issus de l'expérimentation animale.

La toxicité de l'ammoniac gazeux est liée à sa très grande solubilité et à l'alcalinité des solutions résultantes qui en fait un agent agressif des muqueuses et des poumons.

L'exposition à une atmosphère chargée d'ammoniac peut provoquer diverses atteintes corporelles détaillées ci-après :

- Atteintes oculaires : elles peuvent être provoquées par l'action des vapeurs mais aussi par les projections de liquide. Elles se manifestent par du larmoiement, des conjonctivites pouvant s'accompagner d'atteintes à la cornée plus ou moins profondes,
- Atteintes cutanées : sous forme de dermites de contact,
- Atteintes respiratoires : l'inhalation de vapeurs d'ammoniac provoque une irritation des voies respiratoires supérieures avec éternuement, dyspnée et toux. Le stade le plus grave étant l'œdème aigu du poumon (OAP). L'OAP est un accident qui se produit après inhalation de gaz vésicants (Cl2, NH3, SO2) par dégradation des parois des alvéoles pulmonaires qui sont alors inondées par le plasma sanguin. Fort heureusement, le seuil de détection olfactive de l'ammoniac se situe bien en dessous des concentrations considérées dangereuses.
- Brûlures digestives : l'ingestion d'ammoniaque est suivie de phénomènes douloureux très intenses avec intolérance gastrique, état de choc s'accompagnant parfois d'érythène ou de purpura. La complication à redouter est l'œdème de la glotte.

L'ammoniac sous forme liquide en contact direct avec la peau gèle les tissus et provoque des brûlures. Les solutions d'ammoniac sont fortement alcalines et par suite très irritantes pour les muqueuses, la peau et les yeux.

L'exposition prolongée et répétée à l'ammoniac entraîne une tolérance plus élevée. Les odeurs et les effets irritants sont perçus plus difficilement.

Les seuils de perception olfactive sont très variables

2.2. Toxicité aiguë

La fiche de toxicité aiguë de l'INERIS (cf. http://www.ineris.fr/rapports-détude/toxicologie-etenvironnement/ Fiches de données toxicologiques et environnementales d) fournit les valeurs suivantes :

		Temps (*min*)					
		1	**3**	**10**	**20**	**30**	**60**
Seuil des effets létaux significatifs (SELS)	*mg/m³*	19623	ND	61183	4387	3593	2543
	ppm	28033	ND	8833	6267	5133	3633
Seuil des premiers effets létaux (SEL)	*mg/m³*	17710	10290	5740	4083	3337	2380
	ppm	25300	14700	8200	5833	4767	3400
Seuil des effets irréversibles (SEI)	*mg/m³*	1050	700	606	428	350	248
	ppm	1500	1000	866	612	500	354
Seuil des effets réversibles (SER)	*mg/m³*	196	140	105	84	77	56
	ppm	280	200	150	120	110	80
Seuil olfactif	*ppm*			*5*			

A noter que l'exposition prolongée et répétée à l'ammoniac entraîne une tolérance plus élevée. Les odeurs et les effets irritants sont perçus plus difficilement.

De plus, les seuils de perception olfactive sont très variables suivant l'individu, allant de quelques ppm à plusieurs dizaines de ppm (en moyenne, de l'ordre de 5 ppm).

2.3. Toxicologie sur les lieux de travail

La concentration autorisée pour l'ammoniac en atmosphère de travail est réglementairement limitée et contrôlée dans la plupart des pays industrialisés. Les valeurs retenues en France sont données dans le Tableau 9. Ces valeurs peuvent varier légèrement d'un pays à un autre. Des valeurs plus élevées sont aussi définies pour des expositions de courte durée ou en situation d'urgence.

Désignation	Définition	Valeur	Observation
VLCT	Valeur Limite de Court Terme (VLCT)	20 ppm 14 mg/m³	Article R4412-149 du code du travail
VLEP	Valeur Limite d'Exposition sur 8 h (VLEP)	10 ppm 7 mg/m³	Article R4412-149 du code du travail

Concentrations admises en France sur les lieux du travail

2.4. Synthèse des effets aigus chez l'humain par inhalation

Les différents effets toxiques observés chez l'homme suite à une exposition aiguë sont reportés dans le Tableau ci-dessous.

Temps (min)	Concentration (ppm)	Symptomatologie	Références
10	5 – 50	Perception olfactive	OMS IPCS, 1986
5	50	Quelques signes cliniques, inconfort	Markham, 1987
30	80	Nuisance olfactive	Verbeck, 1977
30	110 – 140	Inconfort, irritation de la gorge	Verbeck, 1977
5	134	Larmoiement, irritations oculaire, nasale et de la gorge	Markham, 1987
30 – 75	140	Exposition intolérable, sortie de la chambre	Verbeck, 1977
1	150 – 200	Irritation oculaire perceptible	Wallace, 1978
8 – 11	150	Signes fonctionnels respiratoires	Cole, 1977
30	330	Toléré, absence de séquelles	Markham, 1987
< 1	400	Irritation oculaire	Wallace, 1978
30	500	Irritation voies respiratoires, signes fonctionnels respiratoires, larmoiement sans contact direct	Silverman, 1949
30 sec	600	Larmoiement	Wallace, 1978
qq sec	700	Larmoiement, atmosphère toujours respirable	Wallace, 1978
1 - 3	700	Lésions oculaires, assistance médicale	Markham, 1987
immédiat	1 000	Larmoiement, vision altérée (larmoiement opacification cornée)	Wallace, 1978
1 – 3	1 000	Respiration intolérable	Wallace, 1978
immédiat	1 500	Sortie de la chambre d'exposition	Wallace, 1978

3. Effets sur l'environnement

L'ammoniac est dangereux pour l'environnement. Il est très toxique pour les organismes aquatiques.

Atlantic Refrigeration Consulting

Annexe 3

Optimisation de la quantité d'ammoniac

Frédéric LE BRONNEC
23/02/2021

Table des matières

1. **Généralités** **2**
2. **Réduction de la quantité d'ammoniac par substitution** **3**
3. **Réduction des diamètres, pressions et quantités** **4**
4. **Déplacement des installations extérieures dans la salle de machines** **5**

1. Généralités

Pour réduire le potentiel de dangers, plusieurs possibilités peuvent être mises en œuvre. Le choix des techniques dépend du contexte (installations existantes ou nouvelles, environnement avec plus ou moins d'enjeux…).

L'étude de dangers contient un chapitre permettant à l'exploitant de motiver ses choix techniques et de les comparer aux stratégies de réduction des potentiels de dangers.

Les axes suivants de réduction du potentiel de dangers sont étudiés :

- Réduction de la quantité d'ammoniac par substitution ;
- Réduction des diamètres, pressions et quantités.

Il est également envisagé une solution de réduction du risque à la source :

- Déplacement des installations extérieures dans la salle des machines.

2. Réduction de la quantité d'ammoniac par substitution

L'exploitant pourra s'assurer dans un premier temps de l'adéquation entre la charge d'ammoniac et les besoins. Il devra démontrer qu'il a cherché à réduire la quantité totale d'ammoniac dans l'installation.

En cas de contexte difficile en termes d'enjeux (environnement urbanisé proche par exemple), l'exploitant peut étudier la diminution de la charge d'ammoniac en utilisant des systèmes en cascade. L'ammoniac est maintenu comme fluide frigorigène an niveau de la salle des machines : au niveau de l'évaporateur, l'ammoniac est vaporisé par échange de chaleur avec un autre fluide compatible avec les besoins des utilisateurs.

Si l'installation est existante, cela nécessite une conversion des installations avec changement éventuel des capacités, des tuyauteries, justifié par l'incompatibilité des nouveaux fluides avec les matériaux existants, les quantités mises en œuvre, les pressions de service éventuellement différentes. La faisabilité technico-économique n'est donc pas assurée dans le cas d'une installation existante.

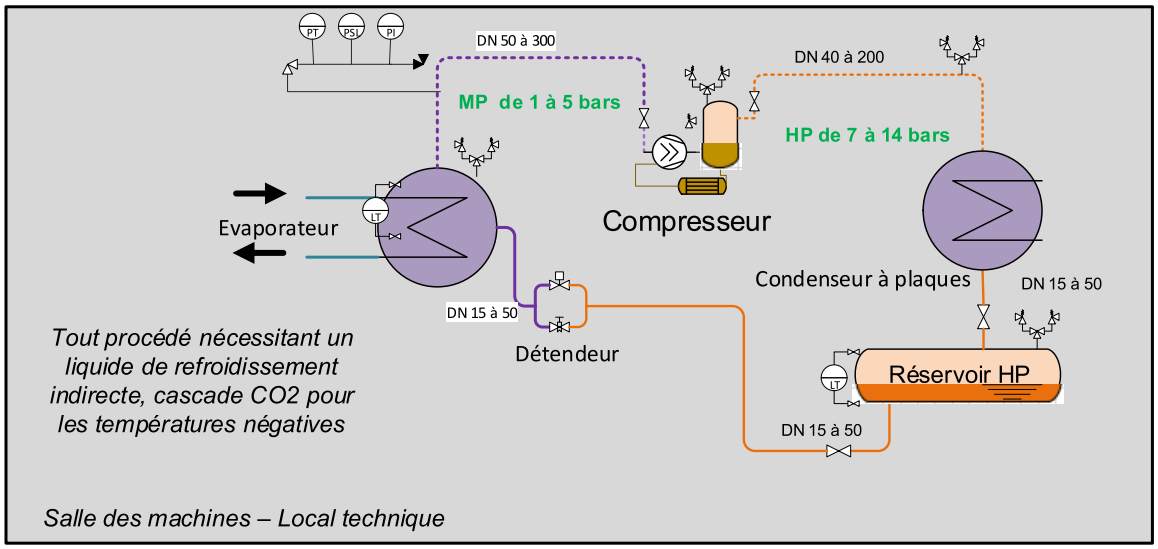
Usuellement les fluides suivants sont utilisés :

- Congélation, surgélation : CO2 ;
- Réfrigération négative : alcali ;
- Réfrigération positive : eau glycolée.

Bien sûr un fluide utilisable pour des très basses températures est aussi utilisable pour des températures plus élevées mais avec des contraintes plus importantes que celles des fluides adaptés à cette température (le CO2 nécessite par exemple de très hautes pressions…).

Ces installations sont certes intéressantes pour la réduction du potentiel de dangers du point de vue du risque accidentel mais elles conduisent à une surconsommation énergétique ainsi qu'à un surinvestissement (pompe, réseau eau glycolée…).

La figure ci-dessous représente un schéma avec circuit indirect et optimisation de charge d'ammoniac.



3. Réduction des diamètres, pressions et quantités

La réduction du potentiel de dangers peut également s'effectuer par :

- **La réduction des diamètres et des longueurs de tuyauteries** ; la réduction du diamètre permet de réduire le débit en cas de fuite (débit proportionnel au carré du diamètre) et réduit donc les distances d'effets potentielles. Cependant une optimisation des diamètres est à rechercher car une réduction des diamètres des tuyauteries peut conduire à une dégradation des performances énergétiques.
    - Les diamètres des tuyauteries sont réduits le plus possibles ;

      A noter que la justification des diamètres et longueurs de tuyauteries est une exigence réglementaire de l'arrêté du 16 juillet 1997 (article 51) : « Les canalisations doivent être les plus courtes possibles et de diamètres les plus réduits possibles. »
    - La réduction des diamètres des points d'opérations tels que purges est également recherchée. Usuellement les purges liquides sont en diamètre DN15 et les purges sur les incondensables en DN12.

      L'article 43 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Les points de purge (huile, etc.) doivent être du diamètre minimal nécessaire aux besoins d'exploitation. ».
- **La réduction des pressions dans la mesure du possible**. Les pressions côté BP dépendent des utilisations et doivent être optimisées. La pression côté HP est calée sur la température de la source chaude. Comme celle-ci varie au fil du temps, la pression n'est pas constante dans le temps ; une réduction de la pression en fonction des conditions externes (régulation en fonction de la température de bulbe humide) pourra être recherchée. La réduction de la pression permet de réduire le débit en cas de fuite (débit proportionnel à la racine carrée de la pression relative).
- **La réduction globale de la quantité d'ammoniac** ; pour cela :
    - <u>L'utilisation de technologies compatibles avec une capacité moindre d'ammoniac</u> : remplacement des échangeurs tubulaires par des échangeurs à plaques (en ordre de grandeur, la quantité d'ammoniac passe de 150 kg à 45 kg dans les échangeurs) ; des échangeurs à plaques et calandre sont également utilisables qui réduisent la quantité d'ammoniac et limitent de plus les risques de fuite (l'ammoniac dans les plaques n'est pas en contact direct avec l'air ambiant puisque l'eau est dans la calandre).
    - <u>La réduction des capacités</u> ; l'ammoniac sous forme liquide HP présentant le potentiel de dangers le plus important, une réduction des capacités en liquide HP est particulièrement recherché :
        - <u>Suppression des bouteilles HP</u> dans la mesure du possible ; parfois, sur des installations existantes, l'ammoniac HP est utilisé pour refroidir l'huile du compresseur (technique de thermosiphon). Cette technique de refroidissement tend à disparaitre pour être remplacée par un piquage sur l'eau glycolée. Sur les installations neuves, le thermosiphon n'est pas mis en œuvre.

      Dans quelques installations, l'ammoniac est utilisé pour le procédé (cas de la production des crèmes glacées) et ne pourra donc pas être totalement supprimé.

        - <u>Déplacement du détendeur HP</u> au plus près des condenseurs pour limiter la quantité d'ammoniac liquide HP.

4. Déplacement des installations extérieures dans la salle de machines

Une mesure de réduction du risque à la source peut également être étudiée dans les contextes difficiles. Cette mesure consiste à installer à l'intérieur de la salle des machines des équipements situés à l'extérieur.

Ces installations extérieures peuvent comprendre :

- Les condenseurs évaporatifs (condenseur ammoniac / eau + air) ;
- Les évaporateurs en cas de système direct ;
- Les tuyauteries de liaison entre la salle des machines et ces équipements.

Pour limiter les effets en cas de perte de confinement sur ces installations, les bonnes pratiques de conception incluent :

- **Le remplacement des condenseurs évaporatifs par des échangeurs qui peuvent être implantés dans la salle des machines**. L'eau circulant dans les échangeurs (côté froid) est refroidie à son tour par échange sur des échangeurs à air (aéros ou tour de refroidissement, cette dernière pouvant poser des problèmes de légionellose en cas de circuit ouvert).

  Cependant le rendement des installations avec deux échangeurs (eau/ammoniac et eau/air) est dégradé et l'investissement plus important si bien que cette solution sera réservée aux configurations en zone urbanisée.

  Cette solution (utilisation de condenseurs dans la salle des machines) est celle privilégiée dans le cadre d'une nouvelle installation dans un environnement urbain.

- **Le capotage des collecteurs d'arrivée et de départ d'ammoniac** sur les condenseurs évaporatifs, voire le capotage de la terrasse (hors extraction d'air de l'échangeur) ;

Dans le cadre d'une nouvelle installation, on privilégiera l'utilisation de condenseurs dans la SDM, ne nécessitant donc pas de capotage.

- Lorsque l'ammoniac circule au niveau des utilisateurs, **les fuites sont limitées par les mesures de conception** suivantes :
  - Les soudures sur les tuyauteries et les équipements sont radiographiées conformément à la réglementation des équipements sous pression ;
  - Les zones de fuites potentielles telles que les vannes sont localisées en dehors des zones accessibles au personnel ; elles sont situées dans des combles techniques disposant de détecteurs d'ammoniac qui génèrent alarme, démarrage de la ventilation des combles puis mise en sécurité en cas d'atteinte d'un 1er puis d'un 2ème seuil d'alarme.
- **Les tuyauteries cheminant entre la salle des machines et les utilisateurs sont également installées en galerie technique** équipée d'une détection ammoniac dans les zones de fuites potentielles (stations de vannes) avec asservissements (isolement et mise en route éventuelle d'une extraction forcée).

Atlantic Refrigeration Consulting

Annexe 4

Accidentologie des installations de réfrigération : Synthèse et exemples d'accidents caractéristiques

Frédéric LE BRONNEC
23/02/2021

Table des matières

1. Analyse générale de l'accidentologie 2

1.1. Analyse générale de l'accidentologie 2

1.2. Zoom sur des points spécifiques 6

1.2.1. Eclatement d'un réservoir 6

1.2.2. Rupture guillotine et autre cas assimilés 6

1.2.3. Rupture de bouteilles d'ammoniac ou de fûts 6

1.2.4. Appoint en ammoniac ou en huile 7

1.2.5. Remplissage de l'installation et vidange de l'installation 7

1.2.6. Fuite par les soupapes 7

1.2.7. Fuite au niveau des purges 7

1.2.8. Explosion dans local confiné 8

1.2.9. Incendie 8

1.2.10. Conclusion 9

2. Accidents mortels 10

3. Quelques cas d'accidents illustratifs postérieurs à 1997 (date de l'arrêté ministériel) 12

1. Analyse générale de l'accidentologie

1.1. Analyse générale de l'accidentologie

Cette partie de synthèse sur l'accidentologie a été réalisée avec le concours du BARPI (en 2013).

Du point de vue des indicateurs généraux, entre 1958 et juin 2013, 944 cas (sur plus de 43 000 recensés par la base ARIA) sont potentiellement liés à des installations de réfrigération, tous fluides confondus, dont 792 cas concernent le territoire national. Parmi ces accidents sur le territoire français, 525 concernent des installations de réfrigération à l'ammoniac. Sur ces 525 accidents, 234 ont conduit à une émission de frigorigène liquide, gazeux ou en solution.

Sur ces 234 cas nationaux concernant la réfrigération à l'ammoniac, la répartition par type de phénomènes dangereux est approximativement la suivante :

Répartition	**%**
Rejet dangereux (dont rejet prolongé 80%)	100 %
• Dans l'atmosphère	88 %
• Dans les eaux de surface	8.5 %
• Sur le sol / en rétention	18 %
Incendie	6 %
Explosion	2.1 %
Chute / projection d'équipements	2.6 %
Effets dominos	3.4 %

Des émissions directes (ouvertures de tuyauteries, soupapes…) et indirectes (évaporation de flaques) d'ammoniac sont évoquées dans plus de 95% des évènements répertoriés, des fuites d'NH3 liquide dans au moins 25% des évènements et des rejets de solutions ammoniacales dans 8 à 10% des évènements.

D'un point de vue du milieu récepteur des fuites d'ammoniac, les rejets ont entraîné des pollutions de l'air et odeurs (26%) et / ou des eaux superficielles (8,2%) avec atteintes de la faune aquatique (8,2%).

Des dommages matériels sont relevés dans 63% des accidents et des pertes d'exploitation dans 34% des évènements étudiés.

Enfin plusieurs incendies ont entraîné des fuites de frigorigène par effet domino (montées en pression des installations prises dans les flammes, ruptures d'équipements…).

Note : Dans la répartition de la figure 28, la part de 2,1% « d'explosion » n'est pas accompagnée d'une explication précise sur le type de phénoménologie mise en cause ; s'agit-il d'une réaction de combustion de vapeurs inflammables ou d'un éclatement pneumatique ? Des cas de BLEVE (0,9%) y sont inclus. Dans quelques cas (cf. §1.2.8), une explosion s'est vraiment produite (inflammation de l'atmosphère explosible formée suite à une fuite et inflammation par des équipements électriques inadaptés). Le lecteur trouvera le détail de deux accidents, à l'étranger, mettant en jeu la combustion de l'ammoniac, en fin d'annexe.

Note : Le terme incendie ne signifie pas nécessairement incendie des installations de réfrigérations. Il peut s'agir d'incendies ayant impacté des installations connexes (entreposage par exemple) et qui auraient pu générer par effet domino des pertes de confinement sur l'installation de réfrigération. L'analyse de l'accidentologie de la réfrigération à l'ammoniac montre qu'une partie des incendies concerne effectivement des incendies dans des stockages connexes, des équipements annexes… Des incendies en salle des machines ou au niveau des utilisateurs ont cependant été relevés.

En rapport avec les utilisations classiques de l'ammoniac, l'activité impliquée a été identifiée dans 230 des cas étudiés ; 6 secteurs d'activités sont particulièrement concernés (en %) :

Activités principales concernées	%
10 – Industrie agroalimentaire	69 %
52 – Entreposage et services auxiliaires de transport	8.3 %
46 – Commerce de gros	6.1 %
11 – Fabrication de boissons	4.8 %
20 – Industrie chimique	3.5 %
93 – Activités sportives, récréatives et le loisirs	3.5 %

Les conséquences de ces accidents montrent que sont survenus :

- 1,3% de décès (4 personnes),
- 44% de blessés/intoxiqués/incommodés (600 personnes),
- 12% de personnes évacuées (environ 2760 personnes)
- 5,6% de personnes confinées (environ 2100 personnes).

Quelques cas mortels sont recensés (employés et frigoristes sous-traitants au contact direct des installations uniquement ; aucune victime à l'extérieur du site), mais ce sont les intoxications ou les blessures (projections, brûlures…) qui restent majoritaires. Si les évacuations sont 2 fois plus nombreuses que les confinements, les populations concernées sont dans le même ordre de grandeur. Les cas d'accidents mortels trouvés en France et à l'étranger sont présentés au chapitre 2 de cette annexe.

Plusieurs causes sont souvent à l'origine d'accidents précédés de signes précurseurs et de défaillances élémentaires techniques ou organisationnelles plus ou moins apparentes. Pour 214 accidents pour lesquels au moins une cause a été identifiée :

- Le facteur matériel est impliqué dans 83% des accidents répertoriés, les équipements les plus souvent concernés étant : les canalisations et leurs accessoires (119 cas), dont les vannes / électrovannes (37 cas) et les herses immergées dans les bacs à eaux glacées des laiteries (10 cas), les compresseurs / pompes (33 cas), les soupapes (29 cas), les évaporateurs / condenseurs hors herses précitées (19 cas), les réservoirs (16 cas) et les matériels de mesure ou régulation (11 cas).

  Relevées dans 80% des accidents, les pertes d'étanchéité et fuites sont très largement majoritaires, les 20% restants concernant des ruptures d'équipements. A noter que la défaillance d'une vanne (16 %) ou d'une régulation (5 %) a pu dans certains cas conduire à ces événements.

- Le facteur organisationnel et humain est explicitement impliqué dans au moins 58% de ces 214 évènements (facteur humain 29% / organisation défaillante 53%). Du point de vue des « acteurs » impliqués, il s'agit d'opérateurs appartenant au site dans 50% des accidents et de sous-traitants intervenants sur les installations dans les 50 autres %.

  Les « fuites directes » de frigorigène, c'est à dire sans comptabiliser les installations prises dans un incendie, fait également intervenir le facteur organisationnel et humain dans 59% des 205 accidents suffisamment renseignés en termes de cause(s) : facteur humain 30% / organisation défaillante 53%.

A noter que l'analyse de ces mêmes 214 accidents met aussi en lumière :

- Des défauts de maîtrise du procédé (16% des accidents) : variation brutale de régime entraînant ouverture soupape, éclatement, débordement…
- Des interventions insuffisantes ou inadaptées (6,1% des accidents) : en phase d'exploitation, lors d'un accident…
- Des agressions d'origine naturelle (1,9% des accidents) : températures extérieures élevées, pluies...
- Des actes de malveillance ou attentats (1,4% des accidents),

On constate également que :

- La prépondérance du facteur organisationnel transparaît au travers d'absence de consignes, de consignes inadaptées voire non respectées ou d'une méconnaissance des installations ; l'intervention peut ainsi être mal préparée, le matériel d'intervention et/ou de protection absent, insuffisant ou inadapté. Plusieurs interventions mal coordonnées sont également relevées, de même qu'une alerte trop tardive lors d'un accident. Enfin plusieurs accidents résultent d'un entretien insuffisant des installations (5% des cas), voire de leur abandon sans avoir été préalablement vidées et dégazées (5,1% des accidents).
- Le facteur humain, dans une moindre mesure, porte sur des erreurs (mauvais montage / serrage / réglage, choc consécutif à collision ou chute matérielle, vanne fermée ou non refermée, lancement d'une opération puis départ de l'opérateur avant achèvement de cette dernière…) ; les phases de purge des installations sont à ce titre impliquées dans près de 10% des évènements répertoriés. Ces défaillances ont souvent pour conséquences des installations en surpression et l'ouverture intempestive de soupapes (ou leur non-fonctionnement), des écoulements accidentels (purge…), une sensibilité accrue des installations aux vibrations…
- À noter également plusieurs actes volontaires ou de négligence et de manœuvres inhabituelles qui ont conduit à des situations accidentelles,
- Enfin certains accidents résultent de problèmes de vieillissement et de fatigue des installations (impact du froid sur les métaux…), mais aussi et sans doute de plus fortes sollicitations de ces dernières en période de grande chaleur.

En matière de circonstances (thématique en tout ou partie connue pour 185 évènements), les phases de travaux, maintenance, réparation ou test des installations / équipements sont impliquées dans 35% des cas étudiés ; le démantèlement des installations concerne à lui seul 8,1% des évènements. Une activité réduite (week-end, nuit, congés…) est évoquée dans 22% des évènements répertoriés. Enfin, les phases de mise en service / arrêt ou redémarrage des installations sont impliquées dans 7,6% des accidents.

Le chapitre 3 de la présente annexe présente quelques cas remarquables d'accidentologie (extrait de la base ARIA du BARPI). Ils reprennent notamment des situations où le facteur humain et l'incendie sont intervenus dans l'accident.

1.2. Zoom sur des points spécifiques

1.2.1. Eclatement d'un réservoir

L'accidentologie ne mentionne que 2 accidents en France avec ouverture de capacités prises dans un incendie ARIA 11547 (évapo-condenseurs) ou sous l'effet de la chaleur ARIA 15585 (réservoir de 475 l), 1 cas en Grande-Bretagne ARIA 5272 (conteneur).

Hors incendie, l'ouverture d'un « fût à pression / conteneur » trop rempli (ARIA 5223) et la chute de 2 évaporateurs sont répertoriés (ARIA 5223) en France. Aux Etats-Unis, un réservoir se serait ouvert suite à une surpression (ARIA, 14871). Sans que l'évènement soit explicitement décrit, deux réservoirs se seraient aussi ouverts en Corée du Sud (ARIA 5275) et aux USA (ARIA 5287).

1.2.2. Rupture guillotine et autre cas assimilés

L'accidentologie traite de nombreux cas de ruptures guillotines notamment lors de l'usage d'engins de terrassement ou autres outils de chantier en méconnaissance de la présence de tuyauteries encore en place (cas tronçonnage de béton, de démolition à l'étranger, sectionnement en cours de démantèlement d'une tuyauterie 20/27 mm ainsi qu'un coup de pelle hydraulique sur une tuyauterie non vidée et non identifiée ou encore une chute d'échelle en France) mais aussi à la suite de phénomènes vibratoires ou coups de bélier éventuels (ARIA 5265 à l'étranger…).

Des canalisations de raccordement peuvent également se rompre lors de la chute d'équipements lourds comme des évaporateurs (ARIA 5223…) ou après avoir été percutées par des objets (une échelle en France, une caisse ou de lourds équipements à l'étranger…). Pour ces derniers cas, la protection insuffisante ou l'état (corrosion) de ces tuyauteries expliquent également l'accident.

A noter en France également une rupture de tuyauterie 10 mm sur un retour d'huile vers le compresseur.

D'importantes fuites de frigorigène peuvent aussi être consécutives à l'ouverture des collecteurs après rupture et chute des fonds bombés ou non (ARIA 15586, 20484, 23622, 35305).

1.2.3. Rupture de bouteilles d'ammoniac ou de fûts

En France, un cas de rupture du conteneur (ESP) après la vidange d'une installation en raison d'un condenseur hors service a été noté (ARIA 29687). Le conteneur dont la capacité a été dépassée était stocké en attente à l'extérieur de l'établissement (voir un cas au niveau des opérations de purge au chapitre 6.2.7).

A l'étranger, des conteneurs pris dans un incendie auraient éclaté (ARIA 5272).

1.2.4. Appoint en ammoniac ou en huile

L'accidentologie évoque des cas de défaillance de raccord au niveau de flexibles ou des dysfonctionnements de vannes lors de ce type d'opération (ARIA 5295 (étranger), 10364, 27595).

1.2.5. Remplissage de l'installation et vidange de l'installation

Les opérations de remplissage ou vidange d'installations ont donné lieu à des accidents. Outre le cas cité § 1.2.3, on note des fuites suite à des vidanges mal réalisées (matériel de vidange sous-dimensionné, vidange incomplète ou procédure inadapté (vanne maintenue ouverte, réchauffage d'huile conduisant à une ouverture de soupape) … Quelques cas peuvent être cités (ARIA 29687, 10864, 20751, 29395, 34220, 35884…).

1.2.6. Fuite par les soupapes

Des cas de rejet d'ammoniac au niveau des soupapes sont relatés dans l'accidentologie. Soit le rejet est le fait d'une surpression dans l'installation (ARIA 5058, 5222, 6066, 6140, 8081, 11690, 13888, 18586…), soit c'est un défaut technique sur la soupape ou son dysfonctionnement sans raison apparente qui a occasionné le rejet (ARIA 16385, 20484 ? 12823 ? 11286, 18586, 23035, 23371, 23518…) Le fonctionnement de la soupape dans certains cas est le fruit d'un défaut de tarage (tarage à une trop faible pression quelque fois combiné à une augmentation de température, la défaillance d'une pompe de circulation d'eau faisant augmenter la pression) : cas à l'étranger.

A noter qu'une inflammation suite à un rejet de soupape a été identifiée et une fuite sur un réglage de soupape également sur deux autres cas à l'étranger.

En France, la fuite sur une soupape tarée trop bas sur un réfrigérant d'huile a provoqué une fuite d'ammoniac ou la défaillance d'un pressostat par manque d'entretien de deux échangeurs à plaques ont été observés. Le séparateur d'huile maintenu en chauffe est aussi à l'origine d'une fuite d'ammoniac par la soupape (la liaison avec le séparateur et la moyenne pression n'a pas été coupée et la bouteille basse pression est montée en pression). Un cas plus exceptionnel à l'étranger d'arrachement de soupape par un chariot élévateur a été mis en lumière.

1.2.7. Fuite au niveau des purges

Les accidents mettant en cause des purges d'installations ont principalement pour origines des interventions inadaptées mettant en cause le facteur organisationnel et humain (ARIA 4027, 11332, 11545, 16761, 27562, 29395, 33728, 33839, 34220, 34235, 35884, 35892, 36105, 39391, 39396) en présence parfois de complications imprévues en cours d'opération (ARIA 5957, 8400, 11690, 13092 ? 29395, 34220) ou d'une défaillance matérielle (ARIA 13092 ? 18586, 27562, 28134, 34235, 35892 ? 39391).

1.2.8. Explosion dans local confiné

L'analyse de l'accidentologie montre que le risque d'explosion peut être écarté dans le cas d'une fuite d'ammoniac en champ libre (cependant des risques de brûlures lié à des flash-thermiques sont possibles). En effet, il apparait qu'aucune explosion d'un mélange d'air et d'ammoniac en milieu non confiné n'a été recensé si on exclut le seul accident en 1968 qui évoquerait la possible inflammation d'un nuage d'NH3 à l'air libre (Etats-Unis, ARIA 5266).

En revanche, le risque d'explosion doit être considéré dans le cas d'une fuite en milieu confiné. En effet, des explosions ont été répertoriées en milieu confiné. Ainsi des explosions NH3 / air en milieu confiné sont relatées dans au moins un accident répertorié en France en 1969 (ARIA 15585), le 2ème accident évoquant davantage une explosion mécanique de compresseur (ARIA 10434).

Par contre, deux évènements auraient été également recensés en 2000 à l'étranger (Pakistan ARIA 18177, Etats-Unis ARIA 18281) sans que la cause d'inflammation soit clairement identifiée. D'autre part, d'autres évènements plus anciens sont répertoriés mais certains sont trop peu détaillés pour une analyse précise du déroulement des accidents (ARIA 5268, 5271, 5273, 14868, 5278, 5288). En revanche, les sources d'inflammation mises en cause sont précisées pour certains évènements : choc ou arc électrique à partir d'un engin (Etats-Unis en 1984, ARIA 5285), lampe d'éclairage (Etats-Unis en 1983, ARIA 5284), perceuse (Pays-Bas en 1977, ARIA 5276), moteur électrique (Etats-Unis en 1969, ARIA 5270), installation électrique ou système de chauffage (Etats- Unis en 1967, ARIA 5265), étincelle de rupture d'un disjoncteur (Etats-Unis en 1958, ARIA 5264).

1.2.9. Incendie

La base ARIA relève de nombreux incendies qui auraient pu impacter les installations de réfrigération d'ammoniac.

Le type de combustibles et la source d'ignition mis en cause dans les incendies sont divers :

- Emballages, matériaux combustibles de bureaux, déchets,
- Éclairage et autres équipements électriques,
- Véhicules en déchargement (propagation à la cargaison puis au bâtiment),
- Locaux techniques dont transformateur électrique,
- Ateliers (moyens de cuisson, chalumeau…) et combles,
- Travaux générant des points chauds.

Au-delà des quelques évènements mentionnés au §.1.1 dans lesquels des installations de réfrigération ont été endommagées, plusieurs dizaines d'autres sinistres ont gravement atteint des établissements industriels sans pour autant que des informations soient données sur les dommages subis par les installations de réfrigération. La base ARIA recense enfin plusieurs incendies qui auraient pu impacter ces installations si elles avaient été dépourvues de mesures constructives adaptées ou de distances d'isolement suffisantes, mais aussi sans la mise en œuvre dans des délais très brefs de moyens de lutte contre l'incendie appropriés, ainsi que de possibilité de mise en sécurité des installations.

1.2.10. Conclusion

Les scenarios identifiés dans cette annexe sont à retenir dans l'analyse préliminaire des risques :

- Perte de confinement sur les réservoirs et les équipements (condenseurs, évaporateurs…) ;
- Perte de confinement sur les tuyauteries (rupture guillotine ou fuite) ; les équipements peuvent être dans la salle des machines ou à l'extérieur de la salle des machines (liaisons vers les utilisateurs) ;
- Rupture de bouteilles d'ammoniac ou de fûts ;
- Fuite au niveau de flexible de raccordement en phase d'appoint ;
- Fuite par les soupapes ;
- Fuite au niveau des purges ;
- Explosion dans un local confiné (salle des machines, combles, utilisateurs…)..

Note : L'incendie dans la salle des machines ou à l'extérieur de la salle des machines est à retenir comme un évènement initiateur possible. A noter que ce dernier s'initie le plus souvent hors de la salle des machines ou des chambres froides (ateliers, bureaux, salles d'archives, combles…).

2. Accidents mortels

Les cas d'accidents mortels trouvés en France sont présentés ci-dessous :

N° 22821 - 07/08/2002- - 971

H52.10 - Entreposage et stockage

Une fuite de 2 à 3 l d'ammoniac (NH3) de réfrigération (sur 3 500 kg) a lieu dans un établissement distribuant en gros des aliments congelés et surgelés. Alimentant les évaporateurs des chambres froides négatives (-25 °C inférieur à T inférieur à -20 °C), le circuit basse pression (1 t NH3, -32°C sous 1 bar abs.) impliqué comprend un réservoir BP de 6 000 l (1 t d'NH3) et un compresseur. La sortie BP dispose de 2 lignes de soutirage du ballon BP alimentant chacune une pompe. Les 2 pompes sont raccordées au réseau d'alimentation des évaporateurs par une canalisation unique. Un filtre isolable par 2 vannes papillons installé dans la salle des machines protège les évaporateurs et dispositifs de commande d'éventuels corps étrangers. La fuite a lieu alors qu'un artisan frigoriste sous-traitant veut changer le couvercle supérieur du filtre ; il ferme les vannes d'isolement, effectue une purge (tuyau de purge retrouvé plongeant dans un bac plastique rempli d'eau ammoniacale), retire enfin le couvercle du filtre et reçoit un jet d'NH3 liquide. Brûlé au visage, au bras et au thorax, le frigoriste parvient à atteindre la douche de sécurité implantée dans le local. La détection NH3 qui se déclenche (seuil haut) vers 9h25, provoque le démarrage du ventilateur d'extraction, l'arrêt de l'alimentation électrique de l'installation NH3, une alarme sonore sur le site avec transmission à la société de gardiennage. L'un des responsables de l'entrepôt prévient alors le fils de l'artisan également frigoriste travaillant sur le site. Ne pouvant être sur les lieux que 10 mn plus tard au moins, ce dernier retrouvera le corps de son père dans la salle des machines. Une expertise révèle une rupture de la tige de maintien central, par l'intermédiaire de 2 ressorts, des flasques supérieure et inférieure du filtre. Un scénario accidentel est avancé : purge incomplète du filtre et/ou mauvaise fermeture de la vanne côté évaporateurs, rupture vraisemblablement préexistante de la tige du filtre, brutale détente des ressorts éventuellement favorisée par la montée en pression de l'NH3 présent dans le filtre, projection d'une quantité d'NH3 suffisantes pour brûler et asphyxier la victime, seule et sans masque dans la salle des machines. Au déclenchement de l'alarme, aucun des responsables et employés n'a eu le réflexe d'aller vérifier la présence ou non d'une victime dans la salle des machines, ni de prévenir les pompiers qui arriveront après le fils de la victime.

N° 15586 - 03/12/1968 - FRANCE - 69 - LYON

H52.10 - Entreposage et stockage

Une importante fuite d'ammoniac (NH3) de réfrigération a lieu dans un entrepôt de denrées alimentaires lors du dégivrage des frigorifères associés aux chambres froides. Piégés en sous-sol, 2 employés tentant de s'échapper par un monte-charge (volontairement bloqué pour faciliter des manutentions ou hors service par interruption en sécurité de l'alimentation électrique ?) sont tués et 5 autres sont plus ou moins brûlés. Une pastille d'obturation (diam. 93 mm, ép. 4 mm, poids 191 g) soudée 10 ans plus tôt s'est détachée en bout d'une canalisation (diam. 82 /89 mm), inutilisée mais non démontée, débouchant dans un couloir. L'NH3 réchauffé (dégivrage) arrivant sur une paroi froide a provoqué des contraintes thermiques et la rupture par fatigue de la pastille. Un manque de liaison entre le métal déposé et le métal de base aurait favorisé cette rupture. Les canalisations sont inspectées pour éliminer les soudures et les montages critiquables. Les consignes de dégivrage sont modifiées (nombre de personnes présentes limité, entrée des locaux interdite...). Des issues de secours sont aménagées. Le personnel est doté de moyens de protection adaptés et en nombre suffisant.

A l'étranger les cas mortels les plus récents sont détaillés ci-dessous. D'autres cas dans les années antérieures sont mentionnés aux Etats Unis, au Canada et un autre cas au Pakistan.

N° 22954 - 31/05/2002 - THAILANDE - 00 - NC

C10.52 - Fabrication de glaces et sorbets

Une fuite d'ammoniac se produit lors de l'entretien d'une installation de réfrigération dans une usine de fabrication de glace. L'ouvrier effectuant l'entretien décède quelques minutes après avoir inhalé le gaz, 9 autres employés intoxiqués sont hospitalisés.

N° 21775 - 23/12/2001 - ETATS-UNIS - 00 - MADISON

C10.7 - Fabrication de produits de boulangerie-pâtisserie et de pâtes alimentaires

Dans une usine alimentaire, une fuite d'ammoniac (NH3) a lieu sur un réservoir utilisé pour la réfrigération des installations. Deux employés déplacent un réservoir d'NH3 sur un quai de chargement lorsqu'une tuyauterie se rompt : environ 200 l d'NH3 se répandent. L'un des employés décèdera de ses blessures, le 2ème est grièvement blessé ; 30 personnes sont évacuées mais selon les secours, la fuite reste confinée au bâtiment. L'OSHA effectue une enquête.

N° 18177 - 28/06/2000 - PAKISTAN - 00 - LAHORE

H52.10 - Entreposage et stockage

Une fuite d'ammoniac s'enflamme sur une unité de réfrigération dans une usine d'entreposage frigorifique. Les secours interviennent rapidement mais un des employés, brûlé, décède à l'hôpital. Des dizaines de personnes ont eu des malaises dus à la fuite toxique. On dénombre 24 blessés. Un mouvement de panique semble s'être produit parmi les riverains. Des évacuations semblent avoir été engagées. Le feu a été maîtrisé et la fuite jugulée dans la journée.

3. Quelques cas d'accidents illustratifs postérieurs à 1997 (date de l'arrêté ministériel)

Extrait de la liste des accidents impliquant des installations de réfrigération à l'ammoniac, établie par LE MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE DIRECTION DE LA PRÉVENTION DES POLLUTIONS ET DES RISQUES SEI / BARPI

Résultats de recherche d'accidents sur www.aria.developpement-durable.gouv.fr

La base de données ARIA, exploitée par le ministère 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 évènements 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 – 5 Place Jules Ferry 69006 LYON / Mel : srt.barpi@developpement-durable.gouv.fr

Ministère du développement durable - DGPR / SRT / BARPI -

Nombre d'accidents répertoriés : 666 de janvier 1983 au 9 juillet 2013 dont sont extraits **ceux liés aux installations de réfrigération ayant eu pour conséquence** : mort d'homme, blessés, pollution atmosphérique, des eaux ou du sol.

N°44415 - 30/09/2013 - FRANCE - 44 - MONTOIR-DE-BRETAGNE

C20.15 - Fabrication de produits azotés et d'engrais

Une fuite se produit vers 23h30 lors du dépotage d'un navire d'ammoniac liquéfié (NH3) dans une usine fabriquant des engrais. Les détecteurs de NH3 se déclenchent : l'automate de sécurité ferme les vannes d'alimentation du bac receveur et coupe la pompe du navire. Le site est confiné et le navire actionne les rideaux d'eau ; les riverains sont également appelés pour rester confinés. Les opérateurs en salle de contrôle ferment plusieurs vannes manuelles sur la ligne de dépotage pour isoler la fuite provenant d'un joint sur un clapet anti-retour du circuit de purge et de dégazage de cette ligne. Le joint est déchiré sur 5 cm de long et 2 mm de large, l'exploitant estime la fuite à 50 kg (5 min à 5 bars en tenant compte de fuites résiduelles). Les vannes de la ligne sont rouvertes et le bras est décomprimé vers le navire. L'exploitant remplace le joint défectueux le lendemain et reprend le dépotage en fin d'après-midi. Le clapet anti-retour avait été changé quelques mois auparavant ; **d'après l'inspection des IC, il pourrait s'agir d'une erreur de pose ou d'un joint défectueux.**

N°43927 - 17/06/2013 - FRANCE - 29 - PLOUEDERN

C10.52 - Fabrication de glaces et sorbets

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 œuvre de l'ammoniac (NH3) ne semblent pas avoir été atteintes.**

N°43676 - 15/04/2013 - FRANCE - 49 - DAUMERAY

C10.12 - Transformation et conservation de la viande de volaille

De l'ammoniac (NH3) utilisé comme frigorigène fuit vers 16h45 des installations de réfrigération d'un abattoir de volailles. **Victimes de céphalées et de vomissements, 11 employés incommodés sont pris en charge par le SAMU et les pompiers**. Le personnel arrête la fuite en colmatant un joint défectueux. L'intervention s'achève à 19 h. La gendarmerie s'est rendue sur les lieux.

N°43671 - 11/04/2013 - FRANCE - 14 - SAINT-MARTIN-DES-ENTREES

C10.85 - Fabrication de plats préparés

Dans une usine agroalimentaire de plats préparés surgelés, une fuite de fluide frigorigène se produit vers 19h15 au niveau d'un compresseur dans les installations de réfrigération mettant en œuvre ammoniac (NH3) et frigorigènes Chloro-fluorés. Le système de sécurité détecte de la fumée (frigorigène Chloro-fluoré ?) et se déclenche. Les secours évacuent les 80 employés et 2 binômes sous ARI font une reconnaissance dans le local technique. Une défaillance du moteur du compresseur serait à l'origine de la fuite de 135 kg de fluide frigorigène. **Les employés regagnent leur poste vers 21h15.**

N°43331 - 09/12/2012 - FRANCE - 44 - CAMPBON

C10.51 - Exploitation de laiteries et fabrication de fromage

Le gardien d'une laiterie, alerté par un bruit de tôle, constate à 19 h une fuite de lait par le trou d'homme d'un réservoir de 100 m³. La capacité s'est inclinée de 10 °. Il prévient le cadre et l'électromécanicien de permanence. Ce dernier, sur place à 19h10, isole les réseaux d'eaux usées et pluviales. Le lait est transféré dans un autre réservoir.

Les pompiers, sur place à 19h45, sécurisent la zone et vérifient que les moyens de confinement et de récupération du lait sont correctement mis en œuvre. Les eaux polluées au lait sont stockées dans le bassin d'orage, puis orientées vers la station d'épuration. La vidange du réservoir s'achève à 20h30. L'intervention se termine à 21 h avec un point de situation réalisé entre les différents acteurs présents sur site : le maire, un représentant d'une usine de potabilisation de l'eau, les pompiers et 4 employés de l'usine. L'agence Régionale de Santé (ARS) et l'inspection des installations classées ont été informées.

La quantité de lait perdu est estimée à 1 m³. La police de l'eau ne relève pas de pollution du milieu. L'activité du site n'est pas impactée par l'incident car la cuve concernée représente moins de 10 % de la capacité totale de stockage.

Le lendemain, l'exploitant contacte une société spécialisée pour préparer l'enlèvement de la cuve. Cette opération se déroule dans la semaine et mobilise des moyens conséquents (grues, nacelle, camion). **La société chargée de la gestion de la production d'eau glacée est présente en raison du risque lié à la proximité des installations d'ammoniac (salle des machines NH3 à quelques mètres, grue risquant d'endommager les canalisations NH3 en toiture et le ballon basse pression**).

N°42856 - 15/10/2012 - FRANCE - 56 - LORIENT

C10.20 - Transformation et conservation de poisson, de crustacés et de mollusques

Un feu se déclare vers 4h30 dans un four d'une usine de transformation et de conservation de produits de la mer ; 2 employés prenant leur service donnent l'alerte.

Les pompiers éteignent le sinistre en quelques minutes. Les dommages matériels sont limités ; l'incendie d'un tapis roulant d'un tunnel de congélation a généré des gaz de combustion acides. **Les installations de réfrigérations du site (ammoniac (NH3) et CFC) n'ont pas été atteintes**. Lors de contrôles atmosphériques, les secours détecteront cependant la présence de NH3 dans une chambre froide. Les locaux sont ventilés. La production est arrêtée et 80 employés sont en chômage technique pour la journée.

Un dépôt de calamine serait à l'origine du sinistre. Un évènement similaire s'était déjà produit dans l'établissement un mois plus tôt.

N°42835 - 18/09/2012 - FRANCE - 56 - PLOURAY

C10.12 - Transformation et conservation de la viande de volaille

Dans une usine de transformation et conservation de viande de volaille, une fuite d'ammoniac (NH3) de réfrigération se produit à 15 h lors de travaux d'adaptation des supports de tuyauteries et d'installation d'une goulotte d'évacuation des eaux de dégivrage pour protéger des tuyauteries où circule le frigorigène toxique.

L'intervention s'effectue dans l'atelier palettisation, le long d'un couloir longeant la chambre de stockage. Un plan de prévention et un permis de feu ont été préalablement établis avec le sous-traitant. Intervenant sur une nacelle à 4 m de haut, avant la pose de rivets, le technicien non frigoriste perce le calorifugeage en aluminium (ép. Habituelle 8 à 9 cm) d'une tuyauterie d'NH3 face à l'entrée d'une chambre froide. Sentant une résistance et envisageant la présence de glace, il perce à 1 cm et atteint la canalisation. La fuite d'NH3 liquide en limite de l'atelier de palettisation conduit à évacuer ce dernier, puis quelques minutes plus tard le site qui suspend ses activités. **Le technicien descendu rapidement de la nacelle est indemne et aucune victime n'est à déplorer.**

Des techniciens de l'usine isolent peu après la tuyauterie percée en fermant des vannes (départ liquide / départ gaz chaud), coupent l'aspiration, éteignent les tunnels de congélation et ouvrent une vanne d'aspiration jusqu'à tirage au vide. Le frigoriste extérieur chargé du suivi des installations intervient à 16 h ; 3 h sont nécessaires pour vider la tuyauterie endommagée (15 kg NH3) en aspirant l'NH3 résiduel et la réparer provisoirement (taraudage / pose d'une vis provisoire). L'NH3 liquide répandu dans la goulotte sous la tuyauterie est récupéré dans un fût de 200 l.

L'installation est remise à l'air libre (arrêt du tirage à vide) le lendemain et un chaudronnier dûment habilité colmate le point de fuite avec un point de soudure. La réparation est vérifiée, puis l'installation redémarre à 11h30.

Dans les faits, le technicien a percé la tuyauterie vers un coude. De plus, 2 tuyauteries d'NH3 et non une seule se côtoyaient dans le calorifuge qui n'était donc pas très épais en cet emplacement. Plusieurs mesures préventives ou correctives sont prises après cet accident :

- rédaction pour tous les travaux d'un cahier des charges précis, validé par la sécurité, la maintenance et le sous-traitant chargé des travaux. Une check-liste est établie pour aider à réaliser ce cahier.
- contrôle visuel lors de la pose de calorifugeage pour vérifier la présence d'isolant tout au long de la canalisation.

Selon l'exploitant, la présence ici de 2 canalisations expliquant le défaut d'isolant ne serait plus pratiquée aujourd'hui.

- tout perçage de calorifuge est interdit.
- remplacement de toutes les cartouches des masques NH3.
- accès amélioré à la station des vannes.
- suppression des supports de goulottes fixés sur les calorifuges au profit d'une fixation de ces goulottes sur les structures de l'usine.

N°42724 - 08/09/2012 - FRANCE - 53 - LAVAL

C10.11 - Transformation et conservation de la viande de boucherie

Un feu se déclare, vers 7 h, dans l'entrepôt d'un abattoir de 2 000 m². L'entreprise étant fermée le samedi, un technicien effectuant une ronde de sécurité donne l'alerte. Ancien entrepôt frigorifique, ce bâtiment abrite un stock d'emballages (palettes, cartons, barquettes en plastique et films), des caddies, des convertisseurs et des pièces détachées, tout en étant utilisé comme local de charge des chariots ; la laveuse de bacs y est installée, ainsi qu'un atelier de conditionnement de gibier. Le cloisonnement, constitué de panneaux sandwich en polyuréthane, contribue au dégagement de l'épaisse fumée noire visible à des km. Le POI est déclenché et l'établissement est mis en sécurité.

Les pompiers éteignent l'incendie avec 11 lances à eau dont 3 sur échelle. Le bâtiment est détruit mais la partie administrative et les abattoirs n'ont pas été atteints. **Le stockage de 6 t d'ammoniac (NH3) situé initialement dans le bâtiment et déplacé en 2011, ainsi que les installations de réfrigération n'ont pas été impliquées.** Les eaux d'extinction, non confinées malgré les aires de rétention prévues à cet effet, s'écoulent par les canalisations internes du bâtiment en feu et se dirigent via un ancien réseau des eaux usées vers la station d'épuration communale qui est arrêtée, de même que la station de prétraitement. Les secours effectuent des prélèvements d'air et d'eau.

La préfète et le ministre délégué à l'Agroalimentaire se rendent sur place. L'inspection des installations classées se rend sur les lieux le lundi 10/09. L'activité de l'abattoir reprend aussi le lundi alors que la zone accidentée est sécurisée, une étude de désamiantage doit être réalisée. Une enquête judiciaire est effectuée. Dans l'attente des résultats des investigations, le bâtiment n'est pas reconstruit, mais remplacé à terme par un hangar de stockage.

N°42415 - 08/07/2012 - FRANCE - 29 - CONCARNEAU

C10.89 - Fabrication d'autres produits alimentaires n.c.a.

Lors du remplacement d'une vanne, une fuite d'ammoniac (NH3) se produit vers 11h30 sur l'installation de réfrigération d'une usine d'aliments pour animaux. Lors de cette maintenance programmée, 2 vannes de refoulement des pompes NH3 doivent être remplacées après constat le 02/07 d'un manque d'étanchéité. La mise en sécurité automatique de l'installation entraîne l'arrêt de l'installation de réfrigération. A leur arrivée à 12h02, les secours, équipés de scaphandres, établissent un périmètre de sécurité de 300 m, interrompent la circulation et transportent à l'hôpital 3 personnes présentes sur un bateau océanographique situé sous le vent de l'usine et qui ont été intoxiquées par les émanations.

Une société spécialisée stoppe la fuite et remplace la vanne défectueuse en présence des pompiers. La fuite est maîtrisée vers 13 h ; 50 l d'NH3 se sont échappés des installations. Les pompiers ventilent les bâtiments et contrôlent régulièrement les concentrations en NH3. Des riverains dont le logement présente une concentration de 3 ppm d'NH3 sont examinés. L'exploitant signale vers 21h30 que 18 m³ d'eau de rinçage saturée en NH3 se seraient écoulés dans les égouts ; le responsable de la station d'épuration est informé. Un élu se rend sur les lieux. Après vérification de l'étanchéité, l'installation est remise en fonctionnement, l'intervention s'achève le lendemain à 2 h.

Sur site le 09/07, l'inspection des IC note une très forte odeur d'NH3 dans la salle des machines, ainsi que l'absence de rapport d'intervention du frigoriste extérieur chargé de la maintenance des installations. Elle constate par ailleurs que les seuils de détection d'NH3 dans la salle des machines sont trop élevés (2 000 et 4 000 ppm au lieu de 500 et 1 000 ppm).

L'exploitant ventile et nettoie la salle des machines. Après cette visite, considérant notamment la localisation de l'établissement dans la zone portuaire proche du centre-ville, ainsi que l'absence d'expertise sur les origines et les causes de la fuite, l'inspection des IC propose un arrêté préfectoral de prescriptions d'urgence. Un audit réglementaire des installations de

réfrigération doit être réalisé en incluant la recherche des causes de l'accident, ainsi qu'un contrôle d'étanchéité de l'ensemble de l'installation. Une actualisation de l'étude de dangers est également demandée. L'exploitant doit enfin mettre en conformité la détection NH3 dont est équipée la salle des machines ; cette intervention est programmée le 18/07.

N°42327 - 22/06/2012 - FRANCE - 29 - BANNALEC

C10.11 - Transformation et conservation de la viande de boucherie

Dans une usine de découpe de viande, un feu vers 18 h en 3 points distincts dans la salle des machines des installations de réfrigération se propage par les panneaux sandwichs aux combles du bâtiment. Les fumées incommodent 6 personnes dont 3 seront hospitalisées.

Tout en protégeant les 2,5 t d'ammoniac (NH3) contenues dans le bâtiment, les pompiers assistés d'une CMIC parviennent à éteindre l'incendie à 19 h, puis ventilent les locaux. Un 2ème foyer impliquant 100 m de câbles sera éteint à 21 h. Pour éviter toute pollution d'un ruisseau proche, l'exploitant ferme la vanne d'écoulement du bassin de rétention d'eau incendie et sécurise la vanne d'isolement. L'intervention des secours s'achève à 0h44.

Le feu serait d'origine électrique. Les énergies sont coupées dans l'établissement et une société spécialisée est contactée pour vidanger les installations sinistrées Le stock de viande (10 t de marchandises, 30 t de matières premières et 15 t de produits finis) est évacué du site. La production est arrêtée. Une centaine d'employés est en chômage technique pour plusieurs semaines.

Le maire et la gendarmerie se sont rendus sur les lieux. L'inspection des IC constate les dommages quelques jours plus tard : calorifugeages abîmés ou détruits et dépôts de suie sur de nombreuses canalisations NH3 autour des compresseurs et sur des organes de sécurité (vannes, purges automatiques), canalisations et organes de sécurité proches du réservoir d'NH3 dégradés par le flux thermique, calorifugeage et indicateur de niveau du réservoir endommagés. Plusieurs non-conformités sont également notées : installation sinistrée insuffisamment surveillée, intervention d'une société extérieure sur les coffrets électriques dans la salle des machines non accompagnée et non informée des risques résiduels, non fonctionnement de l'installation de pré-traitement, conteneurs d'NH3 stockés hors rétention.

Des arrêtés préfectoraux d'urgence imposent la mise en sécurité du site en précisant les conditions de vidange des circuits NH3 et de redémarrage des installations : audit détaillé des installations de réfrigération par un tiers, mise à jour de l'étude de danger des installations Aucun conteneur d'NH3 ne devra être stocké sur le site, mais évacué dès que rempli. Une expertise devra établir un inventaire des équipements susceptibles d'être affectés par une cause similaire à celle qui a provoqué cet incendie. Un diagnostic de mise en sécurité des structures de la salle des machines sera enfin réalisé, ainsi qu'un inventaire de tous les équipements abrités dans la salle des machines, impactés ou non par l'incendie, et des éléments de structure (poteaux, poutres) susceptibles d'avoir été impactés.

N°41816 - 25/02/2012 - FRANCE - 72 - SABLE-SUR-SARTHE

C10.51 - Exploitation de laiteries et fabrication de fromage

Dans une fromagerie industrielle, une fuite évaluée à 10 l/min d'ammoniac de réfrigération (NH3) en phase liquide se produit vers 19h30 sur un joint de canalisation.

L'intervention mobilise une cinquantaine de pompiers dont une CMIC avec de nombreux véhicules de secours, ainsi que des gendarmes. Les 19 employés de l'établissement sont évacués et un périmètre de sécurité est établi ; une centaine de personnes doit quitter des restaurants proches et la circulation est interrompue sur la départementale D309. Un élu se rend sur les lieux.

L'intervention mobilise une cinquantaine de pompiers. Des rideaux d'eau sont établis pour limiter la propagation du nuage d'NH3 formé. Des techniciens de l'entreprise et d'une société

spécialisée parviennent à stopper la fuite à 21 h (500 kg d'NH3 perdus ?) et la circulation est rétablie à 22h20. Les pompiers quittent le site à 23h10 après réparation effective des vannes impliquées.
En juillet 1997, une fuite d'NH3 dans ce même établissement avait conduit à l'hospitalisation par précaution de 28 salariés (ARIA 10815). En janvier 1998, l'explosion d'un générateur à vapeur avait dévasté la chaufferie du site (ARIA
14821).

41299 - 17/11/2011 - FRANCE - 49 - ANGERS
G46.3 - Commerce de gros de produits alimentaires, de boissons et de tabac
Une fuite d'ammoniac (NH3) a lieu vers 10 h sur les installations de réfrigération d'un marché de gros mettant en œuvre 680 kg de frigorigène toxique. Les secours évacuent 40 employés, établissent un périmètre de sécurité de 100 m et installent un rideau d'eau à l'entrée du bâtiment. Un binôme de pompiers et un agent de maintenance sous ARI arrêtent la fuite ; 300 ppm d'NH3 sont mesurées à proximité de celle-ci. La ventilation du bâtiment est peu efficace et la concentration en NH3 ne diminue pas. Finalement, les pompiers découvrent une fosse contenant 0,4 m³ d'ammoniaque (NH4OH). Une société privée pompe cette solution aqueuse et la ventilation est enfin suffisante pour aérer le bâtiment.
L'intervention des secours s'achève à 15h45, mais l'accès au bâtiment est interdit 24 h. Deux employés et 2 pompiers ont été incommodés durant l'intervention ; 1 restaurant employant 7 personnes a dû suspendre son activité. La police et un élu local se sont rendus sur les lieux.

N°39637 - 19/01/2011 - FRANCE - 56 - PLOUAY
C10.12 - Transformation et conservation de la viande de volaille
Un incendie se déclare vers 14h15 sur une pompe à vide dans un local technique d'une usine de transformation de volailles employant 300 salariés. Environ 200 employés sont évacués, il n'y a pas de victime. Les 35 pompiers éteignent le feu ; la toiture est endommagée sur 50 m. Aucune mesure de chômage technique n'est envisagée. Les installations de réfrigération de l'établissement mettant en œuvre de l'ammoniac (NH3) comme frigorigène ne semblent pas avoir été impactées.

N°39546 - 06/01/2011 - FRANCE - 29 - PLOUENAN
C10.39 - Autre transformation et conservation de fruits et légumes
A l'arrivée des employés d'une usine de surgélation de légumes à 7h45, un incendie est découvert dans un local de stockage de 300 m² abritant des emballages en carton. Les flammes fragilisent la structure métallique et entraînent l'effondrement du toit. Une cellule risque chimique se rend sur place en raison de la présence d'installations de réfrigération à l'ammoniac (NH3). Les pompiers éteignent le feu avec 1 lance à eau, puis déblaient le site et bâchent le bâtiment. Malgré d'importants dommages matériels, l'exploitant pense redémarrer les activités de son établissement sous 8 jours.
L'origine du sinistre est indéterminée ; un tableau électrique retrouvé totalement fondu laisse penser à un incendie accidentel. Un élu s'est rendu sur les lieux.

N°35892 - 23/02/2009 - FRANCE - 35 - TORCE

C10.85 - Fabrication de plats préparés

Lors de la purge d'un circuit de réfrigération dans une usine agroalimentaire, une fuite d'ammoniac (NH3) a lieu vers 5 h sur un réservoir de 900 kg. Les 2 employés qui réalisaient l'opération et n'ont pu refermer les vannes, sont hospitalisés pour des examens et les 15 salariés présents sont évacués. Les pompiers (dont une CMIC) colmatent la fuite mais de l'NH3 est encore émis par bouffées sur une durite. Les secours mesurent 130 ppm d'NH3 dans le local attenant et 70 ppm dans les bureaux. Deux techniciens frigoristes réparent la fuite sous ARI vers 11 h. Les secours ventilent le bâtiment et mesurent 15 ppm d'NH3 dans les locaux de production, 5 ppm au rez-de-chaussée et 8 ppm au 1er étage. L'intervention des secours s'achève vers 18h31. L'inspection des IC effectuent une enquête. La production reprendra le lendemain et 45 employés sont en chômage technique pour la journée.

N°35892 - 23/02/2009 - FRANCE - 35 - TORCE

C10.85 - Fabrication de plats préparés

Lors de la purge d'un circuit de réfrigération dans une usine agroalimentaire, une fuite d'ammoniac (NH3) a lieu vers 5 h sur un réservoir de 900 kg. Les 2 employés qui réalisaient l'opération et n'ont pu refermer les vannes, sont hospitalisés pour des examens et les 15 salariés présents sont évacués. Les pompiers (dont une CMIC) colmatent la fuite mais de l'ammoniac se dégage encore par saccades sur une durite. Les secours mesurent 130 ppm d'NH3 dans le local attenant et 70 ppm dans les bureaux. Deux techniciens frigoristes réparent la fuite sous ARI vers 11 h. Les secours ventilent le bâtiment et mesurent 15 ppm d'NH3 dans les locaux de production, 5 ppm au rez-de-chaussée et 8 ppm au 1er étage.

L'intervention des secours s'achève vers 18h31. L'inspection des IC effectuent une enquête. La production reprendra le lendemain et 45 employés sont en chômage technique pour la journée.

N°35884 - 16/10/2008 - FRANCE - 29 - PLOUDANIEL

G46.33 - Commerce de gros de produits laitiers, œufs, huiles et matières grasses comestibles

Une fuite évaluée à 3 900 kg d'ammoniac (NH3) se produit dans un bac à eau glacée de 200 m3 utilisé pour la réfrigération de l'atelier laiterie d'une importante coopérative laitière. L'installation soumise à autorisation met en œuvre 12,3 t d'NH3. La quantité d'NH3 gazeux émise à l'atmosphère n'est pas évaluée. La fuite résulte de la corrosion et du percement de l'une des herses assurant le refroidissement de l'eau du bac. Détectée le 16/10/08 lors d'un contrôle de la teneur en NH3 dans le bac à eau glacée, elle a ensuite été aggravée par une intervention humaine le 24/10 visant à accélérer la vidange des herses. Le mélange eau/NH3 (concentration de 17 g/l d'NH3) en circulation dans tout l'atelier laiterie entraine des émanations odorantes dans les locaux de travail, mais aucun rejet dans le milieu aquatique naturel n'est signalé.

Selon l'exploitant et 2 sociétés extérieures spécialisées dans les phénomènes de corrosion et les installations de réfrigération à l'NH3, l'événement a pour causes principales :

- Une défaillance matérielle : herses constituées d'acier à faible taux de carbone,
- Des défaillances organisationnelles : défaut de surveillance de l'état de corrosion des herses, procédure inadaptée d'injection de l'inhibiteur de corrosion (manuelle durant les premières années d'utilisation du bac à eau glacée mis en service en 1998, niveau d'eau variable et/ou moussage superficiel accélérant la corrosion des herses superficielles implantées près du point d'injection manuelle
- Une défaillance humaine : aggravation de la fuite liée à la mise en œuvre d'opérations pour accélérer la vidange des herses.

Des mesures de surveillance compensatoires sont mises en place pour suivre les concentrations en NH3 dans l'air des locaux de production et dans l'eau du bac. Le contenu du bac est

neutralisé à l'acide sulfurique du 07/11 au 15/11/08, puis orienté sur un ouvrage de stockage interne au site pour être traité à raison de quelques m3/jour dans la station d'épuration interne à l'établissement. Le coût des dommages matériels et pertes d'exploitation n'est pas connu : études, remplacement du matériel défectueux, arrêt technique d'exploitation.
L'inspection des IC prévenue tardivement constate les faits. Un arrêté de mesures d'urgence fixe des prescriptions relatives à la manipulation des eaux ammoniaquées résiduelles et aux modalités de contrôle de son traitement dans la station d'épuration du site, à la vérification des installations (contrôle de la corrosion des herses et de l'ensemble des installations de réfrigération).
Les herses sont expertisées et progressivement remplacées par des plaques en inox au courant de l'année 2009.

N°35600 - 15/09/2008 - FRANCE - 53 - LAVAL
C10.12 - Transformation et conservation de la viande de volaille
Détectant vers 2h45 une fuite d'ammoniac (NH3), un agent de gardiennage arrête l'installation de réfrigération d'une entreprise agroalimentaire de volailles, puis alerte le personnel d'astreinte et les secours. Les riverains notant une odeur inhabituelle préviennent également les secours. L'installation sera remise en service vers 3h30, mais les salariés sont maintenus hors bâtiment entre 4 et 6 h du matin.
Après un retour progressif dans les ateliers, plusieurs employés sont incommodés ; l'un d'eux sera hospitalisé par précaution. Les pompiers demandent l'évacuation générale du site. Lors d'une nouvelle reconnaissance, les secours mesurent une concentration de 30 ppm d'NH3 dans les eaux pluviales qui sont alors confinées. Une société spécialisée curera les collecteurs concernés dans la matinée, pompant 3 m³ d'effluents résiduels.
La soupape de sécurité du collecteur de refoulement principal s'est ouverte à la suite du dysfonctionnement du pressostat associé au compresseur haute-pression qui s'est arrêté peu après. L'NH3 libéré à l'atmosphère est en partie retombé sur la toiture du bâtiment lessivée par la pluie. La contamination du réseau des eaux pluviales a ensuite conduit à de fortes émanations odorantes dans certains ateliers.
L'émission d'NH3 s'étant produite hors de la salle des machines, la fuite n'a pas été détectée par les capteurs implantés dans le local et l'alarme n'a pas été communiqué sur le téléphone d'astreinte ; 150 à 200 kg d'NH3 ont été perdus sur les 7 500 kg mis en œuvre dans l'installation.

N°34547 - 30/04/2008 - FRANCE - 44 - MONTOIR-DE-BRETAGNE
C20.15 - Fabrication de produits azotés et d'engrais
Dans l'estuaire de la LOIRE, une fuite de 200 l d'ammoniac (NH3) a lieu en début de matinée sur une canalisation lors du déchargement d'un navire dans une usine de produits azotés et d'engrais. L'exploitant en informe la capitainerie du port.
Le déchargement du navire reprend après remplacement du joint à l'origine de la fuite. Aucune conséquence n'est relevée, ni sur l'environnement, ni sur les personnes situées à proximité.

N°34302 - 28/02/2008 - FRANCE - 35 - SERVON-SUR-VILAINE
C10.71 - Fabrication de pain et de pâtisserie fraîche
Une fuite d'ammoniac (NH3) se produit à 11h17 sur une bride dans la chambre froide de 150 m² d'une boulangerie / pâtisserie industrielle régulièrement autorisée ; 7 employés sont incommodés (gêne respiratoire), 2 d'entre-eux dont l'un plus gravement intoxiqué étant hospitalisés par précaution. Par mesure de sécurité, 150 employés sont évacués et mis en chômage technique pour la journée. Le préfet et le maire se rendent sur les lieux. Une société de maintenance spécialisée colmate la fuite à 8h45. Les secours effectuent des mesures d'NH3

(140 ppm au niveau de la source, 110 ppm dans le local et moins de 30 ppm au niveau de l'unité de production) et ventilent le bâtiment.

N°34220 - 10/02/2008 - FRANCE - 86 - MIREBEAU

C10.13 - Préparation de produits à base de viande

Une fuite d'ammoniac (NH3) de réfrigération a lieu la nuit dans une usine de produits alimentaires d'origine animale, végétale et à base de lait. Le gardien donne l'alerte après déclenchement d'un détecteur NH3.

Un opérateur purge la capacité tampon d'NH3 de la centrale de production de froid, mais l'opération est ralentie par un bouchon de glace obturant l'orifice de purge. L'opérateur quitte les lieux en laissant la purge se poursuivre et oublie de revenir pour vérifier la bonne réalisation de l'opération et fermer la vanne. Le bouchon de glace fond et l'NH3 mélangé à de l'huile se déverse vers 3h50 dans un fut de 200 l prévu pour collecter le faible volume des égouttures de purge. Pour des raisons pratiques liées à sa vidange, ce fût hors des bâtiments n'est pas dans la cuve de rétention principale de la capacité tampon.

L'effluent ammoniacal déborde du fût, se déverse dans le réseau des eaux pluviales, puis le PREPSON. Les conséquences sur l'environnement semblent limitées (quelques grenouilles tuées), de même qu'au niveau de la station d'épuration municipale. L'écoulement ne se serait que faiblement infiltré au travers du regard de visite des eaux usées non totalement étanche, mais dépourvu de lumière.

Les secours évaluent la fuite à 25 l dNH3 dans un premier temps, puis à 250 kg en fin d'intervention le lendemain vers 21 h. L'activité de l'usine est momentanément stoppée, mais aucun chômage technique n'est envisagé. Le gardien incommodé est hospitalisé par précaution. Le service chargé de la police de l'eau est alerté. Un représentant municipal et la gendarmerie nationale se déplacent également. Des prélèvements d'eau sont effectués, bien qu'aucun point de captage ne soit répertorié le long du ruisseau.

La procédure traitant de la purge des cuves tampons NH3 était incomplète : validation a postériori de la fermeture des vannes manuelles, dispositions à prendre par l'opérateur lors d'un incident de purge, formation d'un bouchon de glace...

Par ailleurs, les mesures prises en matière de rétention lors de ces purges ne prenaient pas en compte un débordement important accidentel : bidon de 200 l sur une rétention mobile de 50 l et hors de la rétention principale contenant la cuve tampon.

L'exploitant met de suite en place une validation à postériori de la fermeture des vannes par le gardien en poste dont la formation sera complétée à cet effet. Plusieurs fûts de 200 l sont installés dans la rétention principale des installations de froid ; un transfert régulier dans un 2ème fût de l'huile purgée sera nécessaire, mais avec les dispositions prises sans crainte du déversement d'une quantité importante de substances polluantes dans l'environnement via les réseaux d'eaux pluviales et d'eaux usées. Enfin, un dispositif technique d'asservissement de la remise en fonctionnement des centrales frigorifiques à la fermeture de toutes les vannes manuelles est étudié.

N°34158 - 29/01/2008 - FRANCE - 56 - BERRIC

C10.13 - Préparation de produits à base de viande

Une alarme « incendie en salle des machines » se déclenche à 8 h sur un "téléphone maintenance" dans une usine d'aliments à base de produits carnés ou marins. Une fumée sort d'une cheminée d'extraction. Les installations sont arrêtées en urgence. Un feu s'est déclaré sur le moteur du compresseur d'une unité de réfrigération contenant 2,45 t d'ammoniac (NH3). Le frigorigène fuit ; 4 employés sous ARI, dont 2 agents de maintenance, tentent de maîtriser le départ de feu à l'aide d'extincteurs et, pour limiter l'émission d'NH3, ferment 2 vannes manuelles d'isolement sur les collecteurs d'NH3 en plus des vannes automatiques. Les pompiers externes

et le sous-traitant chargé de l'entretien des installations sont alertés. L'alarme générale incendie est déclenchée, les 116 employés rejoignent des lieux de repli.
D'importants moyens de secours interviennent à 8h30 : 41 pompiers et CMIC, 12 camions, services vétérinaires informés par les pompiers, la gendarmerie... Le feu est éteint peu après. A 9h30, 2 pompiers en scaphandre chimique essaient d'identifier la source de la fuite. Gênant leur recherche, un sifflement aigu non localisé persiste jusqu'à la fermeture d'une vanne d'air comprimé qui isole l'usine à 9h45. En ARI et protégé par des pompiers, un binôme d'intervention de l'entreprise de maintenance intervient dans le local à 9h50. La fuite d'NH3 est maitrisée à 10h24 sur un raccord de tuyauterie rigide desserré et dont le joint a été détérioré par les flammes. La ventilation d'extraction est maintenue jusqu'à la fin de l'intervention dans le local et les combles ; 4 ppm d'NH3 seront mesurées à 100 m du site.
L'intervention s'achève vers 11h30. Aucune explosion d'NH3 confiné n'est notée et aucun blessé n'est à déplorer. Seuls le compresseur et la tuyauterie impliqués dans l'accident sont endommagés. Le local étant indépendant de l'outil de production et un 2ème compresseur étant disponible, l'usine reprend ses activités vers 11 h. Un appoint de 150 kg d'NH3 sera effectué au démarrage du 2ème compresseur, mais cette quantité n'est sans doute pas exclusivement celle perdue lors de l'accident.
Selon l'exploitant, des frottements et vibrations sur un bornier électrique du moto-compresseur ont desserré des cosses et provoqué une amorce électrique à l'origine du départ de feu. Plusieurs mesures sont prises : évacuation des bidons d'huile stockés dans le local, identification des vannes de barrage manuelles, déplacement d'une vanne d'air située dans les combles, nettoyage rapide du local (suies...) pour limiter la corrosion du matériel, révision du POI, information et formation du personnel (support d'information, risque NH3, intervention sous ARI)... Vite détecté et localisé, puis traité, l'accident aurait pu être plus grave en période d'activité réduite (week-end, nuit...). L'enquête révèlera enfin que le responsable de maintenance usine connaissait mal les installations frigorifiques dont l'entretien était sous-traité à une entreprise extérieure.

N°33682 - 28/09/2007 - FRANCE - 44 - CAMPBON
C10.51 - Exploitation de laiteries et fabrication de fromage
Une fuite de 10 kg d'ammoniac (NH3) se produit vers 10 h sur le compresseur d'une installation de réfrigération dans la salle des machines d'une laiterie. La vaporisation du produit nécessite la mise en place d'un périmètre de sécurité limité à l'entreprise. Les 170 employés de l'établissement sont évacués. Un médecin examine sur place 5 employés victimes d'irritations oculaires ; ces derniers ne seront pas hospitalisés. Les vents ne sont pas orientés en direction des zones habitées et la fuite est maîtrisée vers 12 h. Le site reprend ses activités en fin d'après-midi. Aucune conséquence environnementale n'est à déplorer.

N°33301 - 29/07/2007 - FRANCE - 22 - LOUDEAC
C10.13 - Préparation de produits à base de viande
Dans une usine de préparation industrielle de produits à base de viande, un feu se déclare vers 6h10 dans une salle de tranchage au 2ème étage d'un bâtiment de 15 000 m². Un risque de propagation du sinistre étant redouté et la fumée envahissant le bâtiment, les pompiers effectuent une reconnaissance dans les différents ateliers. L'incendie incommode 5 pompiers et le gardien du site ; 40 personnes sont en chômage technique. Les locaux sont ventilés. L'intervention s'achève à 11h23, la surveillance et le déblaiement des lieux à 18h30. Les dommages sont importants, mais les installations de réfrigération mettant en œuvre 12 t d'ammoniac n'ont pas été atteintes. Les autorités locales, la gendarmerie et les services chargés du gaz et de l'électricité se sont également rendus sur les lieux.

N°32370 - 12/10/2006 - FRANCE - 29 - QUIMPER

C10.13 - Préparation de produits à base de viande
Une fuite de 20 kg d'ammoniac (NH3) a lieu dans une usine de production de viande après rupture d'une tuyauterie de 10 mm de diamètre assurant le retour d'huile du séparateur vers le compresseur haute pression.
A 7h20, l'alarme "détection NH3" se déclenche sur la centrale NH3 avec report téléphonique vers le chef d'équipe maintenance. La salle des machines est arrêtée et son extraction forcée est mise en service. Le défaut est observé au niveau de la centrale : Alarme sonde n° 7 salle des machines - 1 028 ppm d'NH3'. Equipée de masques à cartouche, une équipe de maintenance pénètre dans la salle des machines pour vérifier l'origine de l'alarme. Ressortant du local leurs cartouches saturées, les intervenants confirment à 7h30 au chef de fabrication l'importance de la fuite pour qu'il puisse alerter les secours. L'un des techniciens se rend alors à l'entrée du site pour les accueillir, 2 autres récupèrent du matériel d'intervention (scaphandre et ARI).
L'NH3 diffuse dans les secteurs expédition / emballage frais qui sont évacués en priorité à 7h35. Deux techniciens en tenue étanche localisent et stoppent la fuite. Le personnel est évacué à 7h40 des ateliers vers la salle de pause à l'opposé de la salle des machines. La fuite est au niveau du compresseur n° 4 qui est isolé à 7h45. La salle des machines et les locaux de production sont ventilés à 7h50 en ouvrant portes des quais et exutoires. Les pompiers suivent l'évolution de la concentration en NH3 dans les ateliers et dans les combles ; 200 ppm sont mesurées à 8h15 en salle des machines et 131 ppm sur le quai d'expédition au haut de l'escalier montant de cette salle. A la demande des pompiers qui ne souhaitent pas les laisser dans une zone confinée, les employés quittent la salle de pause à 8h30 et se dirigent vers un point de rassemblement extérieur. Deux personnes incommodées sont hospitalisées à 9 h pour des examens complémentaires. Des secteurs de l'usine sont à nouveau accessibles 1 h plus tard (inférieur à 5 ppm NH3), sauf le secteur expédition / emballage frais (25 ppm d'NH3) dont l'accès ne sera autorisé par les pompiers qu'à partir de 11 h. La rupture de tuyauterie pourrait être liée aux vibrations du compresseur. La société chargée du suivi des installations de réfrigération la vérifie et la remet en service dans l'après-midi.
La rapidité de la détection de la fuite, puis de l'intervention avec des moyens adaptés pour la maîtriser dans les meilleurs délais a sans aucun doute permis de limiter la quantité de frigorigène toxique émise à l'atmosphère. L'exploitant prévoit de renforcer la tuyauterie de retour d'huile avec un support métallique et de vérifier la bonne fermeture / étanchéité des portes de l'escalier entre la salle des machines et le quai d'expédition.

N°31725 - 30/04/2006 - FRANCE - 35 - MONTAUBAN
C10.11 - Transformation et conservation de la viande de boucherie
Une fuite d'ammoniac (NH3) se produit vers 13 h sur les installations de réfrigération d'un abattoir. Les employés colmatent la fuite, mais des concentrations de 40 à 70 ppm sont mesurées dans 4 chambres froides de 400 m² et 7 m de haut dans lesquelles ont stockées 60 t de viande. Un employé souffre de légères irritations oculaires. Les pompiers assainissent les lieux à l'aide d'un ventilateur grand débit, les concentrations chutant entre 15 et 20 ppm vers 23 h.
L'opération se prolonge durant la nuit. Le lendemain vers midi, la viande est examinée par les services vétérinaires et stockée dans une semi-remorque. Les chambres froides sont nettoyées. L'abattoir reprend son activité le surlendemain.

N°31239 - 06/01/2006 - FRANCE - 35 - VITRE

C10.52 - Fabrication de glaces et sorbets

Dans une usine de crèmes glacées, 6 à 800 l d'ammoniac (inférieur à 500 kg NH3) sont émis à l'atmosphère en fin de nuit par un collecteur d'échappement à la suite d'une surpression dans le circuit haute pression (HP) d'une installation de réfrigération et du dysfonctionnement d'une soupape de sécurité sur un réfrigérant d'huile ; celle-ci tarée à 18 bars s'est ouverte à 15,7 bars, le pressostat de sécurité HP étant réglé à 16,5 bars. Selon les témoins, l'NH3 sous forme liquide en début d'émission a empêché la "fermeture" de la soupape après relargage ; tout l'NH3 de la section concernée sera libéré jusqu'à fermeture définitive des circuits.

L'NH3 émis détecté en salle des machines entraîne l'arrêt des installations dont les sécurités fonctionnent bien. Une alarme alerte un agent de surveillance qui applique les consignes de sécurité ; le POI de l'usine est déclenché moins de 15 min après l'alarme. Les secours externes sur les lieux 10 min après avoir été prévenus utilisent 2 "queues de paon" pour limiter toute propagation d'NH3 en direction d'une zone d'habitat très proche ; des concentrations de 59 ppm d'NH3 seront relevées à la source, 39 ppm à 200 m et 11 ppm à 300 m. La gendarmerie invite la population, dont 150 personnes d'un lotissement voisin, à se confiner dans un rayon de 200 m. Le personnel du site est évacué, ainsi que les entreprises voisines dans un périmètre de 50 m sous le vent. La municipalité gestionnaire du bassin de rétention des eaux pluviales de la ZI est également alertée.

Pour des raisons techniques d'organisation, les pompiers ne ferment la vanne de sortie de ce bassin que 30 à 45 min après le début de leur intervention ; un 1er rejet d'eau fortement alcalinisée (queues de paon) dans la VILAINE est inévitable et quelques poissons sont tués. Devant la forte augmentation du pH (supérieur à10) notée par les pompiers en aval immédiat du point de rejet, la police de l'eau fait effectuer plusieurs largages depuis un barrage amont et, avec

L'appui de l'inspection, demande à l'industriel la mise en place d'un réseau de relevé du pH le long de la rivière, en relais de celui des pompiers, pour suivre la progression de la vague. Un captage d'eau potable est suspendu par précaution en aval. A l'arrivée de la vague de pollution, un 2ème largage est effectué d'une retenue sur un affluent de la VILAINE. Les mesures prises sont levées après constat de l'effet de dilution obtenu et d'un retour à la normale.

Les 40 employés du site seront en chômage technique une journée. Un manque d'eau d'alimentation du condenseur évaporatif est à l'origine de la pression d'NH3 anormalement élevée dans les circuits de condensation. Toutes les soupapes de sécurité sont remplacées, le seuil de réglage des sécurités HP est abaissé, une alerte manque d'eau et une détection fonctionnement des soupapes sont installées, la procédure de fermeture du bassin de confinement est modifiée.

N°31010 - 23/10/2005 - FRANCE - 29 - LANDIVISIAU

C10.20 - Transformation et conservation de poisson, de crustacés et de mollusques

Une fuite de 150 à 200 kg d'ammoniac (NH3) se produit un dimanche à 10h30 sur un joint de clapet dans la salle des machines d'une entreprise spécialisée dans le traitement et la transformation de poissons. Une alarme NH3 se déclenche avec mise en service automatique d'un extracteur d'air de secours et arrêt des installations de réfrigération. Les installations redémarrent vers 18 h après intervention d'un frigoriste sous-traitant. L'incident a été sans conséquence sur l'environnement et sur les personnes. Les pompiers n'ont pas été alertés.

N°31216 - 23/09/2005 - FRANCE - 44 - CARQUEFOU

H52.10 - Entreposage et stockage

Dans un entrepôt frigorifique construit en 1980, 40 kg d'ammoniac (NH3) fuient d'installations de réfrigération en rénovation contenant 3,5 t de frigorigène. Avant de remplacer des collecteurs NH3 en hauteur dans le couloir de manutention de l'établissement, un tuyauteur travaillant pour le compte d'un frigoriste sous-traitant enlève à 10h20 le calorifugeage isolant plusieurs anciennes tuyauteries devant le tunnel de congélation. De la glace étant présente dans l'isolant, l'ouvrier qui utilise un marteau et un burin, percute une canalisation et de l'NH3 gazeux fuit dans le quai de manutention. Le responsable d'exploitation fait évacuer le quai et les bureaux proches 5 min plus tard, puis alerte le directeur en visite clientèle qui donne consigne d'appeler les pompiers, d'avertir le locataire d'une partie des locaux séparée de la zone NH3 et de maintenir le personnel hors du bâtiment. De 10h30 à 11 h, le frigoriste de l'entrepôt et 2 frigoristes sous-traitants ferment les vannes d'aspiration et d'alimentation en liquide des chambres et du tunnel. A 11 h, un technicien accompagné de 2 pompiers recherchent la fuite qui est localisée 45 min plus tard : un trou de 2 à 3 mm sur un piquage du collecteur. La tuyauterie est vidangée et mise sous vide. Des prélèvements d'air à 12h30 montrent l'absence d'NH3 dans la partie des locaux louée, 0 à 4 ppm au 1er étage de l'entrepôt, 4 à 20 ppm au rez-de-chaussée et 50 ppm sur le quai devant le tunnel. Les activités reprennent à 13 h. A la remis en service des installations, seule la vanne de départ liquide du tunnel est isolée, les vannes d'aspirations restant ouvertes pour aspirer le reste de l'NH3 dans les batteries du tunnel. L'exploitant et le prestataire avaient rédigé un plan de prévention et une procédure d'intervention avant les travaux. Il n'y a pas de victime. Plusieurs mesures sont prises : remplacement des collecteurs et des calorifuges, nouveaux collecteurs placés plus haut (risque de heurt diminué) et calorifugés séparément, réunions avec le prestataire pour un rappel des consignes de sécurité et avec l'équipe d'exploitation pour améliorer la réaction à ce type d'accident, exercice planifié avec les pompiers en 2006. Un arrêté préfectoral impose une étude technico-économique : confinement des canalisations de distribution d'NH3 vers les chambres froides, vannes à sécurité positive commandées à distance, amélioration des conditions d'accès aux installations en hauteur dans le circuit de distribution.

ANNEXE 5

ANALYSE DES MODES DE DÉFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITÉ en référence à l'arrêté du 29 septembre 2005.

	Page
Grille de criticité	2
Analyse des défaillances possibles sur les tuyauteries	4
Analyse des défaillances possibles des compresseurs à pistons	5
Analyse des défaillances possibles des compresseurs à vis	8
Analyse des défaillances possibles sur le circuit HP	11
Analyse des défaillances possibles sur le circuit MP / BP	16
Analyse des défaillances possibles sur l'ensemble de l'installation	20
Récapitulatif des criticités AVANT préconisations	24
Récapitulatif des criticités APRÈS préconisations	25
Justificatif des scénarii retenus	26

Nombre de défaillances moyennement critiques **AVANT** préconisations =	**20**
Nombre de défaillances CRITIQUES **AVANT** préconisations =	**0**
Toutes ces défaillances ont fait l'objet d'actions correctives détaillées dans ce document et dans l'étude de danger, de façons à ramener leur nombre (en Défaillances Moyennement Critiques**) à :**	0
Les risques restants sont ceux issus d'un projectile venant de l'extérieur ou d'un incendie	

Grille de criticité des accidents

Après avoir identifié les accidents possibles, il est utile de procéder à une évaluation de leur probabilité d'occurrence.
Cette évaluation est faite à partir des éléments contenus dans *« 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 soumises à autorisation »* (JO du 7 octobre 2005).
Le BARPI du ministère a réuni les accidents sur ce type d'installations, déclarés en préfecture, et indiqué l'origine et les conséquences de ceux-ci.

Cependant, il est nécessaire de procéder à une analyse au cas par cas des évaluations effectuées. C'est la raison pour laquelle après avoir déterminé les modes de défaillance pour chacun des appareils mentionnés et répertoriés, ont été pris en compte : l'implantation de l'équipement ainsi que la quantité d'ammoniac mise en jeu dans le cadre de la défaillance. Ce, afin d'obtenir une analyse exhaustive et adaptée particulièrement au site et à l'installation frigorifique fonctionnant à l'ammoniac.
L'évaluation de la criticité de la défaillance s'évalue à partir des niveaux de gravité et de fréquence.

Les niveaux de gravité (G) et de fréquence (F) sont tous les deux, classés en niveaux variant de 1 à 5 selon les critères suivants, issus de l'arrêté précité du 29 septembre 2005 :

Pour la **Gravité** selon l'annexe III, de l'arrêté *pré cité, relative à l'échelle d'appréciation de la gravité des conséquences humaines d'un accident* ***à l'extérieur des installations***.

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	Indice **G** chiffré dans la grille de criticité
Désastreux	Plus de 10 personnes exposées (1)	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées	**5**
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées	**4**
Important	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	**3**
Sérieux	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées	**2**
Modéré	Pas de zone de létalité hors de l'établissement		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à une personne	**1**
(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 ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent				

Pour la **Fréquence** selon l'annexe I, de l'arrêté *du 29 septembre 2005, relative aux échelles de probabilité, en tant* ***qu'appréciation qualitative****.*

Classe de probabilité	**E** (**1** dans la grille de criticité)	**D** (**2** dans la grille de criticité)	**C** (**3** dans la grille de criticité)	**B** (**4** dans la grille de criticité)	**A** (**5** dans la grille de criticité)
Appré-ciation qualitative	**« événement possible mais extrêmement peu probable »** N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années d'installations.	**« événement très improbable »** S'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité.	**« événement improbable »** Un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	**« événement probable »** S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de la vie de l'installation.	**« événement courant »** S'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de la vie de l'installation, malgré d'éventuelles mesures correctives.

La criticité (C) de la défaillance est donnée par le couple (G, F) de ces deux valeurs, la criticité peut donc varier de 11 à 55.

Probabilité (F)↓	**Gravité 1**	**Gravité 2**	**Gravité 3**	**Gravité 4**	**Gravité 5**
A ou 5	**15**	**25**	**35**	**45**	**55**
B ou 4	**14**	**24**	**34**	**44**	**54**
C ou 3	**13**	**23**	**33**	**43**	**53**
D ou 2	**12**	**22**	**32**	**42**	**52**
E ou 1	**11**	**21**	**31**	**41**	**51**
Gravité→	**G = 1**	**G = 2**	**G = 3**	**G = 4**	**G = 5**

La **criticité (C)** permet d'évaluer le niveau de risque présenté par une défaillance.

	défaillance critique / il est nécessaire d'envisager des mesures urgentes d'amélioration
	défaillance moyennement critique / des mesures d'amélioration doivent être étudiées
	défaillance non critique / il n'est pas nécessaire d'envisager des mesures d'amélioration

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**TUYAUTERIES ET ACCESSOIRES**

Tableau des défaillances canalisations

Cause de défaillance	Prévention - Action
Choc	Protection mécanique des canalisations sur leur parcours, dans la SdM, les combles ou en extérieur.
	Attention à bien remettre en place les différentes protections après d'éventuels travaux
Corrosion	Au neuvage par protection anticorrosion (peintures, bandes grasses, galvanisation extérieure.
	Inspection des canalisations non calorifugées. Programme annuel de vérification par sondage des canalisations calorifugées
Coup de bélier	Vérification d'absence de coups de bélier en marche froid ou en dégivrage, malgré la bonne conception de l'installation
Vibrations excessives	Contrôles réguliers à prévoir dans le cadre de l'entretien des compresseurs notamment.
Contraintes de dilatation	Bien disposer les supports et vérifier ensuite leur tenue dans le temps.
Matériaux non adaptés	Les certificats "matières" seront fournis par l'installateur, et les travaux seront réalisés par des professionnels du froid suivant les indication de la DESP. Une traçabilité des matériaux utilisés sera effectuée dans le cadre de la DESP.
Défaut de fabrication des tubes ou de leurs accessoires (Tés, coudes, brides)	id
Mauvaise soudure	Les soudures sont faites par des soudeurs qualifiés selon mode opératoire connu.
Surpression	Présence de clapets de décharge interne ou de soupapes de sécurités externes.
Supports inadaptés	Bien disposer les supports et vérifier ensuite leur tenue dans le temps.

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**GROUPE MOTO COMPRESSEUR à PISTONS**

D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique;
DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
P1	Vanne ASPIRATION ou REFOULEMENT	Non étanchéité ou blocage	Impuretés ou inutilisation	Impossibilité d'isoler le compresseur	Arrêt prolongé de l'installation	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	14	D	Vérification périodique du bon fonctionnement des vannes	12	D
P2		Détérioration du presse étoupe ou mauvais serrage	Usure, durcissement des joints, mauvaise qualité des joints	Fuite légère en SdM	Minime	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	14	D	Vérification de la compatibilité des joints avec l'NH3 y compris ceux du compresseur	12	D
P3	Compresseur	Défaut garniture	Usure, vieillissement, déserrage ou vibrations excessives	Perte d'huile, légère émission d'NH3	Minime	Flaque d'huile, odeur, détecteur NH3, pressostat huile	14	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance	12	D
P4		Rupture ou fissure d'un piquage ou manomètre	Vibrations, désalignage entre compresseur et moteur	Emission NH3 dans la SdM	Fuite limitée à la SdM	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	14	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance	12	D
P5		Défaut mécanique compresseur	Sécurités circuit NH3 ou huile inopérantes	Compresseur HS après un éventuel coup de liquide	Fuite limitée à la SdM	Protection électrique moteur	13	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
P6	Clapet de décharge interne	Ouverture à pression trop basse	Déréglage ou tarage trop faible	Surchauffe au compresseur	Arrêt du compresseur concerné	Thermostat de surchauffe au refoulement	14	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
P7		Bloqué fermé	Corrosion ou mauvais tarage	Risque de rupture, si PHP défectueux	Arrêt du compresseur concerné	Pressostat HP, Protection électrique moteur	13	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
P8	Pressostat HP	Déclenchement à pression trop élevée	Déréglage ou tarage trop élevé	Risque ouverture soupape sécurité et avarie compresseur	Arrêt du compresseur concerné	Soupape de sécurité	14	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
P9	Pressostat BP	Déclenchement à pression trop basse	Déréglage ou tarage trop faible	Risque entrée air dans circuit, prise en glace des évaporateurs	Minime	Pressostat BP général. Manomètre de contrôle	14	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
P10	Pressostat différentiel d'huile	Déclenchement à différentiel trop bas	Déréglage ou tarage trop faible	Avarie compreseur	Arrêt du compresseur concerné	Thermostat refoulement. Manomètre de contrôle	14	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**GROUPE MOTO COMPRESSEUR à PISTONS**

D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique;
DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
P11	Thermostat de refoulement et huile	Déclenchement à température trop élevée	Déréglage ou tarage trop élevé	Avarie compreseur	Arrêt du compresseur concerné	Thermomètre de contrôle	14	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
P12	Réfrigérant d'huile à eau	Passage d'huile vers eau	Percement réfrigérant d'huile	Risque avarie compresseur par manque d'huile	Arrêt du compresseur concerné	Pressostat différentiel d'huile, thermostat de refoulement	14	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance	12	D
P13	Séparateur d'huile	Rupture d'un piquage	Vibrations excessives	Fuite de NH3 gazeux et huile en SdM	Risque pour les personnes présentes en SdM	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	13	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance	12	D
P14	Soupape de sécurité à l'atmosphère	Ouverture à pression trop basse	Déréglage ou tarage trop faible ou par surpression "normale" d'ouverture	Emission NH3 à l'extérieur	Voir scénario correspondant, en cas de "crachage normal ou pas" dans étude de danger	Odeur, arrêt d'urgence, manque d'NH3	24	DMC	Contrôle des sécurités, maintenance préventive. Tenir une soupape en stock. Monter un **détecteur spécial soupape** pour alerter et éventuellement arrêter l'installation en cas de crachage de la soupape.	12	D
P15		Bloquée fermée	Corrosion, mauvais tarage déréglage, obstruction par bouchon de glace ou objet	Risque de rupture, si PHP défectueux et émission NH3 dans SdM	Risque pour les personnes présentes en SdM	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX, autres pressostats HP.	24	DMC	Contrôle périodique des sécurités, des soupapes (DESP) et ramener leurs évacuations dans le capotage avec détecteur NH3. Pose d'un pressostat HP de redondance général HP	12	D
P16	Clapet de non	Bloqué ouvert	Usure, impuretés	Condensation possible d'NH3 dans huile, risque d'avarie du compresseur	Arrêt du compresseur concerné	Niveau d'huile dans séparateur, manomètre à l'arrêt, pressostat d'huile	13	D	Vérifier la température d'huile dans le carter à l'arrêt.	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**GROUPE MOTO COMPRESSEUR à PISTONS**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
P17	Clapet de non retour au refoulement	Bloqué fermé	Usure ou casse	Risque de rupture, si PHP défectueux	Risque pour les personnes présentes en SdM. Arrêt du compresseur concerné	Pressostat HP, Protection électrique moteur	13	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	11	D
											DC

Pour les compresseurs à pistons	Nombre de défaillances moyennement crtiques **AVANT** préconisations =	**2**	**APRÈS** préconisations	**0**
	Nombre de défaillances CRITIQUES **AVANT** préconisations =	**0**	**APRÈS préconisations**	**0**

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**GROUPE MOTO COMPRESSEUR à VIS**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
V1	Vanne ASPIRATION ou REFOULEMENT, ou clapet ASPIRATION	Non étanchéité ou blocage	Impuretés ou inutilisation	Impossibilité d'isoler le compresseur	Arrêt prolongé de l'installation	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	14	D	Vérification périodique du bon fonctionnement des vannes	12	D
V2		Détérioration du presse étoupe ou mauvais serrage	Usure, durcissement des joints, mauvaise qualité des joints	Fuite légère en SdM	Minime	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	14	D	Vérification de la compatibilité des joints avec l'NH3 y compris ceux du compresseur	12	D
V3	Compresseur	Défaut garniture	Usure, vieillissement, déserrage ou vibrations excessives	Perte d'huile, légère émission d'NH3	Minime	Flaque d'huile, odeur, détecteur NH3, pressostat huile	14	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance	12	D
V4		Rupture ou fissure d'un piquage ou manomètre	Vibrations, désalignage entre compresseur et moteur	Emission NH3 dans la SdM	Fuite limitée à la SdM	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	14	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance	12	D
V5		Défaut mécanique compresseur	Sécurités circuit NH3 ou huile inopérantes	Compresseur HS après un éventuel coup de liquide	Fuite limitée à la SdM	Protection électrique moteur	13	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
V6	Clapet de décharge interne ou vanne de BY-PASS	Ouverture à pression trop basse	Déréglage ou tarage trop faible	Surchauffe au compresseur	Arrêt du compresseur concerné	Thermostat de surchauffe au refoulement	14	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
V7		Bloqué fermé	Corrosion ou mauvais tarage	Risque de rupture, si PHP défectueux	Arrêt du compresseur concerné	Pressostat HP, Protection électrique moteur	13	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
V8	Pressostat HP	Déclenchement à pression trop élevée	Déréglage ou tarage trop élevé	Risque ouverture soupape sécurité et avarie compresseur	Arrêt du compresseur concerné	Soupape de sécurité	14	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
V9	Pressostat BP	Déclenchement à pression trop basse	Déréglage ou tarage trop faible	Risque entrée air dans circuit, prise en glace des évaporateurs	Minime	Pressostat BP général. Manomètre de contrôle	14	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
V10	Pressostat différentiel d'huile	Déclenchement à différentiel trop bas	Déréglage ou tarage trop faible	Avarie compreseur	Arrêt du compresseur concerné	Thermostat refoulement. Manomètre de contrôle	14	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**GROUPE MOTO COMPRESSEUR à VIS**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
V11	Thermostat de refoulement et huile	Déclenchement à température trop élevée	Déréglage ou tarage trop élevé	Avarie compreseur	Arrêt du compresseur concerné	Thermomètre de contrôle	14	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
V12	Réfrigérant d'huile par NH3 en gravité	Passage d'huile vers NH3	Percement réfrigérant d'huile	Risque avarie compresseur par condensation d'NH3 dans l'huile	Arrêt du compresseur concerné	Pressostat différentiel d'huile	14	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance	12	D
V13	Réfrigérant d'huile par eau glycolée	Passage d'huile vers eau glycolée	Percement réfrigérant d'huile	Risque avarie compresseur par mélange eau et huile	Arrêt du compresseur concerné	Pressostat différentiel d'huile ou thermostat température huile	14	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance	12	D
V14	Séparateur d'huile	Rupture d'un piquage	Vibrations excessives	Fuite de NH3 gazeux et huile en SdM	Risque pour les personnes présentes en SdM	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	13	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance	12	D
V15	Soupape de sécurité à l'atmosphère	Ouverture à pression trop basse	Déréglage ou tarage trop faible ou par surpression "normale" d'ouverture	Emission NH3 à l'extérieur	Voir scénario correspondant, en cas de "crachage normal ou pas" dans étude de danger	Odeur, arrêt d'urgence, manque d'NH3	24	DMC	Contrôle des sécurités, maintenance préventive. Tenir une soupape en stock. Monter un **détecteur spécial soupape** pour alerter et éventuellement arrêter l'installation en cas de crachage de la soupape.	12	D
V16		Bloquée fermée	Corrosion, mauvais tarage déréglage, obstruction par bouchon de glace ou objet	Risque de rupture, si PHP défectueux et émission NH3 dans SdM	Risque pour les personnes présentes en SdM	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX, autres pressostats HP.	24	DMC	Contrôle périodique des sécurités, des soupapes (DESP) et ramener leurs évacuations dans le capotage avec détecteur NH3. Pose d'un pressostat HP de redondance général HP	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**GROUPE MOTO COMPRESSEUR à VIS**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
V17	Clapet de non retour au refoulement	Bloqué ouvert	Usure, impuretés	Condensation possible d'NH3 dans huile, risque d'avarie du compresseur	Arrêt du compresseur concerné	Niveau d'huile dans séparateur, manomètre à l'arrêt, pressostat d'huile	13	D	Vérifier la température d'huile dans le carter ou le réservoir d'huile à l'arrêt.	12	D
V18		Bloqué fermé	Usure ou casse	Risque de rupture, si PHP défectueux	Risque pour les personnes présentes en SdM. Arrêt du compresseur concerné	Pressostat HP, Protection électrique moteur	13	D	Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	11	D

Pour les compresseurs à vis	Nombre de défaillances moyennement crtiques **AVANT** préconisations =	**2**	**APRÈS** préconisations	**0**
	Nombre de défaillances CRITIQUES **AVANT** préconisations =	**0**	**APRÈS préconisations**	**0**

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**CIRCUIT HP**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
H1	Canalisation de refoulement **en SdM**	Fissure ou rupture	Voir tableau de causes de défaillance tuyauteries	Emission NH3 gazeux dans la SdM	Risque pour les personnes présentes en SdM	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	23	D	Entretien régulier des tuyauteries par peinture et vérification de l'état des tuyauteries.	12	D
H2	Canalisation de refoulement en **EXTERIEUR**	Fissure ou rupture	Voir tableau de causes de défaillance tuyauteries	Emission NH3 gazeux à l'extérieur	Voir scénario correspondant dans étude de danger	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	33	DMC	Idem ci dessus avec mise en place d'un capotage aux connexions condenseur avec détecteur NH3	12	D
H3	Vannes manuelles sur la partie VAPEUR des condenseurs EN **EXTERIEUR**	Non étanchéité ou blocage	Impuretés ou inutilisation	Impossibilité d'isoler le circuit	Arrêt prolongé de l'installation	Odeur, arrêt d'urgence	33	DMC	Vérification périodique du bon fonctionnement des vannes. Mise en place du capotage aux connexions condenseur avec détecteur NH3	12	D
H4		Détérioration du presse étoupe ou mauvais serrage	Usure, durcissement des joints, mauvaise qualité des joints	Fuite légère à l'extérieur	Minime	Odeur, arrêt d'urgence	33	DMC	Vérification de la compatibilité des joints avec l'NH3. Mise en place d'un capotage aux connexions condenseur avec détecteur NH3	12	D
H5	Vannes manuelles sur la partie LIQUIDE des condenseurs **EN EXTERIEUR**	Non étanchéité ou blocage	Impuretés ou inutilisation	Impossibilité d'isoler le circuit	Arrêt prolongé de l'installation	Odeur, arrêt d'urgence	13	D	Idem ci avant	12	D
H6		Détérioration du presse étoupe ou mauvais serrage	Usure, durcissement des joints, mauvaise qualité des joints	Fuite INTENSE à l'extérieur sous forme liquide, vapeur et aérosols	Voir scénario dans étude de danger avec risques pour les personnes présentes dans les zones	Odeur, arrêt d'urgence	33	DMC	Idem ci avant	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**CIRCUIT HP**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
H7	Faisceau d'échange constituant le **condenseur à eau et/ou le désurchauffeur dans SDM**	Percement	Corrosion	Fuite de NH3 dans l'eau glycolée	Arrêt de l'installation avec risque de fuite d'eau ammoniaquée au niveau des postes	Odeur NH3, manque NH3 dans circuit	24	DMC	Suivi qualité de l'eau, pose d'un Phmètre dans circuit EG	12	D
H8		Non ou mauvais fonctionnement	Défaut électrique, conditions ambiantes excessives ou manque d'eau.	Risque fonctionnement soupape de sécurité	Arrêt de l'installation	**Pressostats HP**	24	DMC	Maintenance préventive. Entretien et surveillance. Pose du pressostat HP de redondance	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**CIRCUIT HP**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
H12	Faisceau d'échange constituant le condenseur et circuit d'air et d'eau en **EXTERIEUR**	Percement	Corrosion	Fuite de NH3 dans l'eau ou dans l'air	Arrêt de l'installation avec risque de pollution des rejets; Voir scénario correspondant	Odeur NH3, manque NH3 dans circuit	24	DMC	Suivi qualité de l'eau, pose d'un Phmètre dans cuve tampon	12	D
H13		Non ou mauvais fonctionnement	Défaut électrique, conditions ambiantes excessives ou manque d'eau.	Risque fonctionnement soupape de sécurité	Arrêt de l'installation; Voir scénario correspondant	Pressostats HP	24	DMC	Maintenance préventive. Entretien et surveillance. Pose du pressostat HP de redondance	12	D
H14		Retour eau vers usine	Chute pression réseau ou autre	Risque contamination eau	Limité à l'exploitation	La tubulure d'amenée d'eau est au dessus du bassin	22	D	Suivi qualité de l'eau	12	D
H15	Tuyauteries Liquide HP avec accessoires, en **EXTERIEUR**	Fissure ou rupture	Voir tableau de causes de défaillance tuyauteries	Fuite INTENSE à l'extérieur sous forme liquide, vapeur et aérosols	Voir scénario dans étude de danger avec risques pour les personnes présentes dans la DEL (ex Z1) et DEI (ex Z2) et pollution de sol	Odeur NH3, manque NH3 dans circuit	33	DMC	Entretien régulier des tuyauteries par peinture et vérification de l'état des tuyauteries. Mise en place d'un capotage aux connexions condenseur avec détecteur NH3	12	D
H16	Tuyauteries Liquide HP avec accessoires, **dans SDM**	Fissure ou rupture	Voir tableau de causes de défaillance tuyauteries	Fuite INTENSE dans SdM sous forme liquide, vapeur et aérosols, puis en extérieur via l'extracteur	Voir scénario dans étude de danger avec risques pour les personnes présentes dans la DEL (ex Z1) et DEI (ex Z2) et dans la SdM et pollution de sol	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	23	D	Idem ci dessus avec fermeture des bacs de rétention en SDM	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**CIRCUIT HP**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
H17	Réservoir HP En **EXTERIEUR**	Fissure ou rupture sur piquage ou niveau visible ou accessoires	Voir tableau de causes de défaillance tuyauteries	Fuite INTENSE en EXTERIEUR sous forme liquide, vapeur et aérosols	Idem ci dessus	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	33	DMC	Entretien régulier des tuyauteries par peinture et vérification de l'état des tuyauteries. Mise en place d'un capotage aux alentours du réservoir avec détecteur NH3	12	D
H18	Réservoir HP En **INTERIEUR**	Fissure ou rupture sur piquage ou niveau visible ou accessoires	Voir tableau de causes de défaillance tuyauteries	Fuite INTENSE dans SdM sous forme liquide, vapeur et aérosols	Idem ci dessus	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	23	D	Idem ci dessus avec fermeture des bacs de rétention en SDM	12	D
H19	Canalisation de Gaz chauds dans les combles ou locaux	Fissure ou rupture	Voir tableau de causes de défaillance tuyauteries	Emission NH3 gazeux dans les locaux puis à l'extérieur	Arrêt installation avec risques pour personnes présentes	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX, dégivrage pendant heures ouvrées.	23	D	Entretien régulier des tuyauteries par peinture et vérification de l'état des tuyauteries. Contrôle des sécurités et maintenance préventive.	12	D
H20	Soupape de sécurité à	Ouverture à pression de tarage trop basse	Déréglage ou tarage trop faible ou par surpression "normale" d'ouverture	Emission NH3 à l'extérieur	Voir scénario correspondant, en cas de "crachage normal ou pas" dans étude de danger	Odeur, arrêt d'urgence, manque d'NH3	24	DMC	Contrôle des sécurités, maintenance préventive. Tenir une soupape en stock. Monter un **détecteur spécial soupape** pour alerter et éventuellement arrêter l'installation en cas de crachage de la soupape.	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**CIRCUIT HP**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
H21	sécurité à l'atmosphère	Bloquée fermée	Corrosion, mauvais tarage déréglage, obstruction par bouchon de glace ou objet	Risque de rupture, si PHP défectueux et émission NH3 dans SdM	Risque pour les personnes présentes en SdM	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX, autres pressostats HP.	24	DMC	Contrôle périodique des sécurités, des soupapes (DESP) et ramener leurs évacuations dans le capotage avec détecteur NH3. Pose d'un pressostat HP de redondance général HP	12	D

Pour le circuit HP	Nombre de défaillances moyennement crtiques **AVANT** préconisations =	**12**	**APRÈS** préconisations	**0**
	Nombre de défaillances CRITIQUES **AVANT** préconisations =	**0**	**APRÈS préconisations**	**0**

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**CIRCUIT BP ou/et MP**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
B1	Bouteilles BP et MP avec leur bouteillon de soutirage connecté, l'échangeur à plaquesNH3/ EG et système de récupération d'eau automatique du circuit en **INTERIEUR**	Fissure ou rupture sur piquage ou niveau visible ou accessoires en partie GAZ	Voir tableau de causes de défaillance tuyauteries. Impuretés ou inutilisation pour les accessoires	Emission NH3 gazeux dans la SdM	Risque pour les personnes présentes en SdM	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	22	D	Entretien régulier des tuyauteries par peinture et vérification de l'état des tuyauteries et accessoires.	11	D
B2		Fissure ou rupture sur piquage ou niveau visible ou accessoires en partie LIQUIDE	Idem ci dessus	Fuite INTENSE dans SdM sous forme liquide, vapeur et aérosols avec vidange totale ou partielle de la bouteille concernée	Voir scénario dans étude de danger avec risques pour les personnes présentes dans la DEL (ex Z1) et DEI (ex Z2) et dans la SdM et pollution de sol	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	22	D	Idem ci dessus avec fermeture des bacs de rétention en SDM	11	D
B3		Surpression dans bouteilles	Isolement ou arrêt prolongé	Dépassement PMS avec risque de ruine bouteille	Idem ci dessus	Idem ci dessus. De plus les bouteilles sont protégées par des soupapes de sécurité.	12	D	Visite périodique DESP. Mise en place de procédures si arrêt prolongé Rehausse de la cheminée extraction	11	D
B4	Faisceau d'échange constituant l'échangeur **refroidisseur d'eau** glycolée	Percement	Corrosion	Fuite de NH3 dans l'eau glycolée	Arrêt de l'installation avec risque de fuite d'eau ammoniaquée au niveau des postes	Odeur NH3, manque NH3 dans circuit	14	D	Suivi qualité de l'eau, pose d'un Phmètre dans circuit EG	12	D
B5		Non ou mauvais fonctionnement	Défaut électrique, conditions ambiantes excessives ou manque d'eau.	Risque fonctionnement soupape de sécurité	Arrêt de l'installation	**Pressostats HP**	14	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance. Pose du pressostat HP de redondance	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**CIRCUIT BP ou/et MP**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
B6	Niveau de régulation bouteille MP	Blocage fermé	Impuretés ou problème électrique	Surchauffe compresseurs. Cavitation pompe par manque NH3. Augmentation niveau côté HP.	Arrêt de l'installation en sécurité	Thermostat surchauffe compresseur, anticavitation pompe, pressostats HP	14	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance.	12	D
B7		Blocage ouvert	Impuretés ou problème électrique	Diminution niveau NH3 côté HP	Risque de manque NH3 pour réfrigérants d'huile et augmentation niveau NH3 dans MP	Niveau haut bouteille MP. Thermostat huile compresseur	14	D	Idem ci avant	12	D
B8	Niveau de régulation bouteille BP	Blocage fermé	Impuretés ou problème électrique	Surchauffe compresseurs. Cavitation pompe par manque NH3. Augmentation niveau côté MP puis HP.	Arrêt de l'installation en sécurité haute MP ou HP	Thermostat surchauffe compresseur, anticavitation pompe, pressostats HP	14	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance.	12	D
B9		Blocage ouvert	Impuretés ou problème électrique	Mauvaise régulation de l'installation	Arrêt de l'installation en sécurité haute s'il y a surcharge d'NH3 dans l'installation	Niveau haut bouteille MP	14	D	Idem ci avant	12	D
B10	Niveau électrique de sécurité haute bouteilles MP ou BP	Blocage ouvert	Impuretés ou problème électrique	Risque d'aspiration de liquide par un compresseur	Arrêt de l'installation par pressostat différentiel d'huile ou surintensité	Pressostat différentiel d'huile compresseur. Disjoncteurs ou fusibles.	14	D	Maintenance préventive. Entretien et surveillance. Attention à bien contrôler la quantité globale d'ammoniac dans l'installation en ne la surchargeant pas	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**CIRCUIT BP ou/et MP**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
B11	Bouteillon de soutirage d'huile avec accessoires en phase de purge d'huile	Manque d'étanchéité du système de purge	Corrosion, usure, bouchon d'huile, erreur humaine	Emission NH3 gazeux ou/et liquide ou/et aérosols dans la SdM	Risque pour opérateur	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	13	D	Bien respecter les procédures en place avec utilisation des EPI	12	D
B12	Tuyauteries Liquide BP avec accessoires, dans SDM	Fissure ou rupture	Voir tableau de causes de défaillance tuyauteries	Fuite INTENSE dans SdM sous forme liquide, vapeur et aérosols avec vidange totale ou partielle de la bouteille concernée	Voir scénario dans étude de danger avec risques pour les personnes présentes dans la DEL (ex Z1) et DEI (ex Z2) et dans la SdM et pollution de sol	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX, clapet de décharge.	13	D	Entretien régulier des tuyauteries par peinture et vérification de l'état des tuyauteries.	12	D
B13	Vannes manuelles sortie bouteilles	Fissure ou rupture	Prise en glace, inutilisation prolongée, impuretés	Idem ci dessus	Idem ci dessus	Idem ci dessus	13	D	Entretien régulier des vannes et manœuvre des vannes. Déglacage des vannes.	12	D
B14	Brides sur vannes	Fissure ou rupture après détérioration d'un joint	Joint non adapté, surpression, défaut de montage	Idem ci dessus	Idem ci dessus	Idem ci dessus	13	D	Faire les interventions sous couvert de procédures adaptées avec garantie de qualité des joints. Bien vérifier le serrage des brides à emboitement si possible.	12	D
B15	Pompes NH3	Eclatement	Liquide enfermé ou défaut de construction	Idem ci dessus	Idem ci dessus	Idem ci dessus et clapet de décharge sur pompes	12	D	Faire les interventions sous couvert de procédures adaptées en faisant attention de ne pas emprisonner du liquide NH3	11	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**CIRCUIT BP ou/et MP**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
B16	Soupape de sécurité à l'atmosphère	Ouverture à pression de tarage trop basse	Déréglage ou tarage trop faible ou par surpression "normale" d'ouverture	Emission NH3 à l'extérieur	Voir scénario correspondant, en cas de "crachage normal ou pas" dans étude de danger	Odeur, arrêt d'urgence, manque d'NH3	24	DMC	Contrôle des sécurités, maintenance préventive. Tenir une soupape en stock. Monter un détecteur spécial soupape pour arrêter l'installation en cas de crachage de la soupape.	12	D
B17		Bloquée fermée	Corrosion, mauvais tarage déréglage, obstruction par bouchon de glace ou objet	Emission NH3 dans SdM	Risque pour les personnes présentes en SdM	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX, autres pressostats HP.	23	D	Contrôle périodique des sécurités, des soupapes (DESP) et ramener leurs évacuations vers l'extérieur avec détecteur NH3 dédié	12	D
B18	Poste complément charge NH3	Rupture flexible	Mauvais état du flexible	Emission NH3 liquide ou aérosols venant du flexible et bouteille de charge	Risque pour les personnes présentes en SdM	Procédure de charge qui se fait dans le ciel gazeux de la bouteille. Utilisation de flexible dûment adapté	23	D	Clapet de non retour sur poste. Présence obligatoire de 2 opérateurs pendant la charge.	12	D

Pour le circuit BP / MP	Nombre de défaillances moyennement crtiques **AVANT** préconisations =	**1**	**APRÈS** préconisations	**0**
	Nombre de défaillances CRITIQUES **AVANT** préconisations =	**0**	**APRÈS préconisations**	**0**

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**TOUTES PARTIES DE CIRCUIT**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
T1	Canalisation de l**iquide ou liquide avec vapeur** dans les combles ou niveau d**es postes**	Ouverture d'un circuit sous pression	Erreur humaine ou défaillance matériel	Emission NH3 gazeux ou/et liquide ou/et aérosols dans les locaux	Risque pour les personnes présentes au lieu, avec possibilités de pollution des EU ou EP. Arrêt prolongé d'exploitation	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	15	D	Procédures à mettre en place lors d'intervention (permis de feu, analyse des risques spécifiques encourus pendant des travaux…)	12	D
T2	Vannes ou vannes à contrepoids au niveau du liquide NH3 en **INTERIEUR**	Ouverture d'un circuit sous pression	Erreur humaine ou défaillance matériel	Emission NH3 gazeux ou/et liquide ou/et aérosols dans les locaux	Risque pour les personnes présentes au lieu, avec possibilités de pollution des EU ou EP. Arrêt prolongé d'exploitation	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur NH3 et extraction ATEX	15	D	Idem ci dessus	12	D
T3	Soupapes de sécurité à l'atmosphère pendant UN INCENDIE	Ouverture à pression de tarage trop basse	Ouverture des soupapes en cas d'incendie Accident majeur	Emission NH3 à l'extérieur	Voir scénario correspondant, en cas de "crachage " dans étude de danger Risques pour les secours.	Odeur, arrêt d'urgence, manque d'NH3,détecteur incendie dans la SdM et locaux avoisinant.Présence d'extincteurs.	33	DMC	Mise en place du périmètre de sécurité en cas de sinistres et bien respecter les programmes de contrôle extincteurs, détecteurs, (incendie NH3), gaz, moyens de transmission des alarmes.	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**TOUTES PARTIES DE CIRCUIT**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
T4	Passerelle technique de liaison entre Production et SDM	Effondrement	Effet missile ou ruine d'un des 2 bâtiments après incendie. Choc par un véhicule de manutention.	Emission NH3 à l'extérieur et fuite de gaz avec risques accrus d'explosion	Risques pour les personnes présentes Risques pour les secours.	La passerelle comporte un ensemble de tuyauteries solidement arrimées sur une armature acier. Il n'y a pas de matériel de régulation ou vannes sur cette passerelle. Elle est à plus de 6 mètres de hauteur par rapport au niveau du sol.	31	D	Des panneaux avertisseurs seront mis dans à proximité pour attirer l'attention d'éventuels manutentionnaires. Mise en place du périmètre de sécurité en cas de sinistres comme un incendie, qu'il soit issu de l'intérieur de l'usine ou des proches alentours	11	D
T7	N'importe quelle partie de circuit dans SDM ou en dehors SdM	Projectiles non identifiés	Attentat ou malveillance ou effets dominos de l'extérieur	Emission NH3 à l'extérieur	Risques pour les personnes présentes Risques pour les secours.	Le site est clôturé et la SdM est fermée à clef. L'installation est à plus de 50m dans l'intérieur des enceintes. Aucune autre installation pouvant générer des risques (explosion ou projectiles) n'est signalée dans un rayon de 500m.	32	D	Mise en place du périmètre de sécurité en cas de sinistres comme un incendie, qu'il soit issu de l'intérieur de l'usine ou des proches alentours	11	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**TOUTES PARTIES DE CIRCUIT**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
T10	Inflammation suite à fuite NH3 avec présence point d'ignition	Action humaine ou automatique	Travaux avec point chaud, foudre, malveillance, court-circuit, électricité statique, système, éclairage défaillant	Inflammation peu probable du mélange air/NH3.(Voir document INERIS: retour d'expérience , l'NH3 et la réfrigération, SEI/BARPI EDO 389 de février 1995),	Augmentation de la durée de l'effet de fuite et/ou explosion avant intervention dans les locaux	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur incendie dans la SdM et locaux avoisinants. Protection électrique des matériels. Présence d'extincteurs. Mise en place de procédures d'intervention.Mise à la terre des équipements,	33	DMC	Respect des procédures d'intervention et de maintenance: accès dans locaux, plans d'intervention, permis de feu, contrôles annuels des réseaux électriques Mise en place du périmètre de sécurité en cas de sinistres comme un incendie, qu'il soit issu de l'intérieur de l'usine ou des proches alentours	12	D
T11	Incendie suite à fuite fuite NH3 et aérosols d'huile avec présence point d'ignition	Idem ci-dessus	Idem ci-dessus avec formations d'aérosols d'huile.	Inflammation peu probable du mélange air/NH3.(Voir document INERIS: retour d'expérience , l'NH3 et la réfrigération, SEI/BARPI EDO 389 de février 1995)	Augmentation de la durée de l'effet de fuite et/ou risque d'explosion avant intervention dans les locaux sachant que nous sommes dans un effet exceptionel de combinaisons de 3 dysfonctionnements . Cela peut aboutir au scénario d'exploson traité ci-après,	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur incendie dans la SdM et locaux avoisinants. Protection électrique des matériels. Présence d'extincteurs. Mise en place de procédures d'intervention.Mise à la terre des équipements.	33	DMC	Idem ci-dessus avec en plus l'interdiction de stocker des réserves d'huile (propre ou usagée) importante dans la SDM (supérieure à 100l)	12	D

Partie concernée de l'INSTALLATION :	**TOUTES PARTIES DE CIRCUIT**	D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique; DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Risque n°	Composant	DÉFAILLANCE Mode	DÉFAILLANCE Cause	EFFET sur le SYSTEME LOCAL	EFFET sur le SYSTEME GLOBAL	DÉTECTION ou PROTECTION	Criticité AVANT		RECOMMANDATIONS	Criticité APRES	
T12	Explosion d'ammoniac	Action humaine ou automatique	Travaux avec point chaud, foudre, malveillance, court-circuit, électricité statique, système, éclairage défaillant,dysfonctionnement des extracteurs	Explosion quasiment non possible du mélange air/NH3.(Voir document INERIS: retour d'expérience , l'NH3 et la réfrigération, SEI/BARPI EDO 389 de février 1995)	Augmentation partielle de la pression sur les parois en dur (parpaings) de la SDM (<50mb), sans détérioration du bâtiment,	Odeur, arrêt d'urgence, détecteur incendie dans la SdM et locaux avoisinants. Protection électrique des matériels. Présence d'extincteurs. Mise en place de procédures d'intervention.Mise à la terre des équipements,	22	D	La pause de grilles à ventelles dynamiques permettra que lors de toute surpression du local l'évacuation puisse se faire par la sortie de l'extracteur de sécurité	12	D
T13	Dysfonctionnement du ventilateur ATEX	Arrêt du ventilateur	Court-circuit, panne mécanique, maintenance de l'ensemble, coupure électrique	L'extraction de l'ammoniac ne peut plus se faire mécaniquement. L'extraction ne se fera que de manière naturelle par effet cheminée, via l'ouverture en partie haute et l'arrivée de l'air neuf par le bas de la SDM,	En cas de fuite NH3 le retour à l'état normal (sans présence d'ammoniac) sera beaucoup plus long. Cela se traduira par le fait que l'Exploitant ne pourra pas remettre en service son installation dans les meilleurs délais, ce qui le pénalisera	La SDM sera mise à l'arrêt automatiquement en cas de fuite NH3. Augmentation de la teneur d'ammoniac dans la SDM, (indication donnée par la centrale de mesure).	21	D	Mise en place de procédures de surveillance accrue en cas de dysfonctionnement de l'extraction, Tenir en stock les éléments de protection électriques du ventilateur, Installation de grille à ventelles dynamiques (ouverture par depression),	12	D

Pour les Toutes parties de circuit	Nombre de défaillances moyennement crtiques **AVANT** préconisations =	**3**	**APRÈS** préconisations	**0**
	Nombre de défaillances CRITIQUES **AVANT** préconisations =	**0**	**APRÈS préconisations**	**0**

D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique;
DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Classement des criticités AVANT PRÉCONISATIONS

Criticité	Ensembles concernés					Défaillances			
	Compr pistons	Compr VIS	Circuit HP	Circuit BP/MP	Reste circuit	totales	non critiques	moyen nement critiques	critiques
11	0	0	0	0	0	0	0		
12	1	1	3	4	0	9	9		
13	4	4	1	4	0	13	13		
14	10	11	0	5	0	26	26		
15	0	0	0	0	2	2	2		
21	0	0	0	0	1	1	1		
22	0	0	1	2	1	4	4		
23	0	0	4	2	0	6	6		
31	0	0	0	0	1	1	1		
32	0	0	0	0	1	1	1		
41	0	0	0	0	0	0	0		
24	2	2	4	1	0	9		9	
25	0	0	0	0	0	0		0	
33	0	0	6	0	3	9		9	
34	0	0	0	0	0	0		0	
42	0	0	0	0	0	0		0	
43	0	0	0	0	0	0		0	
51	0	0	0	0	0	0		0	
52	0	0	0	0	0	0		0	
35	0	0	0	0	0	0			0
44	0	0	0	0	0	0			0
45	0	0	0	0	0	0			0
53	0	0	0	0	0	0			0
54	0	0	0	0	0	0			0
55	0	0	0	0	0	0			0
	0 défaillan CRITIQUE pour Compr pistons	0 défaillan CRITIQUE pour Compr VIS	0 défaillan CRITIQUE pour Circuit HP	0 défaillan CRITIQUE pour Circuit BP/MP	0 défaillan CRITIQUE pour Reste circuit	81	**63**	**18**	**0**

A ce stade de l'analyse, **AVANT** mise en place des recommandations nous avons repéré:

81 défaillances possibles au total réparties comme suit :

63 défaillances non critiques

18 défaillances moyennement critiques que nous allons nous efforcer de faire disparaître

0 défaillances critiques

Remarque	Défaillances moyennement critiques				
	2	2	10	1	3
	pistons	Vis	HP	BP/MP	Reste

D=défaillance non critique;DMC=défaillance moyennement critique;
DC=défaillance critique **1er chiffre Gravité/ 2ème Probabilité**

Classement des criticités APRÈS PRÉCONISATIONS

Criticité	Ensembles concernés					Défaillances			
	Compr pistons	Compr VIS	Circuit HP	Circuit BP/MP	Reste circuit	totales	non critiques	moyen nement critiques	critiques
11	1	1	0	4	2	8	8		
12	16	17	18	14	7	72	72		
13	0	0	0	0	0	0	0		
14	0	0	0	0	0	0	0		
15	0	0	0	0	0	0	0		
21	0	0	0	0	0	0	0		
22	0	0	0	0	0	0	0		
23	0	0	0	0	0	0	0		
31	0	0	0	0	0	0	0		
32	0	0	0	0	0	0	0		
41	0	0	0	0	0	0	0		
24	0	0	0	0	0	0		0	
25	0	0	0	0	0	0		0	
33	0	0	0	0	0	0		0	
34	0	0	0	0	0	0		0	
42	0	0	0	0	0	0		0	
43	0	0	0	0	0	0		0	
51	0	0	0	0	0	0		0	
52	0	0	0	0	0	0		0	
35	0	0	0	0	0	0			0
44	0	0	0	0	0	0			0
45	0	0	0	0	0	0			0
53	0	0	0	0	0	0			0
54	0	0	0	0	0	0			0
55	0	0	0	0	0	0			0
	0 défaillan CRITIQUE pour Compr pistons	0 défaillan CRITIQUE pour Compr VIS	0 défaillan CRITIQUE pour Circuit HP	0 défaillan CRITIQUE pour Circuit BP/MP	0 défaillan CRITIQUE pour Reste circuit	80	**80**	**0**	**0**

A ce stade de l'analyse, **ET APRES** mise en place des recommandations il reste :

80 défaillances possibles au total réparties comme suit :

80 défaillances non critiques

0 défaillances moyennement critiques
Les risques restants sont ceux issus d'un projectile venant de l'extérieur ou d'un incendie

0 défaillances critiques

Remarque	Défaillances moyennement critiques				
	0	0	0	0	0
	pistons	Vis	HP	BP/MP	Reste

Justification des scénarii retenus				
Repère du risque dans l'analyse	**Origine de la fuite de la fuite**	**Commentaires**	**Repère du scénario résultant de ce risque**	
Risque P14	Soupape de sécurité à l'atmosphère sur compresseur à pistons	Le scénario considéré est celui avec toutes les soupapes fuyant en même temps, risque T3 en cas d'élévation de température anormale (incendie)	Scénario n°	**15**
Risque V15	Soupape de sécurité à l'atmosphère sur compresseur à vis	Idem ci-dessus	Scénario n°	**25**
Risque H20	Soupape de sécurité à l'atmosphère sur condenseur	Idem ci-dessus	Scénario n°	**15**
Risque B16	Soupape de sécurité à l'atmosphère sur bouteille BP ou MP	Idem ci-dessus	Scénario n°	**15**
Risque B18	Flexible de charge	Le scénario majorant est le	Scénario n°	**13**
Risque T 3	Fuite simultanée sur toutes les soupapes de sécurité	Le scénario considéré est celui avec toutes les soupapes fuyant en même temps, risque T3 en cas d'élévation de température anormale (incendie)	Scénario n°	**15**
Risque H1 ou H18	Fuite en phase VAPEUR du circuit HP en INTERIEUR	Le scénario majorant est le	Scénario n°	**10**
Risque V16 et P15	Fuite sur soupape bloquée fermée	Le scénario majorant est le	Scénario n°	**10**
Risque H16 ou H18	Fuite en phase LIQUIDE du circuit HP en INTERIEUR		Scénario n°	**11**
Risque H12	Fuite à l'intérieur d'un condenseur évaporatif, fuite à l'extérieur en hauteur		Scénario n°	**14**
Risque B2	Fuite en phase liquide BP dans la SDM liquide installation **en marche**		Scénario n°	**12**
Risque B3	Fuite en phase liquide BP dans la SDM installation **à l'arrêt**		Scénario n°	**13**
Risque H12	Fuite sur le faisceau d'échange d'un des condenseurs		Scénario n°	**14**

Atlantic Refrigeration Consulting

Annexe 6

Bonnes pratiques et mesures de sécurités : Rappel des exigences des textes réglementaires et de la norme NF EN 378

Frédéric LE BRONNEC
23/02/2021

Table des matières

Glossaire **2**

1. Textes applicables aux installations de réfrigération à l'ammoniac **3**

2. Principes d'évaluation des mesures **4**

2.1. Exigences réglementaires 4

2.2. Méthodes d'évaluation des barrières de sécurité 6

3. Bonnes pratiques de prévention **7**

3.1. Formation et exercices 7

3.2. Connaissance de la quantité d'ammoniac dans l'installation 8

3.3. Procédures et consignes opératoires (Mesure O) 9

3.4. Vérifications réglementaires (Mesure R) 11

3.5. Limitation de la surpression (Mesure P) 12

3.5.1. Prévention des montées en pression 12

3.5.2. Pressostat (Haute Pression) 12

3.5.3. Soupapes de sécurité 13

3.6. Prévention des effets des vibrations (Mesure V) 15

3.7. Prévention des coups de liquide (Mesure L) 16

3.8. Prévention des chocs et bris mécaniques (Mesure B) 17

3.9. Prévention de la corrosion (Mesure C) 18

3.10. Prévention des fuites sur organes ou des tuyauteries (Mesure F) 19

3.11. Prévention échauffement du moteur (Mesure E) 19

3.12. Prévention des erreurs sur intervention (Mesure H) 20

3.12.1. Dispositions générales aux interventions 20

3.12.2. Exigences sur les opérations de purge 20

3.12.3. Exigences sur les points de transvasement (vidange ou remplissage) 21

3.13. Prévention de la dépression (Mesure D) 22

3.14. Prévention des effets des incendies (Mesures I) 23

4. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la fuite toxique (Mesure T) **27**

4.1. Détection de fuite : détection gaz 27

4.2. Détection de fuite : détection humaine et action humaine 31

4.3. Arrêt automatique des installations 32

4.4. Intervention humaine en cas d'urgence 33

4.4.1. Alarmes associées aux détecteurs 33

4.4.2. Commande sur des BAU générant des actions de sécurité 35

4.4.3. Intervention humaine dans la SDM 35

4.4.4. Protection des personnes 36

4.4.5. Ventilation de la salle des machines 36
4.5. Protection mécanique – Edicule condenseur 40
5. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de l'explosion (Mesure X) 41
6. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la pollution (Mesure P) 44

Glossaire

AFF	Association Française du Froid
APR	Analyse Préliminaire de Risques
BARPI	Pureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels
BP	Basse Pression
EDD	Etude de Dangers
ERC	Evènement Redouté Central
ERP	ERP Etablissement Recevant du Public
HP	Haute Pression
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
MMR	Mesure de Maîtrise des Risques
MP	Moyenne Pression
NC	Niveau de Confiance
PhD	Phénomène Dangereux
POI	
PPRT	Plan de Prévention des Risques Technologiques
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuil des Effets Létaux
SELS	Seuil des Effets Létaux Significatifs
SIL	Safety Integrity Level
TMD	TMD Transport de Marchandises Dangereuses
USNEF	USNEF Union Syndicale Nationale des Exploitations Frigorifiques

Cette annexe fait le lien entre les recommandations identifiées dans le rapport pour chaque mesure (de type bonnes pratiques ou mesures de maîtrise des risques) et les articles ou chapitres des textes réglementaires et des normes.

Dans un premier temps, les textes applicables sont rappelés.

1. Textes applicables aux installations de réfrigération à l'ammoniac

Les textes applicables aux installations soumises à autorisation sont de deux types :

- Des réglementations applicables à la rubrique 1136 de la nomenclature actuelle (emploi d'ammoniac) et rubrique 4735 de la nomenclature applicable à compter du 1er juin 2015 (transposition de la directive Seveso 3) :
  - L'arrêté du 16 juillet 1997 relatif aux installations de réfrigération employant l'ammoniac comme fluide frigorigène ; il est applicable aux installations de plus de 1,5 tonne d'ammoniac et ne concerne pas les installations frigorifiques à l'ammoniac qui sont incluses dans une installation de fabrication d'unité chimique dont l'exploitation est déjà soumise à autorisation ;
  - La circulaire n° 97-63 du 16/07/97 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement : Application de l'arrêté du 16/07/97 relatif aux installations de réfrigération employant de l'ammoniac comme fluide frigorigène ;
  - La circulaire du 10 décembre 2003 relative à application de l'arrêté ministériel du 16 juillet 1997 relatif aux installations de réfrigération employant l'ammoniac comme fluide frigorigène.
- La norme relative aux « Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement » ; la norme NF EN 378 se compose des parties suivantes :
  - Partie 1 : Exigences de base, définitions, classification et critères de choix ;
  - Partie 2 : Conception, construction, essais, marquage et documentation ;
  - Partie 3 : Installation in situ et protection des personnes ;
  - Partie 4 : Fonctionnement, maintenance, réparation et récupération.

Le respect de la norme EN 378-3 chapitre 5 est imposé dans la réglementation.

D'autres réglementations plus générales applicables ne sont pas reprises dans ce document (réglementation équipement sous pression, déchets, eau…). De même les réglementations et normes citées ci-dessus font référence à d'autres normes qui ne sont pas reprises dans ce document.

2. Principes d'évaluation des mesures

2.1. Exigences réglementaires

Les mesures de maîtrise des risques doivent répondre à des exigences réglementaires. **L'arrêté 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 » fixe des exigences générales d'évaluation de performances.

- Article 4 :

« Pour être prises en compte dans l'évaluation de la probabilité, les mesures de maîtrise des risques 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 du positionnement précité. »

- Article 5 :

« L'adéquation entre la cinétique de mise en œuvre des mesures de sécurité mises en place ou prévues et la cinétique de chaque scénario pouvant mener à un accident doit être justifiée. Cette adéquation est vérifiée périodiquement, notamment à travers des tests d'équipements, des procédures et des exercices des plans d'urgence internes. »

L'arrêté du 29 septembre 2005 requiert donc la vérification des quatre critères d'efficacité, de temps de réponse adapté, de testabilité et de maintenabilité doivent être vérifiés.

L'arrêté du 16 juillet 1997 relatif « aux installations de réfrigération employant l'ammoniac comme fluide frigorigène » donne des exigences plus ciblées qui sont explicitées dans les paragraphes suivants relatifs aux différentes MMR.

De manière générale, l'arrêté du 16 juillet 1997 impose aussi :

- **Un système de conduite permettant au personnel d'identifier toute dérive et paramètres de conduite ;**
- **Des équipements et paramètres de fonctionnement importants pour la sécurité** des installations, qui doivent répondre à des exigences **de conception éprouvée, de maintenabilité et de testabilité.**

- Ainsi, l'article 39 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise :

« Le dispositif de conduite des installations est conçu de façon que le personnel concerné ait immédiatement connaissance de toutes dérives des paramètres de conduite par rapport aux conditions normales d'exploitation ».

L'exploitant détermine la liste des équipements et paramètres de fonctionnement importants, pour la sécurité des installations, en fonctionnement normal, en fonctionnement transitoire ou en situation accidentelle. Les paramètres importants pour la sécurité des installations sont mesurés, si nécessaire enregistrés en continu et équipés d'alarme.

Les équipements importants pour la sécurité sont de conception simple, d'efficacité et de fiabilité éprouvées. Ces caractéristiques doivent être établies à l'origine de l'installation, mais aussi être maintenues dans le temps. Les dispositifs sont conçus de manière à résister aux contraintes spécifiques liées aux produits manipulés à l'exploitation et à l'environnement du système (choc, corrosion. etc.). Ces dispositifs et en particulier, les chaînes de transmission sont conçues pour permettre de s'assurer périodiquement, par test de leur efficacité.

Ces équipements sont contrôlés périodiquement et maintenus en état de fonctionnement selon des procédures écrites. Les opérations de maintenance et de vérification sont enregistrées et archivées pendant trois ans.

Des consignes écrites doivent préciser la conduite à tenir en cas d'indisponibilité ou de maintenance de ces équipements.

- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que « l'exploitant doit contrôler :
    - L'existence et la pertinence d'une liste de paramètres, ainsi qu'une procédure pour les contrôler ;
    - La réalisation effective de ces contrôles ;
    - La réalisation d'essais de mise en sécurité de l'installation (après préparation de ces essais pour éviter les accidents). »

Les résultats des essais seront consultés.

L'article 46 de l'arrêté du 16 juillet 1997 **demande une alimentation électrique de secours en cas d'impossibilité de mettre en sécurité certains dispositifs de sécurité.**

« Si l'installation ou l'appareillage conditionnant la sécurité ne peuvent être mis en position de sécurité en cas de défaillance de l'alimentation électrique normale, l'exploitant s'assurera de la disponibilité de l'alimentation électrique de secours et cela particulièrement à la suite de conditions météorologiques extrêmes (foudre, températures extrêmes, etc.). »

La circulaire du 10 décembre 2003 précise que l'exploitant doit contrôler « l'existence d'une alimentation électrique secourue. »

La gestion des MMR passe par la réalisation de procédures écrites :

- Procédures écrites de contrôle périodique et de maintien en état ;
- Enregistrement des opérations de tests et maintenance ;
- Consignes écrites de conduite à tenir en cas d'indisponibilité de la MMR.

2.2. Méthodes d'évaluation des barrières de sécurité

Les barrières de sécurité sont évaluées en suivant la méthodologie :

- Oméga 10 pour les barrières techniques de sécurité ;
- Oméga 20 pour les barrières humaines de sécurité ou fiche n°7 de la circulaire du 10 mai 2010.

Ces méthodes sont accessibles sur le site internet de l'INERIS.

L'évaluation s'appuie sur les évaluations individuelles de chaque élément de la barrière (détection, traitement, action) mais c'est l'évaluation de la barrière globale qui est retenue dans les évaluations de probabilité des évènements.

Les critères d'évaluation (communs aux barrières techniques et humaines) sont :

- **L'indépendance** : faculté d'une barrière, de par sa conception, son exploitation et son environnement, à ne pas dépendre du fonctionnement d'autres éléments et notamment d'une part d'autres barrières, et d'autre part, du système de conduite de l'installation, afin d'éviter les modes communs de défaillance ou de limiter leur fréquence d'occurrence.
- **L'efficacité** : Capacité à remplir la mission/fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation
- **Le temps de réponse** : Ce temps de réponse est inclus dans la cinétique de mise en œuvre d'une fonction de sécurité, cette dernière devant être en adéquation [significativement plus courte] avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser
- **Le niveau de confiance** : il traduit la fiabilité de la barrière ;
- **Le maintien des performances** des barrières (testabilité, maintenabilité).

Le mode commun de défaillance doit être étudié. Il doit être pris en compte dans les évaluations des probabilités des phénomènes dangereux et accidents majeurs.

L'indépendance vis-à-vis des dispositifs de conduite pour les arrêts d'urgence et la mise en sécurité électrique des installations est requise explicitement dans la réglementation. Ainsi l'article 39 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : *« Des dispositions sont prises pour permettre, en toute circonstance, un arrêt d'urgence et la mise en sécurité électrique des installations. Les dispositifs utilisés à cet effet sont indépendants des systèmes de conduite. Toute disposition contraire doit être justifiée et faire l'objet de mesures compensatoires. Les systèmes de mise en sécurité électrique des installations sont à sécurité positive. »*

3. Bonnes pratiques de prévention

3.1. Formation et exercices

Formation des responsables et intervenants

L'exploitation doit se faire sous la responsabilité d'une personne nommément désignée et formé.

L'article 10 de l'arrêté du 16 juillet 1997 indique que « l'exploitation doit se faire sous la surveillance d'une personne nommément désignée par l'exploitant et spécialement formée aux dangers de l'ammoniac et aux spécificités des installations le mettant en œuvre. »

Les personnes intervenant sur les appareils à pression doivent être formées.

- L'article 12 de l'arrêté du 16 juillet 1997 indique : « Conformément aux dispositions de la réglementation des appareils à pression, le mode opératoire de soudage, les contrôles des soudures et l'aptitude professionnelle des soudeurs doivent faire l'objet d'une qualification. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 qu'il est nécessaire de « vérifier que les soudures ont été faites suivant les règles. » Pour cela les procédures sont consultées. De manière plus générale, la circulaire demande la consultation des dossiers canalisations et appareils à pression à la vérification de l'existence de procédures en cas de modification ou en cas de réparation.

Formation et exercices réguliers

Les personnes intervenant sur les appareils à pression doivent être formées.

- L'article 54 de l'arrêté du 16 juillet 1997 indique que L'exploitant doit veiller à la qualification professionnelle et à la formation sécurité de son personnel.
- Une formation spécifique est assurée pour le personnel affecté à la conduite ou à la surveillance des installations frigorifiques ainsi qu'au personnel non affecté spécifiquement à celles-ci, mais susceptible d'intervenir dans celles-ci.
- Cette formation doit notamment comporter :
  - Toutes les informations utiles sur l'ammoniac ;
  - 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 de protection et d'intervention affectés à leur établissement. A la demande de l'inspecteur des installations classées, l'exploitant devra justifier les exercices qui ont été effectués ;
  - Un entraînement périodique à la conduite des installations frigorifiques en situation dégradée vis-à-vis de la sécurité et à l'intervention sur celles-ci.
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que pour contrôler la compétence du responsable de la surveillance de l'exploitation (stage sécurité ammoniac et vérification de la compétence technique), les attestations de stage sont à consulter.

- D'autre part, pour s'assurer de la formation du personnel, la circulaire précise que « l'exploitant doit contrôler :
  - Formation du personnel à la sécurité ;
  - Exercices périodiques ;
  - Poser des questions relatives à la sécurité au personnel technique susceptible d'intervenir en cas d'accident ;
  - Organisation d'exercices périodiques incendie et ammoniac (si possible avec la participation des sapeurs-pompiers locaux ;
- Les comptes-rendus des exercices périodiques seront consultés. »

3.2. Connaissance de la quantité d'ammoniac dans l'installation

La quantité d'ammoniac dans l'installation (circuit ou en réserve) doit être connue à tout moment. Un registre à jour doit exister ; les mouvements d'ammoniac doivent être justifiés.

- L'article 7 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « L'exploitant doit tenir à jour un état indiquant la quantité d'ammoniac présente dans l'installation, le cas échéant stockée en réserve ainsi que les compléments de charge effectués. Cet état doit être tenu à la disposition de l'inspecteur des installations classées. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise qu'un registre de consommation mis à jour doit exister et que les mouvements de fluide doivent être justifiés.

3.3. Procédures et consignes opératoires (Mesure O)

Procédures de conduite et d'exploitation

Des procédures écrites doivent exister donnant **les règles de conduite de l'installation.**

Les consignes opératoires particulières telles que la purge d'huile, le remplacement de flexibles, le remplissage en ammoniac, la vidange, doivent être explicités.

Des consignes et procédures écrites doivent exister précisant **les contrôles à effectuer au cours des différentes phases** :

- Marche normale ;
- Mise à l'arrêt (normal ou prolongé) ;
- Remise en service après arrêt.

Il peut s'agir d'arrêt normal ou prolongé, lié par exemple à des opérations de modification, de maintenance.

Les contrôles concernent notamment le contrôle des dispositifs de sécurité et de traitement des pollutions.

- L'article 6 de l'arrêté du 16 juillet 1997 rappelle que « les consignes et les procédures d'exploitation de l'ensemble des installations doivent comporter explicitement la liste détaillée des contrôles à effectuer, en marche normale, à la suite d'un arrêt pour travaux de modification ou d'entretien des installations et à la remise en route après un arrêt prolongé pour d'autres causes que les travaux de maintenance et d'entretien. Elles doivent être tenues à disposition de l'inspection du travail et de l'inspection des installations classées. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que « l'existence de telles procédures doit être vérifiée (existence de règles de conduite de l'installation, de procédures en marche normale, de procédure pour mise à l'arrêt normal, de procédures pour mise à l'arrêt prolongé, de consignes opératoires particulières : purge huile, remplacement de flexibles (par exemple sur congélateurs à plaques), charge de l'ammoniac, travaux). »
- L'article 52 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que : « les opérations pouvant présenter des risques (manipulation, etc.) doivent faire l'objet de consignes écrites tenues à jour et affichées dans les lieux fréquentés par le personnel. Ces consignes doivent notamment indiquer :
  - La fréquence de contrôle des dispositifs de sécurité et de traitement des pollutions et nuisances générées ;
  - […] »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que les consignes de sécurité doivent être mises à jour et qu'il est nécessaire de s'assurer qu'elles sont bien affichées et connus par le personnel.

Maîtrise des travaux par points chauds

Des procédures doivent être écrites pour les travaux incluant les permis de feu.

- L'article 52 précise par rapport aux travaux : « Les opérations pouvant présenter des risques (manipulation, etc.) doivent faire l'objet de consignes écrites tenues à jour et affichées dans les lieux fréquentés par le personnel.
- Ces consignes doivent notamment indiquer :
  - […] ;
  - Les instructions de maintenance et de nettoyage, dont les permis de feu. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que les consignes de sécurité doivent être mises à jour et qu'il est nécessaire de s'assurer qu'elles sont bien affichées et connus par le personnel.

Maîtrise des dysfonctionnements des installations électriques

Des procédures de contrôle des installations électriques doivent exister et des rapports de contrôle établis.

- L'article 46 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « Toutes les installations électriques doivent être entretenues en bon état et doivent être contrôlées après leur installation ou modification. Un contrôle doit être effectué par un organisme agréé tous les trois ans au moins. Cet organisme doit très explicitement mentionner les défectuosités relevées dans son rapport de contrôle. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que les vérifications suivantes doivent être faites :
  - « Existence d'une procédure de contrôle des installations électriques ;
  - Existence d'un contrôle triennal des installations électriques ;
  - Vérifier que les contrôles sont bien faits et réalisés par un organisme agréé ;
  - Vérification de l'éclairage (sécurité ADF) avec alimentation séparée ;
  - Existence d'une alimentation électrique secourue ;
  - Pour cela les rapports de contrôles électriques et les procédures de contrôles électriques seront consultés.

Précisions

Bien que ce ne soit pas explicite dans la réglementation, des procédures doivent exister aussi concernant l'entreposage des bouteilles, la surveillance du local technique par un employé travaillant seul.

3.4. Vérifications réglementaires (Mesure R)

Des visites ou vérifications de l'installation par une personne compétente doivent être réalisées :

- Au moins une fois par an (inspection annuelle)
- Avant la première mise en service (vérification) ;
- À la suite d'un arrêt prolongé du système de réfrigération, après une modification notable ou après des travaux de maintenance ayant nécessité un arrêt de longue durée (vérification).

Les vérifications font l'objet d'un compte-rendu.

En particulier, l'état des tuyauteries doit faire l'objet de contrôles réguliers, tracées. L'étanchéité des réservoirs doit aussi être contrôlée.

- L'article 9 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise qu' « avant la première mise en service ou à la suite d'un arrêt prolongé du système de réfrigération, après une modification notable au sens de l'article 20 du décret du 21 septembre 1977 susvisé ou après des travaux de maintenance ayant nécessité un arrêt de longue durée, l'installation complète doit être vérifiée. Cette vérification est à réaliser par une personne ou une entreprise compétente ; désignée par l'exploitant avec l'approbation de l'inspection des installations classées. Cette vérification doit faire l'objet d'un compte rendu écrit tenu à la disposition de l'inspecteur des installations classées inséré au dossier de sécurité. Les frais occasionnés par ces vérifications sont supportés par l'exploitant.
- Une visite annuelle de l'installation frigorifique est effectuée par une personne ou une entreprise compétente nommément désignée par l'exploitant avec l'approbation de l'inspection des installations classées. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 indique que tous les documents relatifs à l'installation doivent être accessibles pour les inspections à la mise en service et après arrêt prolongé.
- L'article 51 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Leur bon état de conservation doit pouvoir être contrôlé selon les normes et réglementations en vigueur. Ces contrôles donnent lieu à compte rendu et sont conservés durant un an à la disposition de l'inspecteur des installations classées. »
- L'article 32 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « L'étanchéité du (des) réservoir(s) associé(s) doit pouvoir être contrôlée à tout moment. »
- L'article 56 précise : « Un contrôle d'étanchéité doit être effectué avant remplissage de l'installation et à l'issue de chaque intervention affectant le circuit emprunté par le frigorigène. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande une « procédure de contrôle des tuyauteries et de vérifier le contrôle périodique des tuyauteries comportant notamment un contrôle visuel (corrosion, …) de celles-ci et de leurs protections. »
- Les rapports de contrôle seront consultés.

3.5. Limitation de la surpression (Mesure P)

3.5.1. Prévention des montées en pression

Sources chaudes au niveau des évaporateurs et des condenseurs

L'installation est conçue pour limiter les montées en pression, notamment par rapport à la présence de sources chaudes.

Des mesures sont prises pour prévenir les montées en pression par échauffement lié à la présence d'une source chaude.

- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise que « Si les évaporateurs ou les refroidisseurs à air sont installés à proximité des sources de chaleur, des mesures effectives doivent être prises pour empêcher les évaporateurs ou les refroidisseurs d'être exposés à une chaleur excessive, qui provoque des pressions élevées.
- Les condenseurs et les réservoirs de liquides ne doivent pas être placés à proximité des sources de chaleur.
- Si une partie du circuit de réfrigération ou circuit du fluide frigorigène peut atteindre une température qui est supérieure à la température correspondant à la pression maximale admissible (par exemple en raison d'un système de dégivrage électrique, un système de dégivrage utilisant de l'eau chaude ou d'un nettoyage au moyen d'eau chaude ou de vapeur), le liquide qui y est contenu doit pouvoir s'échapper vers l'autre partie du système dans laquelle cette température plus élevée ne domine pas. Si nécessaire, le système doit être équipé d'un réservoir en liaison permanente avec l'appareil en question. »

Montée en température en sortie de compresseur

Le compresseur est équipé de systèmes de régulation et de contrôle qui évitent une température excessive au refoulement du compresseur.

3.5.2. Pressostat (Haute Pression)

Un pressostat à l'aval du(des) compresseur(s) est usuellement utilisé comme 1ère barrière de limitation de la pression. Il agit en détection de montée en pression et coupe le contacteur du compresseur.

Le pressostat doit répondre à des exigences d'indépendance avec la conduite et ne doit pas être électronique.

- La partie 2 de la norme NF EN 378 précise : « Si les dispositifs électromécaniques sont utilisés pour protéger le système de réfrigération contre les excès de pression, ils ne doivent pas être utilisés à des fins de commande. […] Les commandes électroniques ne doivent pas être utilisées en tant que dispositifs de sécurité pour limiter la pression. »
- Au § 6.2.6, elle précise : « Si possible, des dispositifs de limitation de la pression doivent être utilisés pour arrêter la surpression avant de solliciter le dispositif limiteur de pression. »

3.5.3. Soupapes de sécurité

Equipements équipés de soupapes

Deux types d'installations doivent être protégés contre la surpression par la mise en œuvre de soupapes : il s'agit des capacités et de toute partie d'installation contenant de l'ammoniac liquide pouvant être isolée en phase normale.

A noter que des tuyauteries liquides isolables par des vannes manuelles qui ne peuvent pas être fermées par d'autres personnes que des personnes compétentes et avec un outil spécifique n'ont pas être protégées par des dispositifs de limitation de la pression.

- L'article 49 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Un dispositif limiteur de pression doit être placé sur toute enceinte ou portion de canalisation, qui en régime normal peut être isolé par la fermeture d'une ou de plusieurs vannes sur phase liquide. » L'article 50 précise : « Chaque réservoir est équipé en toutes circonstances, hormis pendant le temps de remplacement immédiat pour entretien, de deux dispositifs limiteurs de pression au moins, montés en parallèle et ayant une pression de levée au plus égale à la pression maximale en service. Si n est le nombre de dispositifs limiteurs de pression, n-1 dispositifs limiteurs de pression doivent pouvoir évacuer le gaz de telle sorte que la pression à l'intérieur du réservoir n'excède jamais plus de 10% la pression maximale de service. »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 précise (§ 6.2.6.2 – Figure 1) que « pour sections liquides isolables, la protection peut être assurée en ayant un robinet normalement ouvert qui ne peut être fermé que par une personne compétente et avec un outil. »
- Au § 6.2.6, elle précise : « le système de réfrigération et le circuit caloporteur à eau chaude doivent être protégés par des dispositifs de protection. […] La protection du système (récipient, compresseur...) dépend de ses caractéristiques :
  - 1 ou 2 dispositifs sur chaque récipient ; 2 sont requis avec robinet de substitution si récipient de catégorie IV ;
  - Pour un compresseur volumétrique entrainant un volume > 25 L/s, 1 dispositif limiteur de pression en parallèle à 1 ou 2 pressostats de sécurité. »

Mesures relatives à l'échappement des soupapes

Le rejet des différentes soupapes doit être collecté en zone sûre et doit permettre d'éviter les réintroductions d'ammoniac dans les bâtiments ou la salle des machines. Usuellement le rejet s'effectue en toiture de bâtiment.

La contrepression au refoulement doit être limitée et compatible avec la conception de la soupape. En particulier, l'isolement par des vannes ou l'obstruction ne doivent pas être possibles.

La décharge simultanée des soupapes doit être possible.

- L'article 49 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « Les échappements des dispositifs limiteurs de pression (soupapes. disques de rupture, etc.) doivent être captés sans possibilité d'obstruction accidentelle. Si le rejet peut entraîner des conséquences notables pour l'environnement et les personnes, il doit être relié à un dispositif destiné à recueillir ou à neutraliser l'ammoniac (réservoirs de confinement, rampe de pulvérisation, tour de lavage, etc.) »

- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise (§ 5 .10) : « Les tuyaux de décharge provenant des dispositifs limiteurs de pression, des soupapes de sécurité et des bouchons fusibles peuvent diffuser la charge dans l'air par des moyens adéquats mais loin de toute prise d'air du bâtiment ou peuvent décharger en quantité adéquate dans un matériau absorbant approprié. »
- La partie 2 de la norme précise (§ 6.2.6) que : « l'échappement ne doit pas mettre en danger les biens et les personnes. […] La possibilité de recueil d'eau dans le circuit de collecte, de gel dans les tuyauteries, d'accumulation de poussières ou de débris doit être prise en compte. […] Il ne doit pas y avoir de robinets d'isolement dans les conduites d'entrée ou de sortie des dispositifs de limiteurs de pression. ».

Note : L'intensité des effets du rejet doit être évaluée dans l'étude de dangers.

Note : le rejet des soupapes dans la salle des machines est proposé sous conditions dans la norme uniquement pour les fluides de type A1, excluant ainsi l'ammoniac.

Indication de l'ouverture des soupapes

La partie 2 de la norme NF EN 378 demande (pour les installations de plus de 300 kg d'ammoniac) la présence d'un indicateur pour savoir si la soupape a déchargé à l'atmosphère (§6.2.6.5)

Ainsi, « Un indicateur doit être prévu pour vérifier, pendant la maintenance, si la soupape a déchargé à l'atmosphère ». Ce peut être : « un piège en U rempli d'huile, un manomètre indiquant le maximum entre la soupape et le disque de rupture, une installation en amont des disques de rupture avec surveillance discontinue et dispositif d'alarme de pression (limiteur de pression) […], un capteur de gaz dans la conduite de refoulement, utilisation de soupapes avec joint doux, surveillance de la pression de la section protégée et dispositif d'alarme à la station surveillée en permanence […] ».

Position des soupapes

La partie 2 de la norme précise que (§ 6.2.6.6) : « Les dispositifs limiteurs de pression sont raccordés au-dessus de la phase liquide, à l'exception des dispositifs de protection contre les effets de dilatation du liquide. »

3.6. Prévention des effets des vibrations (Mesure V)

Les compresseurs volumétriques présents dans l'installation sont susceptibles d'engendrer des vibrations pouvant conduire à des fuites en cas de vibrations excessives.

Les bonnes pratiques consistent à réaliser une étude des vibrations et de prévoir régulièrement (au moins une fois tous les trois ans) des contrôles de vibrations sur les équipements motorisés.

Une analyse vibratoire sera réalisée à la mise en service pour établir le spectre vibratoire de chaque compresseur et pourra ainsi servir de référence pour de futurs contrôle.

- L'article 25 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « si un risque de vibration existe, l'étude de ses effets sur les catégories de construction ou ouvrage doit être confiée à des personnes compétentes ou à un organisme qualifié et conformément aux règles techniques annexées à la circulaire du 23 juillet 1986 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement. La périodicité et la nature de ces contrôles doivent être définies en accord avec l'inspecteur des installations classées. »
- La circulaire du 10 décembre 2010 précise qu'une « étude relative aux vibrations induites par les équipements motorisés doit exister, et qu'il faut veiller au respect de la périodicité des contrôles définis en accord avec l'inspecteur et au moins une fois tous les trois ans (cf. arrêté type 1136) ».
- La partie 2 de la norme NF EN 378 (§ 6.2.3.3.4) précise que « des dispositions doivent être prises pour éviter des pulsations ou des vibrations excessives. Des mesures particulières doivent être prévues pour empêcher la transmission directe du bruit ou des vibrations à ou à travers les structures de supports et aux équipements connectés. » La norme note qu' « il convient d'effectuer l'évaluation des vibrations ou des pulsations lorsque le système est en service, à la température de condensation maximale et dans les conditions initiales et d'arrêt qui ont l'effet le plus nuisible sur les tuyauteries. »

3.7. Prévention des coups de liquide (Mesure L)

L'installation doit être conçue pour prévenir les coups de liquide, au niveau des tuyauteries et en amont des compresseurs.

Un des dispositifs requis est la mise en place d'un indicateur de niveau sur les capacités de liquide.

Un dispositif anti coup de liquide est également requis en amont des compresseurs.

Le réseau de tuyauterie devra être conçu pour éviter les coups de bélier, un contrôle devra être réalisé pour contrôler qu'il n'y aura pas de piège à liquide lors de la conception.

Le dégivrage d'un évaporateur doit respecter la phase de vidange avant l'introduction des gaz chaud. Sinon la vitesse des gaz peut entrainer des vagues et aboutir à la création d'un « boulet » qui peut être à l'origine de fuite d'ammoniac.

- L'article 47 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Toutes dispositions doivent être prises pour éviter un retour d'ammoniac liquide en entrée des compresseurs en fonctionnement normal ou dégradé des installations de production de froid. » L'article 50 précise « Les capacités accumulatrices (réservoirs basse pression, moyenne pression, haute pression) doivent posséder un indicateur de niveau permettant d'en contrôler le contenu ». En particulier le niveau haut est obligatoire.
- La partie 2 de la norme NF EN 378 indique (§ 6.2.3.3.4) : « les tuyauteries des systèmes de réfrigération doivent être conçues et installées de façon à ce que les coups de bélier (choc hydraulique) ne puissent pas endommager le système. »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 indique (§ 6.2.7.3) : « les réservoirs contenant plus de 25 kg d'ammoniac (B2) et qui peuvent être isolés doivent être équipés d'un indicateur de niveau de liquide » Au § 6.2.8 il est précisé : « les systèmes doivent être conçus de telle sortie que l'ammoniac, l'huile ou un mélange ne puisse retourner et endommager le compresseur. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande, en lien avec l'article 47, sur la base de la documentation réglementaire sur les appareils à pression, de procéder au contrôle :
  - Existence de la documentation réglementaire sur les appareils à pression ;
  - Contrôle des appareils à pression et des canalisations ;
  - Contrôle visuel des appareils à pression, des canalisations et de leurs accessoires ;
  - Des arrêts d'urgence ;
  - Des dispositifs anti-coup de liquide ;
  - Contrôle des dispositifs d'arrêt du compresseur ;
  - Vérification de l'absence du retour possible d'ammoniac liquide (dispositif anti-coup de liquide).

- Elle précise aussi, en lien avec les articles 49/50, sur la base du plan des circuits d'ammoniac, de contrôler :
  - « Existence de dispositif de décharge sur la ligne liquide (sur plan) et de soupapes sur la phase gazeuse ;
  - Contrôle périodique des soupapes ;
  - Protection contre les chocs ;
  - Présence des soupapes et dispositifs de décharge (soupapes double montées sur robinet inverseur pour les capacités) ;
  - Vérification de leur marquage (tarage et débit) ;
  - Contrôle périodique des soupapes (cf. IPS) ;
  - Position des évacuations ;
  - Des indicateurs de niveau. »
- L'arrêté du 25 avril 1979 (cf. annexe A) précise que les compresseurs volumétriques doivent être équipés d'un dispositif anti coup de liquide.

3.8. Prévention des chocs et bris mécaniques (Mesure B)

Pour prévenir les pertes de confinement par chocs ou bris mécaniques sur les capacités, les tuyauteries ou les organes sensibles (vannes de purges, fûts de transvasement…), ces équipements doivent être protégés. Selon leur position on retient les dispositions suivantes :

- Protection par des gardes métalliques suffisamment robustes ou murs de rétention pour les équipements n'étant pas au plafond ;
- Installation en hauteur des équipements ; on veillera cependant à ce qu'ils soient protégés vis-à-vis de l'empilement des charges (cas des évaporateurs dans les entrepôts frigorifiques) ;
- Supports suffisamment rapprochés et résistants (vis-à-vis des impacts ou des surpoids liés par exemple à des excès de givre sur des évaporateurs).

- L'article 51 de l'arrêté du 16 juillet 1997 donne une recommandation générale pour les tuyauteries « Elles doivent être efficacement protégées contre les chocs. ». L'article 49 précise : « Les installations, et en particulier les réservoirs, canalisations, équipements contenant de l'ammoniac liquide, gazeux ou biphasique, doivent être protégées pour éviter d'être heurtées ou endommagées par des véhicules, des engins ou des charges, etc. A cet effet, il doit être mis en place des gabarits pour les canalisations aériennes, les installations au sol et leurs équipements sensibles (purge, etc.) et des barrières résistant aux chocs. »
- L'article 55 relatif aux opérations de transvasement précise : « Le véhicule-citerne doit être disposé de façon qu'il ne puisse au cours de manœuvre endommager l'équipement fixe ou mobile servant au transvasement ainsi que tout autre équipement ou dispositif de sécurité de l'installation de réfrigération. De plus, il doit être immobilisé la cabine face à la sortie. »

3.9. Prévention de la corrosion (Mesure C)

Les équipements doivent être protégés contre la corrosion. Les tuyauteries doivent être conçues avec les matériaux et revêtements adaptés en respectant les réglementations (équipements sous pression, compresseurs…).

Dans le cas de l'utilisation d'acier carbone, il sera mis en place de la bande grasse sur les tuyauteries avant isolation. La bande grasse sur les séparateurs de liquide est aussi une bonne pratique.

Des vérifications réglementaires doivent aussi avoir lieu régulièrement (cf. 3.3).

On peut aussi recommander que le bouteillon d'huile soit de construction inox (Ceci n'a pas de caractère obligatoire, mais par expérience avec le temps le bouteillon est un élément qui se détériore).

- L'article 51 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que les tuyauteries « doivent être efficacement protégées contre la corrosion. […] Les canalisations sont maintenues parfaitement étanches. Les matériaux utilisés pour leur réalisation et leurs dimensions doivent permettre une bonne conservation de ces ouvrages. »
- L'article 47 de l'arrêté du 16 juillet 1997 fait un lien avec les réglementations. « L'installation doit être conforme en tous points à la réglementation en vigueur concernant les appareils à pression de gaz, les compresseurs frigorifiques et les canalisations d'usine. La prise en compte des normes en vigueur est recommandée pour l'installation de production et de mise en œuvre du froid. Les matériaux servant à la fabrication des tuyauteries vannes et raccords pouvant être soumis à des basses températures doivent avoir une résistance suffisante pour être en toute circonstance, exempts de fragilité. »
- L'article 2 indique « La conception, la réalisation et l'entretien des installations doivent prendre en compte les risques de corrosion due aux phénomènes de condensation de l'humidité de l'air. »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 (§ 6.2.3.3.4) précise que « les tuyaux et les composants en acier doivent être protégés contre la corrosion à l'aide d'un revêtement antirouille, en particulier avant de poser toute isolation. Les adhésifs utilisés pour l'isolation ne doivent pas réagir ou dissoudre la couche inoxydable appliquée. »

3.10. Prévention des fuites sur organes ou des tuyauteries (Mesure F)

Organes reliés directement à l'atmosphère

Pour prévenir les fuites sur les organes directement reliés à l'atmosphère, la norme précise : « Les sorties des vannes en communication directe avec l'atmosphère sont obturées (bouchons de fin de ligne etc.). »

Les points de purges seront obturés par des bouchons adaptés. L'expérience montre que l'utilisation de bouchon inox est recommandée, recouvert de bande grasse pour les parties soumises au gel ou à la condensation.

- La partie 2 de la norme NF EN 378 (§ 6.2.3.4.2.2) indique que « les tuyauteries non utilisées en temps normal doivent être équipées d'un capuchon démontable ou non ou d'un dispositif équivalent. » Elle indique aussi que « les dispositifs d'arrêt, qu'il n'est pas prévu d'actionner en marche normale, doivent être protégés contre toute manipulation non autorisée. »

Dilatation et contraction des tuyauteries

Les tuyauteries sont équipées de systèmes pour faire face aux dilatations et contractions.

La partie 2 de la norme NF EN 378 (§ 6.2.3.3.4) précise que « des dispositions doivent être prises pour la dilatation et la contraction des grandes longueurs de tuyauteries. »

Protection des flexibles

La partie 2 de la norme NF EN 378 précise que « les éléments de tuyaux flexibles doivent être protégés contre les dommages mécaniques, les contraintes excessives par torsion ou par d'autres forces. Des dispositions pour des contrôles réguliers (inspection visuelle) doivent être prises. »

Limitation des fuites sur la pompe de transfert d'ammoniac

La règle de l'art consiste à utiliser des pompes avec moteur hermétique ou des pompes avec double étanchéité.

Le fonctionnement à vide de la pompe doit être surveillé. Le risque en cas d'absence de fluide est d'endommager le système d'étanchéité et les garnitures.

Pour prévenir l'endommagement de la pompe par cavitation, si une vanne automatique est installée en amont de la pompe et que cette vanne peut être commandée à distance, la commande devra aussi arrêter la pompe. Un pressostat différentiel entre amont et aval de la pompe permet de prévenir un endommagement de la pompe par cavitation...

Ces exigences sont issues de la norme NF EN 378 (partie 2, annexe A).

3.11. Prévention échauffement du moteur (Mesure E)

On se reportera aux systèmes de conduite et de régulation décrits dans le chapitre sur la description des installations.

3.12. Prévention des erreurs sur intervention (Mesure H)

Ce chapitre présente les mesures générales de prévention des erreurs sur intervention (ce ne sont pas des MMR en tant que telles).

Puis les mesures spécifiques relatives aux interventions particulières sont explicitées :

- Opérations de purges,
- Transvasement.

3.12.1. Dispositions générales aux interventions

Pour prévenir les erreurs en phase d'intervention, des consignes d'intervention doivent être rédigées pour toutes les phases d'intervention (cf. § 3).

Le repérage des équipements (tuyauteries et vannes) doit être fait correctement.

Plan (PID) d'intervention avec vannes mises en évidences et procédure associée.

- L'article 8 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « les vannes et les tuyauteries doivent être d'accès facile et leur signalisation conforme aux normes applicables ou à une codification reconnue. Les vannes doivent porter de manière indélébile le sens de leur fermeture. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 que l'accessibilité et la signalisation des vannes et tuyauteries doivent être vérifiées.

3.12.2. Exigences sur les opérations de purge

Les points de purge sont susceptibles d'engendrer des fuites. Des mesures doivent être prises pour les prévenir : deux vannes dont une à contrepoids ou une seule vanne cumulant les deux fonctions d'arrêt automatique et d'arrêt manuel.

Un point de captage est demandé par la norme. En pratique, les purges d'air sont réalisées en connectant un flexible dans de l'eau. Les purges d'huile ne font pas intervenir de point de captage.

Une instruction du fabricant doit indiquer la marche à suivre pour réaliser les purges en minimisant les émissions.

- L'article 43 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Les points de purge doivent être munis de deux vannes, dont une à contrepoids ou équivalent, et doivent disposer d'un point de captage permettant de renvoyer le liquide ou le gaz vers un dispositif de neutralisation. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande le « contrôle de la conformité de la purge d'huile. »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 précise (§ 6.2.3.4.2.2) : « Lorsque les instructions de service exigent des vidanges régulières d'huile, le fabricant doit fournir des instructions avec le moins d'émissions possibles dans l'environnement. Pour les conduites de vidange d'huile utilisée en marche normale : des robinets d'arrêt automatiques doivent être installés s'il y a des risques de rejet d'ammoniac. […] Dans les séparateurs de liquides et les réservoirs, un robinet d'arrêt automatique doit être installé pour vidanger l'huile accumulée. Un robinet d'arrêt avec tige horizontale doit aussi être installé en amont de celui-ci, sinon un robinet cumulant les deux fonctions. »

3.12.3. Exigences sur les points de transvasement (vidange ou remplissage)

Les phases de remplissage et de vidange d'installation peuvent générer des pertes de confinement.

Des mesures techniques sont prises pour :

- Eviter les fuites ;
- Collecter les fuites éventuelles.

Des mesures organisationnelles sont également prises (cf. chapitre 3).

Utilisation de flexibles

Les flexibles utilisés doivent être réalisée avec **un certificat de test de pression**, contrôlés régulièrement et être équipés à leurs extrémités de **dispositifs permettant d'interrompre le flux en cas de rupture** (clapet anti-retour).

Il existe une réglementation sur les flexibles incluant des recommandations sur le stockage (courbure à respecter) et des obligations de ré-épreuve régulière (ou de changement).

Pour des flexibles de diamètre < 25 mm (flexibles utilisées dans les réfrigérations ammoniac), il n'existe pas de dispositifs permettant d'interrompre le flux. Cependant un clapet anti-retour côté installation évite le retour d'ammoniac depuis l'installation. Les flexibles > 25 mm seraient équipés d'obturateur automatique mais ils ne sont pas utilisés pour les réfrigérations à l'ammoniac.

- L'article 57 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Lorsque le transvasement d'ammoniac est effectué à l'aide de flexibles, ceux-ci doivent être équipés conformément aux dispositions suivantes :
  - Les flexibles doivent être protégés à chacune de leurs extrémités par des dispositifs de sécurité arrêtant totalement le débit en cas de rupture du flexible ;
  - Ces dispositifs doivent être automatiques et manœuvrables à distance pour des flexibles d'un diamètre supérieur au diamètre nominal 25 millimètres.
- Les flexibles doivent être utilisés et entreposés après utilisation de telle sorte qu'ils ne puissent subir aucune détérioration. En particulier, ils ne doivent pas subir de torsion permanente, ni d'écrasement.
- L'état du flexible, appartenant ou non à l'exploitant doit faire l'objet d'un contrôle avant toute opération de transvasement (règlement des transports de matières dangereuses, etc.). »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que l'exploitant doit contrôler :
  - « Existence d'une procédure pour la recharge d'ammoniac dans l'installation ;
  - Existence d'un document d'enregistrement des mouvements de fluide tenu à jour ;
  - Contrôle périodique du flexible et des vannes ;
  - Existence d'un document d'enregistrement du contrôle périodique du flexible.

- Les documents suivants pourront être consultés :
  - Document d'enregistrement des mouvements de fluide ;
  - Document d'enregistrement du contrôle périodique du flexible et des vannes ;
  - Procédure de charge en ammoniac de l'installation ;
  - État de cette charge ;
  - Document de conformité du flexible de charge (si ce document existe). »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 précise que « les éléments de tuyaux flexibles doivent être protégés contre les dommages mécaniques, les contraintes excessives par torsion ou par d'autres forces. Des dispositions pour des contrôles réguliers (inspection visuelle) doivent être prises. »

Suivi de procédures par du personnel compétent

Les personnes réalisant les opérations de transvasement doivent être spécialement formées.

Toute charge d'ammoniac sera réalisée avec une procédure clairement établie et une analyse des risques préalable à l'opération.

- L'article 58 de la circulaire du 16 juillet 1997 impose : « Les personnes procédant au transvasement doivent être spécifiquement qualifiées et parfaitement informées de la conduite à tenir en cas d'accident. »

Utilisation de fûts adaptés

Il faut veiller à l'utilisation de fûts adaptés, répondant à la réglementation des équipements sous pression.

Entreposage des fûts ou bouteilles de transvasement

La bonne pratique consiste à stocker les bouteilles avant transvasement ou les fûts après vidange dans la salle des machines. Ainsi, en cas de fuite, la rétention de la salle des machines permet le recueil des épandages et l'extracteur automatique démarré sur détection d'ammoniac permet de réduire les effets au sol.

Cette pratique n'est pas imposée par la réglementation mais correspond à une bonne pratique.

3.13. Prévention de la dépression (Mesure D)

On se reportera aux systèmes de conduite et de régulation décrits dans le chapitre sur la description des installations.

3.14. Prévention des effets des incendies (Mesures I)

Des incendies sont possibles à l'extérieur de la salle des machines (par exemple dans les installations d'entreposage de denrées). Des effets dominos sont possibles et des mesures doivent être prises pour prévenir la propagation d'un incendie.

La salle des machines peut aussi être le siège d'incendies. Des mesures sont prises pour prévenir le développement et la propagation des incendies.

Les mesures relatives à l'incendie sont précisées dans ce paragraphe.

Prévention des propagations d'incendie

Les locaux sont conçus pour éviter la propagation des incendies, ce qui implique des matériaux adaptés et des contraintes d'étanchéité des portes et passages de gaines et tuyauteries.

Une bonne pratique (non réglementaire) peut être de ne pas laisser les camions à proximité des quais en dehors de la période de transfert.

- L'article 2 de l'arrêté du 16 juillet 1997 rappelle que « Les bâtiments et locaux sont conçus et aménagés de façon à s'opposer efficacement à la propagation d'un incendie. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 5.15) spécifie : « Les portes doivent être hermétiques, raccordées, doivent se refermer automatiquement et être conçues de manière à pouvoir s'ouvrir de l'intérieur (**système antipanique**). Attention dans le cas d'un accès par contrôle à commande électrique (badge, tactile…), la sortie ne doit pas être conditionnée par l'action d'un bouton poussoir mais seulement par l'action sur la barre anti-panic.
- **Les portes** doivent être de construction coupe-feu résistant pendant **au moins une heure**, grâce à des matériaux et une construction soumise à essai conformément à l'EN 1634. […] **Les murs, planchers et plafonds** entre l'intérieur du bâtiment et la salle des machines doivent être de construction coupe-feu résistant pendant **au moins une heure** et être hermétiquement scellés. […] Les gaines de service doivent être scellées pour réduire au minimum les fuites dans la gaine de service et avoir la même résistance au feu que les murs et les portes. […] La gaine de ventilation doit avoir la même résistance au feu que les portes et les murs de la salle des machines. » La norme précise aussi (§5.10) : « toutes les tuyauteries et conduites de ventilation traversant les murs, plafonds et planchers des salles des machines doivent être scellées lorsqu'elles traversent les murs, plafonds ou planchers. Le scellement doit avoir au minimum les mêmes propriétés de résistance à l'incendie que les murs, plafonds ou planchers. »
- **Normes de constructions** :
    - **Portes : EN1634**
    - **Murs, plancher et plafond : EN1363, EN 1364, et EN 1365.**

Prévention des départs de feu dans la salle des machines

Des mesures sont prises pour prévenir les sources d'inflammation (permis de feu, interdiction de fumer…). Les locaux doivent être régulièrement nettoyés.

Le stockage de matières inflammables autres que celles utiles à l'installation (huile) n'est pas autorisé dans la salle des machines.

- L'article 44 de l'arrêté du 16 juillet 1997 rappelle que « Dans les installations où il existe un risque d'incendie ou d'explosion, il est interdit de fumer ou d'apporter du feu sous une forme quelconque ou encore d'utiliser des matériels susceptibles de générer des points chauds, sauf pour la réalisation de travaux ayant fait l'objet d'un permis de feu délivré et dûment signé par l'exploitant ou par la personne qu'il aura nommément désignée. » L'article 2 précise : « Les locaux doivent être maintenus propres et régulièrement nettoyés notamment de manière à éviter les amas de matières combustibles et de poussières. »
- L'article 52 précise que « les opérations pouvant présenter des risques (manipulation, etc.) doivent faire l'objet de consignes écrites tenues à jour et affichées dans les lieux fréquentés par le personnel. Ces consignes doivent notamment indiquer : […] - les interdictions de fumer et d'apporter du feu sous une forme quelconque ; - les instructions de maintenance et de nettoyage, dont les permis de feu. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§5.7) précise : « Les salles des machines ne doivent pas être utilisées pour le stockage à l'exception de l'huile de compresseur nécessaire. Tout fluide frigorigène, tous matériaux inflammables ou toxiques doivent être stockés conformément aux réglementations nationales. ». Au §5.1, il est précisé : « les matériaux inflammables, autres que les fluides frigorigènes et l'huile nécessaires au service, ne doivent pas être stockés dans la salle des machines. »

Limitation des effets d'un incendie

Détection incendie et alarmes

Les installations (salle des machines, utilisateurs) doivent être équipées de détecteurs incendie. En cas de déclenchement, une alarme sonore et lumineuse est requise pour intervention éventuelle.

- L'article 48 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « L'exploitant doit implanter de façon judicieuse un réseau de détection incendie, au besoin en s'assurant du concours des services internes à l'établissement ou d'entreprises spécialisées. Tout déclenchement du réseau de détection incendie entraîne une alarme sonore et lumineuse localement et au niveau d'un service spécialisé de l'établissement (poste de garde, PC incendie, etc.). »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que les actions suivantes doivent être effectuées :
  - « Vérification de la mise en place de la détection incendie avec dispositif d'alerte ;
  - Vérification des détecteurs ;
  - Vérification périodique du fonctionnement du système de détection. »
- Ces contrôles s'appuieront sur un plan de détection incendie.

Moyens de lutte contre d'incendie

Des dispositifs d'extinction manuels doivent être installés. Ils sont alimentés par un réseau correctement dimensionné.

L'extinction automatique par eau est interdite en salle des machines.

Les installations d'extinction sont régulièrement entretenues et testées par un technicien qualifié.

- L'article 44 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « L'installation doit être pourvue en moyens de lutte contre l'incendie adaptés aux risques encourus, en nombre suffisant et correctement répartis sur la superficie à protéger. Leur nature et leur implantation sont définies en liaison avec l'inspection du travail et l'inspection des installations classées.
- Les canalisations constituant le réseau d'incendie sont indépendantes du réseau d'eau industrielle. Leurs sections sont calculées pour obtenir les débits et pressions nécessaires en tout lieu du site.
- Le réseau d'eau incendie doit être conforme aux normes et aux réglementations en vigueur.
- Les bouches, poteaux incendie ou prises d'eau diverses qui équipent le réseau seront munis de raccords normalisés. Ils doivent être judicieusement répartis dans l'installation, notamment à proximité des divers emplacements de mise en œuvre ou de stockage de liquides du gaz inflammables. Ces équipements doivent être accessibles en toute circonstance.
- Les installations de protection contre l'incendie doivent être correctement entretenues et maintenues en bon état de marche. Elles doivent faire l'objet de vérifications périodiques par un technicien qualifié. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 indique (§ 5.14.3) que, dans la salle des machines, « des matériels adéquats de lutte contre l'incendie » doivent être prévus. La norme précise (§ 5.14.3.3) : « Si des systèmes d'extinction d'incendie à eau pulvérisée sont installés dans les salles des machines (R717), les conditions suivantes doivent être remplies :
    - Les têtes des extincteurs sont activées séparément à 141°C ou plus (haute température selon l'EN 12845).
    - L'activation du système d'extincteurs ne se fait pas par commande de priorité manuelle.
    - L'installation des extincteurs est conforme aux exigences de l'EN 12845. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que doivent être vérifiés :
    - « L'existence d'un plan de sécurité incendie ;
    - La présence et de l'état de fonctionnement du matériel ;
    - Existence de vérifications périodiques des installations de protection incendie. »
- Ces vérifications pourront se faire sur la base :
    - « D'un plan indiquant les détecteurs et les moyens d'intervention (extincteurs, RIA, poteaux d'incendie) ;
    - Des comptes-rendus de vérification périodique des installations de protection incendie. »

Intervention : exutoire de fumées

Pour permettre l'intervention, des exutoires de fumées à commandes automatique et manuelle doivent être installés en partie haute de la salle des machines, avec des commandes manuelles situées à l'extérieur de la salle des machines, près des accès.

- L'article 45 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « Les salles de machines doivent être équipées en partie haute de dispositifs à commande automatique et manuelle permettant l'évacuation des fumées et gaz de combustion dégagés en cas d'incendie. Les commandes d'ouverture manuelle sont placées à l'extérieur du risque et à proximité des accès. Les commandes des dispositifs d'ouverture doivent facilement être accessibles. »

4. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la fuite toxique (Mesure T)

Eléments des MMR (Mesure de Maîtrise des Risques)

Ce paragraphe liste les éléments des différentes MMR. Rappelons que c'est la MMR globale qui doit être évaluée pour être prise en compte dans l'évaluation probabiliste.

Des exigences réglementaires et normatives sont précisées ; elles peuvent être utilisées pour évaluer les performances des MMR.

4.1. Détection de fuite : détection gaz

Nécessité d'une détection gaz

Pour permettre l'intervention, des exutoires de fumées à commandes automatique et manuelle doivent être installés en partie haute de la salle des machines, avec des commandes manuelles situées à l'extérieur de la salle des machines, près des accès.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « Les installations pouvant présenter un danger pour la sécurité ou la santé des personnes doivent être munies de systèmes de détection et d'alarme adaptés aux risques et judicieusement disposés de manière à informer rapidement le personnel de tout incident. […] Des détecteurs de gaz sont mis en place dans les zones présentant les plus grands risques en cas de dégagement ou d'accumulation importante de gaz ou de vapeurs toxiques. »
- La circulaire du 10 décembre 2010 que « l'exploitant contrôle :
  - Vérification de la conformité du plan de détection à la réalité du site ;
  - Pertinence de l'implantation de la détection ;
  - Essais périodiques de vérification de son efficacité (après préparation de ces essais pour éviter les accidents), qui doivent être enregistrés ;
  - Vérification de l'existence et de la tenue d'un document d'enregistrement relatant les déclenchements, comportant un compte-rendu des causes et du traitement de celles-ci ;
  - Vérifier que la ventilation fonctionne après déclenchement du premier seuil d'alarme ;
  - Vérification de la mise en sécurité effective de l'installation après déclenchement du second seuil d'alarme. »
- L'exploitant s'appuiera pour cela sur :
  - « Plan d'implantation de la détection ammoniac
  - Compte-rendu des essais de détection ammoniac. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise (§ 8.7) « afin d'avertir du risque d'explosion ou d'incendie des équipements dans une salle des machines spéciale, et pour des besoins de commande lorsque la charge est supérieure à 50 kg, un détecteur d'ammoniac est requis. »

Note : la norme (§ 8.7) demande également l'installation de détecteurs d'ammoniac dans le circuit de fluide frigorigène dans le cas des systèmes indirects. « Les détecteurs de R-717 doivent être incorporés dans le circuit de transfert de chaleur de systèmes indirects, par exemple des circuits d'eau ou de glycol, pour détecter la présente de fluide frigorigène dans le circuit, si la charge en R717 est supérieure à 500 kg. Ces détecteurs doivent déclencher une alarme dans la salle des machines et, si possible, à l'interface système de commande/opérateur, mais ils ne doivent ni déclencher de balises ou d'avertisseurs sonores ni initier une évacuation. »

Note : pour les installations situées à l'extérieur (condenseur en terrasse par exemple), la détection gaz est également recommandée ; le maillage devra permettre de couvrir les fuites dans toutes les directions. D'autres systèmes pourront être envisagés (pression basse…). L'efficacité de la détection sera accrue en cas de capotage des zones à risque avec installation des détecteurs au niveau du capotage.

Asservissements

La détection gaz est équipée de deux seuils de sécurité qui déclenchent les asservissements en deux temps :

- 1er seuil : alarme et ventilation d'urgence ;
- 2ème seuil : en plus, mise en sécurité des installations, alarme générale.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « L'exploitant fixera au minimum les deux seuils de sécurité suivants :
  - Le franchissement du premier seuil entraînera le déclenchement d'une alarme sonore ou lumineuse et la mise en service, de la ventilation additionnelle, […] ;
  - Le franchissement du deuxième seuil entraînera, en plus des dispositions précédentes, la mise à l'arrêt en sécurité des installations, une alarme audible en tous points de l'établissement et, le cas échéant une transmission à distance vers une personne techniquement compétente (ce seuil est au plus égal au double de la valeur choisie pour le 1er seuil).
- Les détecteurs fixes doivent déclencher une alarme sonore ou visuelle retransmise en salle de contrôle. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise :
  - « Au niveau bas d'alarme, une alarme et la ventilation mécanique doivent être actionnées.
  - Au niveau haut d'alarme, le système de réfrigération doit être automatiquement arrêté. Au niveau haut d'alarme, l'alimentation électrique pour le fluide frigorigène vers la salle des machines spéciale doit également être arrêtée, ainsi que le système de ventilation mécanique d'urgence à moins qu'il existe des dispositions particulières (voir 5.17.1.2). »

Seuils et nature des détecteurs

Le choix des seuils et des technologies de détecteurs dépend des risques envisagés. Dans les locaux avec du personnel, les effets toxiques sont recherchés et les seuils sont adaptés au temps de présence du personnel.

Dans la salle des machines où le personnel n'est présent que de manière occasionnelle, les seuils retenus sont usuellement 2000 ppm et 4000 ppm (double du 1er seuil). Un seuil toximétrique à 500 ppm (correspondant à l'ancienne valeur IDLH) est parfois aussi retenu en salle des machines.

- Note : les seuils indiqués ne sont pas tous des exigences réglementaires ou normatives.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 impose que « le deuxième seuil est au plus égal au double de la valeur choisie pour le 1er seuil. » Il précise : « Les zones de sécurité sont équipées de systèmes de détection dont les niveaux de sensibilité sont adaptés aux situations. Ces détecteurs doivent être de type toximétrie dans les endroits où les employés travaillent en permanence ou susceptibles d'être exposés, et de type explosimétrie dans les autres cas où peuvent être présentes des atmosphères confinées. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 8.7) fixe les exigences sur les seuils en salle des machines : ils doivent « fonctionner à une concentration ne dépassant pas :
  - 350 mg/m3 (500 ppm (V/V)) dans les salles des machines (niveau bas d'alarme) ;
  - 21 200 mg/m3 (30 000 ppm (V/V)) (niveau haut d'alarme). »

Technologie des détecteurs

En salle des machines et sur la plateforme de condensation (absence de personnel), les détecteurs sont du type électrochimique dans la mesure où les seuils de détection retenus sont usuellement de l'ordre de 1000 ppm.

Si des utilisations en explosimétrie sont visées, les détecteurs seront de type catalytique

Parfois, un 3ème seuil plus bas (toximétrie) est possible sur les détecteurs. En cas d'intervention en salle des machines, le personnel pourra s'équiper d'un détecteur portatif.

Dans les locaux où du personnel peut être présent, les détecteurs sont du type électrochimique et sont réglés pour des utilisations en toximétrie.

Nombre et position des détecteurs

Le positionnement des détecteurs reste difficile à recommander de manière générale. Des exigences existent pour le positionnement au-dessus des équipements sujets à fuite (compresseurs, pompes…). Les règles de bonnes pratiques conduisent usuellement à mettre plusieurs détecteurs dans la salle des machines (au minimum deux) situés en partie basse et haute. Un ordre de grandeur peut être d'un détecteur pour 100 m2 au sol. On pourra installer des détecteurs toximétriques en partie basse (position des intervenants) et des explosimétriques en partie haute. Souvent un détecteur est placé au niveau de la gaine d'extraction.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 note « L'implantation des détecteurs résulte d'une étude préalable. ».
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 8.7) fixe des exigences sur le nombre et la position des détecteurs : « Lorsque la salle des machines spéciale ne comprend que des compresseurs ou des unités de compresseurs, au moins un détecteur doit être placé sur les compresseurs ou les unités. Le site des pompes de réfrigération, dans une salle des machines ou dans d'autres zones, doit également être surveillé par un détecteur monté à l'avant et à proximité des pompes. »

Note : pour les installations situées à l'extérieur, le maillage de la détection ammoniac devra permettre de couvrir les différentes directions de fuite.

Suivi des détecteurs

Conformément aux réglementations en vigueur (exigences de testabilité et de maintenabilité), les détecteurs gaz doivent faire l'objet d'un suivi et de tests réguliers. Les détecteurs électrochimiques sont testés usuellement tous les 6 mois. Les têtes doivent être changées assez souvent, en fonction des résultats des tests ; en ordre de grandeur, le changement s'effectue tous les 18 à 24 mois.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 spécifie « L'exploitant doit dresser la liste de ces détecteurs avec leur fonctionnalité et doit déterminer les opérations d'entretien destinées à maintenir leur efficacité dans le temps. »
- Il est spécifié dans la norme (§ 8.7) que « les détecteurs doivent être adaptés à leur utilisation et étalonnés par un organisme compétent. ».

Exigences en cas de déclenchement

En cas de déclenchement d'un détecteur gaz, des contrôles doivent être effectués et tracés. La remise en service de l'installation ne peut pas être faite automatiquement.

- L'article 42 de la l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Tout incident ayant entraîné le dépassement du seuil d'alarme gaz toxique donne lieu à un compte rendu écrit tenu à la disposition de l'inspecteur des installations classées durant un an. […] La remise en service d'une installation arrêtée à la suite du déclenchement d'une alarme ne peut être décidée que par une personne déléguée à cet effet, après examen détaillé des installations et analyse de la défaillance ayant provoqué l'alarme. »

4.2. Détection de fuite : détection humaine et action humaine

Vannes d'isolement sur les capacités

Des vannes d'isolement doivent isoler les capacités les unes des autres et les portions de tuyauterie contenant de l'ammoniac liquide.

Ces vannes doivent être situées au plus près des capacités. Ces dispositifs d'isolement peuvent être manuels ou automatiques. La réglementation et/ou les normes n'imposent pas de systèmes automatiques. En pratique, les isolements sont installés en aval des pompes BP sur le circuit entre ballon séparateur et évaporateur

- L'article 50 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Plusieurs capacités réunies par des tuyauteries doivent pouvoir être isolées les unes des autres au moyen de vannes manuelles facilement accessibles en toute circonstance ou par des vannes automatiques pilotées par un ou plusieurs paramètres de l'installation ou actionnées par des coups de poing judicieusement placés. »
- L'article 51 précise : « Toute portion d'installation contenant de l'ammoniac liquide sous pression susceptible d'entraîner des conséquences notables pour l'environnement doit pouvoir être isolée par une ou des vannes de sectionnement manuelles située(s) au plus près de la paroi du réservoir. Ce dispositif devra être, si nécessaire, complété par une vanne de sectionnement automatique à sécurité positive qui devra notamment se fermer en cas d'arrêt d'urgence ou de détection d'ammoniac. »
- La partie 2 de la norme NF EN 378 précise (§ 6.2.4) : « Les systèmes de réfrigération doivent être équipés d'un nombre suffisant de robinets d'isolement pour minimiser le danger, notamment durant la réparation et/ou la maintenance […] Les robinets à commande manuelle requis lors de l'utilisation essentielle de fonctionnement doivent être munis d'un volant ou d'une manette. ».
- La norme précise dans l'annexe A (exigences spécifiques à l'ammoniac) que pour des installations de plus de 3000 kg, « un dispositif de fermeture commandé à distance doit exister dans la conduite liquide. Ce dispositif doit se fermer en cas de défaillance de la puissance de commande, détection d'une fuite ou arrêt d'urgence. Il doit être contrôlable manuellement ou, si nécessaire, intégré à un système d'arrêt d'urgence. »

En pratique, la conduite liquide concernée est la tuyauterie liquide vers les utilisateurs.

Note : l'étude de dangers ne tiendra pas compte de vannes manuelles comme dispositif d'isolement en cas de fuite massive. En effet, en cas de fuite massive, l'accès à la salle des machines devient difficile (visibilité réduite réduisant l'efficacité d'une intervention humaine, nécessite de s'équiper tendant à augmenter le temps de réponse…).

Pour les installations de plus de 3 000 kg, et pour répondre à l'annexe A, il existe un autre moyen que celui de mise en œuvre de vannes automatiques, les vannes automatiques sont intéressantes dans le cas de plusieurs réseaux liquides qui seraient sectionnable indépendamment.

Cinétique recommandée :

- Détection de fuite d'ammoniac en combles technique = arrêt impératif des pompes.
- Chute de pression détectée par un pressostat sur la ligne liquide = arrêt impératif des pompes.

4.3. Arrêt automatique des installations

Arrêt automatique des installations

L'arrêt des installations s'effectue par coupure de la puissance sur l'alimentation des équipements (compresseurs et pompes). Le circuit comporte deux parties : le circuit commande (relayage) et le circuit puissance (contacteur).

En cas de fuite d'ammoniac sur le circuit dans la salle des machines, l'arrêt des fuites est lié à l'arrêt des pompes et des compresseurs. La coupure des alimentations électriques exigée en cas de détection gaz dans la salle des machines (au 2ème seuil) conduit à l'arrêt des pompes et compresseurs. Le 2ème seuil aura pour action une coupure générale du poste TGBF alimentant la SDM (par bobine MX).

- L'article 47 de l'arrêté du 16 juillet 1997 demande « L'arrêt du compresseur doit pouvoir être commandé par des dispositifs appropriés judicieusement répartis, dont l'un au moins est placé à l'extérieur de l'atelier de compression. »
- L'article 39 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « des dispositions sont prises pour permettre, en toute circonstance, un arrêt d'urgence et la mise en sécurité électrique des installations »

En cas de fuite détectée au niveau des utilisateurs, la détection gaz conduit à l'arrêt des pompes de circulation en salle des machines. L'arrêt des compresseurs signifie (avec un certain délai) une montée en pression dans le ballon séparateur, ce qui conduira à une augmentation des effets en cas de fuite sur la partie BP.

En cas de fuite sur la partie BP au niveau des utilisateurs et/ou des tuyauteries de liaison entre la salle des machines et les utilisateurs, la coupure des compresseurs ne sera donc pas commandée.

4.4. Intervention humaine en cas d'urgence

4.4.1. Alarmes associées aux détecteurs

Exigences d'indépendance et d'efficacité de l'alarme

La réglementation ne donne pas d'exigences à ce sujet. La norme (non obligatoire) précise que la détection d'ammoniac déclenche une alarme qui doit répondre aux exigences d'efficacité et d'indépendance avec le système de ventilation.

- La norme NF EN 378 précise au §7.1 qu' « une alarme doit être déclenchée par le détecteur. L'alarme doit également alerter une personne autorisée pour qu'elle puisse prendre les mesures nécessaires. »
- Elle ajoute au §8.3 que « Le système d'alarme doit générer un avertisseur à la fois audible et visible, comme par exemple une forte sonnerie (15 dBA au-dessus du niveau sonore ambiant) et une lumière clignotante. Le système d'alarme doit générer un avertisseur audible de l'intérieur et de l'extérieur de la salle des machines ou au moins à l'intérieur de l'espace utilisé comme un espace occupé. Pour les hôtels et établissements similaires, le système d'alarme doit également avertir à un endroit surveillé, tel que le poste du gardien de nuit, ainsi que dans l'espace occupé. L'alarme extérieure peut être installée dans une salle de surveillance ou autre endroit surveillé. »
- Enfin, elle précise « Lorsqu'un système d'alarme est installé, sa source d'alimentation doit être indépendante de la source d'alimentation du système de ventilation mécanique ». La norme note qu' « un circuit électrique de secours utilisant des batteries peut être utilisé pour le système d'alarme ».

Surveillance permanente des installations

Une surveillance permanence (locale ou à distance) permet de prévenir une personne compétente pour intervention en cas d'alarme. Pour les installations de plus de 3 tonnes d'ammoniac, l'alarme doit être renvoyée dans une centrale de surveillance, compatible avec une intervention en moins de 60 minutes.

- L'article 23 de l'arrêté du 16 juillet 1997 indique que « un gardiennage est assuré en permanence ou un système de transmission d'alarme à distance est mis en place de manière qu'un responsable techniquement compétent puisse être alerté et intervenir rapidement sur les lieux en toute circonstance. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande le contrôle de « l'efficacité du report d'alarme et le contrôle du temps de réaction. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise (§ 7.4) : « L'utilisateur / le propriétaire du système de réfrigération doit s'assurer qu'un poste permanent de surveillance est prévu comme poste d'alerte central. Du personnel spécialisé doit être présent sur site dans un délai de 60 min après le début de l'alarme. Le personnel peut également être informé de l'alarme par des équipements techniques, par exemple téléphone mobile, récepteur d'appel. »

Consignes d'intervention en cas d'accident

Des consignes écrites relatives aux moyens d'urgence en cas d'accident (fuite toxique, épandage de matières dangereuses…) sont rédigées, tenues à jour et affichées. Un affichage des risques et des consignes à observer doit être présent à l'extérieur des zones et à l'intérieur.

L'intervention repose sur des consignes écrites (cf. chapitre 3).

- L'article 31 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Des dispositions appropriées seront prises pour qu'il ne puisse y avoir, en cas d'accident se produisant dans l'enceinte de l'établissement, déversement de matières qui, par leurs caractéristiques et quantités émises, seraient susceptibles d'entraîner des conséquences notables sur le milieu naturel récepteur. Une liste des dispositions concernées même occasionnellement, sera établie par l'exploitant, communiquée à l'inspecteur des installations classées et régulièrement tenue à jour. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande de vérifier « l'existence et la nature des dispositions prises en cas de déversement accidentel ».
- L'article 40 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Des consignes écrites sont établies pour la mise en œuvre des moyens d'intervention, d'évacuation du personnel et d'appel aux moyens de secours extérieurs. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande de vérifier « l'existence d'un plan de sécurité interne à l'entreprise et l'affichage des consignes de sécurité ».
- L'article 41 ajoute : « La nature exacte du risque (atmosphère potentiellement explosible, etc.) et les consignes à observer sont indiquées à l'entrée de ces zones et en tant que de besoin rappelées à l'intérieur de celles-ci. Ces consignes doivent être incluses dans le plan d'urgence s il existe (notamment au niveau des moyens d'alerte du plan d'opération interne s'il existe). »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande de vérifier l'existence d'un plan de zones de sécurité et de comparer ce plan avec celui du site ; « la pertinence des consignes de sécurité pour chacune des zones est à contrôler par l'exploitant ».
- L'article 52 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Les opérations pouvant présenter des risques (manipulation, etc.) doivent faire l'objet de consignes écrites tenues à jour et affichées dans les lieux fréquentés par le personnel. Ces consignes doivent notamment indiquer :
  - Les mesures à prendre en cas de fuite sur un récipient ou sur une canalisation contenant de l'ammoniac ;
  - Les moyens d'extinction à utiliser en cas d'incendie ;
  - Le plan d'opération interne s'il existe ;
  - La procédure d'alerte, avec les numéros de téléphone du responsable d'intervention de l'établissement, des services incendie et de secours, du centre antipoison etc ;
  - Les procédures d'arrêt d'urgence ;
  - […] ;
  - L'étiquetage (pictogramme et phrases de risque) des produits dangereux stockés sera indiqué de façon très lisible à proximité des aires permanentes de stockage d'ammoniac.

- Ces consignes doivent rappeler de manière brève, mais explicite, la nature des produits concernant les risques spécifiques associés (incendie, toxicité, pollution des eaux, etc.). »

- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que les consignes de sécurité doivent être mises à jour et qu'il est nécessaire de s'assurer qu'elles sont bien affichées et connus par le personnel.

4.4.2. Commande sur des BAU générant des actions de sécurité

Arrêt manuel des installations : boutons d'arrêt d'urgence

Des boutons d'urgence équipent l'installation, notamment au niveau de la salle des machines (intérieur et extérieur). Ils doivent permettre d'arrêter le système de réfrigération.

Une commande d'urgence doit aussi commander la ventilation d'urgence.

- La partie 3 de la norme NF EN 378 indique (§5.1) que dans la salle des machines, doit être prévu « un interrupteur à distance pour arrêter le système de réfrigération doit être installé à l'extérieur et à proximité de la porte de la salle des machines. […] La ventilation mécanique doit être fournie avec commande d'urgence indépendante située à l'extérieur et à proximité de la porte de la salle des machines. »
- Au §5.8 est précisé : « Un interrupteur [d'urgence] à distance pour arrêter le système de réfrigération doit être installé à l'extérieur et à proximité de la porte de la salle des machines. Un interrupteur similaire doit être installé à un endroit approprié dans la salle. »

4.4.3. Intervention humaine dans la SDM

Intervention humaine : équipement à disposition

L'intervention suppose la mise à disposition par l'exploitant d'équipements de protection.

- L'article 53 rappelle que des équipements doivent être tenus à disposition du personnel pour permettre les interventions : « En dehors des moyens appropriés de lutte contre l'incendie, l'exploitant doit mettre à la disposition du personnel travaillant dans l'installation frigorifique :
  - Des appareils de protection respiratoire en nombre suffisant (au minimum deux) adaptés aux risques présentés par l'ammoniac ;
  - Des gants, en nombre suffisant, qui ne devront pas être détériorés par le froid, appropriés au risque et au milieu ambiant ;
  - Des vêtements et masques de protection adaptés aux risques présentés par l'ammoniac doivent être conservés à proximité des dépôts et ateliers d'utilisation ;
  - Des brancards pour évacuer d'éventuels blessés ou intoxiqués.
- L'ensemble de ces équipements de protection doit être suffisamment éloigné des réservoirs, accessible en toute circonstance et situé à proximité des postes de travail. Ces matériels doivent être entretenus en bon état, vérifiés périodiquement et rangés à proximité d'un point d'eau et à l'abri des intempéries. »

- La circulaire du 10 décembre 2003 demande le « contrôle des équipements de protection individuels et collectifs (bouteilles d'air…), l'existence de l'équipement de protection incendie et surtout de protection contre l'ammoniac (gants, masques…) et le contrôle périodique des équipements de protection individuels et collectifs. »

Note : l'alarme à 500 ppm indique une concentration importante. L'intervention nécessite alors nécessairement le port des EPI (masque et vêtements spécifiques).

4.4.4. Protection des personnes

Pour permettre une protection des personnes en cas de fuite, la direction du vent doit être donnée par un dispositif approprié qui doit être visible de jour comme de nuit.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Des dispositifs complémentaires visibles de jour comme de nuit, doivent indiquer la direction du vent. »

4.4.5. Ventilation de la salle des machines

Ventilation mécanique requise

L'arrêté du 16 juillet 1997 et la norme NF EN 378 imposent un dispositif mécanique de ventilation en cas de fuite. En marche normale, la ventilation mécanique n'est pas obligatoire.

- L'article 3 de l'arrêté précise : « La ventilation des salles des machines est assurée par un dispositif mécanique calculé selon les normes en vigueur, de façon à éviter à l'intérieur des locaux toute stagnation de poches de gaz. »
- La partie 3 de la norme, § 5.1 précise : « Une ventilation mécanique doit être fournie. » Le § 5.16.1 ajoute : « Un système de ventilation mécanique doit être utilisé en cas de fuite de fluide frigorigène due à des fuites ou une rupture de composants. Ce système doit être indépendant de toute ventilation du site »

Note : la **ventilation des passages de tuyauteries (hors salle des machines)** est également exigée dans la partie 3 de la norme NF EN 378 (§5.15.3) : « les gaines ou passages contenant des tuyauteries de frigorigène doivent être ventilées dans un endroit sûr pour empêcher l'accumulation de vapeurs. »

Débit de la ventilation normale

Le débit d'air en ventilation normale (en conditions de fonctionnement normales) est spécifié dans la partie 3 de la norme NF EN 378 (§5.16.2) : « La ventilation doit être conforme aux réglementations nationales. Il doit y avoir au minimum 4 renouvellements d'air par heure lorsque la salle des machines est occupée. »

Mais la salle des machines n'est pas occupée de manière permanente ; elle n'est pas considérée comme « occupée ». Cette prescription de débit n'est donc pas applicable.

La ventilation normale peut être actionnée pour assurer l'évacuation des déperditions thermiques des équipements et éviter une potentielle dégradation des matériels électroniques par la chaleur, en saison estivale notamment.

Débit de la ventilation d'urgence

Un **débit d'air (mini – maxi) en ventilation d'urgence** est spécifié dans la partie 3 de la norme NF EN 378.

- Un débit minimum est requis (§5.16.4) : « Le débit d'air de la ventilation mécanique doit correspondre au minimum à la quantité obtenue par l'équation suivante : V = 14 × 10-3 x m2/3, où V est le débit d'air en m3/s ; m est la masse de la charge de fluide frigorigène, en kg, dans le système de réfrigération ayant la charge maximale, dont une partie quelconque est située dans la salle des machines. »
- Un débit maximum est également requis dans partie 3 de la norme NF EN 378 (§5.16.4) : « Le système de ventilation d'urgence ne doit pas être contraint de fournir plus de 15 renouvellements d'air par heure. » Concernant le dimensionnement, le paragraphe §5.17.1.2 précise que « Le ventilateur doit être placé de manière à éviter la pressurisation des gaines d'aspiration dans la salle des machines. »

Dimensionnement des entrées d'air

La ventilation mécanique nécessite des entrées d'air sur le bâtiment communiquant directement avec l'extérieur. Aucune spécification précise relative à la dimension des ouvertures n'existe à ce jour dans les documents de référence.

La partie 3 de la norme NF EN 378 précise simplement (§ 5.16.5) que « les ouvertures du système de ventilation mécanique doivent être placées et avoir des dimensions permettant d'obtenir un débit d'air suffisant. » La position des entrées d'air doit également permettre une bonne ventilation de la salle (§ 5.16.1) : « Des dispositions doivent être prises pour une alimentation suffisante en air de remplacement extérieur et un bon système de distribution de cet air dans la salle des machines (spéciale), en évitant les angles morts. »

En pratique, la surface des entrées d'air (dimensionnée pour la ventilation forcée) doit permettre de limiter la vitesse au niveau des grilles d'entrée à 3 m/s.

Mais des grilles doivent aussi permettre d'assurer l'entrée d'air en cas d'incendie et d'activation des évacuations de fumées. Cela revient souvent à doubler la surface de ventilation requise.

Note : Une version antérieure de la norme NF EN 378 proposait une surface libre minimale : « la salle des machines doit avoir une ventilation naturelle assurée par des fenêtres, grilles…. La surface libre est liée à la masse de fluide frigorigène. A = 0,14. m½ où m est la masse en kg et A la surface en m^2 ». Cette exigence était relative à la ventilation naturelle mais pas à la ventilation forcée.

Des entrées d'air sont requises pour assurer la ventilation des locaux. Il est retenu comme bonnes pratiques (mais ce n'est pas une exigence réglementaire) de disposer de ventelles sur les entrées d'air qui se referment mécaniquement en cas de surpression dans le local. Ces ventelles permettent d'éviter un refroidissement de la salle des machines en hiver.

Cette recommandation permet d'éviter la fuite d'ammoniac par les entrées d'air en cas de fuite massive dans le local. Cette hypothèse permet de ne pas retenir les fuites d'ammoniac par les entrées d'air avant la mise en route de la ventilation d'urgence.

Pour disposer d'une ventilation permettant d'éviter les angles morts, il est retenu comme bonnes pratiques de disposer de grilles de ventilation en point bas. L'extraction s'effectue en partie haute de la salle des machines.

Exigences d'étanchéité sur les portes et passages

Pour éviter les fuites à l'extérieur du local, des exigences d'étanchéité sont imposées dans la partie 3 de la norme.

Elles concernent notamment les portes (§5.15.1) : « Les portes doivent être hermétiques […], se refermer automatiquement. Il ne doit pas y avoir d'ouvertures permettant le passage involontaire de fluides frigorigènes […] s'échappant vers les autres parties du bâtiment. »

De même (§5.10) : « toutes les tuyauteries et conduites de ventilation traversant les murs, plafonds et planchers des salles des machines doivent être scellées lorsqu'elles traversent les murs, plafonds ou planchers. »

En pratique, l'exigence d'étanchéité est liée à une préoccupation de caractère coupe-feu et pas à une étanchéité vis-à-vis d'un risque toxique. Les portes coupe-feu, le scellement des traversées des murs, planchers, plafonds et des conduites traversant les cloisons répondent aux exigences d'étanchéité.

Note : Ces deux exigences sur les portes et les passages de tuyauteries et gaines répondent également à un souci de non propagation des incendies (cf. § 3.14 de cette annexe).

Evacuation de l'extraction forcée

L'évacuation de l'extraction forcée est faite dans une zone « sûre » pour limiter les effets sur l'environnement. La localisation des rejets doit permettre d'éviter de réintroduire de l'ammoniac dans les locaux (bâtiments ou salle des machines).

L'EDD donne la hauteur du point de rejet (calculé en fonction des scénarii)

- L'article 3 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « Le débouché à l'atmosphère de la ventilation doit être placé aussi loin que possible des habitations voisines et d'une source de chaleur, de façon à ne pas entraîner de risque pour l'environnement et pour la santé humaine » ;
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 5.17.1.2) : « La gaine de sortie de ventilation par refoulement doit être conforme aux réglementations nationales. La gaine de sortie ne doit pas être limitée et doit être munie de dispositifs permettant de bloquer l'entrée de détritus, de feuilles et d'oiseaux. La partie basse de toute conduite montante et ouverte à l'extérieur doit être munie d'un tuyau d'écoulement des eaux de pluie et d'un accès pour le contrôle. » On veillera à ce que ces recommandations soient assurées sur les sites.

Note : il n'existe pas de prescriptions relatives au diamètre ou à la hauteur de rejet. Ces informations dépendent de chaque site et sont un paramètre d'entrée important pour l'évaluation des intensités des effets. En pratique, la vitesse des gaz dans la conduite d'extraction ne dépasse généralement pas 10 m/s.

Commandes de l'extraction forcée

La ventilation d'urgence est commandée de deux manières : par des commandes d'urgence et par la détection gaz située dans la salle des machines :

- La partie 3 de la norme précise (§5.16.3) : « Le système de ventilation mécanique d'urgence doit alors être activé par un (des) détecteur(s), situé(s) dans la salle des machines. […] La ventilation mécanique doit également être munie de **deux commandes d'urgence indépendantes,** l'une située à l'extérieur de la salle des machines et l'autre à l'intérieur. ». Il est également spécifié (§5.1) : « La ventilation mécanique doit être fournie avec commande d'urgence indépendante située à l'extérieur et à proximité de la porte de la salle des machines. »
- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que la ventilation additionnelle est mise en service au 1er seuil de la détection. Mais l'arrêté n'impose pas de commandes indépendantes complémentaires.

Alimentation électrique

L'extracteur doit être alimenté par une alimentation secourue.

Le terme d'alimentation secourue signifie que l'extracteur doit être maintenu en service en cas de mise en sécurité. Des groupes électrogènes ne sont pas requis ; parfois sur de grosses installations, des groupes électrogènes peuvent assurer un secours mais cette solution reste rare.

Ainsi lors de l'atteinte du 2ème seuil de détection ammoniac qui conduit à la coupure électrique des installations dans la salle des machines (pour éviter l'explosion), l'extracteur (comme le détecteur et l'éclairage de secours) doit être alimenté par une source indépendante des autres utilisateurs.

Disfonctionnement de l'extracteur d'air ammoniaqué :

En cas de disfonctionnement de l'extracteur d'air ammoniaqué (Extracteur de sécurité) et présence d'une fuite d'ammoniac, le mélange air-ammoniac sortira par la cheminée d'extraction.

En effet le local est étanche au niveau des grilles d'entrée d'air par la pose de grille à ventelles dynamiques coté intérieur, le sens du flux d'air ne peut être que de l'extérieur vers l'intérieur, alors qu'au niveau de l'extracteur un clapet s'ouvre vers l'extérieur. Donc sans extracteur, la fuite crée une surpression dans le local et fait ouvrir le clapet au niveau de ventilateur.

4.5. Protection mécanique – Edicule condenseur

Précisions apportées sur la réalisation de l'édicule autour du système de condensation

Cet édicule (ou capotage, ou carénage) permettra de définir une zone d'enfermement autour des connexions des canalisations ammoniac de liaison entre les condenseurs, situés sur la terrasse de la SDM, et l'intérieur de la salle des machines.

Ce carénage communiquera avec la salle des machines par une ouverture qui sera couverte par une grille en acier galvanisé afin de permettre la protection des travailleurs intervenant dans la zone des condenseurs.

Dans ce capotage seront éventuellement disposés (ou dans la SDM) :

- les régulateurs à flotteurs, assurant la détente de l'ammoniac liquide entre la sortie HP des circuits des condenseurs et l'entrée de la bouteille MP située dans la SDM.
- les soupapes de sécurité des condenseurs évaporatifs.
- les vannes d'isolement des différents circuits des condenseurs évaporatifs.
- les portions de tuyauterie avec accessoires. (Les tuyauteries sans accessoires pourront rester apparentes).

Ce carénage devra résister mécaniquement à des chocs dus à d'éventuelles ruptures de tuyauteries ou chocs d'objets extérieurs : ce qui signifie que le bardage sera du type double peau avec une ossature suffisamment dimensionnée (lisses très rapprochées) et renforcée au droit des vannes et tuyauteries susceptibles d'éclater. La double peau peut être remplacée par une tôle épaisse (63/100ème). Les matériaux devront être choisis pour éviter toutes corrosions et résister à des températures négatives supérieures à -33°C.

Ce carénage sera équipé en partie haute d'un système d'évacuation d'air ammoniaqué à bouche bée. L'évacuation de l'air ammoniaqué se fera dans un flux vertical direct de façons à éviter tout rabattement vers le sol. Le flux de l'air ammoniaqué aura une vitesse verticale d'environ 5 à 7m/s.

La partie basse de cette zone de confinement permettra de récupérer l'ammoniac liquide issu d'une éventuelle fuite. Cette rétention devra avoir une forme inclinée pour accumuler l'ammoniac liquide sur une faible surface. La partie basse de cette rétention sera équipée d'une tuyauterie qui dirigera l'ammoniac liquide vers la rétention générale des différentes bouteilles (MP et BP) de la SDM.

Une sonde de détection de l'ammoniac présent dans l'air sera installée en partie haute de cette zone capotée d'enfermement.

5. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de l'explosion (Mesure X)

Les mesures explicitées dans ce chapitre visent à prévenir l'inflammation en cas de nuage d'ammoniac en zone confinée.

Ci-dessous un extrait du document INERIS :

Retour d'expérience

L'ammoniac et la réfrigération

Réf. : SEI / BARPI ED0389 - Février 1995 (complété par la MàJ du 30/03/1995).

« L'ammoniac est considéré comme un gaz relativement peu inflammable. Ses limites d'inflammabilité dans l'air sont comprises entre 15 et 28 %. Une étude indique cependant que la L.I.E. peut être réduite de 4 % en présence pour un nuage composé d'huile (fuite simultanée de lubrifiant) et d'ammoniac en aérosol. La température d'auto-inflammation de l'ammoniac est de 630°C. Sa dissociation en azote et en hydrogène débutant à 450 - 550°C, la combustion obtenue peut provenir de l'hydrogène formé.

Bien que très supérieure à celle de la plupart des hydrocarbures, son énergie minimale d'inflammation (680 mJ) est néanmoins inférieure à celle délivrée par l'étincelle d'un interrupteur (1 J).

Le caractère inflammable et explosif de l'ammoniac, en milieu confiné en particulier est sujet à controverses. Une bibliographie réalisée en 1991 précise que toutes les caractéristiques d'inflammabilité et d'explosivité publiées indiquent que l'ammoniac est un gaz combustible assez nettement moins réactif, vis-à-vis de l'air, que la plupart des autres gaz combustibles, le méthane en particulier. Ainsi, l'énergie d'inflammation d'un mélange air / ammoniac est plus grande, la flamme dans le mélange se propage plus difficilement et plus lentement, enfin la violence de l'explosion en récipient fermé est plus faible. L'étude réalisée cite quelques accidents à l'étranger dans lesquels une inflammation / explosion de l'ammoniac est suspectée. En l'état actuel des connaissances et sans élément précis sur ces accidents (aucun cas connu n'est répertorié en France), ce risque n'est abordé que superficiellement dans cette étude. Il n'en sera pas de même, par contre, pour les incendies liés à l'environnement proche de l'installation (de nombreux cas sont connus en raison notamment des matériaux d'isolation employés), ces derniers pouvant être à l'origine d'un effet domino éventuel ».

Conception et contrôle des installations électriques

De manière générale, les installations électriques des installations de réfrigération à l'ammoniac doivent être réalisées en tenant compte du risque d'explosion ou d'inflammation. Elles doivent répondre aux normes en vigueur et faire l'objet de contrôles réguliers par des personnes compétentes.

L'article 46 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que les installations doivent être « efficacement protégées contre les risques liés aux effets de l'électricité statique, les courants de circulation et la foudre. Les installations électriques ainsi que les mises à la terre des appareils doivent être réalisées par des personnes compétentes, avec du matériel normalisé et conformément aux normes applicables. […] Toutes les installations électriques doivent être entretenues en bon état et doivent être contrôlées après leur installation ou modification. Un contrôle doit être effectué par un organisme agréé tous les trois ans au moins. Cet organisme doit très

explicitement mentionner les défectuosités relevées dans son rapport de contrôle. Ces rapports sont tenus à la disposition de l'inspecteur des installations classées. »

Définition des zones ATEX

Des zones à risques ATEX doivent être définies par l'exploitant avec des installations adaptées au risque.

Il est important de noter que les mesures prises sur la salle des machines (détection, ventilation, arrêt des alimentations électriques…) permettent de ne pas classer la salle des machines en zone à risque ATEX.

- L'article 46 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « dans les zones définies sous la responsabilité de l'exploitant où peuvent apparaître des atmosphères explosives de façon accidentelle, les installations électriques doivent être réduites à ce qui est strictement nécessaire aux besoins de l'exploitation. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise : « Il n'est pas nécessaire que l'équipement électrique des salles logeant un système de réfrigération contenant uniquement du R-717 soit conforme aux exigences relatives aux zones dangereuses. »

Arrêt des installations électriques

En cas de fuite d'ammoniac dans un local, il faut éviter la formation d'une ATEX et sa possible inflammation. Pour cela, il est prévu d'éviter la persistance d'une atmosphère explosible en mettant en œuvre la ventilation d'urgence sur détection gaz. Si la ventilation d'urgence ne suffit pas à réduire la concentration en ammoniac, l'arrêt de toutes les alimentations électriques est requis, sauf celles alimentant les sécurités assurant la persistance de l'ATEX (ventilations, détections gaz). Les autres sécurités potentielles (isolement éventuel, sécurités de niveau sur les capacités, sécurités de pression haute sur les compresseurs…) doivent être de conception à sécurité positive et mettre ainsi le système en position de sécurité.

- La partie 3 de la norme (§ 6.2) exige l'indépendance des alimentations de sécurité des autres alimentations : « L'alimentation en puissance électrique d'un système de réfrigération doit être disposée de façon à pouvoir être coupée indépendamment de l'alimentation électrique des autres équipements électriques en général et, en particulier, à tout système d'éclairage, d'unités de ventilation, d'alarme et autres équipements de sécurité. »

Exigences ATEX sur l'extracteur d'urgence

Dans la salle des machines, une ventilation d'urgence est requise. Le moteur doit être placé en dehors du flux (ne nécessitant ainsi pas de conception ATEX) ou être de conception ATEX. Le ventilateur doit éviter également la formation d'étincelles.

La commande devra être indépendante des autres commandes électriques dont l'alimentation électrique sera coupée en cas de fuite.

- L'article 46 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « l'éclairage de secours et les moteurs de la ventilation additionnelle restant sous tension doivent être conçus conformément à la réglementation en vigueur. » L'article 3 précise que « Les moteurs des extracteurs doivent être protégés pour éviter tout risque d'explosion ».
- La partie 3 de la norme (§5.17.1.2) explicite que « le ventilateur d'urgence par refoulement doit être a) muni de moteur en dehors du débit d'air, ou b) assigné à des zones

dangereuses. […] Le ventilateur ne doit pas provoquer d'étincelles s'il entre en contact avec le matériau des conduites. »

Prévention des inflammations

Des mesures sont prises pour prévenir les sources d'inflammation (permis de feu, interdiction de fumer…).

- L'article 44 de l'arrêté du 16 juillet 1997 rappelle que « Dans les installations où il existe un risque d'incendie ou d'explosion, il est interdit de fumer ou d'apporter du feu sous une forme quelconque ou encore d'utiliser des matériels susceptibles de générer des points chauds, sauf pour la réalisation de travaux ayant fait l'objet d'un permis de feu délivré et dûment signé par l'exploitant ou par la personne qu'il aura nommément désignée. »

Détection explosimétrique

Un capteur explosimétrique sera installé en SDM, car souvent les capteurs toximétrique installé pour le premier et deuxième seuil ont une échelle de mesure limitée. Le capteur toximétrique permettra à tout moment en cas incident la lecture de la concentration et ainsi d'avertir sur le niveau de risque réel les équipes d'intervention présente.

6. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la pollution (Mesure P)

Rétention générale dans la salle des machines

Pour prévenir les épandages accidentels dans le milieu, la salle des machines doit être conçue pour faire office de rétention. La rétention est correctement dimensionnée (capacités, résistance à la substance…).

Une pratique usuelle consiste à surélever le seuil de la salle des machines pour que le sol fasse office de rétention. Il n'y a généralement pas d'office d'obturation en tant que tel.

Les matières incompatibles ne doivent pas être stockées dans la même rétention.

Les stations de vannes seront équipées de cuvettes de rétention raccordé sur le même réseau des eau usées. Il en sera de même pour les cuvettes des évaporateurs du système.

Un système de contrôle (détection ammoniac) des rejets sera mis en place associé à une vanne motorisée qui se fermera en cas de présence d'ammoniac. Ce système ainsi que le fonctionnement de la vanne devront faire partis des contrôles opérationnels.

- L'article 32 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « Toute utilisation d'ammoniac susceptible de créer une pollution de l'eau ou du sol, notamment à l'ensemble de la salle des machines, doit être associée à une capacité de rétention dont le volume doit être au moins égal à la plus grande des deux valeurs suivantes :
  - 100% de la capacité du plus grand réservoir ;
  - 50% de la capacité globale des réservoirs associés.
- La capacité de rétention doit être étanche aux produits qu'elle pourrait contenir et résister à l'action physique et chimique de l'ammoniac. Il en est de même pour le dispositif d'obturation, qui doit être maintenu fermé en conditions normales. […] Les produits récupérés en cas d'accident ne peuvent être rejetés que dans des conditions conformes au présent arrêté ou doivent être éliminés comme les déchets. Des réservoirs ou récipients contenant des produits susceptibles de réagir dangereusement ensemble ne doivent pas être associés à la même cuvette de rétention. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 demande à contrôler « l'existence des cuvettes de rétention, ainsi que l'existence et le contenu d'une procédure de traitement des eaux ammoniaquées, le volume et de l'étanchéité des cuvettes, l'étanchéité de l'aire de chargement et de déchargement. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 5.17.2.1) précise : « Pour empêcher le R-717 d'atteindre les eaux de surface, un système de captation doit être conçu et installé conformément aux réglementations nationales. Le plancher de la salle des machines doit être conçu de manière à empêcher le R-717 liquide de s'échapper de la salle. Le tuyau d'écoulement du système de captation doit être normalement fermé. »

Rétention sur aires de transferts

L'article 32 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Les aires de chargement et de déchargement de véhicules citernes doivent être étanches et reliées à des rétentions dimensionnées selon les mêmes règles. »

Bassin de confinement

Les installations de plus de 20 tonnes doivent être équipées d'un bassin de confinement. Ces capacités étant peu usuelles dans les installations de réfrigération à l'ammoniac, les prescriptions de l'arrêté du 16 juillet 1997 relatives aux bassins de confinement (articles 33) ne sont pas détaillées dans ce guide.

Dissociation eaux procédés et eaux pluviales

En plus des mesures évoquées ci-dessus (rétention, consignes d'intervention, points de captage des purges…), les eaux utilisées dans le procédé doivent être dissociées des eaux pluviales ; un contrôle de leur qualité doit être effectué avant leur rejet. Les tuyauteries contenant de l'ammoniac ne sont pas installées dans des conduits en liaison avec les égouts.

- L'article 34 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « le rejet direct d'eaux de refroidissement ou de chauffage ainsi que des eaux de dégivrage provenant des circuits alimentant des échangeurs et appareillages dans lesquels circulent l'ammoniac ne peut être effectué qu'après avoir vérifié que ces eaux ne soient pas polluées accidentellement. »
- L'article 35 ajoute : « Le réseau de collecte doit être de type séparatif, permettant d'isoler les eaux résiduaires polluées des eaux pluviales non susceptibles être polluées. Les points de rejet des eaux résiduaires doivent être en nombre aussi réduit que possible et aménagés pour permettre un prélèvement aisé d'échantillon et l'installation d'un dispositif de mesure du débit. En aucun cas, les tuyauteries contenant l'ammoniac ne sont situées dans les égouts ou dans les conduits en liaison directe avec les égouts. »
- L'article 37 précise : « Les effluents aqueux récupérés susceptibles d'être pollués (pompages, lavage d'installation. etc.) doivent être stockés dans des capacités avant leur valorisation ou leur élimination dans des conditions ne présentant pas de risque de pollution. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que doivent être vérifiés :
  - « Qu'un contrôle de la qualité des eaux est effectué et formalisé ;
  - Les dispositions prises en cas de fuite, de rejet des eaux de refroidissement, de dégivrage ;
  - Les moyens de contrôle du pH ;
  - L'existence et la mise en œuvre d'un programme de contrôle de rejets. »
- La vérification s'appuiera sur les « documents de contrôle de la qualité des eaux (modalités et mesures), les procédures de traitement des eaux ammoniaquées, le programme de contrôle des rejets. »
- L'article 55 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Toutes dispositions doivent être prises pour qu'une fuite d'ammoniac lors des opérations de chargement et de vidange de l'installation soit rapidement maîtrisée et que son extension soit la plus réduite possible. »

Atlantic Refrigeration Consulting

Annexe 7

Evaluation d'éléments des mesures de maîtrise des risques :
Tableau de synthèse des évaluations

Frédéric LE BRONNEC
23/02/2021

Table des matières

1. Généralités 2

2. Dispositifs de sécurité (Passifs ou Actifs) 3

3. Evaluation des dispositifs assurant la sécurité 5

3.1. Grille d'évaluation 5

3.1.1. Pressostat de sécurité haute pression 6

3.1.2. Ventilateur (réduction des effets) 8

3.1.3. Niveau de sécurité haut 10

3.1.4. Soupapes (gaz) 12

3.1.5. Détecteur gaz 14

3.1.6. Coupure du système de réfrigération 16

3.1.7. Alarme et action humaine 17

Cette annexe présente les tableaux de synthèse d'évaluation d'éléments de mesures de maîtrise des risques. Les MMR seront évaluées dans l'étude de dangers en considérant les performances des différents éléments. Ainsi une MMR pourra comprendre trois parties : détection, traitement, action. Chaque élément doit être évalué pour déterminer les performances de la mesure de maîtrise des risques.

1. Généralités

Barrière technique de sécurité (BTS) : ensemble d'éléments techniques nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité. On les appelle aussi des Mesures de Maîtrise des Risques (MMR).

Barrière Instrumentée de sécurité (BIS) : chaîne de traitement comprenant une prise d'information (capteur, détecteur…), un système de traitement (automate, calculateur, relais…) et une action (actionneur avec ou sans intervention d'un opérateur) et des moyens de communication (analogiques, numériques, Tout Ou Rien) pour réaliser une fonction de sécurité.



Barrières à action manuelle de sécurité (BAMS) : barrières qui font intervenir des éléments techniques et humains.



Les tableaux d'évaluation des différents éléments s'appuient sur les exigences précisées dans l'annexe précédente.

Il est rappelé qu'une mesure de maitrise est une notion réglementaire définie comme un ensemble d'éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité. La notion d'EIPS a été remplacée par la notion de mesure de maîtrise des risques.

Dans les tableaux suivants, le NC (Niveau de Confiance) est lié à la PFD (Probabilité de Défaillance) de l'élément étudié selon la règle suivante : PFD = 10-NC. Les principes de l'évaluation des performances des MMR sont explicités dans les rapports INERIS Oméga 10 et Oméga 20 pour respectivement les barrières techniques de sécurité et les barrières humaines de sécurité.

Parfois le terme SIL (Safety Integrity Level) est utilisé. Il traduit également la fiabilité de la MMR. Mais il est déterminé dans le cadre d'un processus de certification.

2. Dispositifs de sécurité (Passifs ou Actifs)

Un dispositif de sécurité est en général un élément unitaire, autonome, ayant pour objectif de remplir une fonction de sécurité, dans sa globalité.

Un dispositif peut être classé en 2 catégories :

- Les **dispositifs passifs** qui ne mettent en jeu aucun système mécanique pour remplir leur fonction et qui ne nécessitent ni action humaine (hors intervention de type maintenance), ni action d'une mesure technique, ni source d'énergie externe pour remplir leur fonction. On retrouve notamment dans cette catégorie les cuvettes de rétention, les disques de rupture, les arrête-flammes ainsi que les murs coupe-feu.
- Les **dispositifs actifs** qui mettent en jeu des dispositifs mécaniques (ressort, levier…) pour remplir leur fonction. On retrouve notamment dans cette catégorie les soupapes de décharge et les clapets limiteurs de débit.

Systèmes Instrumentés de sécurité SIS : ce sont des combinaisons de capteur, d'unité de traitement et d'actionneur ayant pour objet de remplir une fonction, ou sous fonction, de sécurité. Un SIS nécessite une énergie extérieure pour initier ses composants et mener à bien sa fonction de sécurité.

Remarque : Les capteurs électriques considérés comme des EIPS, seront câblé de façon « **à sécurité positive** ». De cette façon, par manque de tension les alarmes sont automatiquement émises (même si le défaut n'existe pas réellement, cela est nécessaire pour déceler un disfonctionnement de la chaine de sécurité qui doit toujours rester sous tension.

De même qu'une vanne dite de sécurité doit être câblée de la même façon pour être toujours opérationnelle. Exemple une vanne électropneumatique pourrait se fermer par manque de tension sur la bobine de l'électrovanne du circuit d'air alimentant cette même vanne.

Il est recommandé qu'une chaine de sécurité des EIPS ne passe pas par un API, mais doit être connecté directement sur la puissance (on peut avoir un report sur l'automate bien sûr, mais ce n'est pas l'automate qui doit émettre un signal de coupure).

Dénomination barrières	Dispositif PASSIF	Dispositif ACTIF	Systèmes instrumentés de sécurité SIS		Temps de réponse *(secondes)*	NC
			Simple	Complexe		
Murs coupe-feu	X		Sans objet		1	2
Fermeture automatique des portes	X		Sans objet		1	2
Cuvette de rétention dans locaux	X		Sans objet		1	2
Cheminée d'extraction air ammoniaqué	X		Sans objet		1	3
Disposition du matériel à l'intérieur de locaux	X		Sans objet		1	3
Calcul des circuits selon normes en vigueur	X		Sans objet		1	3
Ventilateur d'extraction d'air ammoniaqué dans cheminée		X	Sans objet		30	3
Tour d'abattage NH3 dans laveur d'air		X	Oui		30	1
Pressostat de sécurité type double soufflet		X	Sans objet		1	3
Soupape de sécurité		X	Sans objet		1	3
Vannes de décharge en décompression		X	Sans objet		1	3
Clapet anti-retour		X	Sans objet		1	2
Bouton arrêt d'urgence		X	Sans objet		1	3
Niveau électrique de sécurité		X	Sans objet		1	2
Détecteur incendie avec capteurs		X	Oui		30	3
Détecteur NH3		X	Sans objet		15	3
Capteur NH3		X	Sans objet		1	2
Détecteur NH3 + capteurs		X	Oui		16	2
Ventilateur d'extraction d'air ammoniaqué dans cheminée secourue		X	Oui		30	2
Vanne motorisée électropneumatique à sécurité positive		X	Oui		1	2

3. Evaluation des dispositifs assurant la sécurité

Les équipements définis comme important pour la sécurité ayant été déterminé par l'exploitant, on exigera de ces équipements qu'ils répondent pour la sécurité à des caractéristiques spécifiques.

Ces caractéristiques servent de base d'évaluation des EIPS et sont regroupées en trois catégories :

1. Caractéristiques de conception,
2. Comportement sur défauts,
3. Suivi de l'équipement (maintenance, vérification, étalonnage).

3.1. Grille d'évaluation

Cette méthodologie d'évaluation consiste à contrôler et valider l'adéquation entre les performances des matériels et l'utilisation sur site, elle s'appuie sur une notation des différentes performances évoquées précédemment à l'aide d'une grille d'évaluation.

L'évaluation d'un équipement au moyen de cette grille se déroule en cinq étapes.

Première étape :

Définir le danger combattu et les équipements IPS associés, en indiquant leur désignation, leur fonction ainsi que leur quantité.

Deuxième étape :

Evaluer le niveau d'efficacité et de fiabilité des équipements IPS en s'assurant qu'ils répondent aux exigences des 5 principes (PI à P5) évoqué précédemment. Pour chaque principe, on donne la note 1 si l'exigence est remplie et la note 0 si elle n'est pas remplie. Indiquer le temps de réponse, si l'équipement est concerné par cette performance.

Troisième étape :

Evaluer le comportement de l'équipement IPS vis à vis des défauts. Pour chaque défaut (inviolabilité, mode dégradé, blocage, compatibilité) évoqué précédemment, on met la note 1 s'il n'y le défaut est possible et la note 0 si le défaut ne peut exister.

Quatrième étape :

Définir si les actions d'ordre organisationnel, nécessaires au bon fonctionnement de l'équipement IPS, sont mises en place. Ceci consiste à vérifier la mise en œuvre d'actions planifiées et systématiques, fondées sur des procédures écrites, mises à jour et donnant lieu à l'établissement de documents archivés. Pour chaque action organisationnelle (procédure de mise en œuvre, de maintenance, d'étalonnage) définie précédemment, on donne la note 1 si elle est mise en place et appliquée et la note 0 dans le cas contraire.

Cinquième étape :

Donner la note finale de l'équipement et statuer sur son niveau de confiance. Le principe de notation finale est en cours de validation. Nous testons cette méthode d'évaluation sur plusieurs sites chimiques afin d'avoir un retour d'expérience suffisant vis à vis de cette cotation.

3.1.1. Pressostat de sécurité haute pression

Pressostat – usuellement considéré comme EIPS			
Pressostat de sécurité HP modèle :	KP7ABS ou similaire		
Fabricant	Danfoss ou autre		
Généralités			
Danger combattu	Rejet d'ammoniac dans l'atmosphère par suite de rupture de matériel consécutif à une montée en pression du circuit de refoulement du compresseur frigorifique.		
Barrière active	Par manque de tension le pressostat déclenche		
Barrière de prévention	Par action le compresseur est immédiatement arrêté pour faire descendre la pression.		
Description de l'équipement			
Désignation	Pressostat de sécurité haute pression (HP)		
Fonction	Arrêt total de l'installation en cas de montée au-delà de la pression de 16bars.		
Temps de réponse avec arrêt système	Ce temps est inférieur à une seconde y compris détection et action souhaitée		
Caractéristique de conception / Niveau d'efficacité et de fiabilité			
*Exigence remplie note = **1** ; non remplie note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Principe de concept éprouvé	✓ Pas de taux de défaillance connu à ce jour. ✓ Dispositif certifié conformément aux normes EN 60947-4-1, EN 60947-5-1, Low Voltage Directives 73/23/EC, PED 97/23/EC. ✓ Voir la fiche de fonctionnement du constructeur.	**P1**	**1**
Principe de sécurité positive	✓ En cas de surpression sur un ou deux soufflets le pressostat déclenche (le réarmement est manuel). ✓ En cas de différence de pression entre les 2 soufflets le pressostat déclenche. ✓ En cas de manque de tension le pressostat déclenche.	**P2**	**1**
Principe de tolérance à la défaillance	✓ Ce pressostat est mis en redondance par rapport à un autre pressostat HP de conception différente mais assurant la fonction de sécurité HP en priorité par rapport à celui-ci. ✓ Si un des éléments le constituant est défectueux le pressostat déclenche.	**P3**	**1**
Principe de résistance aux contraintes spécifiques	✓ Ce pressostat a spécialement été étudié pour protéger les circuits HP des compresseurs frigorifiques. ✓ Ce pressostat a subi des essais de validation (voir certificat). ✓ Ce pressostat est conforme aux Normes Européennes pré citées.	**P4**	**1**
Principe de testabilité	✓ Ce pressostat peut être testé en ligne à l'N2 avec manomètre étalon. ✓ Des procédures de test du pressostat seront mises en œuvre après sa mise en place. (Test installateur en partenariat avec utilisateur, 2 fois par an, et archivage sur 3 ans). ✓ Toute la chaîne de sécurité complète sera également testée dans les mêmes conditions.	**P5**	**1**

Comportement sur défaut de l'équipement			
*Pas de dysfonctionnement note = **1** ; dysfonctionnement note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Mise hors service de la barrière	✓ La barrière ne peut pas être mise hors service sauf lors des tests en réels, avec une procédure spécifique. ✓ Le boitier d'accès aux valeurs de réglages est scellé. ✓ Seul du personnel compétent est habilité à intervenir sur le pressostat. ✓ Les valeurs de réglages ne sont pas accidentellement modifiables par inattention.	D1	1
Etat bloqué	✓ La barrière ne peut pas se bloquer sécuritairement. ✓ En cas de défaillance de l'un des soufflets le pressostat déclenche en sécurité. ✓ En cas de disconnection de l'un des 2 capillaires de prise de pression le pressostat déclenche en sécurité. ✓ Toutes les parties mécaniques sont inaccessibles car enfermées dans le boitier scellé.	D2	1
Efficacité dégradée ou dérive	✓ En cas de défaillance de l'un des soufflets le pressostat déclenche en sécurité. ✓ En cas de disconnection de l'un des 2 capillaires de prise de pression le pressostat déclenche en sécurité.	D3	1
Compatibilité avec le système	✓ La technologie du système est compatible avec le fonctionnement du compresseur à protéger quel que soit les conditions d'exploitation (poussières, milieu salin, ammoniac, hygrométrie, températures ambiantes de -10°C à +60°C).	D4	1
Inspection et maintenance spécifique / Organisation entretien			
*Procédures existantes note = **1** ; Pas de procédures note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Procédure spécifique opératoire	✓ La conception de la barrière est de conception simple, fréquemment utilisée dans les circuits frigorifiques sans connaissance particulière du produit. ✓ Des vérifications mensuelles seront effectuées pour garantir la présence physique de l'EIPS.	AQ1	1
Procédure de maintenance préventive	✓ La maintenance suivra les recommandations du fabricant quant aux périodicités de contrôle. ✓ Toutes les procédures de maintenance seront archivées pour une durée minimale de 3 ans.	AQ2	1
Procédure d'étalonnage	✓ L'étalonnage se fera au minimum 2 fois par an selon des procédures de l'installateur avec utilisation de manomètre étalon.	AQ3	1
Niveau SIL (**S**afety **I**ntegrity **L**evel)			
	Non communiqué par le constructeur	SIL	NA
Niveau de confiance (NC)			
Information complémentaire	✓ En plus du pressostat général (EIPS), il y a un pressostat de sécurité par compresseur dont la valeur de réglage est sensiblement inférieure à la valeur du pressostat EIPS. ✓ Il y a encore avant les pressostats, un transmetteur de pression analogique qui met le compresseur en limitation quand la préalarme est atteinte.	**ACCEPTABLE**	
		NC	3

3.1.2. Ventilateur (réduction des effets)

Ventilateur (réduction des effets) – usuellement considérées comme des EIPS			
Extracteur NH3 de la salle des machines (SDM)		Ventilateur ATEX	
Fabricant		AREM ou autre	
Généralités			
Danger combattu	Rejet d'ammoniac dans l'atmosphère par suite de rupture accidentelle d'origine humaine ou mécanique.		
Barrière active	Après détection ou action sur BAU l'extraction mécanique se met en service.		
Barrière de prévention	Après détection ou action sur BAU l'extraction mécanique se met en service pour éviter l'accumulation d'ammoniac dans la SDM.		
Description de l'équipement			
Désignation	Ventilateur d'extraction à flux vertical direct.		
Fonction	Extraction NH3.		
Temps de réponse avec arrêt système	Ce temps est inférieur à une seconde après commande de l'extraction.		
Caractéristique de conception / Niveau d'efficacité et de fiabilité			
*Exigence remplie note = **1** ; non remplie note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Principe de concept éprouvé	✓ Pas de taux de défaillance connu à ce jour. ✓ Dispositif certifié conformément aux normes standard ATEX.	**P1**	**1**
Principe de sécurité positive	✓ Nécessité d'une source d'énergie pour fonctionner.	**P2**	**0**
Principe de tolérance à la défaillance	✓ L'extracteur n'est pas tolérant à la première défaillance puisqu'un dysfonctionnement peut conduire à la perte de la fonction d'extraction. ✓ Cependant la présence de la cheminée d'extraction qui sera mise en place avec une entrée d'air neuf par grille équipée avec vantelles dynamiques permettra l'extraction de manière naturelle de la SDM. Cette extraction sera efficace en début de fuite importante. Les derniers ppm d'NH3 seront longs à évacuer mais on sera en dehors des zones d'explosivité normale de l'NH3.	**P3**	**1**
Principe de résistance aux contraintes spécifiques	✓ Ce ventilateur a été étudié pour véhiculer des fluides explosifs. ✓ Ce ventilateur a subi des essais de validation (voir certificat). ✓ Ce ventilateur est conforme aux Normes Européennes pré citées.	**P4**	**1**
Principe de testabilité	✓ Ce ventilateur peut être testé facilement. ✓ Des procédures de test du ventilateur seront mises en œuvre après sa mise en place. (Test installateur en partenariat avec utilisateur, 2 fois par an, et archivage sur 3 ans). ✓ Toute la chaîne de sécurité complète sera également testée dans les mêmes conditions avec vérification du conduit d'évacuation et fonctionnement libre des vantelles.	**P5**	**1**

Comportement sur défaut de l'équipement			
*Pas de dysfonctionnement note = **1** ; dysfonctionnement note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Mise hors service de la barrière	✓ La barrière ne peut pas être mise hors service sauf lors des tests en réels, avec une procédure spécifique. ✓ Le coffret électrique d'accès aux commandes est fermé à clef. ✓ Seul du personnel compétent est habilité à intervenir sur l'ensemble ventilation.	D1	1
Etat bloqué	✓ La barrière peut se bloquer sécuritairement. ✓ Cependant une procédure permet de vérifier régulièrement le fonctionnement du ventilateur par une simple mise en marche forcée manuelle.	D2	1
Efficacité dégradée ou dérive	✓ En cas de défaillance du ventilateur la fonction de sécurité est assurée par tirage naturel réduit de l'ammoniac.	D3	0
Compatibilité avec le système	✓ Une procédure permet de vérifier régulièrement le fonctionnement du ventilateur par une simple mise en marche forcée manuelle.	D4	1
Inspection et maintenance spécifique / Organisation entretien			
*Procédures existantes note = **1** ; Pas de procédures note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Procédure spécifique opératoire	✓ La conception de la barrière est de conception simple, fréquemment utilisée dans les circuits frigorifiques sans connaissance particulière du produit. ✓ Des vérifications mensuelles seront effectuées pour garantir la présence physique de l'EIPS.	AQ1	1
Procédure de maintenance préventive	✓ La maintenance suivra les recommandations du fabricant quant aux périodicités de contrôle. ✓ Toutes les procédures de maintenance seront archivées pour une durée minimale de 3 ans.	AQ2	1
Procédure d'étalonnage	✓ Test / Maintenance : effectué régulièrement ; vérifier trimestriellement selon guide AFF. ✓ Le contrôle du débit d'air se fera au minimum 1 fois par an selon des procédures de l'installateur.	AQ3	1
Niveau SIL (**S**afety **I**ntegrity **L**evel)			
	Non communiqué par le constructeur	SIL	NA
Niveau de confiance (NC)			
Information complémentaire	✓ Débit mini : V = 14 × 10-3 x m2/3, où V est le débit d'air en m3/s ; m est la masse de la charge de fluide frigorigène, en kg ; ✓ Débit maxi : 15 renouvellements/h d'air ; ✓ Etanchéité : « l'étanchéité » est assurée par des portes coupe-feu et le scellement des passages de tuyauteries et gaines ; ceci permet de limiter les fuites par les orifices au niveau du sol ou vers des locaux habités en cas de fuite ; il ne s'agit pas d'une étanchéité « totale » (plus une préoccupation de non-propagation d'un incendie) ;	**ACCEPTABLE** NC	2

3.1.3. Niveau de sécurité haut

Niveau haut de sécurité – usuellement considéré comme EIPS			
Niveau haut sur bouteille séparatrice de liquide		LL	
Fabricant		Parker	
Généralités			
Danger combattu	Rejet d'ammoniac dans l'atmosphère par suite de rupture de matériel consécutif à une arrivée intempestive d'ammoniac liquide à l'aspiration du compresseur.		
Barrière active	Par manque de tension le pressostat déclenche		
Barrière de prévention	Par action le compresseur est immédiatement arrêté pour éviter l'aspiration de l'ammoniac liquide.		
Description de l'équipement			
Désignation	Niveau Haut de sécurité.		
Fonction	Arrêt total de l'installation en cas de dépassement de niveau d'ammoniac.		
Temps de réponse avec arrêt système	Ce temps est de l'ordre de 10 secondes compris détection et action souhaitée.		
Caractéristique de conception / Niveau d'efficacité et de fiabilité			
*Exigence remplie note = **1** ; non remplie note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Principe de concept éprouvé	✓ Pas de taux de défaillance connu à ce jour. ✓ Appareils de sécurité réglementaires classés « Catégorie IV » et conforme à la Directive Européenne 97/23/CE. ✓ Voir la fiche de fonctionnement du constructeur	**P1**	**1**
Principe de sécurité positive	✓ En cas d'atteinte du niveau prédéfini le contact déclenche. ✓ En cas de manque de tension le contact déclenche. ✓ En cas de surtension le contact déclenche.	**P2**	**1**
Principe de tolérance à la défaillance	✓ Ce niveau agit seul sur l'installation en tant que système instrumenté de sécurité S.I.S. ✓ Si un des éléments le constituant est défectueux le niveau déclenche.	**P3**	**0**
Principe de résistance aux contraintes spécifiques	✓ Ce contrôleur de niveau a été spécialement étudié pour les fluides corrosifs. ✓ Ce pressostat a subi des essais de validation (voir certificat. ✓ Ce pressostat est conforme aux Normes Européennes pré citées.	**P4**	**1**
Principe de testabilité	✓ Ce contrôleur de niveau NE PEUT PAS être testé facilement. ✓ Ce contrôleur de niveau ne peut être testé qu'en situation réelle. ✓ Des procédures de test du contrôleur de niveau seront mises en œuvre après sa mise en place. (Test installateur en partenariat avec utilisateur, 2 fois par an, et archivage sur 3 ans). ✓ Toute la chaîne de sécurité complète sera également testée dans les mêmes conditions.	**P5**	**0**

Comportement sur défaut de l'équipement			
*Pas de dysfonctionnement note = **1** ; dysfonctionnement note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Mise hors service de la barrière	✓ La barrière ne peut pas être mise hors service sauf lors des tests en réels, avec une procédure spécifique. ✓ Le boitier d'accès aux valeurs de réglages est scellé. ✓ Seul du personnel compétent est habilité à intervenir sur le contrôleur de niveau. ✓ Les valeurs de réglages ne sont pas accidentellement modifiables par inattention.	D1	1
Etat bloqué	✓ La barrière ne peut pas se bloquer sécuritairement. ✓ Toutes les parties mécaniques sont inaccessibles car enfermées dans le boitier scellé.	D2	1
Efficacité dégradée ou dérive	✓ En cas de défaillance d'un capteur, la voie se met en défaut après auto-scrutation.	D3	1
Compatibilité avec le système	✓ La technologie du système est compatible avec le fonctionnement du compresseur à protéger quelque soit les conditions d'exploitation (poussières, milieu salin, ammoniac, hygrométrie, températures ambiantes de -40°C à +60°C).	D4	1
Inspection et maintenance spécifique / Organisation entretien			
*Procédures existantes note = **1** ; Pas de procédures note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Procédure spécifique opératoire	✓ La conception de la barrière est de conception simple, fréquemment utilisée dans les circuits frigorifiques sans connaissance particulière du produit. ✓ Des vérifications mensuelles seront effectuées pour garantir la présence physique de l'EIPS.	AQ1	1
Procédure de maintenance préventive	✓ La maintenance suivra les recommandations du fabricant quant aux périodicités de contrôle. ✓ Toutes les procédures de maintenance seront archivées pour une durée minimale de 3 ans.	AQ2	1
Procédure d'étalonnage	✓ L'étalonnage se fera au minimum 2 fois par an selon des procédures de l'installateur avec utilisation de manomètre étalon.	AQ3	1
Niveau SIL (**S**afety **I**ntegrity **L**evel)			
	Non communiqué par le constructeur	SIL	NA
Niveau de confiance (NC)			
Information complémentaire	✓ En plus du pressostat général (EIPS), il y a un pressostat de sécurité par compresseur dont la valeur de réglage est sensiblement inférieure à la valeur du pressostat EIPS. ✓ Il y a encore avant les pressostats, un transmetteur de pression analogique qui met le compresseur en limitation quand la préalarme est atteinte.	**ACCEPTABLE** NC	 1

3.1.4. Soupapes (gaz)

Soupapes (gaz) – usuellement considérées comme des EIPS			
	Soupapes de sécurité	SVA ou CDV ou similaire	
	Fabricant	Danfoss, CAEN ou autre	
Généralités			
Danger combattu	Eclatement par surpression des équipements sous pression.		
Barrière active	A la pression tarée, la soupape s'ouvre et permet l'évacuation vers l'extérieur.		
Barrière de prévention	En s'ouvrant la soupape crée une dépression (détente), et la pression diminue ainsi.		
Description de l'équipement			
Désignation	Soupapes de sécurité.		
Fonction	A la pression tarée, la soupape s'ouvre et permet l'évacuation vers l'extérieur.		
Temps de réponse avec arrêt système	L'ouverture se fait à la pression tarée (+/- 5%), avec un temps de réponse immédiat et compatible avec la cinétique.		
Caractéristique de conception / Niveau d'efficacité et de fiabilité			
*Exigence remplie note = **1** ; non remplie note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Principe de concept éprouvé	✓ Pas de taux de défaillance connu à ce jour. ✓ Dispositif certifié conformément aux normes EN 378, EN 13136 et à la directive 97/23/CE, et de niveau de sécurité catégorie IV. ✓ Voir la fiche produit du constructeur.	**P1**	**1**
Principe de sécurité positive	✓ Pas de concept de sécurité positive sur les soupapes.	**P2**	**NA**
Principe de tolérance à la défaillance	✓ Pour chaque zone une soupape est mise en redondance sur le même équipement mais aussi par rapport à un autre ensemble.	**P3**	**1**
Principe de résistance aux contraintes spécifiques	✓ Ces ensembles ont subi des essais de validation (voir certificat). ✓ Ces ensembles sont conformes à la Norme Européenne pré citée.	**P4**	**1**
Principe de testabilité	✓ Ces ensembles peuvent être testé facilement (montage sur robinet inverseur). ✓ Ces ensembles peuvent être testés en marche avec gaz étalon	**P5**	**1**
Comportement sur défaut de l'équipement			
*Pas de dysfonctionnement note = **1** ; dysfonctionnement note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Mise hors service de la barrière	✓ La barrière ne peut pas être mise hors service sauf lors des tests en réels, avec une procédure spécifique. ✓ Seul du personnel compétent est habilité à intervenir sur ces ensembles. ✓ Les valeurs de réglages ne sont pas accidentellement modifiables par inattention.	**D1**	**1**
Etat bloqué	✓ La barrière ne peut pas se bloquer sécuritairement.	**D2**	**1**

Efficacité dégradée ou dérive	✓ En cas de défaillance d'une soupape, une autre soupape peut s'ouvrir (montage de deux soupapes sur robinet inverseur) ✓ Un circuit se compose en général de plusieurs groupes de soupapes.	D3	1
Compatibilité avec le système	✓ La technologie du système est compatible avec sa fonction à assurer (réjection NH3) quel que soit les conditions d'exploitation (Extérieure ou intérieure).	D4	1
Inspection et maintenance spécifique / Organisation entretien			
*Procédures existantes note = **1** ; Pas de procédures note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Procédure spécifique opératoire	✓ La conception de la barrière est de conception simple, fréquemment utilisée dans les circuits frigorifiques et calculé suivant des normes bien précise (EN 378 et EN 13136).	AQ1	1
Procédure de maintenance préventive	✓ La maintenance suivra les recommandations du fabricant quant aux périodicités de contrôle. ✓ Toutes les procédures de maintenance seront archivées pour une durée minimale de 10 ans.	AQ2	1
Procédure d'étalonnage	✓ Test / Maintenance : effectué régulièrement ; vérifié tous les 5 ans ; contrat d'entretien avec l'installateur	AQ3	1
Niveau SIL[6] (**S**afety **I**ntegrity **L**evel)			
	Elément non communiqué par le fournisseur	SIL	NA
Niveau de confiance[5] (NC)			
Information complémentaire	✓ Les soupapes répondent à une réglementation précise, il est aussi très important de souligner que le collecteur soupapes est aussi réglementé (suivant la EN 13136), et calculé suivant de pertes de charges réglementaires pour garantir le bon fonctionnement des soupapes. ✓ Le collecteur soupapes sera relié à une détection NH3 pour avertir d'un déclenchement ou d'une fuite.	**ACCEPTABLE**	
		NC	2

Pour plus d'informations sur les soupapes, le lecteur pourra se reporter à la fiche Badoris : soupapes : BADORIS - Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.) - Soupape de sécurité - Version 2.1 – novembre 2007. Lien :

http://www.ineris.fr/badoris/Pdf/GIL/GIL_soupape_securite_V2_1.pdf

(5) Le NC de deux soupapes redondantes dépend notamment de la solution de montage et de l'efficacité de chaque soupape (débit, tarage). On s'assurera qu'un NC2 peut être retenu.

3.1.5. Détecteur gaz

Détecteur (gaz) – usuellement considérées comme des EIPS			
Capteur NH3 avec son transmetteur		Polytron 7000 ou similaire	
Fabricant		DRAEGER ou autre	
Généralités			
Danger combattu	Rejet d'ammoniac dans l'atmosphère par suite de rupture accidentelle d'origine humaine ou mécanique.		
Barrière active	Par présence d'ammoniac au seuil prédéfini l'ensemble de détection arrête l'installation et isole la partie distribution de la partie SDM.		
Barrière de prévention	Au signal détecté, l'installation est arrêtée pour limiter la durée et par conséquent la quantité du rejet dans la SDM, ou dans la salle de PROCESS, puis à l'extérieur.		
Description de l'équipement			
Désignation	Ensemble de détection NH3.		
Fonction	Arrêt total de l'installation en cas de détection au-delà du seuil de 600ppm.		
Temps de réponse avec arrêt système	Ce temps est inférieur à 15 secondes après présence 600ppm NH3 sur sonde.		
Caractéristique de conception / Niveau d'efficacité et de fiabilité			
*Exigence remplie note = **1** ; non remplie note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Principe de concept éprouvé	✓ Pas de taux de défaillance connu à ce jour. ✓ Dispositif certifié conformément aux normes EN 50021 "matériel à énergie limitée de petite dimension pour gaz pouvant être monté dans une zone dangereuse. ✓ Voir la fiche produit du constructeur.	**P1**	**1**
Principe de sécurité positive	✓ En cas de détection NH3 une information est donnée à l'unité de traitement. ✓ En cas de manque de tension une information est donnée à l'unité de traitement pour action sur les éléments terminaux (arrêt SDM, extraction NH3, fermeture vanne de barrage).	**P2**	**1**
Principe de tolérance à la défaillance	✓ Pour chaque zone un ensemble de détection est mis en redondance par rapport à un autre ensemble de détection. ✓ Si un des éléments le constituant est défectueux il y a action sur les organes terminaux. (Arrêt SDM, extraction NH3, fermeture vanne de barrage).	**P3**	**1**
Principe de résistance aux contraintes spécifiques	✓ Ces ensembles de détection ont été spécialement étudiés pour détecter de l'ammoniac dans l'air. ✓ Ces ensembles ont subi des essais de validation (voir certificat). ✓ Ces ensembles sont conformes à la Norme Européenne pré citée.	**P4**	**1**
Principe de testabilité	✓ Ces ensembles peuvent être testé facilement. ✓ Ces ensembles peuvent être testés en marche avec gaz étalon ✓ Des procédures de test de ces ensembles seront mises en œuvre après sa mise en place. (Test installateur en partenariat avec utilisateur, 2 fois par an, et archivage sur 3 ans). ✓ Toute la chaîne de sécurité complète sera également testée dans les mêmes conditions.	**P5**	**1**

Comportement sur défaut de l'équipement			
*Pas de dysfonctionnement note = **1** ; dysfonctionnement note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Mise hors service de la barrière	✓ La barrière ne peut pas être mise hors service sauf lors des tests en réels, avec une procédure spécifique. ✓ Le boitier d'accès aux valeurs de réglages est scellé. ✓ Seul du personnel compétent est habilité à intervenir sur ces ensembles. ✓ Les valeurs de réglages ne sont pas accidentellement modifiables par inattention.	D1	1
Etat bloqué	✓ La barrière ne peut pas se bloquer sécuritairement. ✓ Toutes les parties électroniques sont inaccessibles car enfermées dans un local de contrôle spécifique.	D2	1
Efficacité dégradée ou dérive	✓ En cas de défaillance d'un capteur, la voie se met en défaut après auto-scrutation avec une émission d'alarme sonore et visuelle au niveau de la centrale.	D3	1
Compatibilité avec le système	✓ La technologie du système est compatible avec sa fonction à assurer (détection NH3) quelque soit les conditions d'exploitation (poussières, milieu salin, hygrométrie, températures ambiantes de -40°C à +65°C).	D4	1
Inspection et maintenance spécifique / Organisation entretien			
*Procédures existantes note = **1** ; Pas de procédures note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Procédure spécifique opératoire	✓ La conception de la barrière est de conception simple, fréquemment utilisée dans les circuits frigorifiques sans connaissance particulière du produit. ✓ Des vérifications mensuelles seront effectuées pour garantir la présence physique de l'EIPS.	AQ1	1
Procédure de maintenance préventive	✓ La maintenance suivra les recommandations du fabricant quant aux périodicités de contrôle. ✓ Toutes les procédures de maintenance seront archivées pour une durée minimale de 3 ans.	AQ2	1
Procédure d'étalonnage	✓ Test / Maintenance : effectué régulièrement (partie électrique peut être faite par utilisateur et partie « cellule » doit être faite par un spécialiste (le plus souvent le fournisseur) ; vérifié semestriellement ; contrat d'entretien avec constructeur.	AQ3	1
Niveau SIL[6] (**S**afety **I**ntegrity **L**evel)			
	SIL 2 vérifié, selon constructeur	SIL	2
Niveau de confiance (NC)			
Information complémentaire	✓ Plusieurs détecteurs sont présents dans la salle des machines (par zone de compression et à proximité dans séparateurs de liquide). ✓ Centrale : automate spécifique (le plus souvent) ou automate de l'exploitant ; Si centrale spécifique, est usuellement certifiée (SIL1 ou SIL2) ;	**ACCEPTABLE**	
		NC	3

Pour plus d'informations, le lecteur se reportera aux fiches BADORIS sur le site internet de l'INERIS :

- Fiche sur les détecteurs électrochimiques et capacitifs : détecteur ammoniac : BADORIS - Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.)
- Détecteur fixe de gaz ammoniac - Version 1.1 – janvier 2008 : Fiche sur les détecteurs de gaz inflammables : Détecteur de gaz inflammable – 2004.

(6) Le SIL (Safety Integrity Level) traduit la fiabilité de la MMR. Il est déterminé dans le cadre de certifications de matériel.

L'évaluation de la maîtrise des détecteurs de gaz a fait l'objet d'une fiche d'inspection spécifique (voir Annexe 11) dans le cadre d'une action nationale lancée par le MEDDE en 2014. Le lecteur pourra se reporter à cette fiche et à son guide pédagogique [x] afin d'avoir un complément d'informations pour la maîtrise des détecteurs de gaz, en particulier les aspects « dimensionnement » et « temps de réponse ».

3.1.6. Coupure du système de réfrigération

Coupure du système de réfrigération (coupure des contacteurs)
✓ Indépendance : sans objet ✓ Concept éprouvé en sécurité ; ✓ Dimensionnement et contraintes spécifiques : s'assurer que le relais est bien dimensionné vis-à-vis du courant pouvant le traverser (intensité, pouvoir de coupure) ; ✓ Temps de réponse : quelques dizaines de millisecondes ; ✓ Dispositif technique simple ; ✓ Sécurité positive : les relais de commande et les contacteurs doivent être ouverts en position de repos ; ✓ Test / Maintenance : effectué régulièrement ;
Coupure système de réfrigération : NC1 usuellement ou SIL si certifié Relais de commande et contacteurs : s'ils sont certifiés, on retient le SIL ; sinon NC1 par défaut (en cas de tests fréquents, possibilité au cas par cas de passer à NC2, sur justification).

3.1.7. Alarme et action humaine

Alarme : NC1 par défaut
✓ Il faudra s'assurer de l'efficacité des alarmes : position (visibilité de l'alarme visuelle ou audibilité de l'alarme sonore) et niveau sonore. ✓ Des tests sont à effectuer régulièrement.

Alarme et action humaine sur arrêt d'urgence à l'extérieur de la salle des machines – considéré usuellement comme un EIPS
✓ Indépendance de la conduite ; ✓ Concept éprouvé en sécurité ; ✓ Dimensionnement et contraintes spécifiques : ✓ Positionnement : arrêts d'urgence (commandes manuelles) positionnés dans la salle des machines et à l'extérieur du local ; ✓ Relais : s'assurer que le relais est bien dimensionné vis-à-vis du courant pouvant le traverser (intensité, pouvoir de coupure) ; ✓ Action humaine : le personnel doit savoir quelles actions mener (procédures d'urgence…) et être formé ; ✓ Temps de réponse : quelques millisecondes pour le relayage mais il faut ajouter le temps de réponse du personnel d'intervention qui dépend de sa disponibilité (plusieurs dizaines de minutes en ordre de grandeur) (local à distance ou non) ; requis : maxi 60 minutes pour site de plus de 3 tonnes à vérifier ; ✓ Dispositif technique simple : relayage ; ✓ Sécurité positive sur le relayage ; ✓ Test / Maintenance : effectué régulièrement ; vérifier trimestriellement selon guide AFF.
Alarme et action humaine : NC1 Un arrêt d'urgence du compresseur se trouve aussi en façade de compresseur.

Intervention humaine à l'intérieur de la salle des machines
✓ En cas d'intervention dans le local, des EPI doivent être disponibles à proximité ; mais intervention difficile avec mauvaise visibilité du fait de la fuite d'ammoniac et coupure électrique (éclairage de secours uniquement)
Intervention humaine : NC0

ANNEXE 8 - Caractérisation de l'intensité SDM1

SOMMAIRE

sur les zones de danger entrainées par les scénarii créés selon les fuites envisagées pour le CIRCUIT 1

	Page
Scénario n° 10 Circuit HP capoté en VAPEUR	2
Scénario n° 11 Circuit HP capoté en LIQUIDE	7
Scénario n° 12 Fuite sur bouteille BP en marche	11
Scénario n° 13 Fuite sur bouteille BP à l'arrêt	14
Scénario n° 14 Fuite sur faisceau du condenseur	17
Scénario n° 15 Fuite sur les soupapes	23

Scénario 10 - RUPTURE SUR UN ORGANE LIQUIDE H.P. ou VAPEUR
situé à l' intérieur de la S.d.M.(ou local de CAPOTAGE condenseur)

Dans cette étude nous avons considéré que tous les collecteurs (LIQUIDE et VAPEUR) de liaison entre la salle des machines et le système de condensation étaient inscrits à l'intérieur d'un carénage étanche ou dans la SdM.

Pression maximale opérationnelle	**15,985**	**bar absolu**	
Rappel du volume du local où sont situés ces collecteurs	5 152	m3	Si **ventilation naturelle** sortie haute
Rappel du débit d'extraction	12 551	m3 / h	Section en m² **5,62** +/-10%

le ou les compresseur(s) s'arrête(nt) en sécurité en 45 secondes
car il existe 1 bouton coup de poing ou un détecteur NH3 ou un pressostat manque de pression

Si la fuite a lieu les scénarii suivants sont alors envisageables:

SCENARIO 10

La rupture "guillotine" a lieu en **phase vapeur.**

avec une section de fuite dont le diamètre est:	107,1	mm	
Masse **réelle émise** en tenant compte décroissance de pression	633	kg	
Temps de fuite	19,6	secondes	
Débit de fuite total vapeur	32,305	kg / s	

Evaluation du **débit de fuite** NH3 participant au nuage:

Débit de fuite retenu à la brèche par l'amont en vapeur	m =	8,3440	kg / s	
Débit de fuite émis par le condenseur	m 2 =	13,06	kg / s	car écoulement critique
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).		20 450	kg² / s	

Evaluation de la **masse** d' NH3 **participant** au nuage avant arrêt par sécurité:

Par le compresseur:	375,478	kg	
Par l'ensemble de condensation	1 000,0	kg	
Par les tuyauteries après condenseur	6,4	kg	
Par la capacité aval immédiatement après alerte fuite	0,0	kg	pendant le début de la fuite
Masse totale NH3 **apparente** dans le circuit.	1 382	kg	
Masse **réelle émise** en tenant compte décroissance de pression	633	kg	Mf/Mi= 0,2559 oui

SCENARIO 11

La rupture "guillotine" a lieu en **phase liquide .**

avec une section de fuite dont le diamètre est:	53,1	mm
EMISSION TOTALE VAPEUR ET AEROSOL par TUYAUX H.P.	461,8	kg
EMISSION TOTALE LIQUIDE PAR TUYAUTERIE H.P.	72,4	kg
Temps de fuite estimé de la phase liquide et aérosols	10,7	secondes
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	19888	kg² / s
Débit de fuite total vapeur et aérosols	43,07	kg / s

La charge NH3 HP fuyant est de **461,8 kg**

La charge NH3 du reste du circuit HP contribuant au nuage est de: **896,4 kg**

La rupture d'une canalisation de liquide H.P. entraine dans l'atmosphère une fuite d'NH3 issu de**:**

1 du liquide H.P.,accumulé dans l'ensemble de condensation fuyant, **sous forme liquide, aérosol et vapeur**

2 du liquide H.P.,accumulé dans l'ensemble de condensation restant, **sous forme vapeur et aérosol**

3 du refoulement compresseur(s) jusqu'à l'arrêt de celui (ou ceux-ci), **sous forme vapeur**

4 du liquide M.P.,accumulé dans l'ensemble MP aval, **sous forme vapeur**

NB: la **vapeur** issue du reste du circuit est insignifiante pour le calcul des Z1 et Z2. Cette vapeur aura pour effet de prolonger la durée de la fuite dans le temps si les vannes de sécurité n'ont pas été fermées automatiquement ou par un intervenant.

221 - Evaluation du débit de fuite NH3 participant au nuage:

Nous avons considéré que la fuite était PROCHE de la réserve H.P.

Emission par le compresseur

Débit de fuite émis par le compresseur m1 =	8,3440	kg / s	
Masse de vapeur émise par le compresseur	**375,4781**	kg	

Emission par le condenseur fuyant

Débit de fuite initial émis par ce condenseur(pendant 1ère sec) m 4 =	10,86	kg / s
Taux de vaporisation Tv =	0,1370	
Débit de fuite **vapeur et aérosol** émis par ce condenseur m 5 =	3,9	kg / s
Temps de vidange du circuit H.P.sous forme **liquide** à dPconstant	10,72	secondes
Masse contenue dans le condenseur fuyant:	110,00	kg
Masse "vapeur+aérosols" émise par conden ou/et **réservoir**	**42,3**	kg
Masse liquide émise par condenseur ou et réservoir	**67,7**	kg

proche	éloigné
Débit fuite initial	
55,50 kg / s	10,86 kg / s
Taux de vaporisation	
0,2500	0,1370
Débit vap et aérosols	
27,76 kg / s	3,94 kg / s

Emission par la tuyauterie liquide

Masse contenue dans la tuyauterie HP:	6,4	kg
Masse "vapeur + aérosols" émise par la tuyauterie	**1,8**	kg
Masse liquide émise par la tuyauterie	**4,6**	kg

proche	éloigné
Emis vap et aérosols	
3,2 kg / s	1,8 kg / s

Emission par la bouteille M.P. ou B.P.

Débit de fuite total vapeur (ou liquide)	0,00	kg / s	
Temps de fuite persistante par la bouteille	290	secondes	car la fuite n'est pas maitrisée
Masse vapeur (ou liquide) émise par la bouteille	0,56	kg	
Masse émise par la bouteille au début de la fuite	**0,0**		pendant 10,7 secondes

Emission par le reste du circuit HP contribuant au nuage

Débit de fuite total vapeur (ou liquide)	3,94	kg / s	
Temps de fuite persistante par le reste du circuit H.P.	225,8	secondes	
Masse vapeur (ou liquide) émise par le reste circuit HP	890,0	kg	Pendant la totalité de la fuite
Masse émise par reste circuit HP au début de la fuite	**42**	kg	Pendant 10,7 secondes

EMISSION TOTALE **VAPEUR ET AEROSOL** par H.P.	**461,8**	kg
EMISSION TOTALE **LIQUIDE** PAR TUYAUTERIE H.P.	**72,4**	kg
Temps de fuite instantané de la phase liquide et aérosols	**10,7**	secondes
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	19 887,83	kg² / s
Débit de fuite total vapeur et aérosols	43,0683	kg / s

Nous commençons donc l'étude du SCENARIO 10 en phase vapeur

Une sonde de détection d'NH3 dans l'ambiance de la SDM peut être conseillée afin de détecter une fuite NH3.
Un pressostat de manque de pression peut être conseillé si une rupture guillotine avait lieu.
Des clapets ou des vannes motorisées peuvent être installées si nécessaire.
Toutes ces préconisations (ou réalisations) ont pour but de diminuer la charge potentielle à fuir ainsi que diminuer les délais de réaction automatique ou humaine.

Scénario 10 - RUPTURE SUR UN ORGANE H.P. VAPEUR
situé à l' intérieur de la S.d.M.(ou local de CAPOTAGE condenseur)

Masse "vapeur + aérosols" émise par la brèche avant extraction	**1 000,00**	kg	
Masse liquide émise par la brèche.	**0**	kg	
L'NH3 libéré occupe tout le volume du local soit:	**5 152**	m3 à 15°C	
La densité du mélange (air + NH3) est de	**1,394**	kg / m3	avec de l'air à 1,2 kg / m3
Cette quantité d'**NH3** représente par rapport au local:	**13,92%**	soit	139 229 **P.P.M**

Le deuxième seuil d'alarme (<1000ppm) aura donc été déclenché avec la coupure des circuits électriques non AdF .
Le premier seuil de (<500ppm) ayant déjà mis en route l'extracteur et commandé l'alarme.

Evaluation du débit de fuite participant à la formation du nuage:

Débit extraction conforme à la norme:	1,400	m3 / s	*soit*	*5 040*	*m3 / h*
Si le débit d'extraction a été imposé ,sa valeur est:	non imposé	m3 / s	*soit*		*m3 / h*
Valeur prise pour le calcul du nuage:	3,487	m3 / s	*soit*	*12 551*	*m3 / h*
La masse volumique de la vapeur d'ammoniac saturante est de :	0,194	kg / m3			
Le débit masse restitué à l'atmosphère est donc de:	0,677	kg / s			
Le temps d'extraction de l'NH3 restitué à l'atmosphère est de:	1 478	secondes	*soit*	24,63	*minutes*

Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage	44	m²	pour une dP de 100Pa
Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage	31	m²	pour une dP de 200Pa

Nature de l'émission A PRIORI:	panache	**en DN 5**	avec	vent à	5 m/s
	panache	**en DF 3**	avec	vent à	3 m/s

C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache). 677 kg² / s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **MODELE CHOISI A PRIORI**	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	85m	6 ou 7	52m
	Z 2		6 ou 7	428m	6 ou 7	201m
	Pour une hauteur de rejet de 0 m					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	Le gradient de vent n'**interviendra pas** car on prendra une correction de hauteur d'émission.					
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s						

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **1 478** secondes

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**28s**	valide	**10s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**143s**	valide	**40s**	valide

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **Si Modèle NON CHOISI A PRIORI**	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	378m	6 ou 7	273m
	Z 2		6 ou 7	1 211m	6 ou 7	750m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**		11	274m	11	198m
	Z 2		11	878m	11	544m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pa**s de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**91s**	non valide	**40s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**293s**	non valide	**109s**	non valide

Emission retenue	**DF 3**	**DN 5**
Pour Z1	**panache**	**panache**
Pour Z2	**panache**	**panache**

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **DISTANCES RETENUES**		D F 3		D N 5	
		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		85m		52m
	Z 2		428m		201m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	75m	11	43m
	Z 2	11	377m	11	168m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pa**s de correction de hauteur d'émission.				

	DF 3	DN 5
Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol		
Z1	2,67m	3,79m
Z2	3,35m	4,55m

Scénario 10 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR
SI FUITE SUR CIRCUIT VAPEUR H.P. AVEC CAPOTAGE et EXTRACTION dans SdM ou autre

en conditions	DF3	DN5
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	75m	43m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	377m	168m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	<à 10m	40m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	394m	peu réduit
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	247m	184m
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	171m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de 15 m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de 15 m	<à 10m	<à 10m

Emission retenue étant du type	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

COMMENTAIRES:

Scénario 11 - RUPTURE SUR UN ORGANE LIQUIDE H.P. ou VAPEUR situé à l' intérieur de la S.d.M.(ou local de capotage condenseur)

Pression maximale opérationnelle **15,985 bar absolu**

Dans cette étude nous avons considéré que tous les collecteurs (LIQUIDE et VAPEUR) de liaison entre la salle des machines et le système de condensation étaient inscrits à l'intérieur d'un carénage étanche ou dans la SdM.

Rappel du volume du local où sont situés ces collecteurs 5 152 m3

Rappel du débit d'extraction 12 551 m3 / h

Si **ventilation naturelle** sortie haute — Section en m² **5,62** +/-10%

le ou les compresseur(s) s'arrête(nt) en sécurité en 45 secondes

car il existe 1 bouton coup de poing ou un détecteur NH3 ou un pressostat manque de pression

SCENARIO 11

La rupture "guillotine" a lieu en **phase liquide .**

avec une section de fuite dont le diamètre est:	53,1	mm
EMISSION TOTALE VAPEUR ET AEROSOL par TUYAUX H.P.	461,8	kg
EMISSION TOTALE LIQUIDE PAR TUYAUTERIE H.P.	72,4	kg
Temps de fuite estimé de la phase liquide et aérosols	10,7	secondes
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	19888	kg² / s
Débit de fuite total vapeur et aérosols	43,07	kg / s

La charge NH3 HP fuyant est de **110,0 kg**

La charge NH3 du reste du circuit HP contribuant au nuage est de: **896,4 kg**

La rupture d'une canalisation de liquide H.P. entraine dans l'atmosphère une fuite d'NH3 issu de**:**

1 du liquide H.P.,accumulé dans l'ensemble de condensation fuyant, **sous forme liquide, aérosol et vapeur**

2 du liquide H.P.,accumulé dans l'ensemble de condensation restant, **sous forme vapeur et aérosol**

3 du refoulement compresseur(s) jusqu'à l'arrêt de celui (ou ceux-ci), **sous forme vapeur**

4 du liquide M.P.,accumulé dans l'ensemble MP aval, **sous forme vapeur**

NB: la **vapeur** issue du reste du circuit est insignifiante pour le calcul des Z1 et Z2. Cette vapeur aura pour effet de prolonger la durée de la fuite dans le temps si les vannes de sécurité n'ont pas été fermées automatiquement ou par un intervenant.

221 - Evaluation du débit de fuite NH3 participant au nuage:

Nous avons considéré que la fuite était PROCHE de la réserve H.P.

Emission par le compresseur

Débit de fuite émis par le compresseur m1 =	8,3440	kg / s	
Masse de vapeur émise par le compresseur	**375,4781**	kg	

Emission par le condenseur fuyant

Débit de fuite initial émis par ce condenseur(pendant 1ère sec) m 4 =	10,86	kg / s	
Taux de vaporisation Tv =	0,1370		
Débit de fuite **vapeur et aérosol** émis par ce condenseur m 5 =	3,9	kg / s	
Temps de vidange du circuit H.P.sous forme **liquide** à dPconstant	10,72	secondes	
Masse contenue dans le condenseur fuyant:	110,00	kg	
Masse "vapeur+aérosols" émise par conden ou/et **réservoir**	**42,3**	kg	
Masse liquide émise par condenseur ou et réservoir	**67,7**	kg	

proche	éloigné
Débit fuite initial	
55,50 kg / s	10,86 kg / s
Taux de vaporisation	
0,2500	0,1370
Débit vap et aérosols	
27,76 kg / s	3,94 kg / s

Emission par la tuyauterie liquide

Masse contenue dans la tuyauterie HP:	6,4	kg	
Masse "vapeur + aérosols" émise par la tuyauterie	**1,8**	kg	
Masse liquide émise par la tuyauterie	**4,6**	kg	

Emis vap et aérosols	
3,2 kg / s	1,8 kg / s

Emission par la bouteille M.P. ou B.P.

Débit de fuite total vapeur (ou liquide)	0,00	kg / s	
Temps de fuite persistante par la bouteille	290	secondes	car la fuite n'est pas maitrisée
Masse vapeur (ou liquide) émise par la bouteille	0,56	kg	
Masse émise par la bouteille au début de la fuite	**0,0**		pendant 10,7 secondes

Emission par le reste du circuit HP contribuant au nuage

Débit de fuite total vapeur (ou liquide)	3,94	kg / s	
Temps de fuite persistante par le reste du circuit H.P.	225,8	secondes	
Masse vapeur (ou liquide) émise par le reste circuit HP	890,0	kg	Pendant la totalité de la fuite
Masse émise par reste circuit HP au début de la fuite	**42**	kg	Pendant 10,7 secondes

EMISSION TOTALE **VAPEUR ET AEROSOL** par H.P.	**461,8**	kg
EMISSION TOTALE **LIQUIDE** PAR TUYAUTERIE H.P.	**72,4**	kg
Temps de fuite instantané de la phase liquide et aérosols	**10,7**	secondes
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	19 887,83	kg² / s

Débit de fuite total vapeur et aérosols	43,0683	kg / s

Le scénario avec la rupture en phase vapeur ayant été étudié ci-avant
Nous étudierons donc ici le SCENARIO 11 en phase liquide

Une sonde de détection d'NH3 dans l'ambiance du carénage peut être conseillée afin de détecter une fuite NH3.
Un pressostat de manque de pression peut être conseillé si une rupture guillotine avait lieu.
Des clapets ou des vannes motorisées peuvent être installées si nécessaire.
Toutes ces préconisations ont pour but de diminuer la charge potentielle à fuir ainsi que
diminuer les délais de réaction automatique ou humaine.

Scénario 11 - RUPTURE SUR UN ORGANE H.P. LIQUIDE situé à l' intérieur de la S.d.M.(ou local de capotage condenseur)

Pression maximale opérationnelle	**15,985**	**bar absolu**	
Masse "vapeur + aérosols" émise par la brèche avant extraction	**461,77**	kg	
Masse liquide émise par la brèche.	**72,38**	kg	
L'NH3 libéré occupe tout le volume du local soit:	**5 152**	m3 à 15°C	
La densité du mélange (air + NH3) est de	**1,290**	kg / m3	avec de l'air à 1,2 kg / m3
Cette quantité d'**NH3** représente par rapport au local:	**6,95%**	soit	69 501 **P.P.M**

Le deuxième seuil d'alarme (<1000ppm) aura donc été déclenché avec la coupure des circuits électriques non AdF .
Le premier seuil de (<500ppm) ayant déjà mis en route l'extracteur et commandé l'alarme.

Evaluation du débit de fuite participant à la formation du nuage:

Débit extraction conforme à la norme:	0,922	m3 / s	*soit*	*3 318*	*m3 / h*
Si le débit d'extraction a été imposé ,sa valeur est:	non imposé	m3 / s	*soit*		*m3 / h*
Valeur prise pour le calcul du nuage:	3,487	m3 / s	*soit*	*12 551*	*m3 / h*
La masse volumique de la vapeur d'ammoniac saturante est de :	0,090	kg / m3			
Le débit masse restitué à l'atmosphère est donc de:	0,312	kg / s			
Le temps d'extraction de l'NH3 restitué à l'atmosphère est de:	1 478	secondes	*soit*	24,63	*minutes*

Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage	44	m²	pour une dP de 100Pa
Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage	31	m²	pour une dP de 200Pa

Nature de l'émission A PRIORI:	panache	**en DN 5**	avec	vent à	5 m/s
	panache	**en DF 3**	avec	vent à	3 m/s

C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	144	kg² / s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **MODELE CHOISI A PRIORI**	en DF 3	en DN 5	**D F 3**		**D N 5**	
	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	48m	6 ou 7	33m
	Z 2		6 ou 7	249m	6 ou 7	128m
	Pour une hauteur de rejet de 0 m					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	Le gradient de vent n'**interviendra pas** car on prendra une correction de hauteur d'émission.					
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s						

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **1 478** secondes

			DF 3		**DN 5**	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**16s**	valide	**7s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**83s**	valide	**26s**	valide

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **Si Modèle NON CHOISI A PRIORI**	en DF 3	en DN 5	**D F 3**		**D N 5**	
	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	246m	6 ou 7	189m
	Z 2		6 ou 7	846m	6 ou 7	526m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**		11	179m	11	137m
	Z 2		11	613m	11	381m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pa**s de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		**DN 5**	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**60s**	non valide	**27s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**204s**	non valide	**76s**	non valide

Emission retenue	**DF 3**	**DN 5**
Pour Z1	**panache**	**panache**
Pour Z2	**panache**	**panache**

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **DISTANCES RETENUES**		**D F 3**		**D N 5**	
		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		48m		33m
	Z 2		249m		128m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	42m	11	27m
	Z 2	11	219m	11	107m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pa**s de correction de hauteur d'émission.				

	DF 3	DN 5
Z1	2,10m	2,71m
Z2	2,58m	3,30m

Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol

Scénario 11 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR
SI FUITE SUR CIRCUIT LIQUIDE H.P. AVEC CAPOTAGE et EXTRACTION dans SdM ou autre

en conditions	DF3	DN5
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	42m	27m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	219m	107m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	173m	122m
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	107m
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de 15 m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de 15 m	<à 10m	<à 10m

Emission retenue étant du type	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

COMMENTAIRES:

Scénario 12 - RUPTURE à la plus grosse BOUTEILLE située à l' intérieur de la S.d.M. (ou autre local)

EN tenant compte de la détection agissant sur l'extracteur ? **NON**

avec une section de fuite dont le diamètre est: **107 mm** et une P abs de **2,68 bar**

La brèche est supposée sur tuyauterie en charge sous la capacité considérée

Rappel de la masse stockée: **3 930 kg**

L'extracteur d'air ammoniaqué est supposé se mettre en route **45,0 s** **après** le début de la fuite

Taux de vaporisation avant ou sans pompe Tv =	0,0704				
Taux de vaporisation après pompe Tv =	0,0770				
Débit de fuite émis par la brèche sans, ou avant, pompe m 6 =	82,41	kg / s			
Température saturante à la pression de pompe	**-12**	°C	**installation en marche**		
Débit de fuite émis par la brèche après pompe m 6 =	44,40	kg / s			
Le calcul est fait à partir de l'émission par la brèche	**sur tuyauterie en charge sous la capacité**				
Débit de fuite total émis par la dite brèche m 6 =	82,41	kg / s			
Débit de fuite **vapeur et aérosol** émis par la brèche m 7 =	11,60	kg / s			
Temps de vidange du circuit considéré.sous forme liquide	47,7	secondes			
Masse "vapeur + aérosols" émise par la brèche	**553,0**	kg		en tenant compte de la détection	
				521,8	kg
Masse liquide émise par la brèche.	**3 377,0**	kg			
L'NH3 libéré occupe tout le volume du local soit:	**5 152**	m3 à 15°C	air à 1,2		
La densité du mélange (air + NH3) est de	**1,307**	kg / m3	kg / m3	**1,301**	kg / m3
Cette quantité d'**NH3** représente par rapport au local:	**8,2%**	soit		**7,8%**	
		82 098	**P.P.M**	**77 831**	**P.P.M**

Le deuxième seuil d'alarme (<1000 ppm) aura donc été déclenché avec la coupure des circuits électriques non AdF .

Le premier seuil (<1000 ppm) ayant déjà mis en route l'extracteur et commandé l'alarme.

Masse "vapeur + aérosols" émise s'il n'y a pas de détecteur **553,0** kg

Evaluation du débit de fuite participant à la formation du nuage:

Débit extraction conforme à la norme:	3,487	m3 / s	*soit*	*12 551*	*m3 / h*
Si le débit d'extraction a été imposé ,sa valeur est:	3,472	m3 / s	*soit*	*12 500*	*m3 / h*
Valeur prise pour le calcul du nuage:	3,487	m3 / s	*soit*	*12 551*	*m3 / h*
La quantité d'ammoniac contenu dans l'air est de :	0,107	kg / m3 d'air		0,101	
Le débit masse NH3 restitué à l'atmosphère est donc de:	0,374	kg / s		0,353	
Le temps d'extraction de l'NH3 restitué à l'atmosphère est de:	1 478	secondes		1566	
		Soit 24,63	*minutes*	26,0991	
Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage		m²	pour une dP de 100Pa		
Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage		m²	pour une dP de 10Pa		

Nature de l'émission A PRIORI:	panache	**en DN 5**	avec	vent à	5 m/s
	panache	**en DF 3**	avec	vent à	3 m/s
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	207	kg² / s			

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	**D F 3**		**D N 5**	
MODELE CHOISI A PRIORI	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	55m	6 ou 7	36m
	Z 2		6 ou 7	282m	6 ou 7	142m
	Pour une hauteur de rejet de 0 m					

Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.

avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s

avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s

Le gradient de vent n'**interviendra pas** car on prendra une correction de hauteur d'émission.

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **1 478** secondes

			DF 3		**DN 5**	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**18s**	valide	**7s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**94s**	valide	**28s**	valide

Scénario 12 - RUPTURE à la plus grosse BOUTEILLE située à l' intérieur de la S.d.M. (ou autre local) (suite 1).

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
Si Modèle NON CHOISI A PRIORI	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	272m	6 ou 7	206m
	Z 2		6 ou 7	926m	6 ou 7	572m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**		11	197m	11	149m
	Z 2		11	671m	11	414m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**66s**	non valide	**30s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**224s**	non valide	**83s**	non valide

Emission retenue	**DF 3**	**DN 5**
Pour Z1	**panache**	**panache**
Pour Z2	**panache**	**panache**

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2		D F 3		D N 5	
DISTANCES RETENUES		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		55m		36m
	Z 2		282m		142m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	48m	11	30m
	Z 2	11	249m	11	118m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

	DF 3	DN 5
Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol		
Z1	2,22m	2,93m
Z2	2,74m	3,56m

Scénario 12 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR en STANDARD

Extraction S.d.M.

en conditions	DF3	DN5
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	48m	30m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	249m	118m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	201m	137m
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	121m
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m

Emission retenue étant du type	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

COMMENTAIRES:

Scénario 13 - RUPTURE à la plus grosse BOUTEILLE située à l' intérieur de la S.d.M. (ou autre local)

EN tenant compte de la détection agissant sur l'extracteur ? **NON**

avec une section de fuite dont le diamètre est: **107 mm** et une P abs de **6,15 bar**

La brèche est supposée sur tuyau en charge sous la Blle

Rappel de la masse stockée: **3 930 kg**

L'extracteur d'air ammoniaqué est supposé se mettre en route **45,0 s** **après** le début de la fuite

Taux de vaporisation avant ou sans pompe	Tv =	0,1437		
Taux de vaporisation après pompe	Tv =	0,1505		
Débit de fuite émis par la brèche sans, ou avant, pompe	m 6 =	138,33	kg / s	
Température saturante à la pression de pompe		**10**	°C	**installation à l'arrêt**
Débit de fuite émis par la brèche après pompe	m 6 =	65,04	kg / s	
Le calcul est fait à partir de l'émission par la brèche		**sur tuyau en charge sous la Blle**		
Débit de fuite total émis par la dite brèche	m 6 =	138,33	kg / s	
Débit de fuite **vapeur et aérosol** émis par la brèche	m 7 =	39,76	kg / s	
Temps de vidange du circuit considéré.sous forme liquide		28,4	secondes	
Masse "vapeur + aérosols" émise par la brèche		**1 129,7**	kg	
Masse liquide émise par la brèche.		**2 800,3**	kg	
L'NH3 libéré occupe tout le volume du local soit:		**5 152**	m3 à 15°C	air à 1,2
La densité du mélange (air + NH3) est de		**1,419**	kg / m3	kg / m3
Cette quantité d'**NH3** représente par rapport au local:		**15,4%**	soit	154 498
			154 498 P.P.M	

en tenant compte de la détection: **1789,4** kg; **1,547** kg / m3; **22,4%**; **224 462 P.P.M**

Le deuxième seuil d'alarme (<1000ppm) aura donc été déclenché avec la coupure des circuits électriques non AdF .

Le premier seuil de (<500ppm) ayant déjà mis en route l'extracteur et commandé l'alarme.

Masse "vapeur + aérosols" émise s'il n'y a pas de détecteur **1129,7** kg

Evaluation du débit de fuite participant à la formation du nuage:

Débit extraction conforme à la norme:	3,487	m3 / s	*soit*	*12 551 m3 / h*
Si le débit d'extraction a été imposé ,sa valeur est:	3,472	m3 / s	*soit*	*12 500 m3 / h*
Valeur prise pour le calcul du nuage:	3,487	m3 / s	*soit*	*12 551 m3 / h*
La quantité d'ammoniac contenu dans l'air est de :	0,219	kg / m3 d'air		0,347
Le débit masse restitué à l'atmosphère est donc de:	0,765	kg / s		0,765
Le temps d'extraction de l'NH3 restitué à l'atmosphère est de:	1 478	secondes	*soit*	1477,7
		Soit 24,63	*minutes*	24,6283

Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage: m² pour une dP de 100Pa

Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage: m² pour une dP de 10Pa

Nature de l'émission A PRIORI:

panache	**en DN 5**	avec	vent à	5 m/s
panache	**en DF 3**	avec	vent à	3 m/s

C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache). 864 kg² / s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
MODELE CHOISI A PRIORI	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	93m	6 ou 7	56m
	Z 2		6 ou 7	466m	6 ou 7	216m
	Pour une hauteur de rejet de 0 m					

Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.

avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s

avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s

Le gradient de vent n'**interviendra pas** car on prendra une correction de hauteur d'émission.

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **1 478** secondes

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**31s**	valide	**11s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**155s**	valide	**43s**	valide

Scénario 13 - RUPTURE à la plus grosse BOUTEILLE située à l' intérieur de la S.d.M. (ou autre local) (suite 1).

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
Si Modèle NON CHOISI A PRIORI	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	405m	6 ou 7	290m
	Z 2		6 ou 7	1 280m	6 ou 7	794m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**		11	294m	11	210m
	Z 2		11	928m	11	575m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**98s**	non valide	**42s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**309s**	non valide	**115s**	non valide

Emission retenue	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2		D F 3		D N 5	
DISTANCES RETENUES		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		93m		56m
	Z 2		466m		216m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	82m	11	47m
	Z 2	11	410m	11	180m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

	DF 3	DN 5
Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol		
Z1	2,78m	4,00m
Z2	3,49m	4,79m

Scénario 13 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR en STANDARD

Extraction S.d.M.

en conditions	DF3	DN5
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	82m	47m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	410m	180m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	11m	45m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	433m	peu réduit
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	299m	201m
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	186m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m

Emission retenue étant du type	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

COMMENTAIRES:

Scénario 14 - RUPTURE DE TUYAUTERIE DANS CONDENSEUR EN EXTERIEUR

Les condenseurs sont en principe situés en extérieur ou reliés à l'extérieur par des gaines.
Ces condenseurs conçus et fabriqués pour fonctionner dans une ambiance extérieure sont constitués par **:**

1 une ossature formant un carénage (galvanisé) enfermant le faisceau tubulaire

2 un faisceau tubulaire constitué de tubes galvanisé extérieurement et éprouvé hydrauliquement à 40 bars.

L'ammoniac circule dans ce faisceau particulièrement protégé et à l'abri des chocs et nous pouvons dire que la rupture "guillotine" est difficilement envisageable. Aucune fuite de ce genre n'est actuellement connue à travers le monde.
Nous retiendrons donc le risque d'une fuite à la suite d'une corrosion d'un des tubes du faisceau.

Si la fuite a lieu les scénarii suivants sont alors envisageables :

SCENARIO 14 A (Cas pour Condenseur à air, évaporatif ou adiabatique)
Le condenseur est en **fonctionnement à sec** en période hivernale par exemple avec sa **ventilation en fonctionnement**
Nous aurions alors une dilution de l'NH3 dans l'air aspiré par la ventilation et les quantités rejetées seraient inférieures à celles du scénario "condenseur à l'arrêt".Les zones Z1 et Z2 seront donc inférieures à celles annoncées ci-dessous.

SCENARIO 14 B (Cas pour Condenseur évaporatif)
Le condenseur est en **fonctionnement** avec sa r**ecirculation d'eau seule en fonctionnement**
Nous aurions alors une dilution de l'NH3 dans l'eau avec pratiquement aucun rejet vapeur d'ammoniac dans l'ambiance.
et les quantités rejetées seraient inférieures à celles envisagées au scénario "condenseur à l'arrêt".
Le condenseur se comporte alors comme un laveur d'air ammoniaqué.
Les zones Z1 et Z2 seront donc inférieures à celles annoncées ci-dessous.

SCENARIO 14 C (Cas pour Condenseur évaporatif ou adiabatique)
Le condenseur est en **fonctionnement** avec sa **recirculation d'eau et sa ventilation en fonctionnement**
Nous aurions alors une dilution de l'NH3 dans l'eau avec pratiquement aucun rejet vapeur d'ammoniac dans l'ambiance.
et les quantités rejetées seraient inférieures à celles envisagées au scénario "condenseur à l'arrêt".
Le condenseur se comporte là aussi comme un laveur d'air ammoniaqué.
Les zones Z1 et Z2 seront donc inférieures à celles annoncées ci-dessous.

SCENARIO 14 D (Cas pour Condenseur à air, évaporatif ou adiabatique)
Le condenseur est OPERATIONNEL SANS VENTILATION et SANS RECIRCULATION D'EAU,la SdM étant en MARCHE.
Nous serions alors dans les **conditions les plus pénalisantes** car l'émission dans l'atmosphère se fait sans dilution
et sans absorption de l'ammoniac dans l'eau.
Le nuage s'échapperait alors en partie haute du condenseur soit **:** **10,0 mètres de haut**

La présence d'ammoniac dans l'eau de recirculation du condenseur a pour effet d'augmenter le pH de la dite eau.
Il sera donc possible de détecter la présence d'ammoniac dans l'eau par la mise en place d'un pHmètre.
Le pH passe de 7 à 11.6 pour une dilution de 1%.
Une sonde de détection d'NH3 dans l'ambiance en sortie de condenseur peut être conseillée afin
de détecter de l'ammoniac à l'arrêt ou en fonctionnement à sec.

Nous allons donc étudier ci-après en détail le SCENARIO 14 D appelé SCENARIO 14.

Ce scénario correspond également au scénario d'un condenseur à AIR en Service sans ventilation.

C'est à dire une dispersion brutale de la charge NH3 dans le condenseur considéré soit **110 kg**
augmenté de la charge du reste du circuit HP (autres condenseurs et tuyauteries HP) soit **890 kg**
ainsi que les vapeurs issues du (ou des) compresseur(s) avant son (ou leur) arrêt en sécurité et des vapeurs provenant du circuit M.P. aval.
REMARQUE: Nous ne tiendrons pas compte des réductions d'émission d'NH3 dues à la présence du chicanage des tubes du faisceau, ni de la présence de pare-gouttelettes.Ce qui nous pénalise en majorant donc le risque.

le ou les compresseur(s) s'arrête(nt) en sécurité en 45 secondes
car il existe une détection NH3 interne au condenseur + contrôle des rejets par détection pH

Pression maximale opérationnelle **15,985 bar absolu**

SCENARIO 14 - RUPTURE DE TUYAUTERIE PHASE VAPEUR H.P. DANS CONDENSEUR EN FONCTIONNEMENT A SEC

avec une section de fuite dont le diamètre est:	**10**	mm	*Section*	*7,854E-05* *m²*
Evaluation du **débit de fuite** NH3 participant au nuage:				
Débit brèche =	0,114	kg / s	car écoulement critique	
Débit de fuite émis par le compresseur m1 =	8,3440	kg / s		
Débit de fuite retenu à la brèche par l'amont en vapeur m =	0,1138	kg / s		
Débit de fuite émis par le condenseur m 2 =	0,11	kg / s		
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	7	kg² / s		
Evaluation de la **masse** d' NH3 participant au nuage:				
Par le compresseur:	14	kg	en 120 s	
Par le condenseur:	110	kg		
Par les tuyauteries après condenseur	0	kg		
Par la capacité immédiatement après	0	kg		
Masse totale NH3 **apparente** dans le circuit.	124	kg		
Masse **réelle émise** en tenant compte décroissance de pression	42	kg	Mf/Mi=	0,2559
Temps de fuite	247,2	secondes		
Débit de fuite total vapeur	0,17	kg / s		
Nature de l'émission A PRIORI :	bouffée	en DN 5	avec vent à	5 m/s
	bouffée	en DF 3	avec vent à	3 m/s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
MODELE CHOISI A PRIORI	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut	**Z 1**		6 ou 7	65m	6 ou 7	60m
rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 2**		6 ou 7	223m	6 ou 7	175m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut	**Z 1**		11	47m	11	44m
rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 2**		11	161m	11	127m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas**					
avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	de correction de hauteur d'émission.					

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **247** secondes

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**16s**	non valide	**9s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**54s**	non valide	**25s**	non valide

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
Si Modèle NON CHOISI A PRIORI	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut	**Z 1**		6 ou 7	10m	6 ou 7	10m
rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 2**		6 ou 7	86m	6 ou 7	53m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut	**Z 1**		11	9m	11	8m
rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 2**		11	76m	11	44m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas**					
avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**3s**	valide	**2s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**25s**	valide	**9s**	valide

SCENARIO 14 - RUPTURE DE TUYAUTERIE PHASE VAPEUR H.P.DANS CONDENSEUR A SEC (suite et fin)

Emission retenue	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **DISTANCES RETENUES**		DF 3		DN 5	
		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		10m		10m
	Z 2		86m		53m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	9m	11	8m
	Z 2	11	76m	11	44m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol

	DF 3	DN 5
Z1	1,32	1,41
Z2	1,55	1,76

SCENARIO 14 - RUPTURE DE TUYAUTERIE PHASE LIQUIDE H.P.DANS CONDENSEUR EN FONCTIONNEMENT A SEC

avec une section de fuite dont le diamètre est: 10 mm *Section* *7,854E-05* *m²*

141 - Evaluation du débit de fuite NH3 participant au nuage:

Nous avons considéré que la fuite était ELOIGNEE de la réserve H.P.,car la perte de charge dans le faisceau du condenseur est relativement élevée et peu de liquide est accumulé dans le faisceau du condenseur.

Emission par le compresseur

Débit brèche =	0,114	kg / s	car écoulement critique
Débit de fuite émis par le compresseur m1 =	8,3440	kg / s	
Débit de fuite retenu à la brèche par l'amont en vapeur m =	0,1138	kg / s	
Masse de vapeur émise par le compresseur	**5**	kg	

Emission par le condenseur

Débit de fuite initial émis par le condenseur(pendant 1ère sec) m 4 =	0,39	kg / s	
Taux de vaporisation Tv =	0,1370		
Débit de fuite **vapeur et aérosol** émis par le condenseur m 5 =	0,1398	kg / s	
Temps de vidange du circuit H.P.sous forme liquide à dPconstant	286,29	secondes	
Masse contenue dans le condenseur:	110,00	kg	
Masse "vapeur+aérosols" émise par conden ou/et **réservoir**	**40,0**	kg	
Masse liquide émise par condenseur ou et réservoir	**70,0**	kg	

proche	éloigné
Débit fuite initial	
1,97 kg / s	0,39 kg / s
Taux de vaporisation	
0,2500	0,1370
Débit vap et aérosols	
0,9844 kg / s	0,1398 kg / s

Emission par la tuyauterie liquide

Masse contenue dans la tuyauterie HP:	0,2	kg	
Masse "vapeur + aérosols" émise par la tuyauterie	**0,06**	kg	
Masse liquide émise par la tuyauterie	**0,2**	kg	

Emis vap et aérosols	
0,1135 kg / s	0,0622 kg / s

Emission par la bouteille M.P. ou B.P.

Débit de fuite total vapeur (ou liquide)	0,0019	kg / s	
Temps de fuite persistante par la bouteille	290	secondes	car la fuite n'est pas maitrisée
Masse vapeur (ou liquide) émise par la bouteille	0,56	kg	
Masse émise par la bouteille au début de la fuite	**0,6**		soit 286,29 secondes
EMISSION TOTALE VAPEUR ET AEROSOL par TUYAUX H.P.	**88**	kg	
EMISSION TOTALE LIQUIDE PAR TUYAUTERIE H.P.	**70**	kg	

Durée fuite si dP reste constant et maxi **410,80** secondes

Temps de fuite estimé de la phase liquide et aérosols	**286,3**	secondes		**12**	
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	27,06	kg² / s			
Débit de fuite total vapeur et aérosols	0,3075	kg / s			
Nature de l'émission A PRIORI:	bouffée	en DN 5	avec	vent à	5 m/s
	bouffée	en DF 3	avec	vent à	3 m/s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
MODELE CHOISI A PRIORI	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut	**Z 1**		6 ou 7	98m	6 ou 7	86m
rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 2**		6 ou 7	337m	6 ou 7	246m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut	**Z 1**		9	71m	13	62m
rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 2**		9	244m	13	178m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pa**s					
avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	de correction de hauteur d'émission.					

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **286,3** secondes

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**24s**	non valide	**12s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**81s**	non valide	**36s**	non valide

SCENARIO 14 - RUPTURE DE TUYAUTERIE PHASE LIQUIDE H.P. DANS CONDENSEUR A SEC (suite et fin)

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **Si Modèle NON CHOISI A PRIORI**	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	26m	6 ou 7	20m
	Z 2		6 ou 7	138m	6 ou 7	78m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**		11	22m	11	17m
	Z 2		11	122m	11	65m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**7s**	valide	**3s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**41s**	valide	**13s**	valide

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **DISTANCES RETENUES**		D F 3		D N 5	
		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		26m		20m
	Z 2		138m		78m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	22m	11	17m
	Z 2	11	122m	11	65m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

Emission retenue	**DF 3**	**DN 5**
Pour Z1	**panache**	**panache**
Pour Z2	**panache**	**panache**

Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol	DF 3	DN 5
Z1	3,29m	4,79m
Z2	3,82m	6,89m

142 - Effets de l'évaporation de la flaque de liquide formée suite à la rupture ci-avant

Rappel de la masse de liquide issue du tuyau ci-avant:	70	kg			
Débit d'évaporation **intense.(vent à 5 m/s) en DN 5**	0,00105	kg / s.m²			
Débit d'évaporation **faible.(vent à 3 m/s) en DF 3**	0,00032	kg / s.m²			
Débit d'émission **intense**:	0,00525	kg / s			
Débit d'émission **faible**:	0,0016	kg / s			
Durée de l'émission en **intense**	13 361	secondes	*soit*	*223*	*minutes*
Durée de l'émission en **faible**	44 395	secondes	*soit*	*740*	*minutes*
Nature de l'émission	panache	en DN 5	avec	vent à	5 m/s
	panache	en DF 3	avec	vent à	3 m/s
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	0	kg² / s			

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2		D F 3		D N 5	
		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**	6 ou 7	1m	6 ou 7	2m
	Z 2	6 ou 7	31m	6 ou 7	22m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	1m	11	1m
	Z 2	11	22m	11	16m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

SCENARIO 14 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR DANS CONDENSEUR A SEC				
fuite sur tuyauterie	**Vapeur HP**		**Liquide HP**	
en conditions	**DF3**	**DN5**	**DF3**	**DN5**
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	9m	8m	22m	17m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	76m	44m	122m	65m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	<à 10m	41m	87m	71m
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m

Ce scénario en phase liquide n'est pas applicable du fait du principe d'alimentation par flotteur HP

Emission retenue étant du type	**DF 3**	**DN 5**	**DF 3**	**DN 5**
Pour Z1	panache	panache	panache	panache
Pour Z2	panache	panache	panache	panache

COMMENTAIRES:

SCENARIO 15 - FUITE SOUPAPES DE SECURITE AVEC ECHAPEMENT EN PLEIN AIR

Récipients concernés	BOUTEILLES MP et/ou BP		
	à la BP	à la MP	à la HP
Nombre de soupapes actives raccordées sur la même sortie	3	1	1
Quantité d'ammoniac stocké dans le récipient à protéger en kg	1 930 kg	1 000 kg	1 000 kg
Surface des parois extérieures			
Température saturante ouverture soupape en °C	29°C	35°C	45°C
Pression service dans bouteille ci-avant: (en bar absolu)	11,33 bar	13,50 bar	17,82 bar
SOIT 1,1 X pression de saturation =	12,46 bar	14,85 bar	19,60 bar
Chaleur de vaporisation à cette pression	1 138 kJ/kg	1 112 kJ/kg	1 067 kJ/kg
Flux thermique à travers parois SELON NF 13136 : 2001	10 kW/m²	10 kW/m²	10 kW/m²
Débit théorique d'une seule soupape en kg/s	0,310 kg/s	0,310 kg/s	0,310 kg/s
La capacité RETENUE de décharge par chaque soupape:	1 116 kg/h	1 116 kg/h	1 116 kg/h
ou	0,310 kg/s	0,310 kg/s	0,310 kg/s
Capacité évacuée par les soupapes	0,930 kg/s	0,310 kg/s	0,310 kg/s
Capacité MOYENNE évacuée par les soupapes	1,550 kg/s		

Le déclenchement d'une soupape de sécurité entraine dans l'atmosphère une fuite d'NH3 issu de:
du liquide stocké dans la capacité protégée par ladite soupape jusqu'à équilibrage des pressions

ATTENTION :Le refoulement compresseur(s) jusqu'à l'arrêt de celui (ou ceux-ci), maintient la pression dans la bouteille MP ou l'étage HP si ceux-ci n'ont pas été arrêtés.

Enthalpie liquide avant détente	572 kJ/kg	601 kJ/kg	649 kJ/kg
Enthalpie liquide saturant après détente	271 kJ/kg	Patm =	1,00 bar
Enthalpie vapeur saturante après détente	1 641 kJ/kg		
Titre vapeur dans les conditions d'une détente à la Patm	0,220	0,241	0,276

Evaluation du **débit de fuite** NH3 participant au nuage:

Evaluation de la **masse** d' NH3 **participant** au nuage avant arrêt par équilibrage des pressions:

Par le réservoir en tenant compte de la détente à l'atmosphère	849,6 kg	481,8 kg	552,2 kg
Temps de fuite	914 secondes	1 554 secondes	1 781 secondes
	790 kg²/s	149 kg²/s	171 kg²/s
	2 920 kg²/s		
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	2 920 kg²/s		
Masse fuyant avec maintien de la pression	849,6 kg	481,8 kg	552,2 kg
Masse TOTALE fuyant avec maintien de la pression	**1 884 kg**		
Temps de fuite moyenné	**850 secondes**		

Nature de l'émission A PRIORI : panache en DN 5 avec vent à 5 m/s
panache en DF 3 avec vent à 3 m/s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
MODELE CHOISI A PRIORI	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut	**Z 1**		6 ou 7	148m	6 ou 7	81m
rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 2**		6 ou 7	715m	6 ou 7	308m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut	**Z 1**		11	130m	11	67m
rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 2**		11	629m	11	257m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas**					
avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	de correction de hauteur d'émission.					

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **850** secondes

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**43s**	valide	**13s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**210s**	valide	**51s**	valide

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **Si Modèle NON CHOISI A PRIORI**	en DF 3 bouffée	en DN 5 bouffée	D F 3 Abaque n°	D F 3 distance	D N 5 Abaque n°	D N 5 distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	538m	6 ou 7	370m
	Z 2		6 ou 7	1 615m	6 ou 7	1 004m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**		11	390m	11	268m
	Z 2		11	1 171m	11	728m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.					

Temps de transfert au point d'observation Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache			DF 3		DN 5	
	t t 1=	Z1 / u =	**130s**	non valide	**54s**	non valide
	t t 2 =	Z2 / u =	**390s**	non valide	**146s**	non valide

SCENARIO 15 - - FUITE SOUPAPE DE SECURITE AVEC ECHAPEMENT EN PLEIN AIR (Suite et fin)

Emission retenue	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **DISTANCES RETENUES**		D F 3 Abaque n°	D F 3 distance	D N 5 Abaque n°	D N 5 distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		148m		81m
	Z 2		715m		308m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	130m	11	67m
	Z 2	11	629m	11	257m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol	DF 3	DN 5
Z1	5,21	4,29
Z2	4,29	6,16

SCENARIO 15 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR en STANDARD

Fuite sortie soupape	JTEILLES MP et/ou	
en conditions	**DF3**	**DN5**
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	130m	67m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	629m	257m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	94m	74m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	692m	peu réduit
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	578m	peu réduit
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	283m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	239m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m

Emission retenue étant du type	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

COMMENTAIRES:

ANNEXE 8 - Caractérisation de l'intensité SDM2, 3 et 4

SOMMAIRE

sur les zones de danger entrainées par les scénarii créés selon les fuites envisagées pour le CIRCUIT 2, 3 et 4

	Page
Scénario n° 20 Circuit HP capoté en VAPEUR	2
Scénario n° 21 Circuit HP capoté en LIQUIDE	7
Scénario n° 22 Fuite sur bouteille BP en marche	11
Scénario n° 23 Fuite sur bouteille BP à l'arrêt	14
Scénario n° 24 Fuite sur faisceau du condenseur	17
Scénario n° 25 Fuite sur les soupapes	23

Scénario 20 - RUPTURE SUR UN ORGANE LIQUIDE H.P. ou VAPEUR
situé à l' intérieur de la S.d.M.(ou local de CAPOTAGE condenseur)

Dans cette étude nous avons considéré que tous les collecteurs (LIQUIDE et VAPEUR) de liaison entre la salle des machines et le système de condensation étaient inscrits à l'intérieur d'un carénage étanche ou dans la SdM.

Pression maximale opérationnelle	**15,985**	**bar absolu**
Rappel du volume du local où sont situés ces collecteurs	4 032	m3
Rappel du débit d'extraction	10 200	m3 / h

Si **ventilation naturelle** sortie haute
Section en m² **4,57** +/-10%

le ou les compresseur(s) s'arrête(nt) en sécurité en 45 secondes
car il existe 1 bouton coup de poing ou un détecteur NH3 ou un pressostat manque de pression

Si la fuite a lieu les scénarii suivants sont alors envisageables:

SCENARIO 20

La rupture "guillotine" a lieu en **phase vapeur.**

avec une section de fuite dont le diamètre est:	107,1	mm	
Masse **réelle émise** en tenant compte décroissance de pression	508	kg	
Temps de fuite	15,7	secondes	
Débit de fuite total vapeur	32,412	kg / s	

Evaluation du **débit de fuite** NH3 participant au nuage:

Débit de fuite retenu à la brèche par l'amont en vapeur	m =	6,7050	kg / s	
Débit de fuite émis par le condenseur	m 2 =	13,06	kg / s	car écoulement critique
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).		16 468	kg² / s	

Evaluation de la **masse** d' NH3 **participant** au nuage avant arrêt par sécurité:

Par le compresseur:	301,723	kg	
Par l'ensemble de condensation	800,0	kg	
Par les tuyauteries après condenseur	6,4	kg	
Par la capacité aval immédiatement après alerte fuite	0,0	kg	pendant le début de la fuite
Masse totale NH3 **apparente** dans le circuit.	1 108	kg	
Masse **réelle émise** en tenant compte décroissance de pression	508	kg	Mf/Mi= 0,2559 oui

SCENARIO 21

La rupture "guillotine" a lieu en **phase liquide .**

avec une section de fuite dont le diamètre est:	53,1	mm
EMISSION TOTALE VAPEUR ET AEROSOL par TUYAUX H.P.	388,0	kg
EMISSION TOTALE LIQUIDE PAR TUYAUTERIE H.P.	72,4	kg
Temps de fuite estimé de la phase liquide et aérosols	10,7	secondes
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	14042	kg² / s
Débit de fuite total vapeur et aérosols	36,19	kg / s

La charge NH3 HP fuyant est de **388,0 kg**

La charge NH3 du reste du circuit HP contribuant au nuage est de: **696,4 kg**

La rupture d'une canalisation de liquide H.P. entraine dans l'atmosphère une fuite d'NH3 issu de**:**

1 du liquide H.P.,accumulé dans l'ensemble de condensation fuyant, **sous forme liquide, aérosol et vapeur**

2 du liquide H.P.,accumulé dans l'ensemble de condensation restant, **sous forme vapeur et aérosol**

3 du refoulement compresseur(s) jusqu'à l'arrêt de celui (ou ceux-ci), **sous forme vapeur**

4 du liquide M.P.,accumulé dans l'ensemble MP aval, **sous forme vapeur**

NB: la **vapeur** issue du reste du circuit est insignifiante pour le calcul des Z1 et Z2. Cette vapeur aura pour effet de prolonger la durée de la fuite dans le temps si les vannes de sécurité n'ont pas été fermées automatiquement ou par un intervenant.

221 - Evaluation du débit de fuite NH3 participant au nuage:

Nous avons considéré que la fuite était PROCHE de la réserve H.P.

Emission par le compresseur

Débit de fuite émis par le compresseur m1 =	6,7050	kg / s	
Masse de vapeur émise par le compresseur	**301,7234**	kg	

Emission par le condenseur fuyant

Débit de fuite initial émis par ce condenseur(pendant 1ère sec) m 4 =	10,86	kg / s
Taux de vaporisation Tv =	0,1370	
Débit de fuite **vapeur et aérosol** émis par ce condenseur m 5 =	3,9	kg / s
Temps de vidange du circuit H.P.sous forme **liquide** à dPconstant	10,72	secondes
Masse contenue dans le condenseur fuyant:	110,00	kg
Masse "vapeur+aérosols" émise par conden ou/et **réservoir**	**42,3**	kg
Masse liquide émise par condenseur ou et réservoir	**67,7**	kg

proche	éloigné
Débit fuite initial	
55,50 kg / s	10,86 kg / s
Taux de vaporisation	
0,2500	0,1370
Débit vap et aérosols	
27,76 kg / s	3,94 kg / s

Emission par la tuyauterie liquide

Masse contenue dans la tuyauterie HP:	6,4	kg
Masse "vapeur + aérosols" émise par la tuyauterie	**1,8**	kg
Masse liquide émise par la tuyauterie	**4,6**	kg

proche	éloigné
Emis vap et aérosols	
3,2 kg / s	1,8 kg / s

Emission par la bouteille M.P. ou B.P.

Débit de fuite total vapeur (ou liquide)	0,00	kg / s	
Temps de fuite persistante par la bouteille	210	secondes	car la fuite n'est pas maitrisée
Masse vapeur (ou liquide) émise par la bouteille	0,41	kg	
Masse émise par la bouteille au début de la fuite	**0,0**		pendant 10,7 secondes

Emission par le reste du circuit HP contribuant au nuage

Débit de fuite total vapeur (ou liquide)	3,94	kg / s	
Temps de fuite persistante par le reste du circuit H.P.	175,1	secondes	
Masse vapeur (ou liquide) émise par le reste circuit HP	690,0	kg	Pendant la totalité de la fuite
Masse émise par reste circuit HP au début de la fuite	**42**	kg	Pendant 10,7 secondes

EMISSION TOTALE **VAPEUR ET AEROSOL** par H.P.	**388,0**	kg
EMISSION TOTALE **LIQUIDE** PAR TUYAUTERIE H.P.	**72,4**	kg
Temps de fuite instantané de la phase liquide et aérosols	**10,7**	secondes
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	14 042,20	kg² / s
Débit de fuite total vapeur et aérosols	36,1895	kg / s

Nous commençons donc l'étude du SCENARIO 20 en phase vapeur

Une sonde de détection d'NH3 dans l'ambiance de la SDM peut être conseillée afin de détecter une fuite NH3.
Un pressostat de manque de pression peut être conseillé si une rupture guillotine avait lieu.
Des clapets ou des vannes motorisées peuvent être installées si nécessaire.
Toutes ces préconisations (ou réalisations) ont pour but de diminuer la charge potentielle à fuir ainsi que diminuer les délais de réaction automatique ou humaine.

Scénario 10bis - RUPTURE SUR UN ORGANE H.P. VAPEUR
situé à l' intérieur de la S.d.M.(ou local de CAPOTAGE condenseur)

Masse "vapeur + aérosols" émise par la brèche avant extraction	**800,00**	kg	
Masse liquide émise par la brèche.	**0**	kg	
L'NH3 libéré occupe tout le volume du local soit:	**4 032**	m3 à 15°C	
La densité du mélange (air + NH3) est de	**1,398**	kg / m3	avec de l'air à 1,2 kg / m3
Cette quantité d'**NH3** représente par rapport au local:	**14,19%**	soit	141 884 **P.P.M**

Le deuxième seuil d'alarme (<1000ppm) aura donc été déclenché avec la coupure des circuits électriques non AdF .
Le premier seuil de (<500ppm) ayant déjà mis en route l'extracteur et commandé l'alarme.

Evaluation du débit de fuite participant à la formation du nuage:

Débit extraction conforme à la norme:	1,206	m3 / s	*soit*	*4 343*	*m3 / h*
Si le débit d'extraction a été imposé ,sa valeur est:	non imposé	m3 / s	*soit*		*m3 / h*
Valeur prise pour le calcul du nuage:	2,833	m3 / s	*soit*	*10 200*	*m3 / h*
La masse volumique de la vapeur d'ammoniac saturante est de :	0,198	kg / m3			
Le débit masse restitué à l'atmosphère est donc de:	0,562	kg / s			
Le temps d'extraction de l'NH3 restitué à l'atmosphère est de:	1 423	secondes	*soit*	23,72	*minutes*

Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage	36	m²	pour une dP de 100Pa			
Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage	25	m²	pour une dP de			200Pa

Nature de l'émission A PRIORI:	panache	**en DN 5**	avec	vent à	5 m/s
	panache	**en DF 3**	avec	vent à	3 m/s

C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	450	kg² / s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **MODELE CHOISI A PRIORI**	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	73m	6 ou 7	46m
	Z 2		6 ou 7	371m	6 ou 7	178m
	Pour une hauteur de rejet de 0 m					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	Le gradient de vent n'**interviendra pas** car on prendra une correction de hauteur d'émission.					
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s						

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **1 423** secondes

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**24s**	valide	**9s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**124s**	valide	**36s**	valide

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **Si Modèle NON CHOISI A PRIORI**	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	334m	6 ou 7	246m
	Z 2		6 ou 7	1 095m	6 ou 7	677m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**		11	242m	11	178m
	Z 2		11	794m	11	491m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pa**s de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**81s**	non valide	**36s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**265s**	non valide	**98s**	non valide

Emission retenue	**DF 3**	**DN 5**
Pour Z1	**panache**	**panache**
Pour Z2	**panache**	**panache**

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **DISTANCES RETENUES**		D F 3		D N 5	
		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		73m		46m
	Z 2		371m		178m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	64m	11	38m
	Z 2	11	326m	11	149m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pa**s de correction de hauteur d'émission.				

	DF 3	DN 5
Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol		
Z1	2,51m	3,47m
Z2	3,13m	4,18m

Scénario 20 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR
SI FUITE SUR CIRCUIT VAPEUR H.P. AVEC CAPOTAGE et EXTRACTION dans SdM ou autre

en conditions	DF3	DN5
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	64m	38m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	326m	149m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	<à 10m	33m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	337m	176m
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	23m	160m
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	127m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de 15 m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de 15 m	<à 10m	<à 10m

Emission retenue étant du type	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

COMMENTAIRES:

Scénario 21 - RUPTURE SUR UN ORGANE LIQUIDE H.P. ou VAPEUR
situé à l' intérieur de la S.d.M.(ou local de capotage condenseur)

Pression maximale opérationnelle **15,985** **bar absolu**

Dans cette étude nous avons considéré que tous les collecteurs (LIQUIDE et VAPEUR) de liaison entre la salle des machines et le système de condensation étaient inscrits à l'intérieur d'un carénage étanche ou dans la SdM.

Rappel du volume du local où sont situés ces collecteurs 4 032 m3
Rappel du débit d'extraction 10 200 m3 / h

Si **ventilation naturelle** sortie haute
Section en m² **4,57** +/-10%

le ou les compresseur(s) s'arrête(nt) en sécurité en 45 secondes
car il existe 1 bouton coup de poing ou un détecteur NH3 ou un pressostat manque de pression

SCENARIO 21

La rupture "guillotine" a lieu en **phase liquide .**

avec une section de fuite dont le diamètre est:	53,1	mm
EMISSION TOTALE VAPEUR ET AEROSOL par TUYAUX H.P.	388,0	kg
EMISSION TOTALE LIQUIDE PAR TUYAUTERIE H.P.	72,4	kg
Temps de fuite estimé de la phase liquide et aérosols	10,7	secondes
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	14042	kg² / s
Débit de fuite total vapeur et aérosols	36,19	kg / s

La charge NH3 HP fuyant est de **110,0 kg**
La charge NH3 du reste du circuit HP contribuant au nuage est de: **696,4 kg**

La rupture d'une canalisation de liquide H.P. entraine dans l'atmosphère une fuite d'NH3 issu de**:**

1 du liquide H.P.,accumulé dans l'ensemble de condensation fuyant, **sous forme liquide, aérosol et vapeur**
2 du liquide H.P.,accumulé dans l'ensemble de condensation restant, **sous forme vapeur et aérosol**
3 du refoulement compresseur(s) jusqu'à l'arrêt de celui (ou ceux-ci), **sous forme vapeur**
4 du liquide M.P.,accumulé dans l'ensemble MP aval, **sous forme vapeur**

NB: la **vapeur** issue du reste du circuit est insignifiante pour le calcul des Z1 et Z2. Cette vapeur aura pour effet de prolonger la durée de la fuite dans le temps si les vannes de sécurité n'ont pas été fermées automatiquement ou par un intervenant.

221 - Evaluation du débit de fuite NH3 participant au nuage:

Nous avons considéré que la fuite était PROCHE de la réserve H.P.

Emission par le compresseur

Débit de fuite émis par le compresseur m1 =	6,7050	kg / s	
Masse de vapeur émise par le compresseur	**301,7234**	kg	

Emission par le condenseur fuyant

Débit de fuite initial émis par ce condenseur(pendant 1ère sec) m 4 =	10,86	kg / s	
Taux de vaporisation Tv =	0,1370		
Débit de fuite **vapeur et aérosol** émis par ce condenseur m 5 =	3,9	kg / s	
Temps de vidange du circuit H.P.sous forme **liquide** à dPconstant	10,72	secondes	
Masse contenue dans le condenseur fuyant:	110,00	kg	
Masse "vapeur+aérosols" émise par conden ou/et **réservoir**	**42,3**	kg	
Masse liquide émise par condenseur ou et réservoir	**67,7**	kg	

proche	éloigné
Débit fuite initial	
55,50 kg / s	10,86 kg / s
Taux de vaporisation	
0,2500	0,1370
Débit vap et aérosols	
27,76 kg / s	3,94 kg / s

Emission par la tuyauterie liquide

Masse contenue dans la tuyauterie HP:	6,4	kg	
Masse "vapeur + aérosols" émise par la tuyauterie	**1,8**	kg	
Masse liquide émise par la tuyauterie	**4,6**	kg	

Emis vap et aérosols	
3,2 kg / s	1,8 kg / s

Emission par la bouteille M.P. ou B.P.

Débit de fuite total vapeur (ou liquide)	0,00	kg / s	
Temps de fuite persistante par la bouteille	210	secondes	car la fuite n'est pas maitrisée
Masse vapeur (ou liquide) émise par la bouteille	0,41	kg	
Masse émise par la bouteille au début de la fuite	**0,0**		pendant 10,7 secondes

Emission par le reste du circuit HP contribuant au nuage

Débit de fuite total vapeur (ou liquide)	3,94	kg / s	
Temps de fuite persistante par le reste du circuit H.P.	175,1	secondes	
Masse vapeur (ou liquide) émise par le reste circuit HP	690,0	kg	Pendant la totalité de la fuite
Masse émise par reste circuit HP au début de la fuite	**42**	kg	Pendant 10,7 secondes

EMISSION TOTALE **VAPEUR ET AEROSOL** par H.P.	**388,0**	kg
EMISSION TOTALE **LIQUIDE** PAR TUYAUTERIE H.P.	**72,4**	kg
Temps de fuite instantané de la phase liquide et aérosols	**10,7**	secondes
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	14 042,20	kg² / s

Débit de fuite total vapeur et aérosols	36,1895	kg / s

Le scénario avec la rupture en phase vapeur ayant été étudié ci-avant
Nous étudierons donc ici le SCENARIO 21 en phase liquide

Une sonde de détection d'NH3 dans l'ambiance du carénage peut être conseillée afin de détecter une fuite NH3.
Un pressostat de manque de pression peut être conseillé si une rupture guillotine avait lieu.
Des clapets ou des vannes motorisées peuvent être installées si nécessaire.
Toutes ces préconisations ont pour but de diminuer la charge potentielle à fuir ainsi que
diminuer les délais de réaction automatique ou humaine.

Scénario 21 - RUPTURE SUR UN ORGANE H.P. LIQUIDE situé à l' intérieur de la S.d.M.(ou local de capotage condenseur)

Pression maximale opérationnelle	**15,985 bar absolu**		
Masse "vapeur + aérosols" émise par la brèche avant extraction	**388,02**	kg	
Masse liquide émise par la brèche.	**72,38**	kg	
L'NH3 libéré occupe tout le volume du local soit:	**4 032**	m3 à 15°C	
La densité du mélange (air + NH3) est de	**1,296**	kg / m3	avec de l'air à 1,2 kg / m3
Cette quantité d'**NH3** représente par rapport au local:	**7,42%**	soit	74 242 **P.P.M**

Le deuxième seuil d'alarme (<1000ppm) aura donc été déclenché avec la coupure des circuits électriques non AdF .
Le premier seuil de (<500ppm) ayant déjà mis en route l'extracteur et commandé l'alarme.

Evaluation du débit de fuite participant à la formation du nuage:

Débit extraction conforme à la norme:	0,835	m3 / s	*soit*	*3 005*	*m3 / h*
Si le débit d'extraction a été imposé ,sa valeur est:	non imposé	m3 / s	*soit*		*m3 / h*
Valeur prise pour le calcul du nuage:	2,833	m3 / s	*soit*	*10 200*	*m3 / h*
La masse volumique de la vapeur d'ammoniac saturante est de :	0,096	kg / m3			
Le débit masse restitué à l'atmosphère est donc de:	0,273	kg / s			
Le temps d'extraction de l'NH3 restitué à l'atmosphère est de:	1 423	secondes	*soit*	23,72	*minutes*

Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage	36	m²	pour une dP de 100Pa
Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage	25	m²	pour une dP de 200Pa

Nature de l'émission A PRIORI:	panache	**en DN 5**	avec	vent à	5 m/s
	panache	**en DF 3**	avec	vent à	3 m/s

C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	106	kg² / s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **MODELE CHOISI A PRIORI**	en DF 3	en DN 5	**D F 3**		**D N 5**	
	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	43m	6 ou 7	30m
	Z 2		6 ou 7	223m	6 ou 7	116m
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Pour une hauteur de rejet de 0 m**					
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent n'**interviendra pas** car on prendra une correction de hauteur d'émission.					

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **1 423** secondes

			DF 3		**DN 5**	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**14s**	valide	**6s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**74s**	valide	**23s**	valide

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **Si Modèle NON CHOISI A PRIORI**	en DF 3	en DN 5	**D F 3**		**D N 5**	
	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	224m	6 ou 7	174m
	Z 2		6 ou 7	768m	6 ou 7	486m
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	Prise en compte du gradient de vent					
	Z 1		11	162m	11	126m
	Z 2		11	557m	11	352m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pa**s de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		**DN 5**	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**54s**	non valide	**25s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**186s**	non valide	**70s**	non valide

Emission retenue	**DF 3**	**DN 5**
Pour Z1	**panache**	**panache**
Pour Z2	**panache**	**panache**

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **DISTANCES RETENUES**		**D F 3**		**D N 5**	
		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		43m		30m
	Z 2		223m		116m
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	Prise en compte du gradient de vent				
	Z 1	11	37m	11	25m
	Z 2	11	196m	11	97m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pa**s de correction de hauteur d'émission.				

	DF 3	DN 5
Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol		
Z1	2,00m	2,54m
Z2	2,45m	3,09m

Scénario 21 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR
SI FUITE SUR CIRCUIT LIQUIDE H.P. AVEC CAPOTAGE et EXTRACTION dans SdM ou autre

en conditions	DF3	DN5
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	37m	25m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	196m	97m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	152m	110m
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	90m
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de 15 m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de 15 m	<à 10m	<à 10m

Emission retenue étant du type	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

COMMENTAIRES:

Scénario 22 - RUPTURE à la plus grosse BOUTEILLE située à l' intérieur de la S.d.M. (ou autre local)

EN tenant compte de la détection agissant sur l'extracteur ? **NON**

avec une section de fuite dont le diamètre est: **70 mm** et une P abs de **2,68 bar**

La brèche est supposée **après pompe**

Rappel de la masse stockée: **2 860 kg**

L'extracteur d'air ammoniaqué est supposé se mettre en route **45,0 s** **après** le début de la fuite

Taux de vaporisation avant ou sans pompe	Tv =	0,0704				
Taux de vaporisation après pompe	Tv =	0,0770				
Débit de fuite émis par la brèche sans, ou avant, pompe	m 6 =	35,51	kg / s			
Température saturante à la pression de pompe		**-12**	°C	**installation en marche**		
Débit de fuite émis par la brèche après pompe	m 6 =	44,40	kg / s			
Le calcul est fait à partir de l'émission par la brèche		**après pompe**				
Débit de fuite total émis par la dite brèche	m 6 =	44,40	kg / s			
Débit de fuite **vapeur et aérosol** émis par la brèche	m 7 =	6,83	kg / s			
Temps de vidange du circuit considéré.sous forme liquide		64,4	secondes			
Masse "vapeur + aérosols" émise par la brèche		**440,2**	kg			
Masse liquide émise par la brèche.		**2 419,8**	kg			
L'NH3 libéré occupe tout le volume du local soit:		**4 032**	m3 à 15°C	air à 1,2		
La densité du mélange (air + NH3) est de		**1,309**	kg / m3	kg / m3		
Cette quantité d'**NH3** représente par rapport au local:		**8,3%**	soit			
			83 402	**P.P.M**		

en tenant compte de la détection

307,5	kg
1,276	kg / m3
6,0%	
59 761	**P.P.M**

Le deuxième seuil d'alarme (<1000 ppm) aura donc été déclenché avec la coupure des circuits électriques non AdF .

Le premier seuil (<1000 ppm) ayant déjà mis en route l'extracteur et commandé l'alarme.

Masse "vapeur + aérosols" émise s'il n'y a pas de détecteur **440,2** kg

Evaluation du débit de fuite participant à la formation du nuage:

Débit extraction conforme à la norme:	2,821	m3 / s	*soit*	*10 155*	*m3 / h*
Si le débit d'extraction a été imposé ,sa valeur est:	2,833	m3 / s	*soit*	*10 200*	*m3 / h*
Valeur prise pour le calcul du nuage:	2,833	m3 / s	*soit*	*10 200*	*m3 / h*
La quantité d'ammoniac contenu dans l'air est de :	0,109	kg / m3 d'air		0,076	
Le débit masse NH3 restitué à l'atmosphère est donc de:	0,309	kg / s		0,216	
Le temps d'extraction de l'NH3 restitué à l'atmosphère est de:	1 423	secondes		2037	
		Soit 23,72	*minutes*	33,9537	

Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage m² pour une dP de 100Pa

Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage m² pour une dP de 10Pa

Nature de l'émission A PRIORI:

panache	**en DN 5**	avec	vent à	5 m/s
panache	**en DF 3**	avec	vent à	3 m/s

C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache). 136 kg² / s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
MODELE CHOISI A PRIORI	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	47m	6 ou 7	32m
	Z 2		6 ou 7	244m	6 ou 7	125m
	Pour une hauteur de rejet de 0 m					

Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.

avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s

avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s

Le gradient de vent n'**interviendra pas** car on prendra une correction de hauteur d'émission.

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **1 423** secondes

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**16s**	valide	**6s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**81s**	valide	**25s**	valide

Scénario 22 - RUPTURE à la plus grosse BOUTEILLE située à l' intérieur de la S.d.M. (ou autre local) (suite 1).

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
Si Modèle NON CHOISI A PRIORI	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	240m	6 ou 7	185m
	Z 2		6 ou 7	824m	6 ou 7	515m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**		11	174m	11	134m
	Z 2		11	597m	11	373m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**58s**	non valide	**27s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**199s**	non valide	**75s**	non valide

Emission retenue	**DF 3**	**DN 5**
Pour Z1	**panache**	**panache**
Pour Z2	**panache**	**panache**

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2		D F 3		D N 5	
DISTANCES RETENUES		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		47m		32m
	Z 2		244m		125m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	41m	11	27m
	Z 2	11	215m	11	105m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

	DF 3	DN 5
Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol		
Z1	2,08m	2,68m
Z2	2,56m	3,26m

Scénario 22 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR en STANDARD	
	Extraction S.d.M.

en conditions	DF3	DN5
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	41m	27m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	215m	105m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	169m	120m
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	104m
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m

Emission retenue étant du type	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

COMMENTAIRES:

Scénario 23 - RUPTURE à la plus grosse BOUTEILLE située à l' intérieur de la S.d.M. (ou autre local)

EN tenant compte de la détection agissant sur l'extracteur ? **NON**

avec une section de fuite dont le diamètre est: **70 mm** et une P abs de **6,15 bar**

La brèche est supposée **après pompe**

Rappel de la masse stockée: **2 860 kg**

L'extracteur d'air ammoniaqué est supposé se mettre en route **45,0 s** **après** le début de la fuite

Taux de vaporisation avant ou sans pompe	Tv =	0,1437				
Taux de vaporisation après pompe	Tv =	0,1505				
Débit de fuite émis par la brèche sans, ou avant, pompe	m 6 =	59,60	kg / s			
Température saturante à la pression de pompe		**10**	°C	**installation à l'arrêt**		
Débit de fuite émis par la brèche après pompe	m 6 =	65,04	kg / s			
Le calcul est fait à partir de l'émission par la brèche		**après pompe**				
Débit de fuite total émis par la dite brèche	m 6 =	65,04	kg / s			
Débit de fuite **vapeur et aérosol** émis par la brèche	m 7 =	19,57	kg / s			
Temps de vidange du circuit considéré.sous forme liquide		44,0	secondes			
Masse "vapeur + aérosols" émise par la brèche		**860,7**	kg			
Masse liquide émise par la brèche.		**1 999,3**	kg			
L'NH3 libéré occupe tout le volume du local soit:		**4 032**	m3 à 15°C	air à 1,2		
La densité du mélange (air + NH3) est de		**1,413**	kg / m3	kg / m3		
Cette quantité d'**NH3** représente par rapport au local:		**15,1%**	soit	151 027		
			151 027	**P.P.M**		

en tenant compte de la détection		
880,8	kg	
1,418	kg / m3	
15,4%		
154 004	**P.P.M**	

Le deuxième seuil d'alarme (<1000ppm) aura donc été déclenché avec la coupure des circuits électriques non AdF .

Le premier seuil de (<500ppm) ayant déjà mis en route l'extracteur et commandé l'alarme.

Masse "vapeur + aérosols" émise s'il n'y a pas de détecteur **860,7** kg

Evaluation du débit de fuite participant à la formation du nuage:

Débit extraction conforme à la norme:	2,821	m3 / s	*soit*	*10 155*	*m3 / h*
Si le débit d'extraction a été imposé ,sa valeur est:	2,833	m3 / s	*soit*	*10 200*	*m3 / h*
Valeur prise pour le calcul du nuage:	2,833	m3 / s	*soit*	*10 200*	*m3 / h*
La quantité d'ammoniac contenu dans l'air est de :	0,213	kg / m3 d'air		0,218	
Le débit masse restitué à l'atmosphère est donc de:	0,605	kg / s		0,605	
Le temps d'extraction de l'NH3 restitué à l'atmosphère est de:	1 423	secondes	*soit*	1423,06	
		Soit 23,72	*minutes*	23,7176	

Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage m² pour une dP de 100Pa

Section grille entrée air pour l'extraction au débit du calcul nuage m² pour une dP de 10Pa

Nature de l'émission A PRIORI:

panache	**en DN 5**	avec	vent à	5 m/s
panache	**en DF 3**	avec	vent à	3 m/s

C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache). 521 kg² / s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
MODELE CHOISI A PRIORI	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	77m	6 ou 7	48m
	Z 2		6 ou 7	390m	6 ou 7	186m
	Pour une hauteur de rejet de 0 m					

Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.

avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s

avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s

Le gradient de vent n'**interviendra pas** car on prendra une correction de hauteur d'émission.

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **1 423** secondes

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**26s**	valide	**10s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**130s**	valide	**37s**	valide

Scénario 23 - RUPTURE à la plus grosse BOUTEILLE située à l' intérieur de la S.d.M. (ou autre local) (suite 1).

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
Si Modèle NON CHOISI A PRIORI	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	348m	6 ou 7	255m
	Z 2		6 ou 7	1 132m	6 ou 7	700m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**		11	252m	11	185m
	Z 2		11	820m	11	508m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**84s**	non valide	**37s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**273s**	non valide	**102s**	non valide

Emission retenue	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2		D F 3		D N 5	
DISTANCES RETENUES		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		77m		48m
	Z 2		390m		186m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	68m	11	40m
	Z 2	11	344m	11	155m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

	DF 3	DN 5
Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol		
Z1	2,57m	3,58m
Z2	3,21m	4,31m

Scénario 23 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR en STANDARD	
	Extraction S.d.M.

en conditions	DF3	DN5
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	68m	40m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	344m	155m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	<à 10m	36m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	357m	184m
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	101m	168m
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	142m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m

Emission retenue étant du type	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

COMMENTAIRES:

Scénario 24 - RUPTURE DE TUYAUTERIE DANS CONDENSEUR EN EXTERIEUR

Les condenseurs sont en principe situés en extérieur ou reliés à l'extérieur par des gaines.
Ces condenseurs conçus et fabriqués pour fonctionner dans une ambiance extérieure sont constitués par **:**

1 une ossature formant un carénage (galvanisé) enfermant le faisceau tubulaire

2 un faisceau tubulaire constitué de tubes galvanisé extérieurement et éprouvé hydrauliquement à 40 bars.

L'ammoniac circule dans ce faisceau particulièrement protégé et à l'abri des chocs et nous pouvons dire que la rupture "guillotine" est difficilement envisageable. Aucune fuite de ce genre n'est actuellement connue à travers le monde.
Nous retiendrons donc le risque d'une fuite à la suite d'une corrosion d'un des tubes du faisceau.

Si la fuite a lieu les scénarii suivants sont alors envisageables :

SCENARIO 24 A (Cas pour Condenseur à air, évaporatif ou adiabatique)
Le condenseur est en **fonctionnement à sec** en période hivernale par exemple avec sa **ventilation en fonctionnement**
Nous aurions alors une dilution de l'NH3 dans l'air aspiré par la ventilation et les quantités rejetées seraient inférieures à celles du scénario "condenseur à l'arrêt".Les zones Z1 et Z2 seront donc inférieures à celles annoncées ci-dessous.

SCENARIO 24 B (Condenseur évaporatif)
Le condenseur est en **fonctionnement** avec sa r**ecirculation d'eau seule en fonctionnement**
Nous aurions alors une dilution de l'NH3 dans l'eau avec pratiquement aucun rejet vapeur d'ammoniac dans l'ambiance.
et les quantités rejetées seraient inférieures à celles envisagées au scénario "condenseur à l'arrêt".
Le condenseur se comporte alors comme un laveur d'air ammoniaqué.
Les zones Z1 et Z2 seront donc inférieures à celles annoncées ci-dessous.

SCENARIO 24 C (Cas pour Condenseur évaporatif adiabatique)
Le condenseur est en **fonctionnement** avec sa **recirculation d'eau et sa ventilation en fonctionnement**
Nous aurions alors une dilution de l'NH3 dans l'eau avec pratiquement aucun rejet vapeur d'ammoniac dans l'ambiance.
et les quantités rejetées seraient inférieures à celles envisagées au scénario "condenseur à l'arrêt".
Le condenseur se comporte là aussi comme un laveur d'air ammoniaqué.
Les zones Z1 et Z2 seront donc inférieures à celles annoncées ci-dessous.

SCENARIO 24 D (Cas pour Condenseur à air, évaporatif ou adiabatique)
Le condenseur est OPERATIONNEL SANS VENTILATION et SANS RECIRCULATION D'EAU,la SdM étant en MARCHE.
Nous serions alors dans les **conditions les plus pénalisantes** car l'émission dans l'atmosphère se fait sans dilution
et sans absorption de l'ammoniac dans l'eau.
Le nuage s'échapperait alors en partie haute du condenseur soit **:** **10,0 mètres de haut**

La présence d'ammoniac dans l'eau de recirculation du condenseur a pour effet d'augmenter le pH de la dite eau.
Il sera donc possible de détecter la présence d'ammoniac dans l'eau par la mise en place d'un pHmètre.
Le pH passe de 7 à 11.6 pour une dilution de 1%.
Une sonde de détection d'NH3 dans l'ambiance en sortie de condenseur peut être conseillée afin
de détecter de l'ammoniac à l'arrêt ou en fonctionnement à sec.

Nous allons donc étudier ci-après en détail le SCENARIO 24 D appelé SCENARIO 14.

Ce scénario correspond également au scénario d'un condenseur à AIR en Service sans ventilation.

C'est à dire une dispersion brutale de la charge NH3 dans le condenseur considéré soit **110 kg**
augmenté de la charge du reste du circuit HP (autres condenseurs et tuyauteries HP) soit **690 kg**
ainsi que les vapeurs issues du (ou des) compresseur(s) avant son (ou leur) arrêt en sécurité et des vapeurs provenant du circuit M.P. aval.
REMARQUE: Nous ne tiendrons pas compte des réductions d'émission d'NH3 dues à la présence du chicanage des tubes du faisceau, ni de la présence de pare-gouttelettes.Ce qui nous pénalise en majorant donc le risque.

le ou les compresseur(s) s'arrête(nt) en sécurité en 45 secondes
car il existe une détection NH3 interne au condenseur + contrôle des rejets par détection pH

Pression maximale opérationnelle **15,985 bar absolu**

SCENARIO 24 - RUPTURE DE TUYAUTERIE PHASE VAPEUR H.P. DANS CONDENSEUR EN FONCTIONNEMENT A SEC

avec une section de fuite dont le diamètre est:	**10**	mm	*Section*	*7,854E-05* *m²*
Evaluation du **débit de fuite** NH3 participant au nuage:				
Débit brèche =	0,114	kg / s	car écoulement critique	
Débit de fuite émis par le compresseur m1 =	6,7050	kg / s		
Débit de fuite retenu à la brèche par l'amont en vapeur m =	0,1138	kg / s		
Débit de fuite émis par le condenseur m 2 =	0,11	kg / s		
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	7	kg² / s		
Evaluation de la **masse** d' NH3 participant au nuage:				
Par le compresseur:	14	kg	en 120 s	
Par le condenseur:	110	kg		
Par les tuyauteries après condenseur	0	kg		
Par la capacité immédiatement après	0	kg		
Masse totale NH3 **apparente** dans le circuit.	124	kg		
Masse **réelle émise** en tenant compte décroissance de pression	42	kg	Mf/Mi=	0,2559
Temps de fuite	247,2	secondes		
Débit de fuite total vapeur	0,17	kg / s		
Nature de l'émission A PRIORI :	bouffée	en DN 5	avec vent à	5 m/s
	bouffée	en DF 3	avec vent à	3 m/s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
MODELE CHOISI A PRIORI	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut	**Z 1**		6 ou 7	65m	6 ou 7	60m
rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 2**		6 ou 7	223m	6 ou 7	175m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut	**Z 1**		11	47m	11	44m
rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 2**		11	161m	11	127m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas**					
avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	de correction de hauteur d'émission.					

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **247** secondes

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**16s**	non valide	**9s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**54s**	non valide	**25s**	non valide

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
Si Modèle NON CHOISI A PRIORI	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut	**Z 1**		6 ou 7	10m	6 ou 7	10m
rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 2**		6 ou 7	86m	6 ou 7	53m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut	**Z 1**		11	9m	11	8m
rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 2**		11	76m	11	44m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas**					
avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**3s**	valide	**2s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**25s**	valide	**9s**	valide

SCENARIO 24 - RUPTURE DE TUYAUTERIE PHASE VAPEUR H.P.DANS CONDENSEUR A SEC (suite et fin)

Emission retenue	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	panache	panache

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **DISTANCES RETENUES**		DF 3		DN 5	
		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		10m		10m
	Z 2		86m		53m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	9m	11	8m
	Z 2	11	76m	11	44m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol

	DF 3	DN 5
Z1	1,32	1,41
Z2	1,55	1,76

SCENARIO 24 - RUPTURE DE TUYAUTERIE PHASE LIQUIDE H.P.DANS CONDENSEUR EN FONCTIONNEMENT A SEC

avec une section de fuite dont le diamètre est: 10 mm *Section* *7,854E-05* *m²*

141 - Evaluation du débit de fuite NH3 participant au nuage:

Nous avons considéré que la fuite était ELOIGNEE de la réserve H.P.,car la perte de charge dans le faisceau du condenseur est relativement élevée et peu de liquide est accumulé dans le faisceau du condenseur.

Emission par le compresseur

Débit brèche =	0,114	kg / s	car écoulement critique
Débit de fuite émis par le compresseur m1 =	6,7050	kg / s	
Débit de fuite retenu à la brèche par l'amont en vapeur m =	0,1138	kg / s	
Masse de vapeur émise par le compresseur	**5**	kg	

Emission par le condenseur

Débit de fuite initial émis par le condenseur(pendant 1ère sec) m 4 =	0,39	kg / s
Taux de vaporisation Tv =	0,1370	
Débit de fuite **vapeur et aérosol** émis par le condenseur m 5 =	0,1398	kg / s
Temps de vidange du circuit H.P.sous forme liquide à dPconstant	286,29	secondes
Masse contenue dans le condenseur:	110,00	kg
Masse "vapeur+aérosols" émise par conden ou/et **réservoir**	**40,0**	kg
Masse liquide émise par condenseur ou et réservoir	**70,0**	kg

proche	éloigné
Débit fuite initial	
1,97 kg / s	0,39 kg / s
Taux de vaporisation	
0,2500	0,1370
Débit vap et aérosols	
0,9844 kg / s	0,1398 kg / s

Emission par la tuyauterie liquide

Masse contenue dans la tuyauterie HP:	0,2	kg
Masse "vapeur + aérosols" émise par la tuyauterie	**0,06**	kg
Masse liquide émise par la tuyauterie	**0,2**	kg

Emis vap et aérosols	
0,1135 kg / s	0,0622 kg / s

Emission par la bouteille M.P. ou B.P.

Débit de fuite total vapeur (ou liquide)	0,0019	kg / s	
Temps de fuite persistante par la bouteille	210	secondes	car la fuite n'est pas maitrisée
Masse vapeur (ou liquide) émise par la bouteille	0,41	kg	
Masse émise par la bouteille au début de la fuite	**0,4**		soit 210,00 secondes
EMISSION TOTALE VAPEUR ET AEROSOL par TUYAUX H.P.	**88**	kg	
EMISSION TOTALE LIQUIDE PAR TUYAUTERIE H.P.	**70**	kg	

Durée fuite si dP reste constant et maxi **410,41** secondes

Temps de fuite estimé de la phase liquide et aérosols	**286,3**	secondes			**11**	
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	26,97	kg² / s				
Débit de fuite total vapeur et aérosols	0,3069	kg / s				
Nature de l'émission A PRIORI:	bouffée	en DN 5	avec	vent à	5 m/s	
	bouffée	en DF 3	avec	vent à	3 m/s	

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
MODELE CHOISI A PRIORI	bouffée	bouffée	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut	**Z 1**		6 ou 7	98m	6 ou 7	86m
rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 2**		6 ou 7	336m	6 ou 7	246m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut	**Z 1**		9	71m	13	62m
rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 2**		9	244m	13	178m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pa**s					
avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	de correction de hauteur d'émission.					

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **286,3** secondes

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**24s**	non valide	**12s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**81s**	non valide	**36s**	non valide

SCENARIO 24 - RUPTURE DE TUYAUTERIE PHASE LIQUIDE H.P. DANS CONDENSEUR A SEC (suite et fin)

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **Si Modèle NON CHOISI A PRIORI**	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	25m	6 ou 7	20m
	Z 2		6 ou 7	138m	6 ou 7	78m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**		11	22m	11	17m
	Z 2		11	122m	11	65m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**7s**	valide	**3s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**41s**	valide	**13s**	valide

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **DISTANCES RETENUES**		D F 3		D N 5	
		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		25m		20m
	Z 2		138m		78m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	22m	11	17m
	Z 2	11	122m	11	65m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

Emission retenue	**DF 3**	**DN 5**
Pour Z1	**panache**	**panache**
Pour Z2	**panache**	**panache**

Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol	DF 3	DN 5
Z1	3,29m	4,78m
Z2	3,82m	6,89m

142 - Effets de l'évaporation de la flaque de liquide formée suite à la rupture ci-avant

Rappel de la masse de liquide issue du tuyau ci-avant:	70	kg			
Débit d'évaporation **intense.(vent à 5 m/s) en DN 5**	0,00105	kg / s.m²			
Débit d'évaporation **faible.(vent à 3 m/s) en DF 3**	0,00032	kg / s.m²			
Débit d'émission **intense**:	0,021	kg / s			
Débit d'émission **faible**:	0,0063	kg / s			
Durée de l'émission en **intense**	3 340	secondes	*soit*	*56*	*minutes*
Durée de l'émission en **faible**	11 099	secondes	*soit*	*185*	*minutes*
Nature de l'émission	panache	en DN 5	avec	vent à	5 m/s
	panache	en DF 3	avec	vent à	3 m/s
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	1	kg² / s			

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2		D F 3		D N 5	
		Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**	6 ou 7	3m	6 ou 7	4m
	Z 2	6 ou 7	50m	6 ou 7	33m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	2m	11	3m
	Z 2	11	36m	11	24m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient si on n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

SCENARIO 24 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR DANS CONDENSEUR A SEC				
fuite sur tuyauterie	**Vapeur HP**		**Liquide HP**	
en conditions	**DF3**	**DN5**	**DF3**	**DN5**
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	9m	8m	22m	17m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	76m	44m	122m	65m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	<à 10m	41m	87m	71m
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m	<à 10m	<à 10m

Ce scénario en phase liquide n'est pas applicable du fait du principe d'alimentation par flotteur HP

Emission retenue étant du type	**DF 3**	**DN 5**	**DF 3**	**DN 5**
Pour Z1	panache	panache	panache	panache
Pour Z2	panache	panache	panache	panache

COMMENTAIRES:

SCENARIO 25 - FUITE SOUPAPES DE SECURITE AVEC ECHAPEMENT EN PLEIN AIR

Récipients concernés	BOUTEILLES MP et/ou BP		
	à la BP	à la MP	à la HP
Nombre de soupapes actives raccordées sur la même sortie	3	1	1
Quantité d'ammoniac stocké dans le récipient à protéger en kg	1 260 kg	1 000 kg	600 kg
Surface des parois extérieures			
Température saturante ouverture soupape en °C	29°C	35°C	45°C
Pression service dans bouteille ci-avant: (en bar absolu)	11,33 bar	13,50 bar	17,82 bar
SOIT 1,1 X pression de saturation =	12,46 bar	14,85 bar	19,60 bar
Chaleur de vaporisation à cette pression	1 138 kJ/kg	1 112 kJ/kg	1 067 kJ/kg
Flux thermique à travers parois SELON NF 13136 : 2001	10 kW/m²	10 kW/m²	10 kW/m²
Débit théorique d'une seule soupape en kg/s	0,310 kg/s	0,310 kg/s	0,310 kg/s
La capacité RETENUE de décharge par chaque soupape:	1 116 kg/h	1 116 kg/h	1 116 kg/h
ou	0,310 kg/s	0,310 kg/s	0,310 kg/s
Capacité évacuée par les soupapes	0,930 kg/s	0,310 kg/s	0,310 kg/s
Capacité MOYENNE évacuée par les soupapes	1,550 kg/s		

Le déclenchement d'une soupape de sécurité entraine dans l'atmosphère une fuite d'NH3 issu de:
du liquide stocké dans la capacité protégée par ladite soupape jusqu'à équilibrage des pressions

ATTENTION :Le refoulement compresseur(s) jusqu'à l'arrêt de celui (ou ceux-ci), maintient la pression dans la bouteille MP ou l'étage HP si ceux-ci n'ont pas été arrêtés.

Enthalpie liquide avant détente	572 kJ/kg	601 kJ/kg	649 kJ/kg
Enthalpie liquide saturant après détente	271 kJ/kg	Patm =	1,00 bar
Enthalpie vapeur saturante après détente	1 641 kJ/kg		
Titre vapeur dans les conditions d'une détente à la Patm	0,220	0,241	0,276

Evaluation du **débit de fuite** NH3 participant au nuage:

Evaluation de la **masse** d' NH3 **participant** au nuage avant arrêt par équilibrage des pressions:

Par le réservoir en tenant compte de la détente à l'atmosphère	554,7 kg	481,8 kg	331,3 kg
Temps de fuite	596 secondes	1 554 secondes	1 069 secondes
	516 kg²/s	149 kg²/s	103 kg²/s
	2 120 kg²/s		
C.E.F. =Coefficient d'effet de fuite (pour panache).	2 120 kg²/s		
Masse fuyant avec maintien de la pression	554,7 kg	481,8 kg	331,3 kg
Masse TOTALE fuyant avec maintien de la pression	**1 368 kg**		
Temps de fuite moyenné	**644 secondes**		

Nature de l'émission A PRIORI : panache en DN 5 avec vent à 5 m/s
panache en DF 3 avec vent à 3 m/s

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2	en DF 3	en DN 5	D F 3		D N 5	
MODELE CHOISI A PRIORI	panache	panache	Abaque n°	distance	Abaque n°	distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut	**Z 1**		6 ou 7	131m	6 ou 7	73m
rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 2**		6 ou 7	639m	6 ou 7	281m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut	**Z 1**		11	115m	11	61m
rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 2**		11	563m	11	234m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas**					
avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	de correction de hauteur d'émission.					

Validation du modèle choisi à priori : temps de fuite = **644** secondes

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**38s**	valide	**12s**	valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**188s**	non valide	**47s**	valide

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **Si Modèle NON CHOISI A PRIORI**	en DF 3 bouffée	en DN 5 bouffée	D F 3 Abaque n°	 distance	D N 5 Abaque n°	 distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		6 ou 7	450m	6 ou 7	317m
	Z 2		6 ou 7	1 396m	6 ou 7	867m
	Prise en compte du gradient de vent					
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**		11	327m	11	230m
	Z 2		11	1 012m	11	628m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.					

			DF 3		DN 5	
Temps de transfert au point d'observation	t t 1=	Z1 / u =	**109s**	non valide	**46s**	non valide
Si Temps fuite<Temps tranfert=Bouffée;si Temps fuite>4 fois temps tranfert=Panache	t t 2 =	Z2 / u =	**337s**	non valide	**126s**	non valide

SCENARIO 25 - - FUITE SOUPAPE DE SECURITE AVEC ECHAPEMENT EN PLEIN AIR (Suite et fin)

Emission retenue	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	intermédiaire	panache

Définition des zones de concertation Z 1 et Z 2 **DISTANCES RETENUES**		D F 3 Abaque n°	 distance	D N 5 Abaque n°	 distance
Z 1 =zone la plus proche de l'installation à risque ou l'on peut rencontrer les premiers effets mortels pour l'homme	**Z 1**		131m		73m
	Z 2		654m		281m
	Prise en compte du gradient de vent				
Z 2 =zone la plus éloignée de l'installation ou l'on peut rencontrer les premiers effets irréversibles pour la santé.	**Z 1**	11	115m	11	61m
	Z 2	11	576m	11	234m
avec **DF 3** =diffusion faible vitesse vent =3 m/s avec **DN 5** =diffusion normale vitesse vent =5 m/s	Le gradient de vent **intervient** si on **n'applique pas** de correction de hauteur d'émission.				

	DF 3	DN 5
Z1	4,86	4,07
Z2	4,07	5,77

Hauteur minimale de rejet en mètres pour que le nuage ne retombe pas au sol

SCENARIO 25 - RESUME des ZONES de CONCERTATION A RETENIR en STANDARD

Fuite sortie soupape	JTEILLES MP et/ou	
en conditions	**DF3**	**DN5**
Z1 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	115m	61m
Z2 pour une hauteur de rejet de **0 m** gradient de vent pris en compte	576m	234m
Z1 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	81m	66m
Z2 pour une hauteur de rejet de **2,5 m**	628m	peu réduit
Z1 pour une hauteur de rejet de **5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **5 m**	509m	277m
Z1 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **7, 5 m**	<à 10m	253m
Z1 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **10 m**	<à 10m	202m
Z1 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **12,5 m**	<à 10m	<à 10m
Z1 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m
Z2 pour une hauteur de rejet de **15 m**	<à 10m	<à 10m

Emission retenue étant du type	DF 3	DN 5
Pour Z1	panache	panache
Pour Z2	intermédiaire	panache

COMMENTAIRES:

Atlantic Refrigeration Consulting

Annexe 9

Analyse détaillée des risques (ADR) - Arbres d'évènements génériques

Frédéric LE BRONNEC
23/02/2021

Table des matières

1. Eléments de base 2

2. Evaluation des fréquences des évènements initiateurs 4

3. Evaluation des fréquences des évènements redoutés centraux (ERC) 5

4. Résumé des fréquences annuelles de défaillances des équipements 7

5. Arbres relatifs à la dispersion toxique 9

5.1. A – Perte de confinement NH3 HP à l'extérieur de la salle des machines 11

5.2. B – Perte de confinement par relâchement d'NH3 par les soupapes en cas d'incendie 12

5.3. C - Perte de confinement MP/BP à l'intérieur de la salle des machines 13

5.4. D - Perte de confinement HP à l'intérieur d'un local (SDM ou annexe) 14

5.5. E - Perte de confinement HP dans l'édicule (zone condensation) 15

Cette annexe présente des arbres d'événements génériques à partir des ERC « fuite d'ammoniac ».

Ces arbres constituent des nœuds-papillons génériques qui doivent être adaptés ensuite à chaque site (équipements présents, localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de la salle des machines…).

Les événements directement en amont des ERC ont été représentés ; chaque événement en amont (fuite sur un équipement) est associé à un des arbres des causes présentés en annexe 5. Les équipements identifiés sont ceux potentiellement présents dans une salle des machines. Mais la configuration sur un site donné peut être différente (condenseur en terrasse, évaporateur au niveau des utilisateurs...).

On évaluera le phénomène dangereux à partir du seul événement en amont de l'ERC majorant pour ses effets.

1. Eléments de base

Cette **A**nalyse **D**étaillée des **R**isques (**ADR**) fait suite à l'**A**nalyse **P**réliminaires des **R**isques (**APR**) effectuée précédemment selon la méthode AMDEC qui a été présentée dans l'annexe 5.

L'APR a permis d'aboutir à l'identification générale des risques pouvant exister sur les installations frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac. Cette première étape a conduit à l'identification des phénomènes dangereux susceptibles de se produire suite à l'occurrence d'événements non désirés, eux-mêmes résultant de la combinaison de dysfonctionnements, dérives ou agressions extérieures sur le système.

Les résultats obtenus à la suite de la première étape ont conduit à la mise en place d'un certain nombre de barrières de prévention et de protection.

Après la mise en place de ces barrières de prévention et de protection, différents scénarii de fuite ont été envisagés afin de vérifier que les cibles extérieures ne soient pas atteintes. Il apparaît que les zones de danger restent bien à l'intérieur de la limite de propriété.

L'analyse détaillée des risques (**ADR**) qui suit, consistera en un examen approfondi des accidents majeurs potentiels identifiés précédemment lors de l'APR, des scénarii (séquences d'événements) susceptibles d'y conduire et des mesures de maîtrise des risques associées.

Relativement à la réduction des risques, il s'agit à ce stade de s'assurer de la **performance et de l'adéquation des barrières de sécurité** envisagées face aux risques.

Tous les phénomènes dangereux identifiés, au sens de l'arrêté du 29 septembre 2005, sont issus d'une perte de confinement des circuits frigorifiques se traduisant par une libération de l'ammoniac dans l'atmosphère. L'ammoniac libéré en grande quantité dans l'atmosphère est une substance toxique pouvant produire des dommages à des cibles vivantes (personnes, animaux ou autres éléments vulnérables) ou matérielles.

Dans sa démarche d'évaluation du risque, l'INERIS propose d'estimer la probabilité à partir de la fréquence d'occurrence des événements initiateurs en prenant en compte le niveau de confiance des barrières de sécurité jugées performantes et adaptées. C'est ce principe qui a été retenu dans ce dossier.

Dans l'approche de chaque ERC, apparaît la probabilité d'occurrence de l'ERC concerné.

Cette perte de confinement pouvant survenir sur l'installation frigorifique correspond donc à l'événement redouté central (E.R.C) défini dans le glossaire établi par l'INERIS.

Désignation	Signification	Définition	Exemles
E.in.	Evènement indésirable	Dérive ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitation usuelles définies.	Élévation anormale de la température ambiante ou manque d'eau ou panne ventilateur, agression mécanique.
E.C.	Evènement Courant	Événement admis survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation.	Encrassement condenseur ou entartrage.
E.I.	Evènement Initiateur	Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique.	Montée en pression.
E.R.C.	Evènement Redouté Central	Perte de confinement sur un équipement dangereux ou perte d'intégrité physique d'une substance dangereuse.	Rupture, brèche d'une canalisation ou casse d'un compresseur.
E.R.S.	Evènement Redouté Secondaire	Conséquence directe de l'événement redouté central, l'événement secondaire caractérise le terme source de l'accident.	Formation d'un nuage d'ammoniac, d'une flaque, projection de pièces.
Ph.D.	Phénomène Dangereux	Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs.	Dispersion du nuage d'ammoniac dans le voisinage, explosion dans SDM, blessures corporelles.
E.M.	Effet Majeur	Dommages occasionnés à des personnes, à l'environnement ou à des biens par les effets d'un phénomène dangereux.	Effets létaux ou irréversibles sur la population et synergies d'accident.
Barrières ou Mesures de Prévention		Barrières ou mesures visant à prévenir la perte d'un confinement ou d'intégrité physique.	Peinture anti corrosion, pressostat HP, contrôle débit eau, etc.
Barrières ou Mesures de Protection		Barrières ou mesures visant à limiter les conséquences de la perte de confinement ou d'intégrité physique.	Vannes de sectionnement automatiques, confinement des bâtiments, moyens intervention, etc.

Tableau : 9.1

2. Evaluation des fréquences des évènements initiateurs

Les fréquences des Événements Initiateurs (EI) sont déterminées à partir des bases de données connues et par retour d'expérience.

L'évaluation des fréquences d'occurrence des causes des événements est faite selon une approche semi quantitative selon la grille de fréquence suivante, extraite du rapport DRA 34-opération b et c.

Pour les installations frigorifiques utilisant l'ammoniac (NH3) comme fluide frigorigène nous pouvons les résumer de la façon suivante.

Classe de fréquence	Traduction qualitative	Traduction quantitative
-2	Événement susceptible de se produire ou se produisant **tous les jours ou toutes les semaines**.	Environ **100** fois par an
-1	Événement susceptible de se produire ou se produisant **tous les mois**.	Environ **10** fois par an
0	Événement susceptible de se produire ou se produisant **tous les ans**. S'est déjà produit sur le site ou de nombreuses fois sur d'autres sites.	Environ **1** fois par an
1	Événement **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**.	Environ $\mathbf{10^{-1}}$ fois par an
2	Événement **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**.	Environ $\mathbf{10^{-2}}$ fois par an
3	Événement **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**.	Environ $\mathbf{10^{-3}}$ fois par an ou < à $\mathbf{10^{-3}}$ fois par an

Tableau : 9.2

REMARQUE : il est important lorsque l'événement se produit plusieurs fois par an, de lui attribuer une classe inférieure à 0 afin de ne pas sous-estimer ensuite la fréquence d'occurrence des phénomènes dangereux liés à des causes fréquentes.

Les barrières de sécurité (EIPS) remplissant les fonctions de sécurité sont indépendantes des organes de régulation. Elles sont déterminées en fonction de leur **efficacité, de leur temps de réponse et de leur niveau de confiance (NC)**. Voir annexe 7.

Efficacité = Aptitude d'une barrière technique de sécurité à remplir la fonction de sécurité pour laquelle elle a été choisie, dans un contexte d'utilisation et pendant une durée donnée. Cette aptitude s'exprime en pourcentage d'accomplissement de la fonction définie, en considérant un fonctionnement normal. Ce pourcentage peut varier pendant la durée de sollicitation de la barrière technique de sécurité.

Temps de réponse : Intervalle de temps entre le moment où une barrière de sécurité, dans son contexte d'utilisation, est sollicitée et le moment où la fonction de sécurité assurée par cette barrière de sécurité est réalisée dans son intégralité. Il s'exprime en seconde.

Niveau de confiance (NC) : Adaptation des exigences des normes **NF-EN 61508** et CEI 61511 Etude de l'architecture des systèmes suivant les tableaux donnés dans la norme.	**Proportion de défaillance en sécurité**	**Tolérances aux anomalies matérielles (redondance ou non)**		
		0	**1**	**2**
	< 60%	**NC1 (10^{-1})**	**NC2 (10^{-2})**	**NC3 (10^{-3})**
	60% à < 90%	**NC2 (10^{-2})**	**NC3 (10^{-3})**	**NC4 (10^{-4})**
	90% à < 99%	**NC3 (10^{-3})**	**NC4 (10^{-4})**	**NC4 (10^{-4})**
	> 99%	**NC3 (10^{-3})**	**NC4 (10^{-4})**	**NC4 (10^{-4})**

Tableau : 9.3

3. Evaluation des fréquences des évènements redoutés centraux (ERC)

L'évaluation des fréquences des **E**vénements **R**edoutés **C**entraux est faite selon une approche semi quantitative à partir des classes de fréquence d'occurrence des causes et des **probabilités de défaillance des barrières techniques ou organisationnelles qui interviennent en prévention**.

On peut choisir :

- D'évaluer la probabilité d'occurrence de l'ERC pour **une seule cause**.
- D'évaluer la probabilité d'occurrence de l'ERC en tenant compte de **l'ensemble des causes**. Il y a alors agrégation des scénarios (des causes) pour évaluer la fréquence de l'ERC.

Etant donné le nombre relativement varié de matériel installé sur les installations frigorifiques, nous choisirons de faire une approche de l'évaluation en tenant compte de **l'ensemble des causes**.

Il faut dans un premier temps évaluer les fréquences d'occurrence de l'ERC dues à **chaque cause** de la façon suivante.

Les évaluations résultent des fréquences des causes précédemment évaluées et des probabilités de défaillance des barrières.

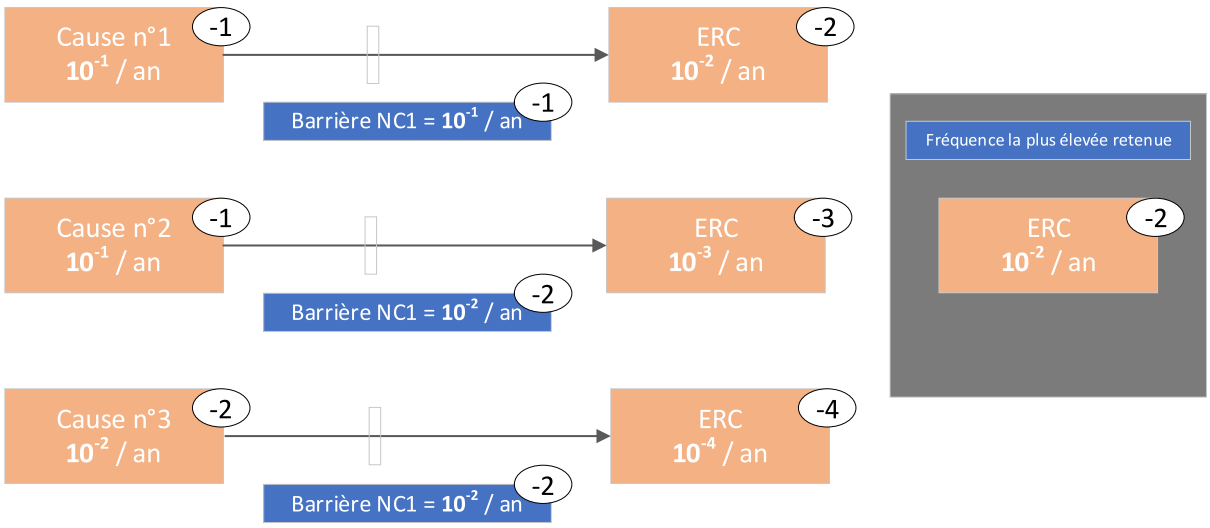
Une méthode d'évaluation, telle que décrite dans le rapport DRA34 – opérations b et c [7] est présentée ci-dessous.

Pour une cause donnée, la fréquence d'occurrence a été estimée à **Fn**, correspondant approximativement à une fréquence d'occurrence de l'ordre de **10^{-n} /an**.

Les barrières en prévention réduisent la probabilité d'occurrence d'avoir un événement redouté central : si le niveau de confiance de la barrière est de x, correspondant approximativement à une probabilité de défaillance à la sollicitation de **10^{-x}**, la fréquence d'occurrence de l'ERC est alors égale à **$10^{-(n+x)}$**, correspondant à une classe de fréquence ne **n + x**.

Si plusieurs barrières indépendantes agissent en prévention, le niveau de confiance global (somme des niveaux de confiance des différentes barrières) sera pris en compte.

Puis on agrège les différentes causes, **en retenant la fréquence la plus élevée** quel que soit le nombre de scénarii.



4. Résumé des fréquences annuelles de défaillances des équipements

Résumé des fréquences annuelles de défaillance des équipements (Issu des différentes littératures reprises par l'INERIS).

Matériel	Qté matériel semblable	Fréquence unitaire	Fréquence globale
Défaillance d'un joint ou vanne	1	0,001	0,001
Défaillance d'un flexible de charge	1	0,01	0,01
Défaillance d'une boucle de régulation	1	0,01	0,01
Défaillance d'un régulateur	1	0,01	0,01
Défaillance d'un capteur de niveau	1	0,01	0,01
Défaillance d'un capteur de débit	1	0,01	0,01
Défaillance d'une électrovanne	1	0,01	0,01
Défaillance relais électrique	1	0,01	0,01
Capteur de pression / Pressostat simple	1	0,01	0,01
Transmetteur de pression	1	0,01	0,01
Ouverture intempestive d'une soupape	1	0,001	0,001
Défaillance d'une vanne de décharge de pression	1	0,01	0,01
Défaillance de fermeture d'une vanne de sécurité	1	0,01	0,01
Capteur de pression / Pressostat homologué	1	0,001	0,001

Tableau : 9.4

Nombre d'heures de fonctionnement annuel **8 800** **Opération, évènement naturel ou incontrôlé**	Nombre d'opération / an	Durée de l'opération en heures	Fréquence unitaire	Fréquence globale
Tremblement de terre pouvant entraîner rupture de tuyaux	1	1	0,000 001	0,000 001
Inondation	1	1	1E-07	1E-07
Chute d'objets volants	1	1	0,000 010	0,000 010
Défaillance d'un réservoir nu non calorifugé	1	1	0,000 001	0,000 001
Rupture guillotine sur tuyauterie diam<49mm, par m/an	1	1	0,000 001	0,000 001
Rupture guillotine sur tuyauterie 149<diam<49mm, par m/an	1	1	5E-07	5E-07
Rupture guillotine sur tuyauterie 299<diam<149mm, par m/an	1	1	2E-07	2E-07
Pour une canalisation calorifugée appliquer un coef de	1	1	10	10
Fuite moyenne sur tuyauterie diam<49mm, par m/an	1	1	0,000 005	0,000 005
Fuite moyenne sur tuyauterie 149<diam<49mm, par m/an	1	1	0,000 001	0,000 001
Fuite moyenne sur tuya. 299<diam<149mm, par m/an	1	1	7E-07	7E-07
Intervention d'un tiers (impact véhicule)	1	1	0,001	0,001
Feu externe de grande ampleur	1	1	0,010	0,010
Erreur opérateur sur manœuvre de vannes	12	1	0,01	1,36E-05
Erreur opérateur sur soutirage d'huile des bouteilles BP	12	1	0,1	0,000 136
Erreur opérateur sur vidange huile compresseur	1	1	0,1	1,14E-05
Erreur opérateur sur appoint huile compresseur	12	2	0,1	0,000 273

Tableau : 9.5

5. Arbres relatifs à la dispersion toxique

Les arbres correspondent aux ERC suivants classés dans un ordre décroissant (du plus important au moins important), repérés sur ces installations de réfrigération pourraient provenir essentiellement de :

- Fuite liquide HP dans la salle des machines ;
- Fuite gaz HP dans la salle des machines ;
- Fuite liquide BP dans la salle des machines ;
- Fuite gaz BP dans la salle des machines.

Les rejets d'ammoniac peuvent s'effectuer en trois zones :

- Extérieur (terrasse ou au sol) ;
- Salle des machines ;
- Utilisateurs et/ou gaines techniques entre la salle des machines et les utilisateurs.

Les mesures de maîtrise des risques possibles sur la dispersion toxique ont été identifiées sur le nœud-papillon (sous forme de fonction de sécurité). Celles-ci se retrouvent dans les tableaux d'APR présentés en annexe 5 :

- Réduction du temps de fuite : détection humaine et/ou détection ammoniac conduisant à l'arrêt de l'installation et/ou à la fermeture de vannes via un système de traitement ;
- Réduction des effets : détection humaine et/ou détection ammoniac conduisant à la mise en route de l'extraction forcée via un système de traitement.

Les arbres présentés correspondent à des pertes de confinement dans la salle des machines.

Les arbres associés à des fuites hors de la salle des machines (en extérieur ou au niveau des utilisateurs et/ou des gaines techniques) seront simplifiés dans la mesure où :

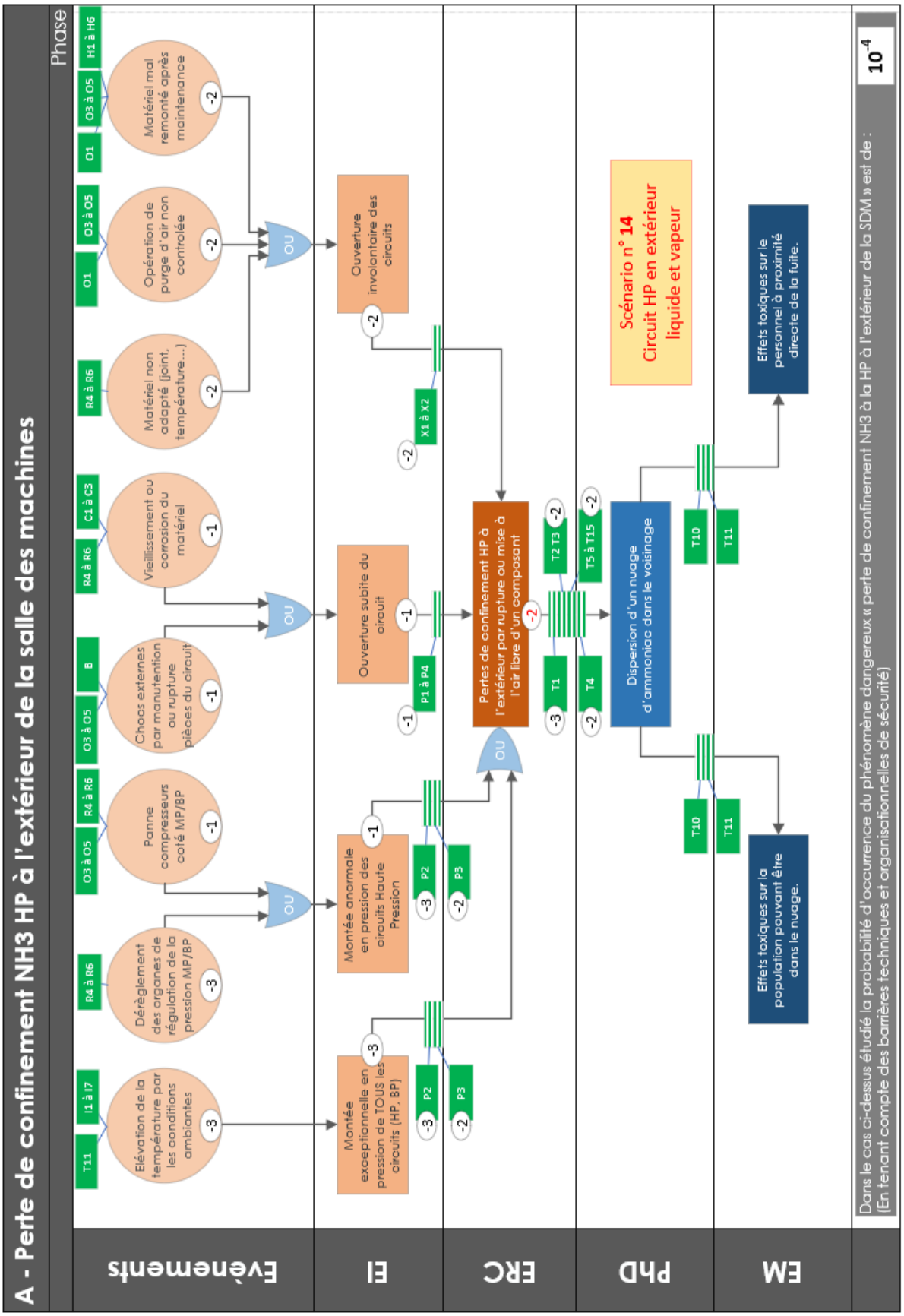
- La MMR « réduction des effets par mise en route de l'extraction » n'existe pas (sauf cas particulier éventuel des fuites en combles techniques ventilés) ;
- Certains équipements indiqués dans les arbres d'événements en salle des machines ne sont pas implantés à l'extérieur (compresseur…).

Rep.	ERC (Installation de réfrigération)	Scénario	Remarques
	Perte de la charge d'ammoniac HP (Liquide ou vapeur) EN EXTERIEUR au niveau des condenseurs évaporatifs (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).		Non retenu, car les tuyauteries des condenseurs sont dans l'édicule.
E	Perte de la charge d'ammoniac à l'état liquide au niveau du réservoir HP dans local ANNEXE (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).	**X1**	
A	Perte de la charge d'ammoniac à l'état liquide ou vapeur HP à l'intérieur d'un condenseur évaporatif (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).	**X4**	
B	Perte de la charge d'ammoniac par les soupapes de sécurité des installations, en cas d'incendie.	**X5**	
C	Perte de la charge d'ammoniac à l'état liquide au niveau d'une bouteille BP ou MP dans la salle des machines (à l'arrêt et minoré en fonctionnement).	**X2 et X3**	
D	Perte de la charge d'ammoniac au niveau d'une station de vannes (liquide ou vapeur) dans les combles (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).	**X6 et X7**	
E	Perte de la charge d'ammoniac à l'état liquide HP au niveau des connections d'un condenseur dans l'édicule fermé ou dans la SDM (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).	**X1**	
E	Perte de la charge d'ammoniac à l'état vapeur HP au niveau des connections d'un condenseur dans l'édicule fermé ou dans la SDM (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).	**X0**	
	Perte de la charge d'ammoniac à **l'état liquide HP** au niveau du condenseur de la PAC dans la SDM (**en fonctionnement** et minoré à l'arrêt).		Non retenu, car pas de PAC sur l'installation

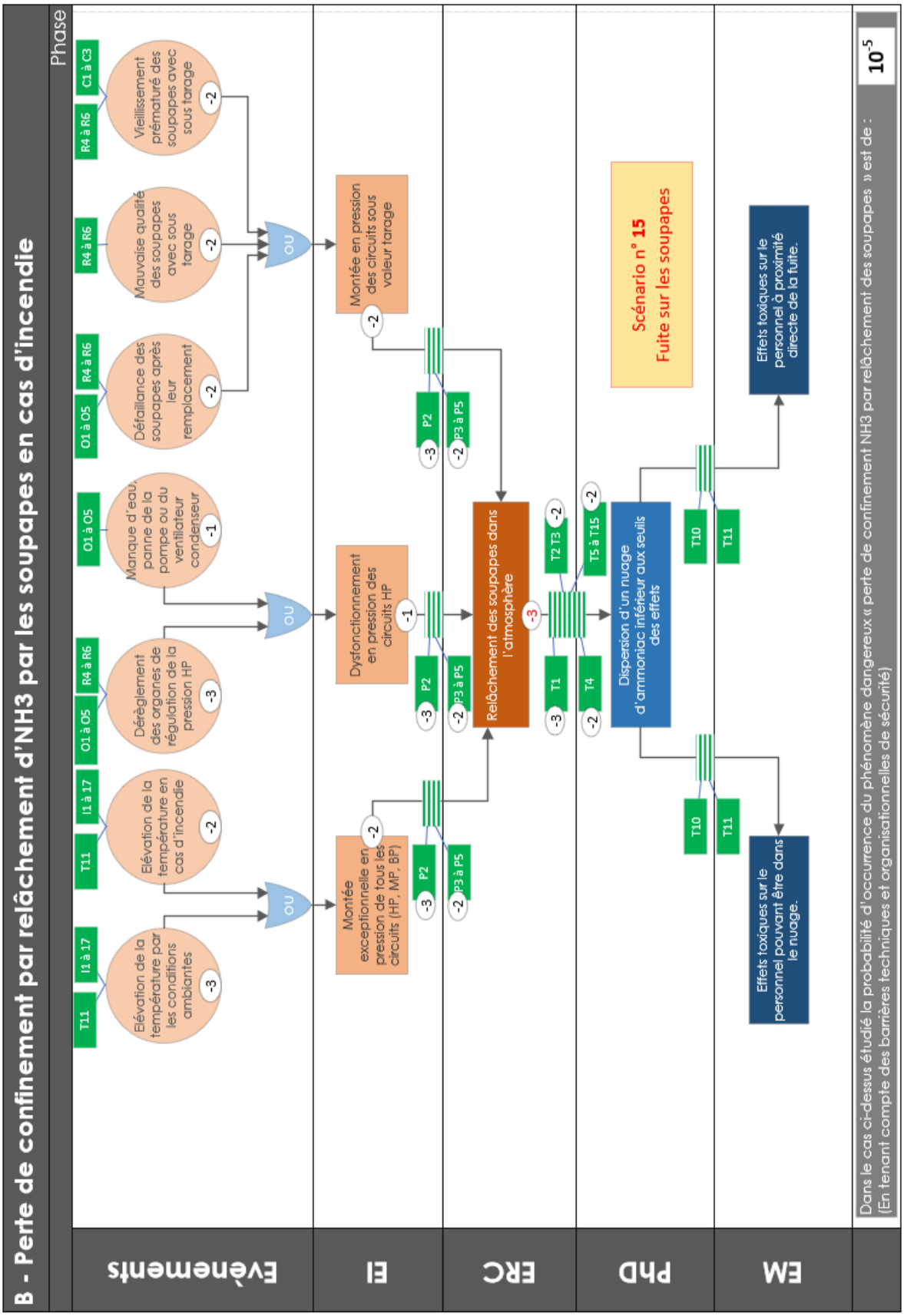
Tableau : 9.6

Rappel *: Scénario XY ; X n° du système (des installations peuvent être constitués de plusieurs systèmes) ; Y correspond au scénarii et ERC ci-dessus.*

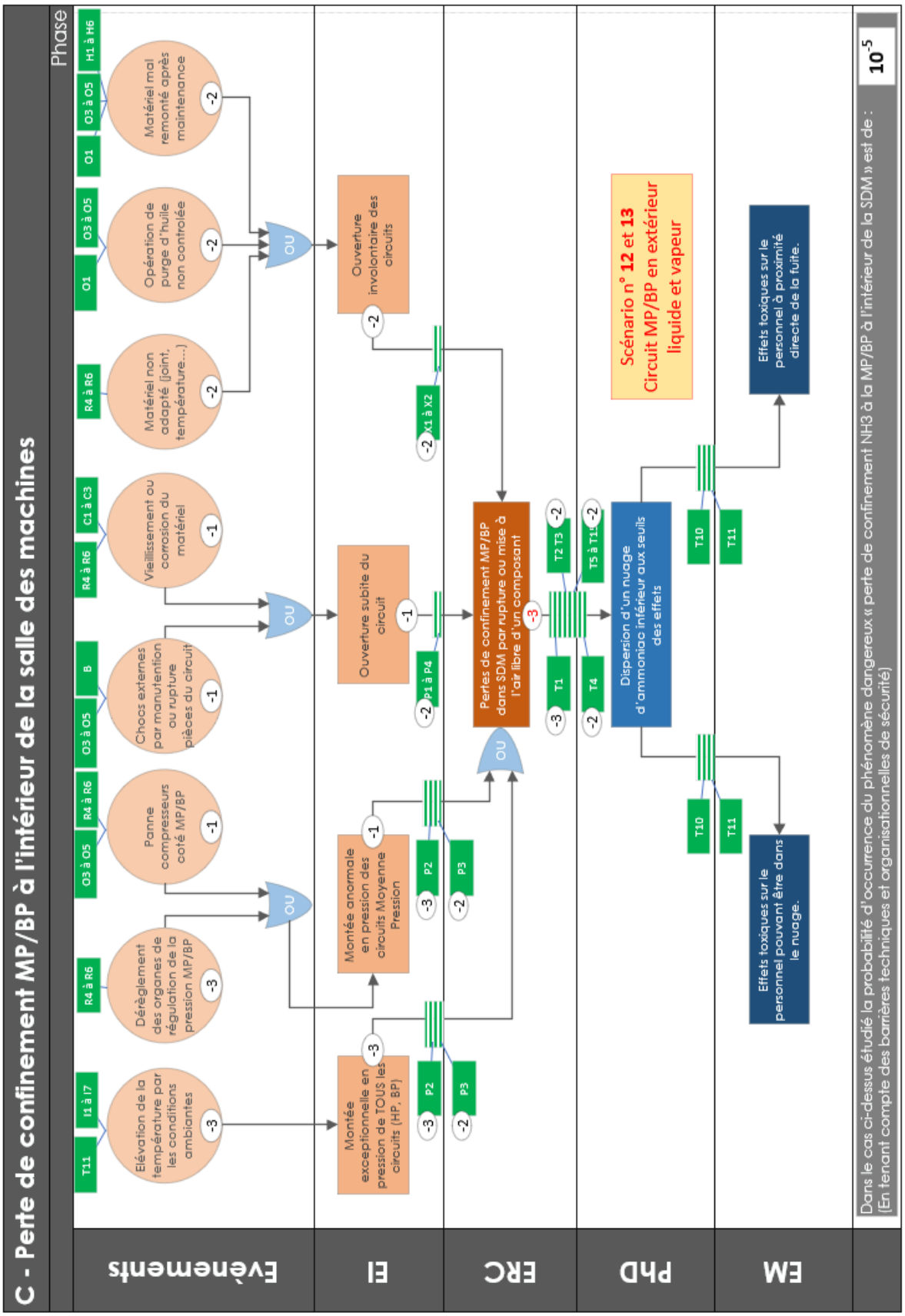
5.1. A – Perte de confinement NH3 HP à l'extérieur de la salle des machines



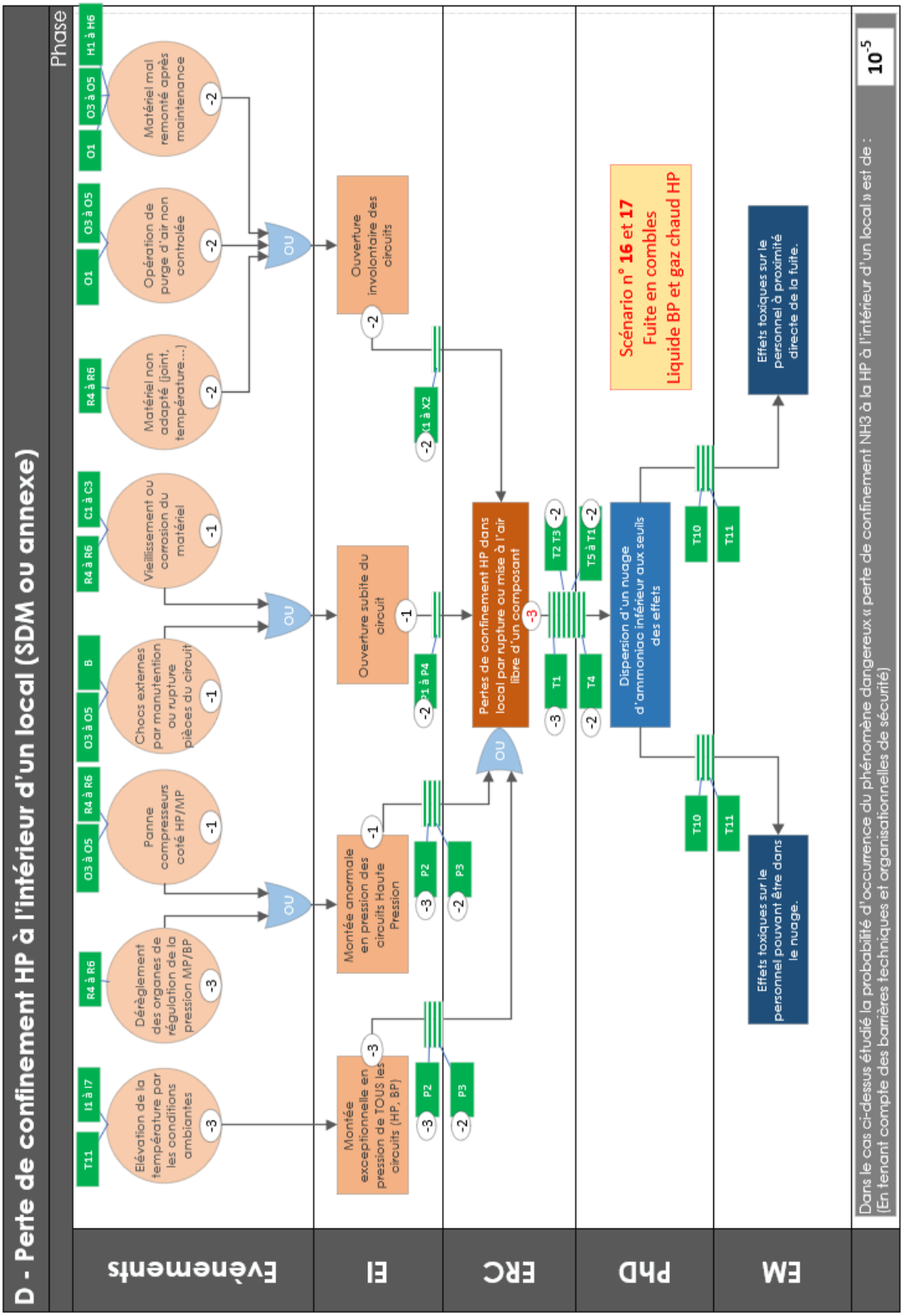
5.2. B – Perte de confinement par relâchement d'NH3 par les soupapes en cas d'incendie



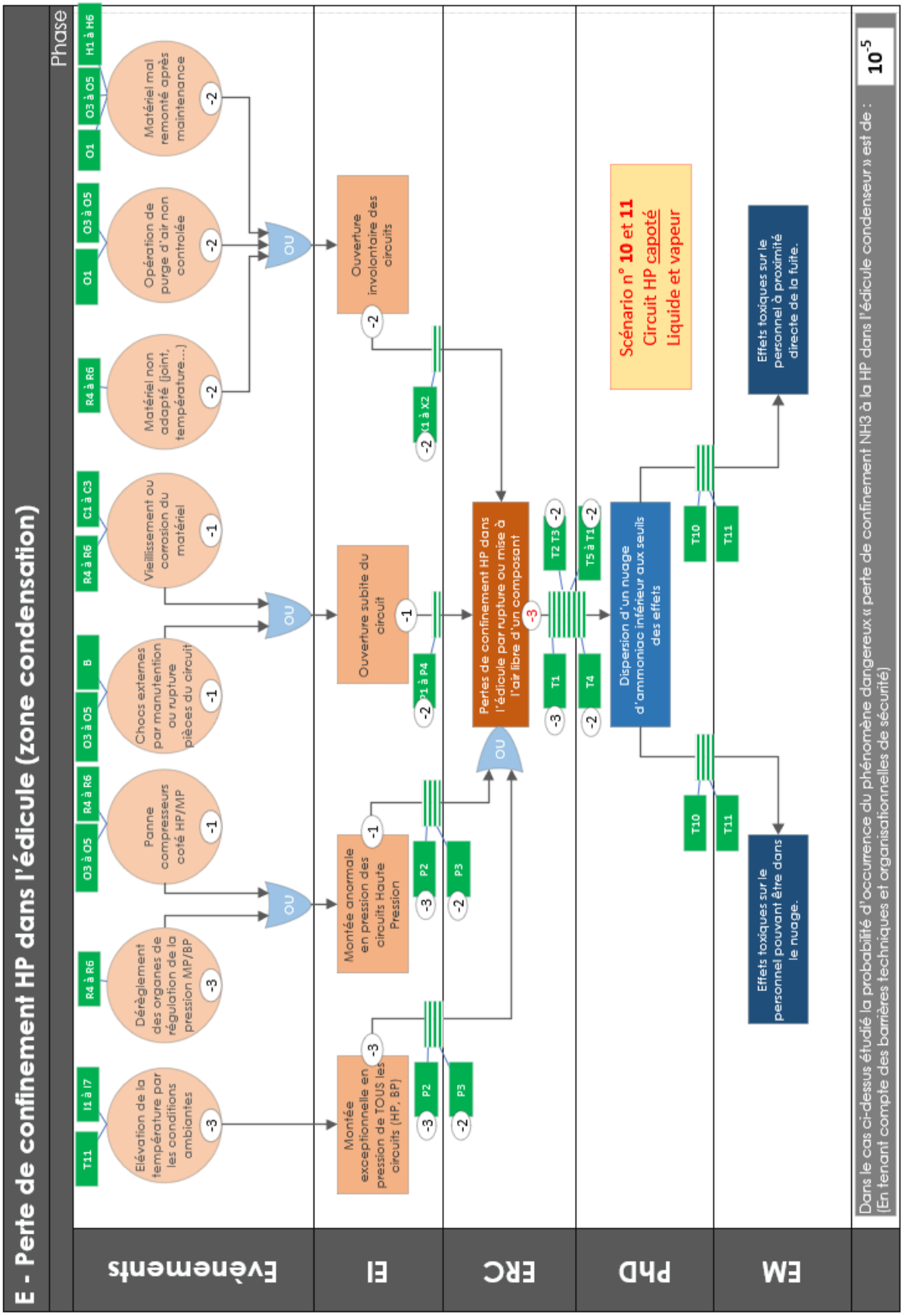
5.3. C - Perte de confinement MP/BP à l'intérieur de la salle des machines



5.4. D - Perte de confinement HP à l'intérieur d'un local (SDM ou annexe)



5.5. E - Perte de confinement HP dans l'édicule (zone condensation)



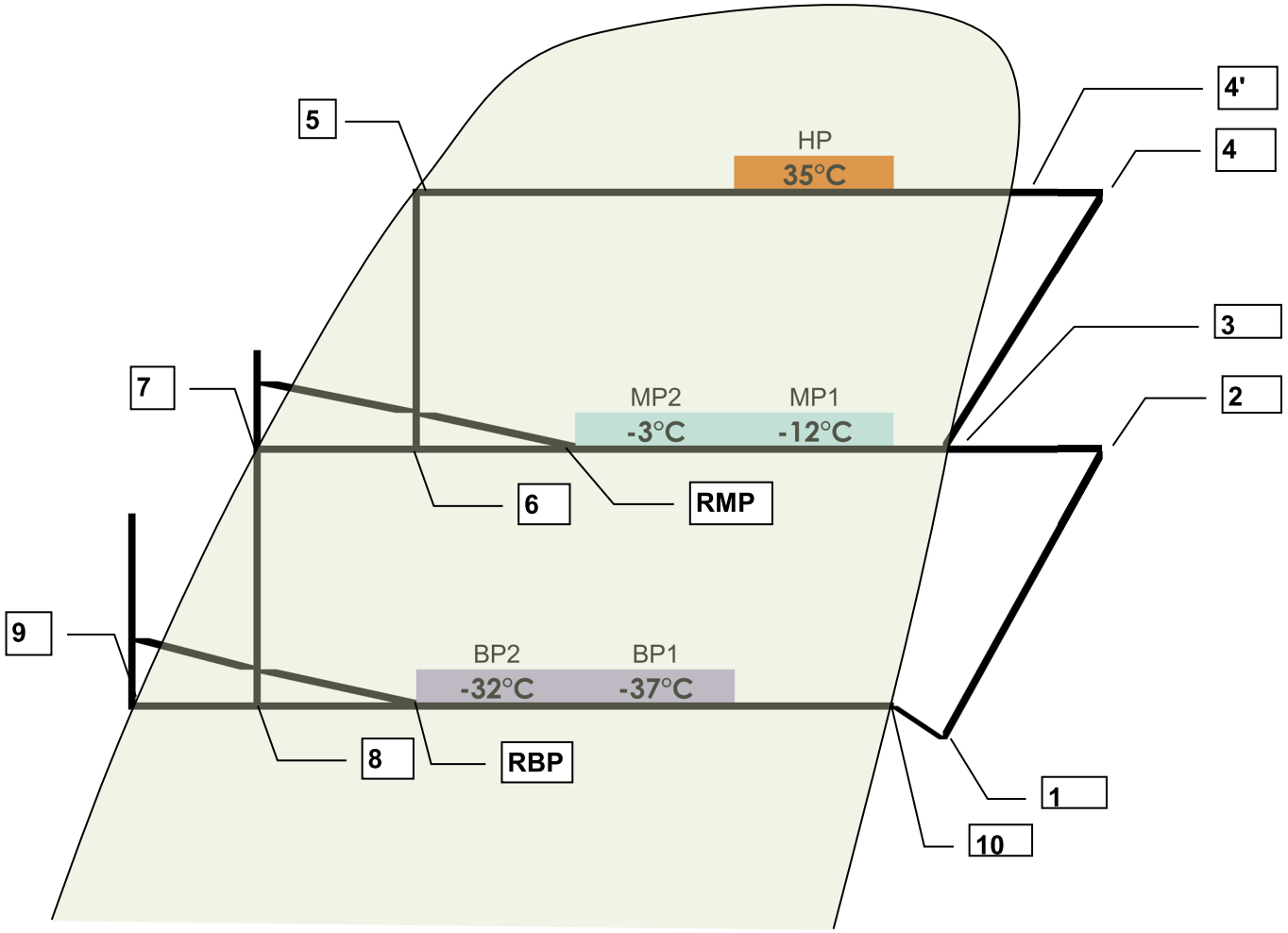
Annexe 10 - Calculs de répartions de charge d'ammoniac et débit masse SDM1

Circuit Haute Pression		**35°C**
Circuit Moyenne Pression 1		**-12°C**
Circuit Moyenne Pression 2		**-3°C**
Circuit Basse Pression 1	CO2	**-37°C**
Circuit Basse Pression 2	CO2	**-32°C**
***Température de bulbe humide**		23°C

**necessaire à la sélection des condenseurs évaporatifs*

Ce document a pour objectif de déterminer les masses d'ammoniac en circulation pour réaliser les calculs de scénarii dans l'annexe 8 (caractérisation de l'intensité)

Diagramme enthalpie-pression h, lg p



DONNEES DE BASE POUR LES CALCULS

Fluide R717		C1	C2	
Température d'évaporation BP (CO2)	θ_o	-37	-32	°C
Température d'évaporation Eco / MP	θ_o	-12	-3	°C
Température de condensation HP	θ_k	35	35	°C
Surchauffe à l'aspiration BP		1	1	°C
Pertes de charges à l'aspiration BP		1	1	°C
Surchauffe à l'aspiration MP		1	1	°C
Pertes de charges à l'aspiration MP		1	1	°C
Surchauffe au refoulement		50	50	°C
Sous-refroidissement		1	1	°C
Taux de recirculation MP	τ	1,2	1,2	
Taux de recirculation BP	τ	4	4	

	Puissance BP kW	Puissance MP kW	Puissance HP kW	Débit masse BP kg/s	Débit masse MP kg/s	Débit masse HP kg/s
$Q_{oBPbooster}$	-			-		
Q_{oBPECO}	-			-		
$\sum Q_{oBP}$	-			-		
Q_{kBP}		-				
Q_{oMP1}		6 314			5,84	
Q_{oECO}					-	
Q_{oMP2}		2 709			2,48	
Q_k			11 052			8,32
Q_{HR}			1 225			8,32

Débit masse		BP kg/s	MP kg/s
	Recirculation 1	0,00	5,83
	Recirculation 2	0,00	2,57

POINTS DU CYCLE		1	2	3	4	4'	5	6	7	8	9	10	
ETAT		VSC	VSC	VS	VSC		LSR	L + V	LS	L + V	LS	VS	
DONNEES THERMODYNAMIQUES													
Température	θ	-36	13	-11	85		34	-12	-12	-37	-37	-37	°C
Pression	P	0,80	2,68	2,57	13,53	13,53	13,53	2,68	2,68	0,84	0,84	0,84	*Bars absolu*
Enthalpie	h	1411	1502	1444	1623	1476	362	362	143	143	29	1410	*kJ/kg*
Masse volumique	ρ	0,71	2,00	2,13	8,34		590,50	12,43	655,87	8,89	686,26	0,75	*kg/m3*
Volume massique	v	1,415	0,501	0,470	0,120		0,002	0,080	0,002	0,112	0,0015	1,342	*m3/kg*
Titre	x							0,17		0,08			
DONNEES THERMOCINETIQUES													
Chaleur spécifique	c						4,819		4,551		4,470		*kJ/kg.K*
conductivité thermique	λ						0,458		0,567		0,625		*W/m.K*
viscosité dynamique	μ	0,00908	0,00999	0,00995	0,01178		0,12859		0,21667		0,28229	0,00911	*mPA.s*
viscosité cinématique	υ	12,849	5,004	4,676	1,412		0,218		0,330		0,411	12,225	*mm²/s*

POINTS DU CYCLE		1	2	3	4	4'	5	6	7	8	9	10	
ETAT		VSC	VSC	VS	VSC		LSR	L + V	LS	L + V	LS	VS	
DONNEES THERMODYNAMIQUES													
Température	θ	-31	22	-2	85		34	-3	-3	-32	-32	-32	°C
Pression	P	1,03	3,84	3,69	13,53	13,53	13,53	3,84	3,84	1,08	1,08	1,08	*Bars absolu*
Enthalpie	h	1419	1514	1453	1623	362	362	362	186	186	51	1418	*kJ/kg*
Masse volumique	ρ	0,90	2,80	3,00	8,34		590,50	20,91	644,00	9,49	680,53	0,95	*kg/m3*
Volume massique	v	1,113	0,357	0,333	0,120		0,002	0,048	0,002	0,105	0,0015	1,057	*m3/kg*
Titre	x							0,14		0,10			
DONNEES THERMOCINETIQUES													
Chaleur spécifique	c						4,819		4,584		4,486		*kJ/kg.K*
conductivité thermique	λ						0,458		0,546		0,613		*W/m.K*
viscosité dynamique	μ	0,00925	0,01031	0,01027	0,01178		0,12859		0,19610		0,26838	0,00929	*mPA.s*
viscosité cinématique	υ	10,294	3,682	3,426	1,412		0,218		0,304		0,394	9,815	*mm²/s*

Compresseur MP1	-12	Qo kW	Qa kW	Qk kW	m_{BP} kg/s	m_{ECO} kg/s	m_{HP} kg/s	m^3/h	
MP11 - GEA - SP1 YB-5X		2 105	483	2 588	1,947		1,947	3 294	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP12 - GEA - SP1 YB-5X		2 105	483	2 588	1,947		1,947	3 294	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP13 - GEA - SP1 YB-5X		2 105	483	2 588	1,947		1,947	3 294	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP14 - GEA - SP1 YB-5X		-	-	-	0,000		0,000	-	Secours
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
		6 314	**1 450**	**7 764**	**5,840**		**5,840**	**9 881**	

Compresseur MP2	-3	Qo kW	Qa kW	Qk kW	m_{BP} kg/s	m_{ECO} kg/s	m_{HP} kg/s	m^3/h	
MP21 - GEA - SP1 VB-5X		1 741	380	2 121	1,596		1,596	2 700	à 3600 tr/min
MP22 - GEA - V 1400		968	198	1 167	0,888		0,888	1 502	à 1200 tr/min
MP23 - GEA - V 1400		-	-	-	0,000		0,000	-	Secours
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
		2 709	**579**	**3 288**	**2,484**		**2,484**	**4 202**	

Compresseur BP avec Economiseur	-32								
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
		-	-	-	-	-	-	-	

Compresseur BP Booster	-37								
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
		-	-	-	-		-	-	

Répartition de charge d'ammoniac

Désignation			Ø ext. mm	L m	H liq. mm	Volume litres	Taux	Quantité calculée kg	Quantité imposée kg	Quantité kg
Circuit à la Haute pression										**1 033**
Réseau de tuyauterie HP (flotteurs inclus)										128
Condenseur adiabatique n°1	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur adiabatique n°2	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur adiabatique n°3	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur adiabatique n°4	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur adiabatique n°5	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur adiabatique n°6	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur adiabatique n°7	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur adiabatique n°8	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur à plaques n°1	Thermowave	TL0500 TDGL-1000				95	15%	8,5		8
Condenseur à plaques n°2	Thermowave	TL0500 TDGL-1000				95	15%	8,4		8
Désurchauffeur à plaques n°1	Thermowave	TL0650 KDKL-1250				132	5%	3,9		4
Désurchauffeur à plaques n°2	Thermowave	TL0650 KDKL-1250				132	5%	3,9		4
										-
Réservoir de liquide	Pas de réservoir HP									-
Divers (accessoires HP)							5%			
Circuit à la Moyenne pression										**2 897**
Réseau de tuyauterie MP										172
Séparateur de liquide MP1 (-12°C)	Horizontal		1 600	4 800	100					254
Séparateur de liquide MP2 (-3°C)	Horizontal		1 600	4 800	100					255
Bouteillon d'huile MP1	Horizontal		273	2 000						80
Bouteillon d'huile MP2	Horizontal		273	2 000						83
Circuit MP10										
Echangeur à plaques flood	Thermowave	TL0650 MCIM				251	80%	131,9		131,9
Echangeur à plaques flood	Thermowave	TL0650 MCIM				251	80%	131,9		131,9
Echangeur NH3/CO2 (Spray-chiller)	HA & PG					6 890	15%	753,6		753,6
Echangeur NH3/CO2 (Spray-chiller)	HA & PG					6 890	15%	753,6		753,6
Circuit MP20										
Echangeur à plaques flood	Thermowave	TL0650 MCKM				546	80%	281,3		281,3
Divers (accessoires MP)							5%			
Circuit à la basse pression										**-**
Réseau de tuyauterie BP (CO2)										-
	Pas de séparateur									-
	Pas de séparateur									-
	Pas de bouteillon									-
	Pas de bouteillon									-
Divers (accessoires BP)							0%			
Total Système 1 (kg)										**3 930**

COMPRESSEURS MP -3°C

	Marque	Ref.	Installé Qo - frigo		Qa-Absorbé	Q-Ref. Huile		Utilisation **Qo - frigo**		Qa-Absorb	Q-Ref. Huile	**Qk - Réjection**	
			fg/h	kW	kW	kW		*fg/h*	*kW*	kW	kW	kW	
MP21	GEA	SP1 VB-5X	1 497 260	1 741	380	115	100%	1 497 260	1 741	380	115	2 121	à 3600 tr/min
MP22	GEA	V 1400	832 824	968	198	-	100%	832 824	968	198	-	1 167	à 1200 tr/min
MP23	GEA	V 1400	832 824	968	198	-	0%	-	-	-	-	-	Secours
x	x	x	-	-	-	-	0%	-	-	-	-	-	Libre
x	x	x	-	-	-	-	0%	-	-	-	-	-	Libre
x	x	x	-	-	-	-	0%	-	-	-	-	-	Libre
	Total		3 162 908	3 678	777			**2 330 084**	**2 709**	**579**	**115**	**3 288**	

COMPRESSEURS MP -12°C sous refroidissement 38K

	Marque	Ref.	Installé Qo - frigo		Qa-Absorbé	Q-Ref. Huile		Utilisation **Qo - frigo**		Qa-Absorb	Q-Ref. Huile	**Qk - Réjection**	
			fg/h	kW	kW	kW		*fg/h*	kW	kW	kW	kW	
MP11	GEA	SP1 YB-5X	1 809 956	2 105	483	203	100%	1 809 956	2 105	483	203	2 588	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP12	GEA	SP1 YB-5X	1 809 956	2 105	483	203	100%	1 809 956	2 105	483	203	2 588	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP13	GEA	SP1 YB-5X	1 809 956	2 105	483	203	100%	1 809 956	2 105	483	203	2 588	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP14	GEA	SP1 YB-5X	1 809 956	2 105	483	203	0%	-	-	-	-	-	Secours
x	x	x	-	-	-	-	0%	-	-	-	-	-	Libre
x	x	x	-	-	-	-	0%	-	-	-	-	-	Libre
	Total		7 239 824	8 418	1 934			**5 429 868**	**6 314**	**1 450**	**610**	**7 764**	

CONDENSEUR HP

35°C Bulbe humide **23°C**

	Marque	Ref.	Installé		Efficacité						
			Qk - Réjection		Q-Ref. Huile		**Qk - Réjection**		Q-Ref. Huile	Qk - Réjection	
			kcal/h	kW			*kcal/h*	*kW*		kW	
COND1	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250	Condenseur adiabatique n°1
COND2	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250	Condenseur adiabatique n°2
COND3	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250	Condenseur adiabatique n°3
COND4	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250	Condenseur adiabatique n°4
COND5	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250	Condenseur adiabatique n°5
COND6	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250	Condenseur adiabatique n°6
COND7	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250	Condenseur adiabatique n°7
COND8	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250	Condenseur adiabatique n°8
COND11	Thermowave	TL0500 TDGL-1000	1 092 200	1 270	-	100%	1 092 200	1 270	-	1 270	Condenseur à plaques n°1
COND12	Thermowave	TL0500 TDGL-1000	1 092 200	1 270	-	100%	1 092 200	1 270	-	1 270	Condenseur à plaques n°2
DES1	Thermowave	TL0650 KDKL-1250	367 650	428	-	100%	367 650	428	-	428	Désurchauffeur à plaques n°1
DES2	Thermowave	TL0650 KDKL-1250	367 650	428	-	100%	367 650	428	-	428	Désurchauffeur à plaques n°2
	Total		11 519 700	13 395	-		**11 519 700**	**13 395**	**-**	**13 395**	

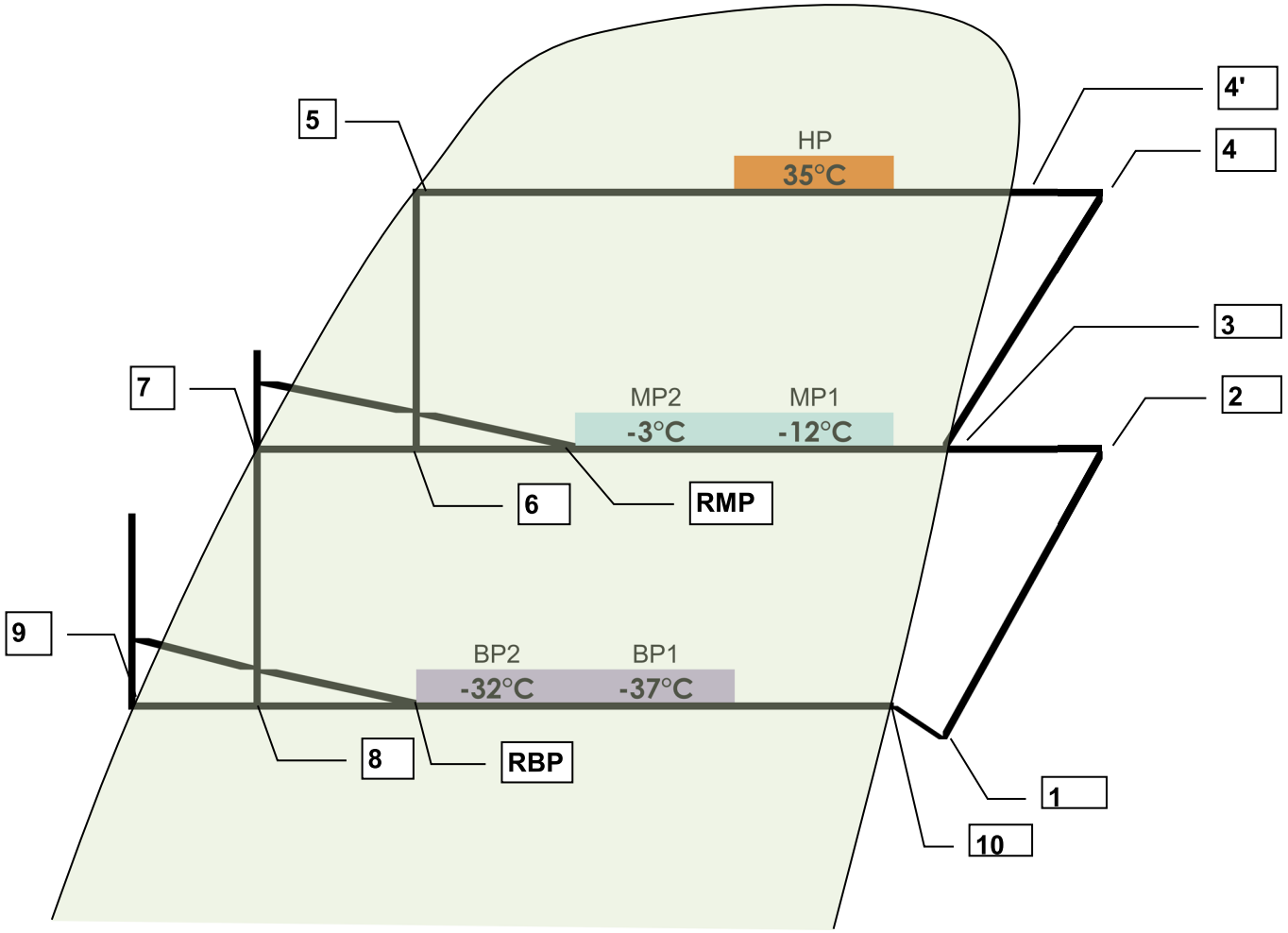
Annexe 10 - Calculs de répartions de charge d'ammoniac et débit masse SDM2, 3 et 4

Circuit Haute Pression		**35°C**
Circuit Moyenne Pression 1		**-12°C**
Circuit Moyenne Pression 2		**-3°C**
Circuit Basse Pression 1	CO2	**-37°C**
Circuit Basse Pression 2	CO2	**-32°C**
***Température de bulbe humide**		23°C

**necessaire à la sélection des condenseurs évaporatifs*

Ce document a pour objectif de déterminer les masses d'ammoniac en circulation pour réaliser les calculs de scénarii dans l'annexe 8 (caractérisation de l'intensité)

Diagramme enthalpie-pression h, lg p



DONNEES DE BASE POUR LES CALCULS

Fluide R717		C1	C2	
Température d'évaporation BP (CO2)	θ_o	-37	-32	°C
Température d'évaporation Eco / MP	θ_o	-12	-3	°C
Température de condensation HP	θ_k	35	35	°C
Surchauffe à l'aspiration BP		1	1	°C
Pertes de charges à l'aspiration BP		1	1	°C
Surchauffe à l'aspiration MP		1	1	°C
Pertes de charges à l'aspiration MP		1	1	°C
Surchauffe au refoulement		50	50	°C
Sous-refroidissement		1	1	°C
Taux de recirculation MP	τ	1,2	1,2	
Taux de recirculation BP	τ	4	4	

	Puissance BP kW	Puissance MP kW	Puissance HP kW	Débit masse BP kg/s	Débit masse MP kg/s	Débit masse HP kg/s
$Q_{oBPbooster}$	-			-		
Q_{oBPECO}	-			-		
$\sum Q_{oBP}$	-			-		
Q_{kBP}		-				
Q_{oMP1}		4 461			4,13	
Q_{oECO}					-	
Q_{oMP2}		2 709			2,48	
Q_k			8 805			6,61
Q_{HR}			973			6,61

Débit masse		
Recirculation 1	0,00	4,12
Recirculation 2	0,00	2,57

POINTS DU CYCLE		1	2	3	4	4'	5	6	7	8	9	10	
ETAT		VSC	VSC	VS	VSC		LSR	L + V	LS	L + V	LS	VS	
DONNEES THERMODYNAMIQUES													
Température	θ	-36	13	-11	85		34	-12	-12	-37	-37	-37	°C
Pression	P	0,80	2,68	2,57	13,53	13,53	13,53	2,68	2,68	0,84	0,84	0,84	*Bars absolu*
Enthalpie	h	1411	1502	1444	1623	1476	362	362	143	143	29	1410	*kJ/kg*
Masse volumique	ρ	0,71	2,00	2,13	8,34		590,50	12,43	655,87	8,89	686,26	0,75	*kg/m3*
Volume massique	v	1,415	0,501	0,470	0,120		0,002	0,080	0,002	0,112	0,0015	1,342	*m3/kg*
Titre	x							0,17		0,08			
DONNEES THERMOCINETIQUES													
Chaleur spécifique	c						4,819		4,551		4,470		*kJ/kg.K*
conductivité thermique	λ						0,458		0,567		0,625		*W/m.K*
viscosité dynamique	μ	0,00908	0,00999	0,00995	0,01178		0,12859		0,21667		0,28229	0,00911	*mPA.s*
viscosité cinématique	υ	12,849	5,004	4,676	1,412		0,218		0,330		0,411	12,225	*mm²/s*

POINTS DU CYCLE		1	2	3	4	4'	5	6	7	8	9	10	
ETAT		VSC	VSC	VS	VSC		LSR	L + V	LS	L + V	LS	VS	
DONNEES THERMODYNAMIQUES													
Température	θ	-31	22	-2	85		34	-3	-3	-32	-32	-32	°C
Pression	P	1,03	3,84	3,69	13,53	13,53	13,53	3,84	3,84	1,08	1,08	1,08	*Bars absolu*
Enthalpie	h	1419	1514	1453	1623	362	362	362	186	186	51	1418	*kJ/kg*
Masse volumique	ρ	0,90	2,80	3,00	8,34		590,50	20,91	644,00	9,49	680,53	0,95	*kg/m3*
Volume massique	v	1,113	0,357	0,333	0,120		0,002	0,048	0,002	0,105	0,0015	1,057	*m3/kg*
Titre	x							0,14		0,10			
DONNEES THERMOCINETIQUES													
Chaleur spécifique	c						4,819		4,584		4,486		*kJ/kg.K*
conductivité thermique	λ						0,458		0,546		0,613		*W/m.K*
viscosité dynamique	μ	0,00925	0,01031	0,01027	0,01178		0,12859		0,19610		0,26838	0,00929	*mPA.s*
viscosité cinématique	υ	10,294	3,682	3,426	1,412		0,218		0,304		0,394	9,815	*mm²/s*

Compresseur MP1	-12	Qo	Qa	Qk	m_{BP}	m_{ECO}	m_{HP}		
		kW	kW	kW	kg/s	kg/s	kg/s	m^3/h	
MP11 - GEA - SP1 VB-5X		1 487	352	1 839	1,375		1,375	2 327	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP12 - GEA - SP1 VB-5X		1 487	352	1 839	1,375		1,375	2 327	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP13 - GEA - SP1 VB-5X		1 487	352	1 839	1,375		1,375	2 327	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP14 - GEA - SP1 VB-5X		-	-	-	0,000		0,000	-	Secours
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
		4 461	**1 056**	**5 517**	**4,126**		**4,126**	**6 981**	

Compresseur MP2	-3	Qo	Qa	Qk	m_{BP}	m_{ECO}	m_{HP}		
		kW	kW	kW	kg/s	kg/s	kg/s	m^3/h	
MP21 - GEA - SP1 VB-5X		1 741	380	2 121	1,596		1,596	2 700	à 3600 tr/min
MP22 - GEA - V 1400		968	198	1 167	0,888		0,888	1 502	à 1200 tr/min
MP23 - GEA - V 1400		-	-	-	0,000		0,000	-	Secours
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
		2 709	**579**	**3 288**	**2,484**		**2,484**	**4 202**	

Compresseur BP avec Economiseur	-32								
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000	0,000	0,000	-	Libre
		-	-	-	-	-	-	-	

Compresseur BP Booster	-37								
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
x - x - x		-	-	-	0,000		0,000	-	Libre
		-	-	-	-		-	-	

Répartition de charge d'ammoniac

Désignation			Ø ext. mm	L m	H liq. mm	Volume litres	Taux	Quantité calculée kg	Quantité imposée kg	Quantité kg
Circuit à la Haute pression										**589**
Réseau de tuyauterie HP (flotteurs inclus)										125
Condenseur adiabatique n°1	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur adiabatique n°2	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur adiabatique n°3	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur adiabatique n°4	JACIR	ONYX-M10-E09-D3					15%	-	110,0	110
Condenseur à plaques n°1	Thermowave	TL0500 TDGL-1000				95	15%	8,5		8
Condenseur à plaques n°2	Thermowave	TL0500 TDGL-1000				95	15%	8,4		8
Désurchauffeur à plaques n°1	Thermowave	TL0650 KDKL-1250				132	5%	3,9		4
Désurchauffeur à plaques n°2	Thermowave	TL0650 KDKL-1250				132	5%	3,9		4
										-
Réservoir de liquide	Pas de réservoir HP									-
Divers (accessoires HP)							5%			
Circuit à la Moyenne pression										**2 271**
Réseau de tuyauterie MP										173
Séparateur de liquide MP1 (-12°C)	Horizontal		1 600	4 800	100					255
Séparateur de liquide MP2 (-3°C)	Horizontal		1 600	4 800	100					255
Bouteillon d'huile MP1	Horizontal		273	2 000						80
Bouteillon d'huile MP2	Horizontal		273	2 000						83
Circuit MP1										
Echangeur à plaques flood	Thermowave	TL0650 MCIM				251	80%	131,9		131,9
Echangeur à plaques flood	Thermowave	TL0650 MCIM				251	80%	131,9		131,9
Echangeur NH3/CO2 (Spray-chiller)	HA & PG					3 700	15%	439,8		439,8
Echangeur NH3/CO2 (Spray-chiller)	HA & PG					3 700	15%	439,8		439,8
Circuit MP2										
Echangeur à plaques flood	Thermowave	TL0650 MCKM				546	80%	281,3		281,3
Divers (accessoires MP)							5%			
Circuit à la basse pression										**-**
Réseau de tuyauterie BP										-
	Pas de séparateur									-
	Pas de séparateur									-
	Pas de bouteillon									-
	Pas de bouteillon									-
Divers (accessoires BP)							0%			
Total Système 2 3 & 4 (kg)										**2 860**

COMPRESSEURS MP -3°C

	Marque	Ref.	Installé Qo - frigo		Qa-Absorbé	Q-Ref. Huile		Utilisation **Qo - frigo**		Qa-Absorb	Q-Ref. Huile	**Qk - Réjection**	
			fg/h	kW	kW	kW		*fg/h*	*kW*	kW	kW	kW	
MP21	GEA	SP1 VB-5X	1 497 260	1 741	380	115	100%	1 497 260	1 741	380	115	2 121	à 3600 tr/min
MP22	GEA	V 1400	832 824	968	198	-	100%	832 824	968	198	-	1 167	à 1200 tr/min
MP23	GEA	V 1400	832 824	968	198	-	0%	-	-	-	-	-	Secours
x	x	x	-	-	-	-	0%	-	-	-	-	-	Libre
x	x	x	-	-	-	-	0%	-	-	-	-	-	Libre
x	x	x	-	-	-	-	0%	-	-	-	-	-	Libre
	Total		3 162 908	3 678	777			**2 330 084**	**2 709**	**579**	**115**	**3 288**	

COMPRESSEURS MP -12°C sous refroidissement 38K

	Marque	Ref.	Installé Qo - frigo		Qa-Absorbé	Q-Ref. Huile		Utilisation **Qo - frigo**		Qa-Absorb	Q-Ref. Huile	**Qk - Réjection**	
			fg/h	kW	kW	kW		*fg/h*	kW	kW	kW	kW	
MP11	GEA	SP1 VB-5X	1 278 734	1 487	352	154	100%	1 278 734	1 487	352	154	1 839	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP12	GEA	SP1 VB-5X	1 278 734	1 487	352	154	100%	1 278 734	1 487	352	154	1 839	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP13	GEA	SP1 VB-5X	1 278 734	1 487	352	154	100%	1 278 734	1 487	352	154	1 839	à 3600 tr/min avec sous-ref = 38 K
MP14	GEA	SP1 VB-5X	1 278 734	1 487	352	154	0%	-	-	-	-	-	Secours
x	x	x	-	-	-	-	0%	-	-	-	-	-	Libre
x	x	x	-	-	-	-	0%	-	-	-	-	-	Libre
	Total		5 114 936	5 948	1 408			**3 836 202**	**4 461**	**1 056**	**462**	**5 517**	

CONDENSEUR HP

35°C Bulbe humide **23°C**

	Marque	Ref.	Installé			Efficacité				
			Qk - Réjection		Q-Ref. Huile		**Qk - Réjection**		Q-Ref. Huile	Qk - Réjection
			kcal/h	kW			*kcal/h*	*kW*		kW
COND1	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250
COND2	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250
COND3	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250
COND4	JACIR	ONYX-M10-E09-D3	1 075 000	1 250	-	100%	1 075 000	1 250	-	1 250
COND11	Thermowave	TL0500 TDGL-1000	1 092 200	1 270	-	100%	1 092 200	1 270	-	1 270
COND12	Thermowave	TL0500 TDGL-1000	1 092 200	1 270	-	100%	1 092 200	1 270	-	1 270
DES1	Thermowave	TL0650 KDKL-1250	367 650	428	-	100%	367 650	428	-	428
DES2	Thermowave	TL0650 KDKL-1250	367 650	428	-	100%	367 650	428	-	428
	Total		7 219 700	8 395	-		**7 219 700**	**8 395**	**-**	**8 395**

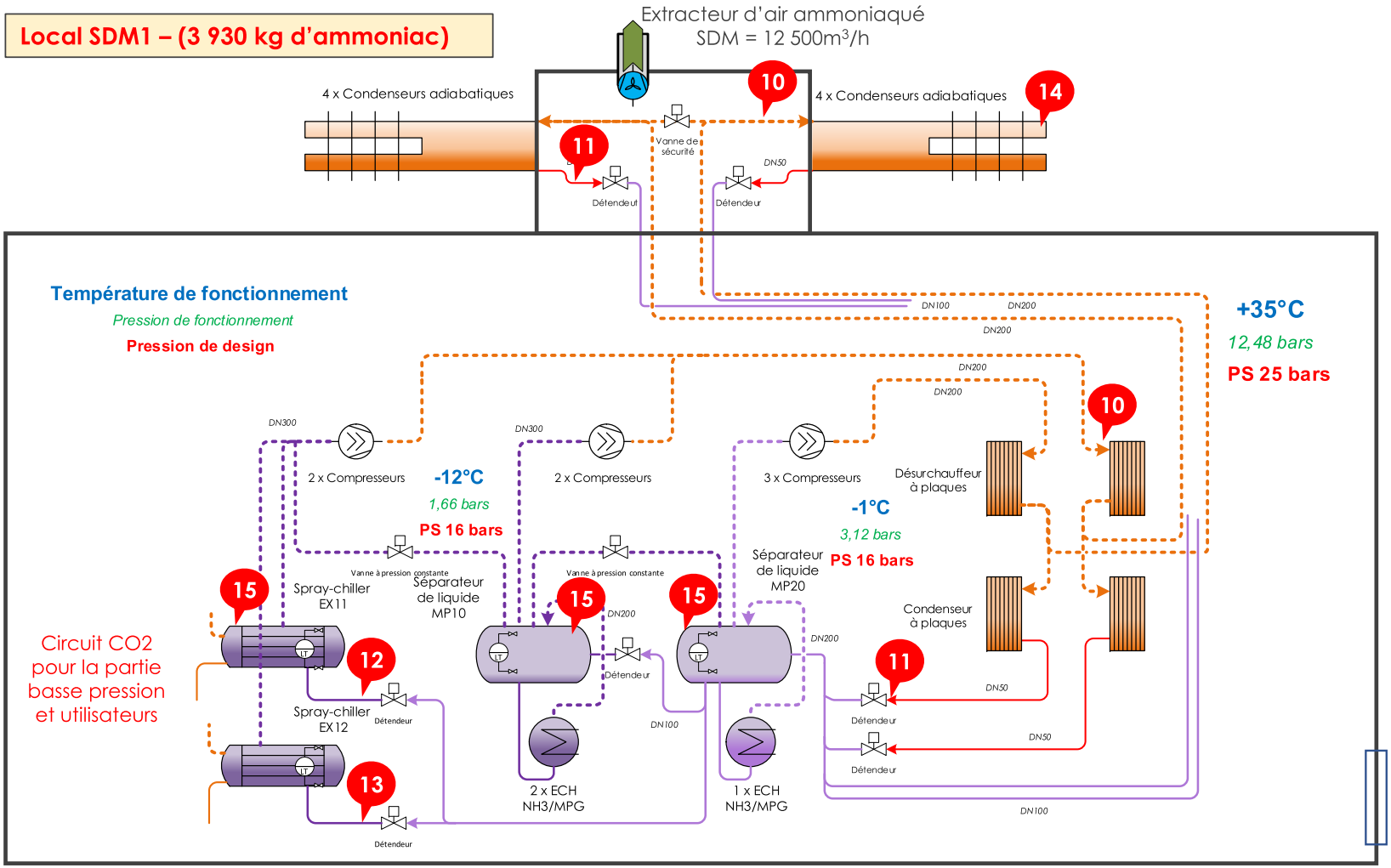
	Condenseur adiabatique n°1
COND1	Condenseur adiabatique n°1
COND2	Condenseur adiabatique n°2
COND3	Condenseur adiabatique n°3
COND4	Condenseur adiabatique n°4
COND11	Condenseur à plaques n°1
COND12	Condenseur à plaques n°2
DES1	Désurchauffeur à plaques n°1
DES2	Désurchauffeur à plaques n°2

Annexe 11 – Schéma frigorifique de principe – BRIDOR Liffré (35).

1. Schéma de principe Système 1 - SDM1 2
2. Schéma de principe Système 2, 3 & 4 - SDM2 SDM3 & SDM4 3

1 – Schéma de principe – Système 1 (SDM1)

Local SDM1 – (3 930 kg d'ammoniac)



Classement en fonction du référentiel guide retour d'expérience SEI/BARPI 039 de février 1995 :

- **A3** : Climatisation zone de production agroalimentaire, utilisation de saumure
- **T3** : Haute température (> -20 à +5°C)
- **D2** : Distribution par gravité (thermosiphon)
- **C1** : Condenseur à air

Scénarii retenus :

- **Scénarii 10 (Gaz HP)**
- **Scénarii 11 (Liquide HP)**
- **Scénarii 12 (Liquide BP en fonctionnement)**
- **Scénarii 13 (Liquide BP à l'arrêt, avec remontée en pression)**
- **Scénario 14 (Liquide HP tube interne condenseur)**
- **Scénario 15 (Soupapes de sécurité)**

DEL (Z1) (au sol) = NA

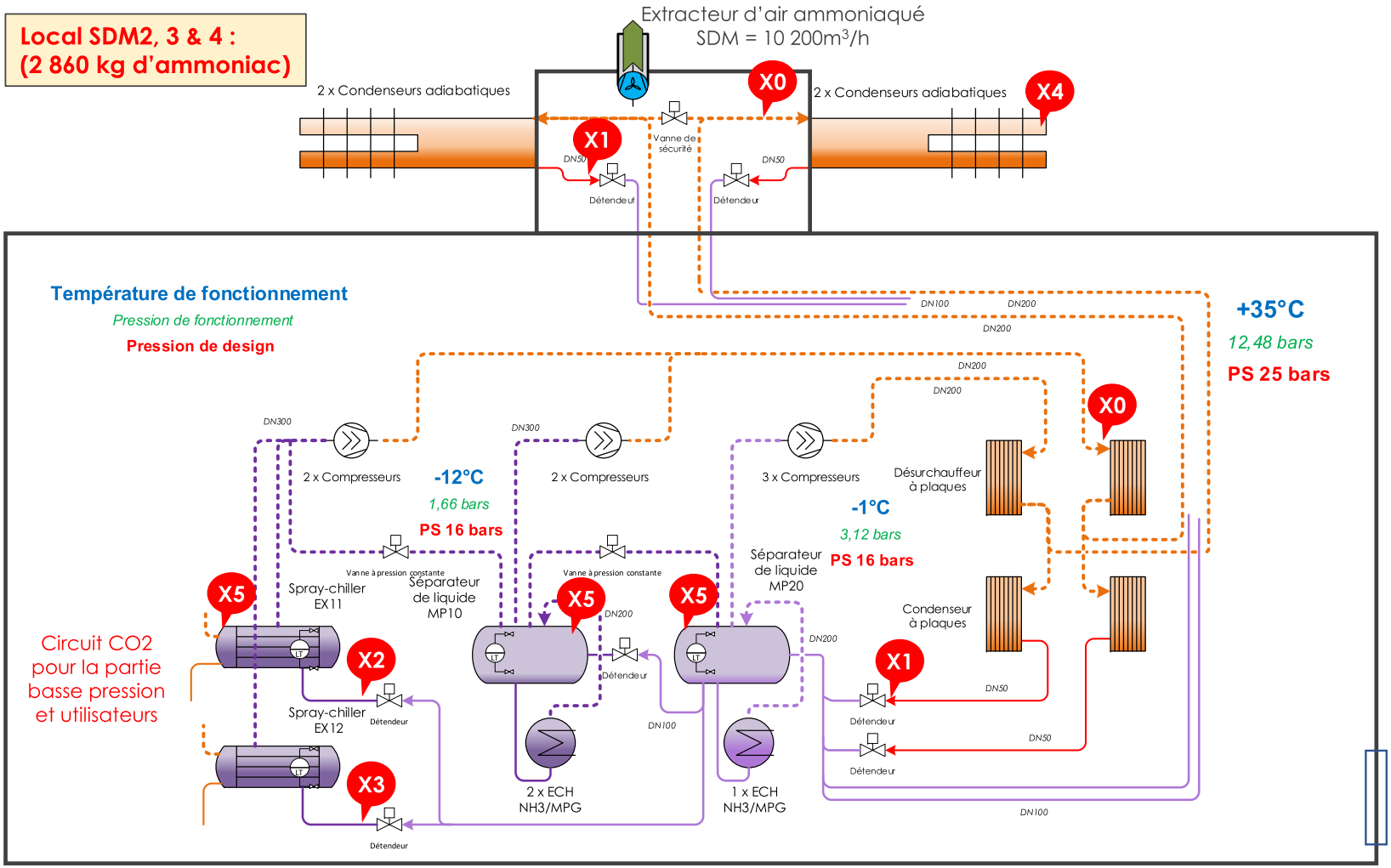
DEI (Z2) (au sol) = NA

NA = La valeur «NA» (Non atteint), en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol.

- NH3 Vapeur HP (Haute pression)
- NH3 Liquide HP (Haute pression)
- NH3 Vapeur MP20 (Moyenne pression)
- NH3 Liquide MP20 (Moyenne pression)
- NH3 Vapeur MP10 (Moyenne pression)
- NH3 Liquide MP10 (Moyenne pression)

1 – Schéma de principe – Système 2, 3 & 4 (SDM2, SDM2 & SDM4)

Local SDM2, 3 & 4 :
(2 860 kg d'ammoniac)



Classement en fonction du référentiel guide retour d'expérience SEI/BARPI 039 de février 1995 :

- **A3** : Climatisation zone de production agroalimentaire, utilisation de saumure
- **T3** : Haute température (> -20 à +5°C)
- **D2** : Distribution par gravité (thermosiphon)
- **C1** : Condenseur à air

Scénarii retenus X n° de la SDM correspondante :

- **Scénarii X0 (Gaz HP)**
- **Scénarii X1 (Liquide HP)**
- **Scénarii X2 (Liquide BP en fonctionnement)**
- **Scénarii X3 (Liquide BP à l'arrêt, avec remontée en pression)**
- **Scénario X4 (Liquide HP tube interne condenseur)**
- **Scénario x5 (Soupapes de sécurité)**

DEL (Z1) (au sol) = NA

DEI (Z2) (au sol) = NA

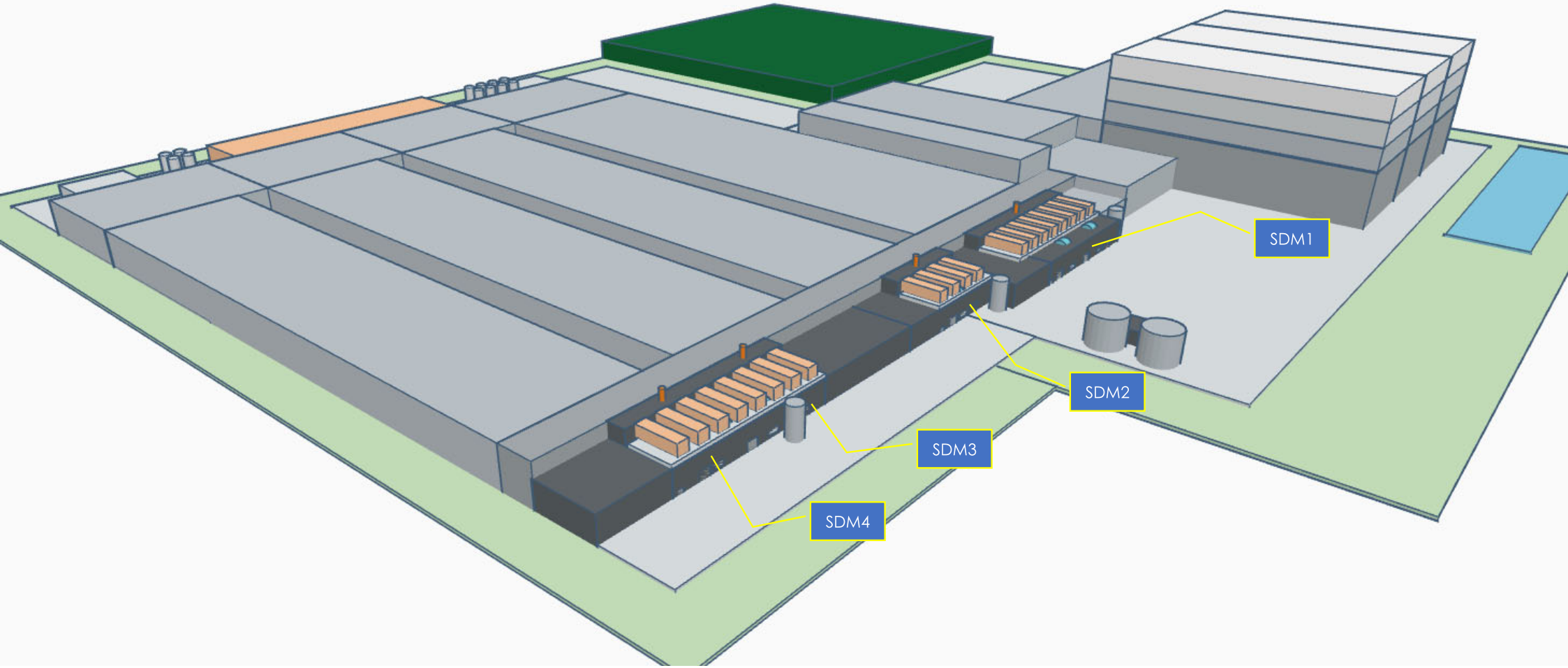
NA = La valeur «NA» (Non atteint), en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol.

- NH3 Vapeur HP (Haute pression)
- NH3 Liquide HP (Haute pression)
- NH3 Vapeur MP20 (Moyenne pression)
- NH3 Liquide MP20 (Moyenne pression)
- NH3 Vapeur MP10 (Moyenne pression)
- NH3 Liquide MP10 (Moyenne pression)

Annexe 12 – Principe de ventilation – BRIDOR Liffré (35).

1. Vue d'ensemble 2
2. Localisation SDM1 3
3. Localisation SDM2 4
4. Localisation SDM3 & SDM4 5
5. Principe SDM1 (NH3 = 3 930 kg) 6
6. Principe SDM2 (NH3 = 2 860 kg) 7

1 – Vue d'ensemble



2 – Localisation SDM1 (installation à l'ammoniac)

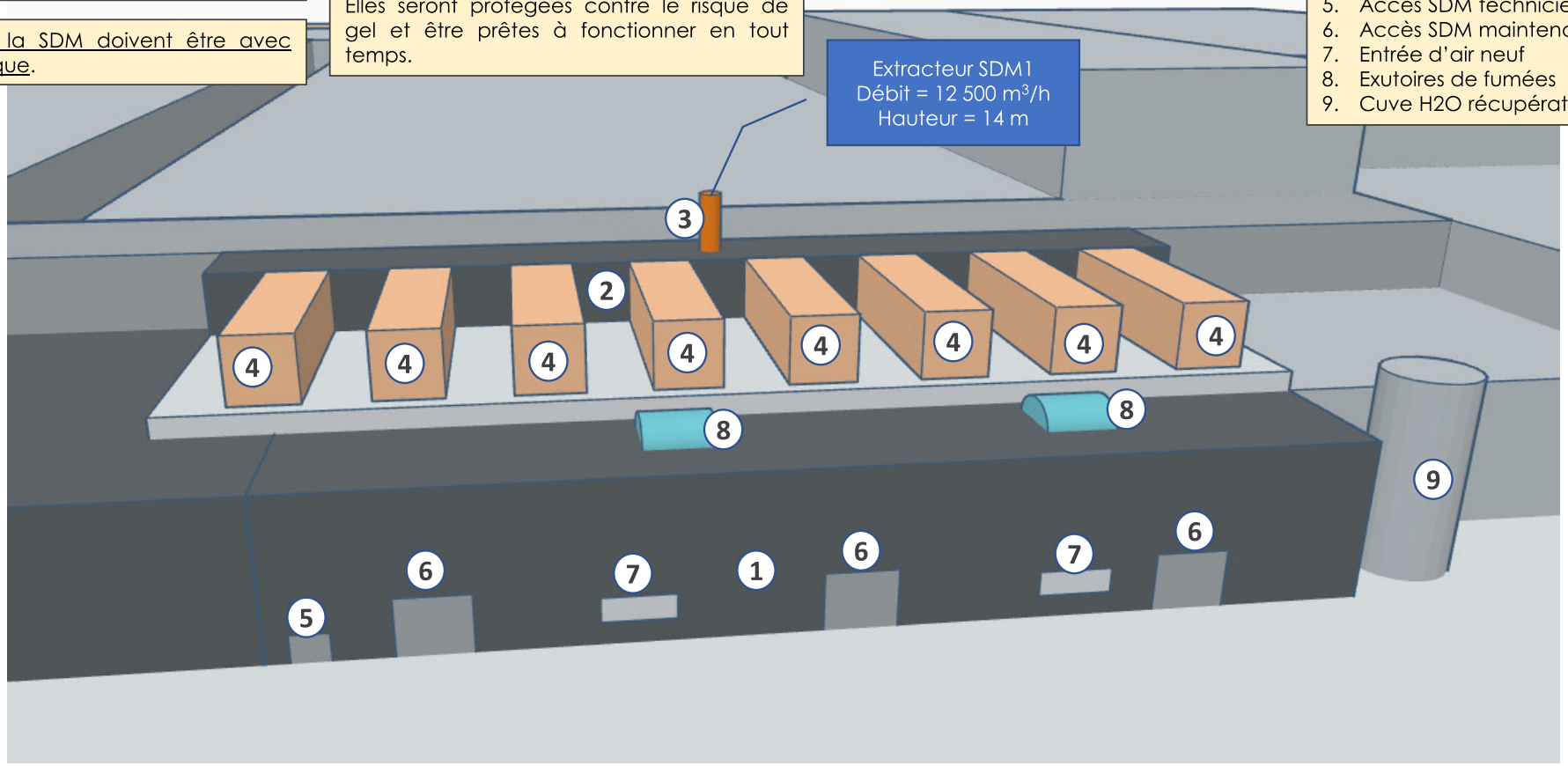
Chaque zone contenant de l'ammoniac devra être munie d'un panneau d'avertissement à chaque entrée, avec l'indication de la charge d'ammoniac.

Les portes de la SDM doivent être avec barre antipanique.

Une douche de protection doit être installée en dehors des zones à risque. L'eau de la douche sera potable et tiède en toute période de l'année.
Elles seront protégées contre le risque de gel et être prêtes à fonctionner en tout temps.

Une manche à air sera installé en partie haute des bâtiment voisin (visible de jour comme de nuit).

1. Local SDM1
2. Edicule condenseur adiabatique
3. Extraction NH3 SDM1
4. Condenseurs adiabatiques
5. Accès SDM techniciens
6. Accès SDM maintenance
7. Entrée d'air neuf
8. Exutoires de fumées
9. Cuve H2O récupération de chaleur



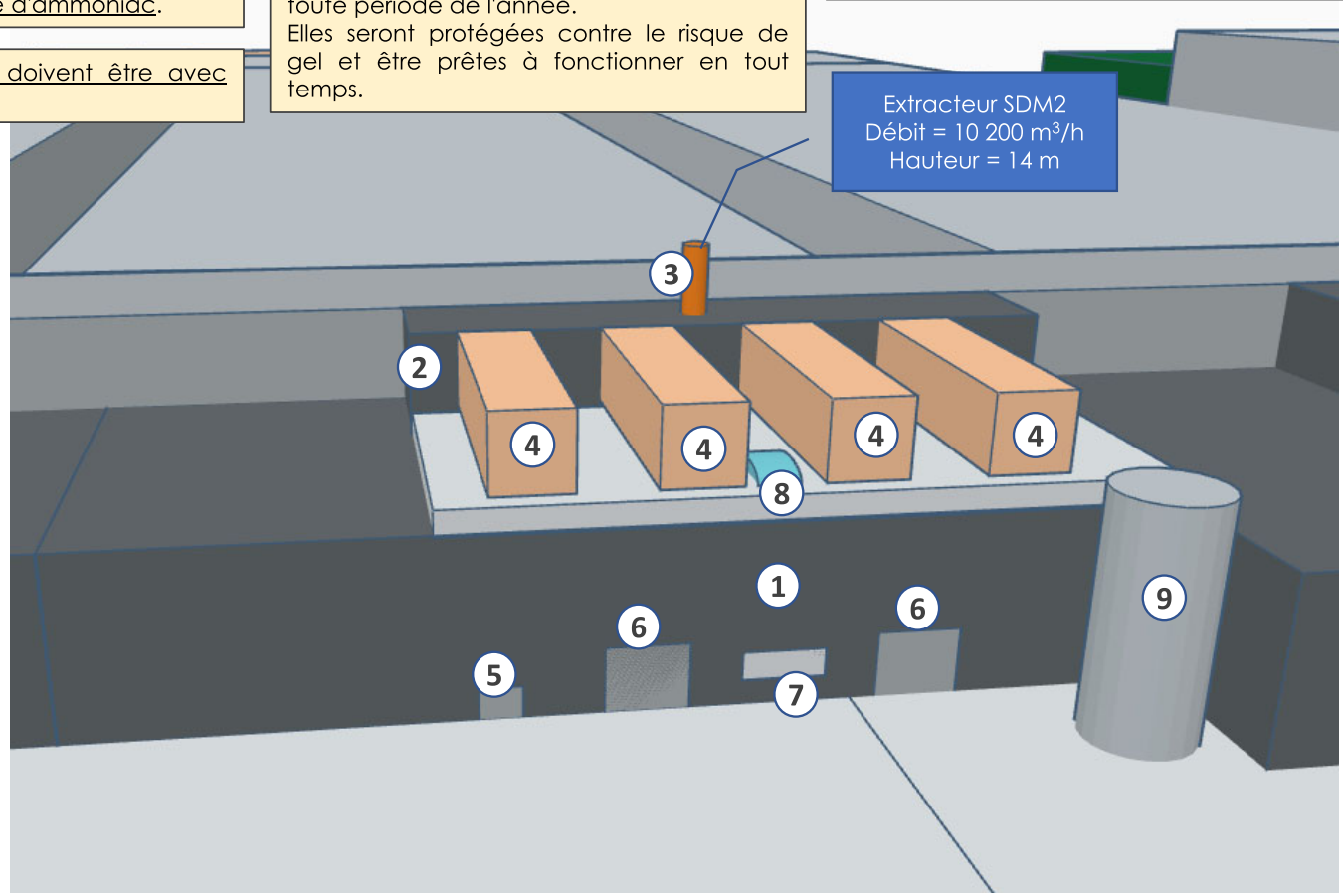
3 – Localisation SDM2 (installation à l'ammoniac)

Chaque zone contenant de l'ammoniac devra être munie d'un panneau d'avertissement à chaque entrée, avec l'indication de la charge d'ammoniac.

Les portes de la SDM doivent être avec barre antipanique.

Une douche de protection doit être installée en dehors des zones à risque. L'eau de la douche sera potable et tiède en toute période de l'année.
Elles seront protégées contre le risque de gel et être prêtes à fonctionner en tout temps.

Une manche à air sera installé en partie haute des bâtiment voisin (visible de jour comme de nuit).



1. Local SDM2
2. Edicule condenseur adiabatique
3. Extraction NH3 SDM2
4. Condenseurs adiabatiques
5. Accès SDM techniciens
6. Accès SDM maintenance
7. Entrée d'air neuf
8. Exutoires de fumées
9. Cuve H2O récupération de chaleur

4 – Localisation SDM3 & 4 (installation à l'ammoniac)

Chaque zone contenant de l'ammoniac devra être munie d'un panneau d'avertissement à chaque entrée, avec l'indication de la charge d'ammoniac.

Les portes de la SDM doivent être avec barre antipanique.

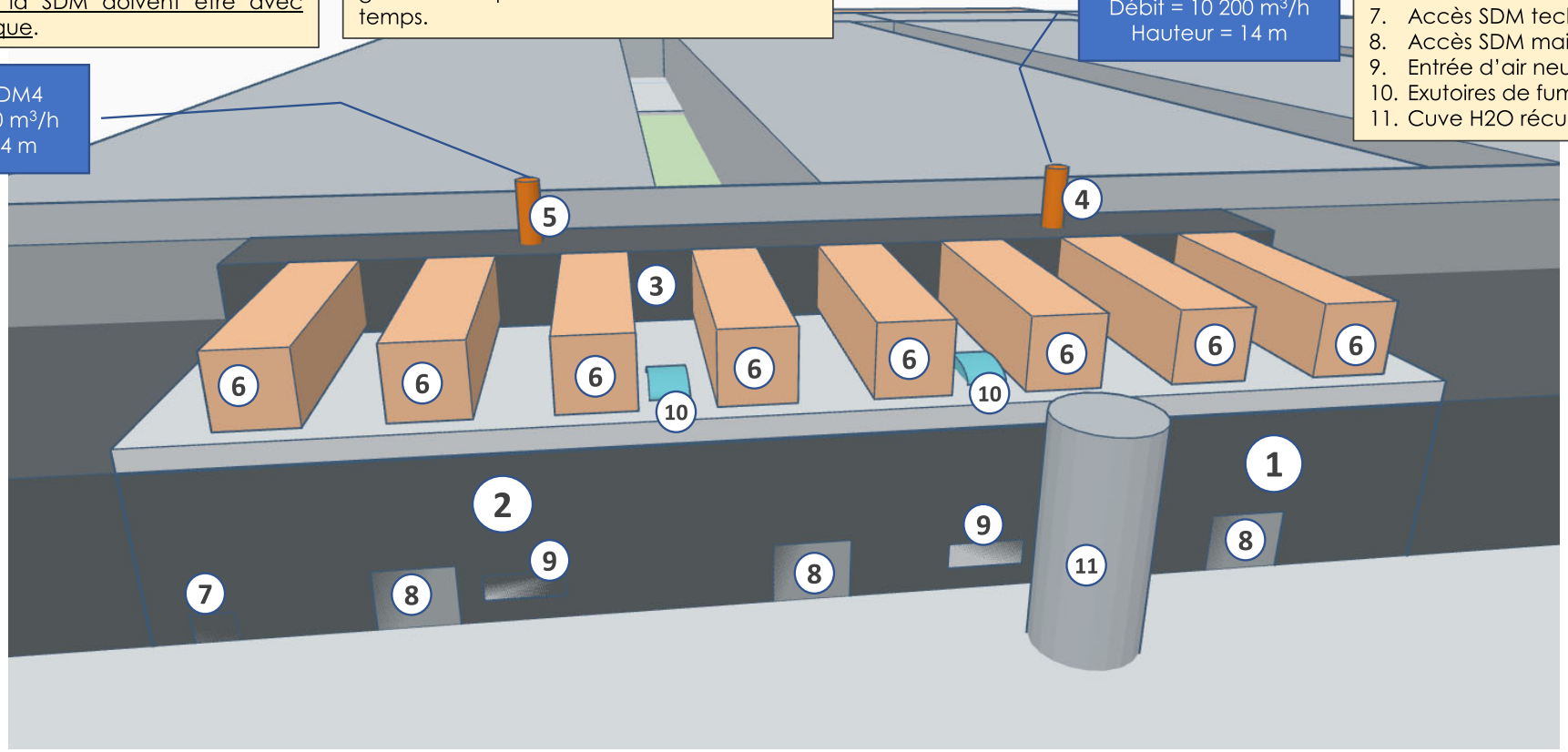
Une douche de protection doit être installée en dehors des zones à risque. L'eau de la douche sera potable et tiède en toute période de l'année.
Elles seront protégées contre le risque de gel et être prêtes à fonctionner en tout temps.

Une manche à air sera installé en partie haute des bâtiment voisin (visible de jour comme de nuit).

Extracteur SDM4
Débit = 10 200 m³/h
Hauteur = 14 m

Extracteur SDM3
Débit = 10 200 m³/h
Hauteur = 14 m

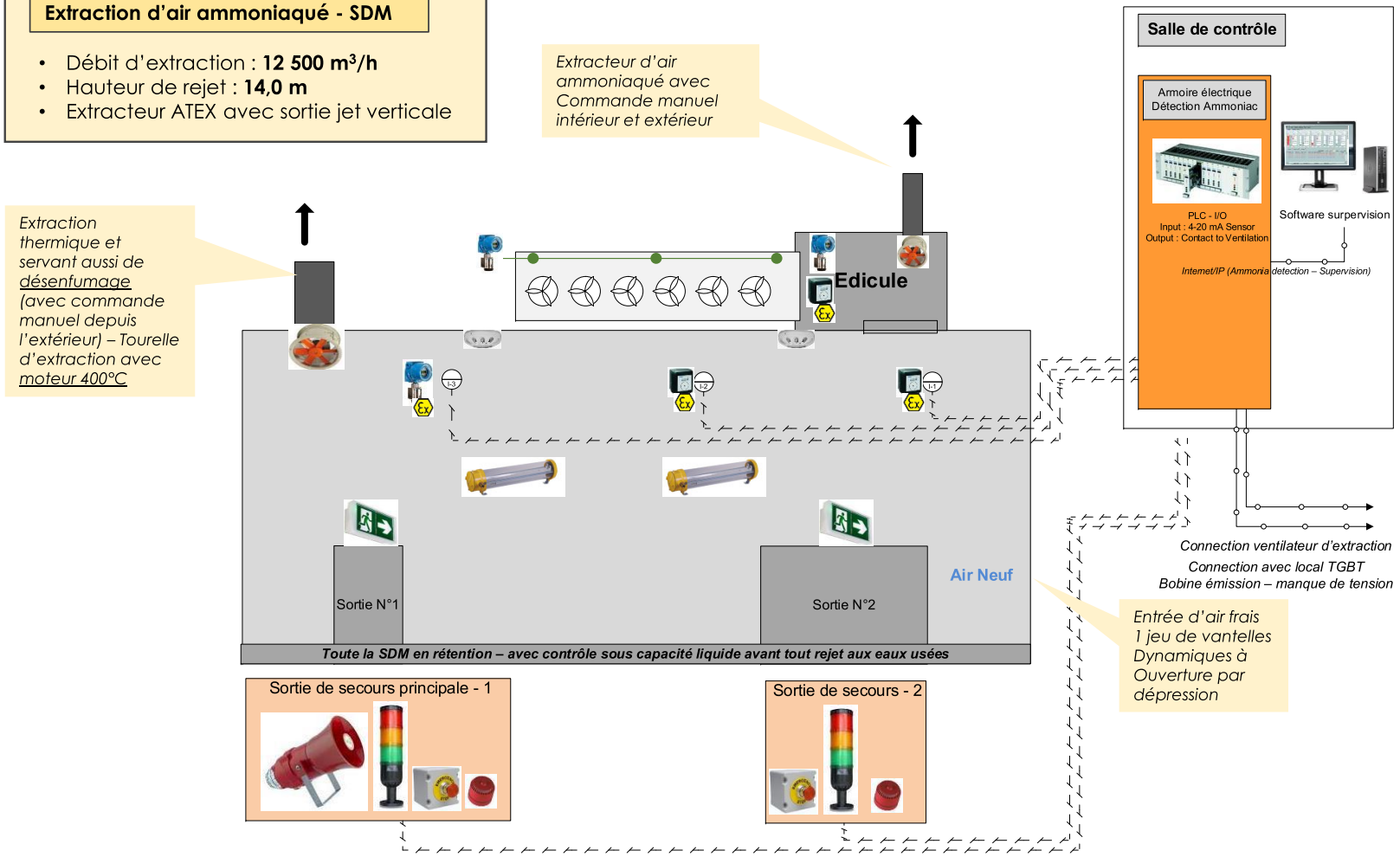
1. Local SDM3
2. Local SDM4
3. Edicule condenseur adiabatique
4. Extraction NH3 SDM3
5. Extracteur NH3 SDM4
6. Condenseurs adiabatiques
7. Accès SDM techniciens
8. Accès SDM maintenance
9. Entrée d'air neuf
10. Exutoires de fumées
11. Cuve H2O récupération de chaleur



5 – Principe ventilation et détection NH3 – SDM1

Extraction d'air ammoniaqué - SDM

- Débit d'extraction : **12 500 m³/h**
- Hauteur de rejet : **14,0 m**
- Extracteur ATEX avec sortie jet verticale



Intérieur

- Détecteur incendie
- Détecteur NH3 – Toximétrique
- Détecteur NH3 – Explosimétrique
- Bloc autonome EXIT (ATEX)
- Eclairage ATEX

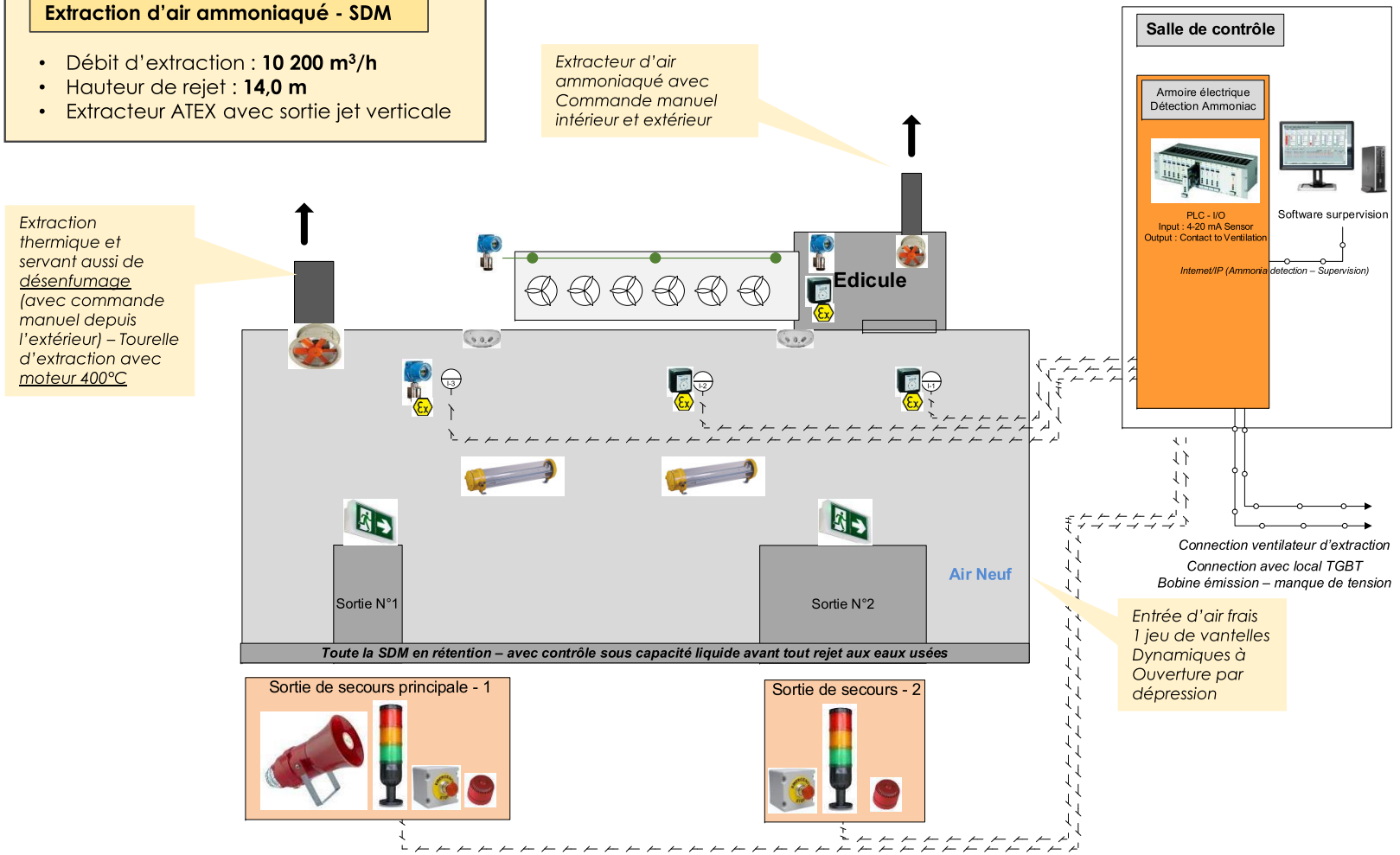
Extérieur

- Alarme visuel
- Arrêt d'urgence
- Alarme audible – Niveau 1
- Alarme audible – Niveau 2
- Alarme audible – Niveau 3 (seuil Ex)
- Commande manuel – Désenfumage

5 – Principe ventilation et détection NH3 – SDM2

Extraction d'air ammoniaqué - SDM

- Débit d'extraction : **10 200 m³/h**
- Hauteur de rejet : **14,0 m**
- Extracteur ATEX avec sortie jet verticale



Intérieur

- Détecteur incendie
- Détecteur NH3 – Toximétrique
- Détecteur NH3 – Explosimétrique
- Bloc autonome EXIT (ATEX)
- Eclairage ATEX

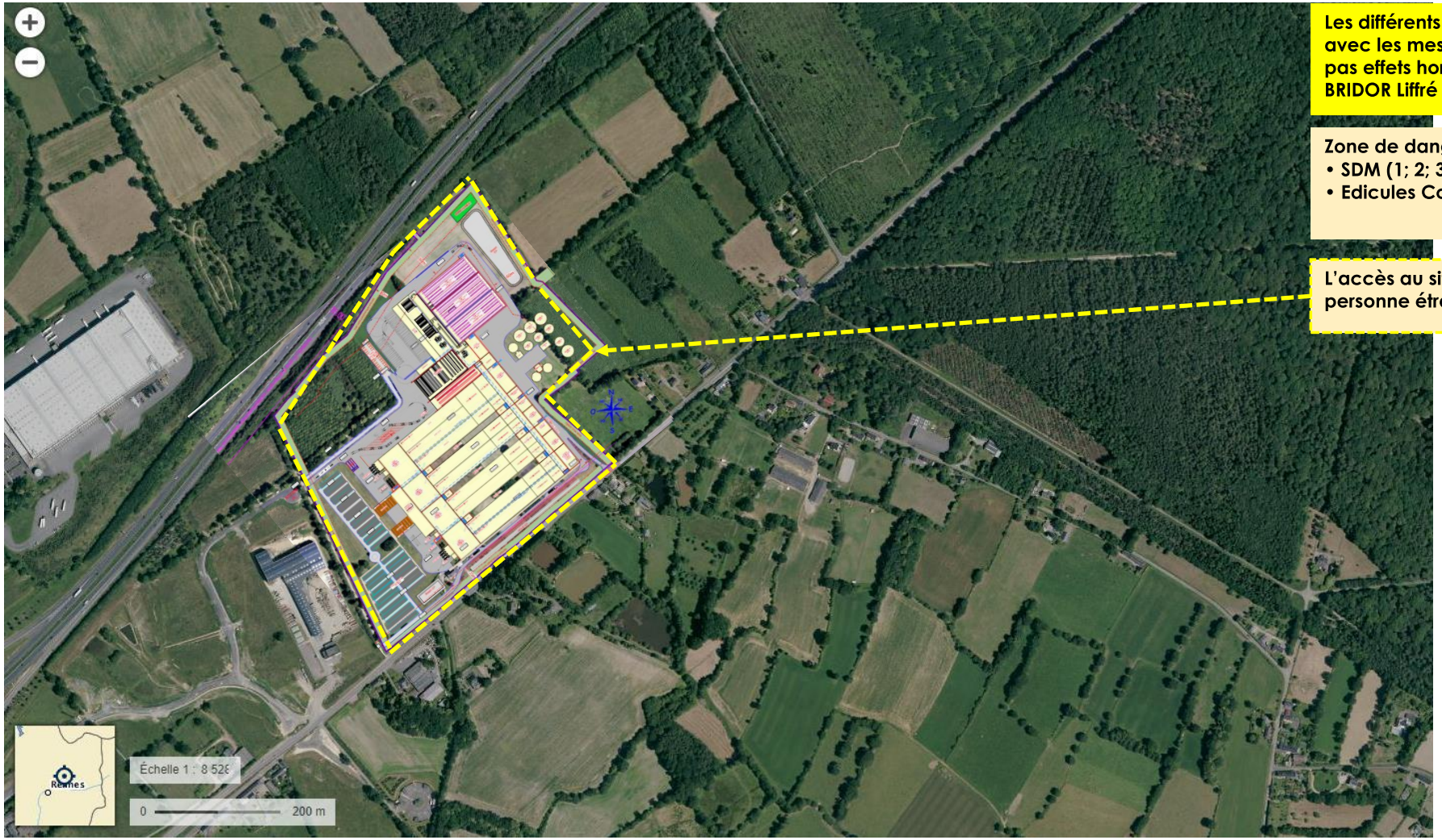
Extérieur

- Alarme visuel
- Arrêt d'urgence
- Alarme audible – Niveau 1
- Alarme audible – Niveau 2
- Alarme audible – Niveau 3 (seuil Ex)
- Commande manuel – Désenfumage

Annexe 13 - Répartition des zones à risques liés à l'utilisation de l'ammoniac
Site de BRIDOR Liffré (35)

1. Localisation 2
2. Implantation SDM 1 & 2 3
3. Local SDM 1 - RDC 4
4. Local SDM 1 – Condenseurs Toiture 5
5. Local SDM 2 – RDC 6
6. Local SDM 3 – RDC 7
7. Local SDM 4 – RDC 8
8. Local SDM 2, 3 & 4 – Toiture 9
9. Localisation avec relevés topographiques 10
10. Détails topographique avec résultats majorants 11

1 – **Localisation des zones à risques** liés à l'utilisation de l'ammoniac



Les différents scénarii étudiés dans cette EDD avec les mesures qui seront mises en place n'ont pas effets hors des limites de propriété du site de BRIDOR Liffré (35).

Zone de dangers potentiels :
- **SDM (1; 2; 3 &4) (compresseurs et bouteilles).**
- **Edicules Condenseurs.**

L'accès au site est strictement interdit à toute personne étrangère

2 – Implantation SDM (1; 2; 3 & 4)



Scénarii de dispersion retenus :

Scénarii (1er chiffre n° de salle des machines; 2ème n° de définition du scénario)

Scénarii 10; 20; 30; 40 (Gaz HP)

Scénarii 11; 21; 31; 41 (Liquide HP)

Scénarii 12; 22; 32; 42 (Liquide BP en fonctionnement)

Scénarii 13; 23; 33; 43 (Liquide BP en fonctionnement et à l'arrêt, avec remontée en pression)

Scénario 14; 24; 34; 44 (Fuite liquide sur tube condenseur évaporatif)

Scénario 15; 25; 35; 45 (Soupapes de sécurité)

Z1 (au sol) DEL = NA

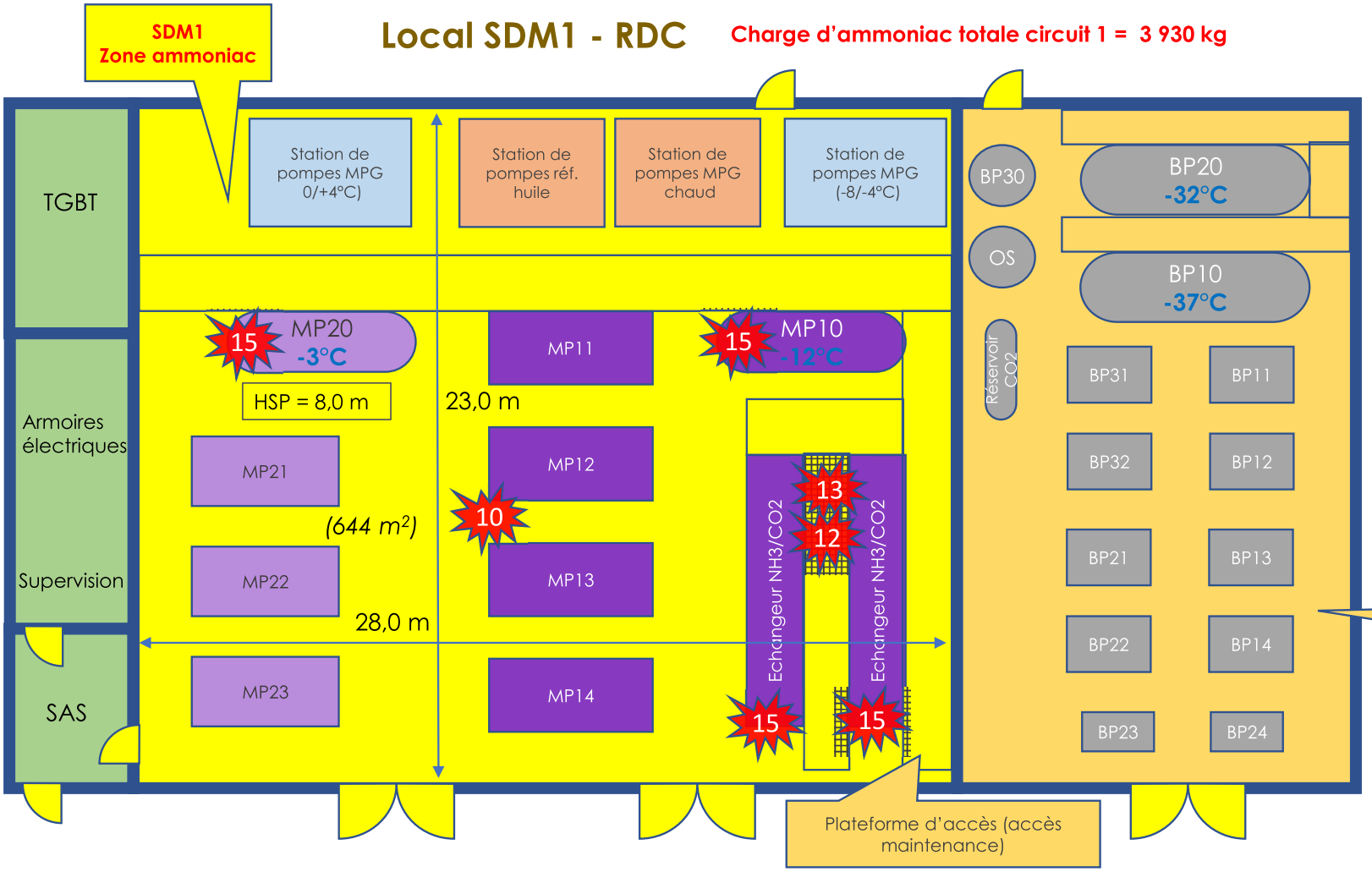
Z2 (au sol) DEI = NA

N A = La valeur « N A» (Non atteint), en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol.

Voir résultats Annexe 14 (Modélisation PHAST méthode intégrale)

SDM X — Salle des machines (Ammoniac)

3 – Local SDM 1



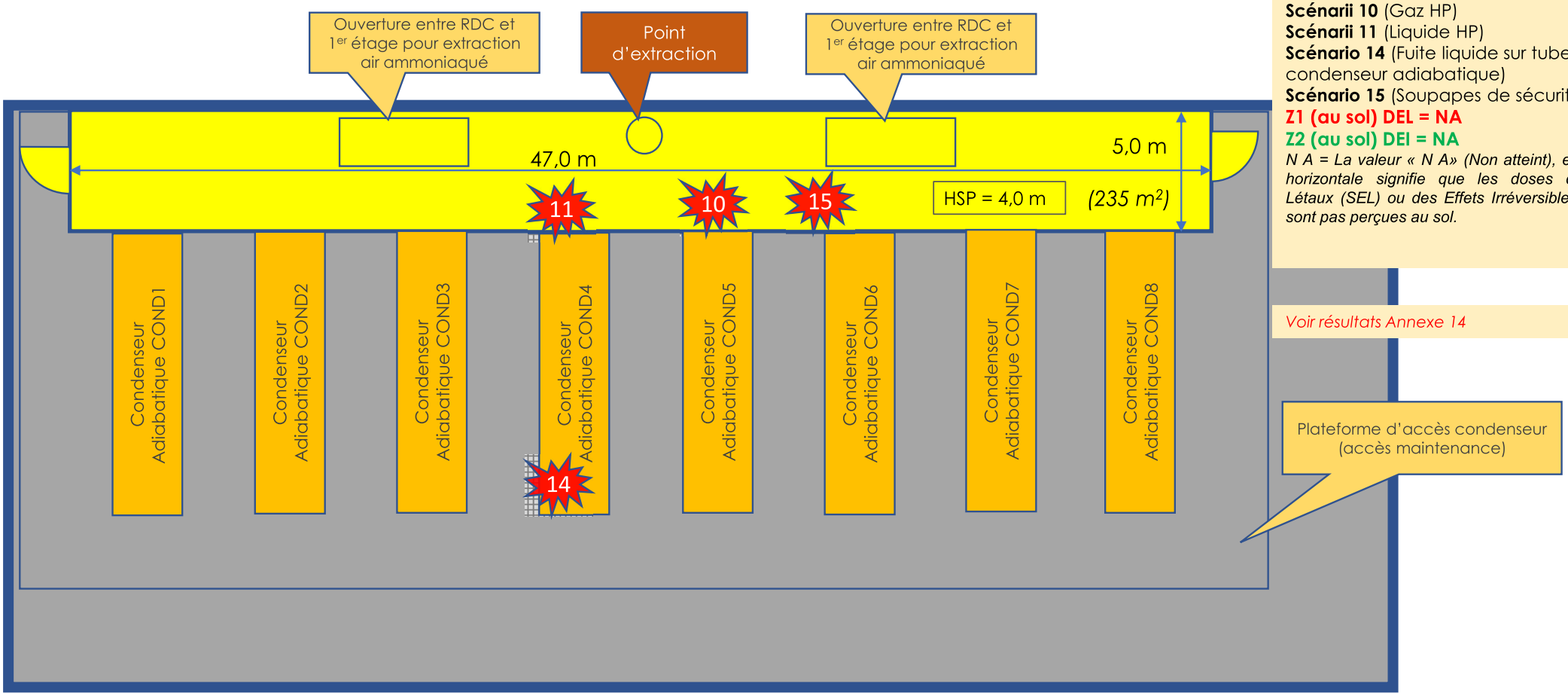
Scénarii de dispersion internes :
Scénarii 10 (Gaz HP)
Scénarii 11 (Liquide HP)
Scénarii 12 (Liquide BP en fonctionnement)
Scénarii 13 (Liquide BP en fonctionnement et à l'arrêt, avec remontée en pression)
Scénario 14 (Fuite liquide sur tube condenseur adiabatique)
Scénario 15 (Soupapes de sécurité)
Z1 (au sol) DEL = NA
Z2 (au sol) DEI = NA
N A = La valeur « N A» (Non atteint), en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol.

Voir résultats Annexe 14

4 – Local SDM 1 - Toiture

Local SDM1 – R+1 Niveau toiture

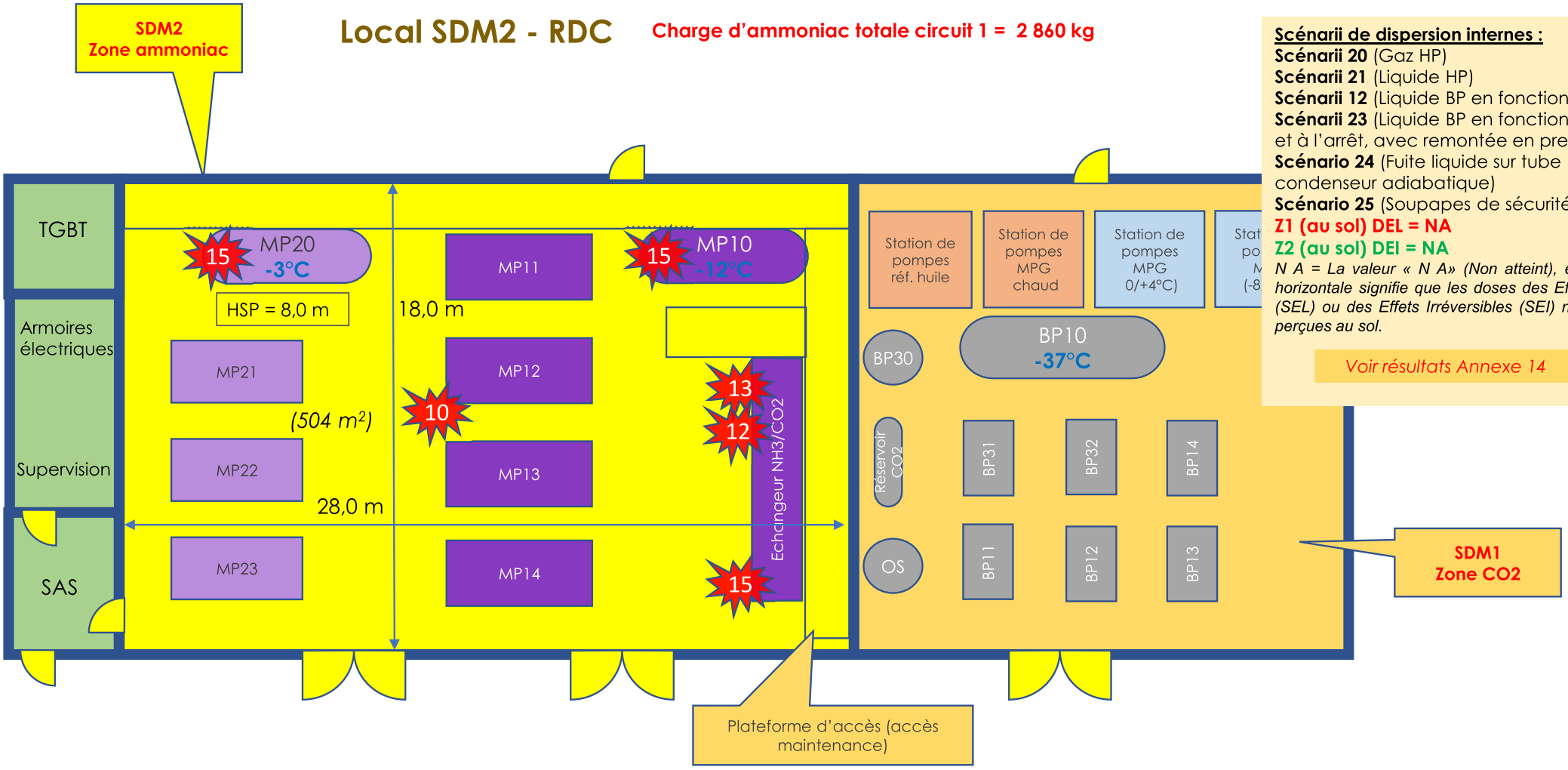
Charge d'ammoniac condenseurs = 1 000 kg (tuyauterie incluses)



Scénarii de dispersion internes :
Scénarii 10 (Gaz HP)
Scénarii 11 (Liquide HP)
Scénario 14 (Fuite liquide sur tube condenseur adiabatique)
Scénario 15 (Soupapes de sécurité)
Z1 (au sol) DEL = NA
Z2 (au sol) DEI = NA
N A = La valeur « N A» (Non atteint), en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol.

Voir résultats Annexe 14

5 – Local SDM 2



Scénarii de dispersion internes :
Scénarii 20 (Gaz HP)
Scénarii 21 (Liquide HP)
Scénarii 12 (Liquide BP en fonctionnement)
Scénarii 23 (Liquide BP en fonctionnement et à l'arrêt, avec remontée en pression)
Scénario 24 (Fuite liquide sur tube condenseur adiabatique)
Scénario 25 (Soupapes de sécurité)
Z1 (au sol) DEL = NA
Z2 (au sol) DEI = NA
N A = La valeur « N A» (Non atteint), en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol.

Voir résultats Annexe 14

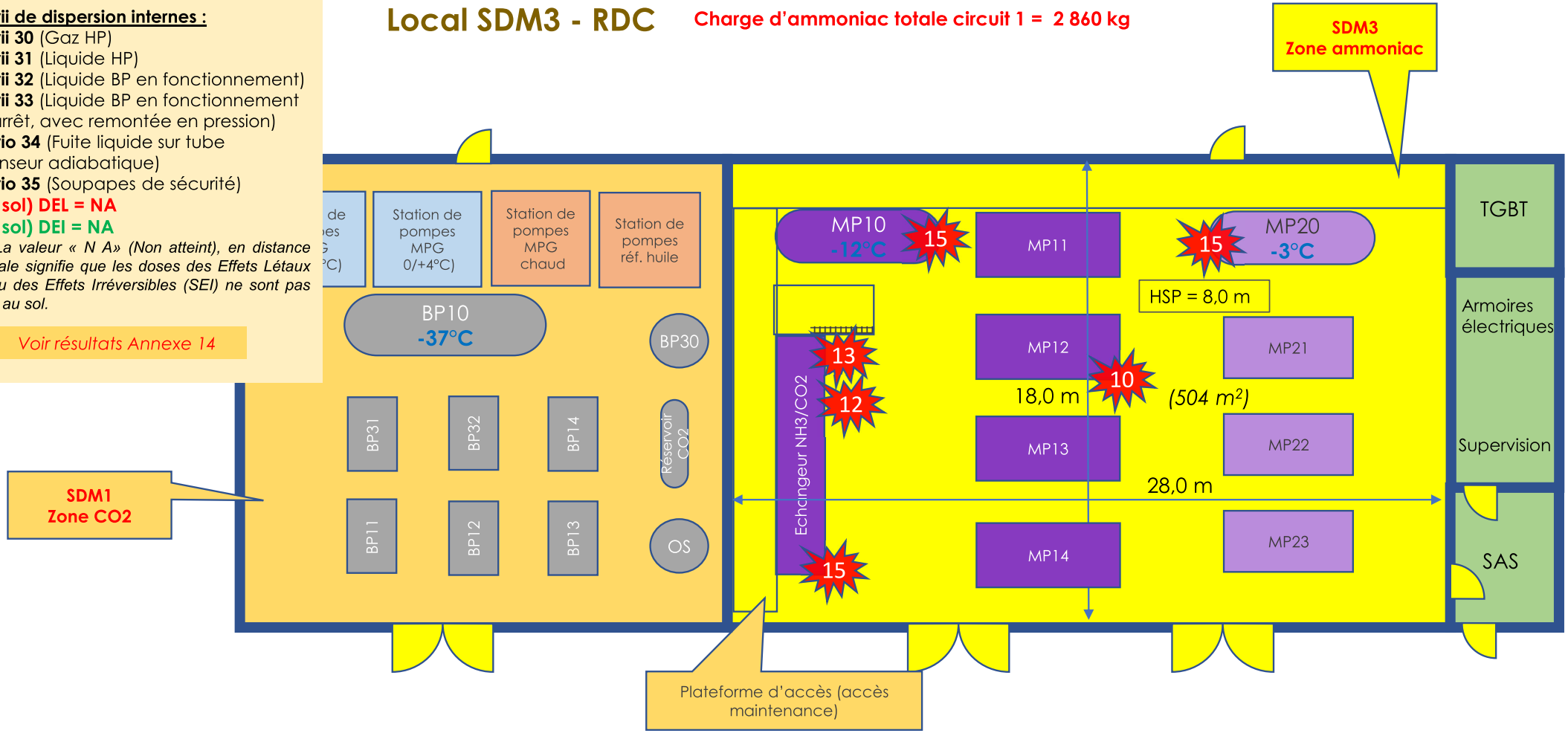
6 – Local SDM 3

Scénarii de dispersion internes :
Scénarii 30 (Gaz HP)
Scénarii 31 (Liquide HP)
Scénarii 32 (Liquide BP en fonctionnement)
Scénarii 33 (Liquide BP en fonctionnement et à l'arrêt, avec remontée en pression)
Scénario 34 (Fuite liquide sur tube condenseur adiabatique)
Scénario 35 (Soupapes de sécurité)
Z1 (au sol) DEL = NA
Z2 (au sol) DEI = NA
N A = La valeur « N A» (Non atteint), en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol.

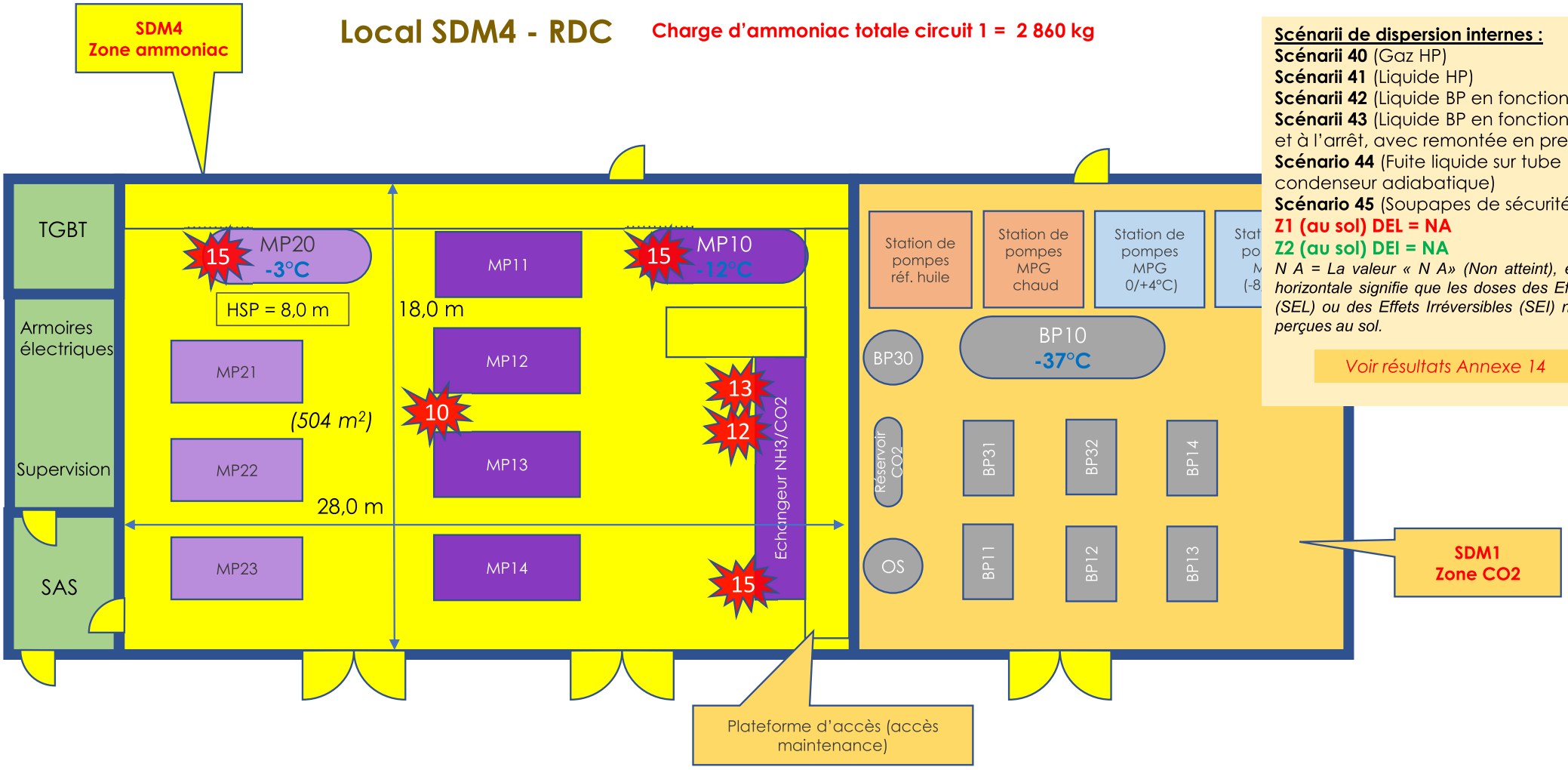
Voir résultats Annexe 14

Local SDM3 - RDC

Charge d'ammoniac totale circuit 1 = 2 860 kg



7 – Local SDM 4



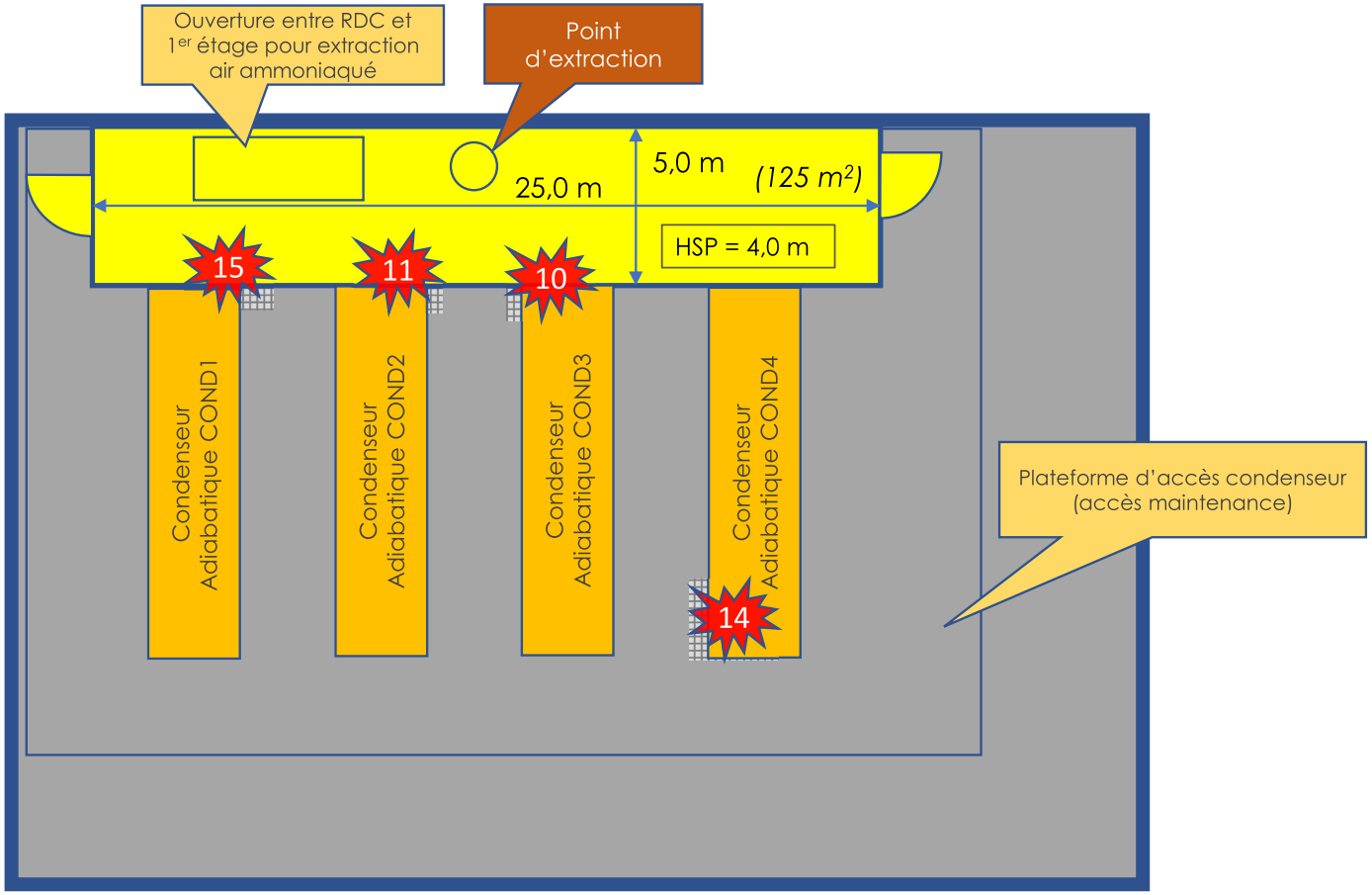
Scénarii de dispersion internes :
Scénarii 40 (Gaz HP)
Scénarii 41 (Liquide HP)
Scénarii 42 (Liquide BP en fonctionnement)
Scénarii 43 (Liquide BP en fonctionnement et à l'arrêt, avec remontée en pression)
Scénario 44 (Fuite liquide sur tube condenseur adiabatique)
Scénario 45 (Soupapes de sécurité)
Z1 (au sol) DEL = NA
Z2 (au sol) DEI = NA
N A = La valeur « N A» (Non atteint), en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol.

Voir résultats Annexe 14

8 – Local SDM 2; 3 & 4 - Toiture

Local SDM2; 3 & 4 – R+1 Niveau toiture

Charge d'ammoniac condenseurs = 600 kg (tuyauterie incluses)



Scénarii de dispersion internes X n° de la SDM correspondante :

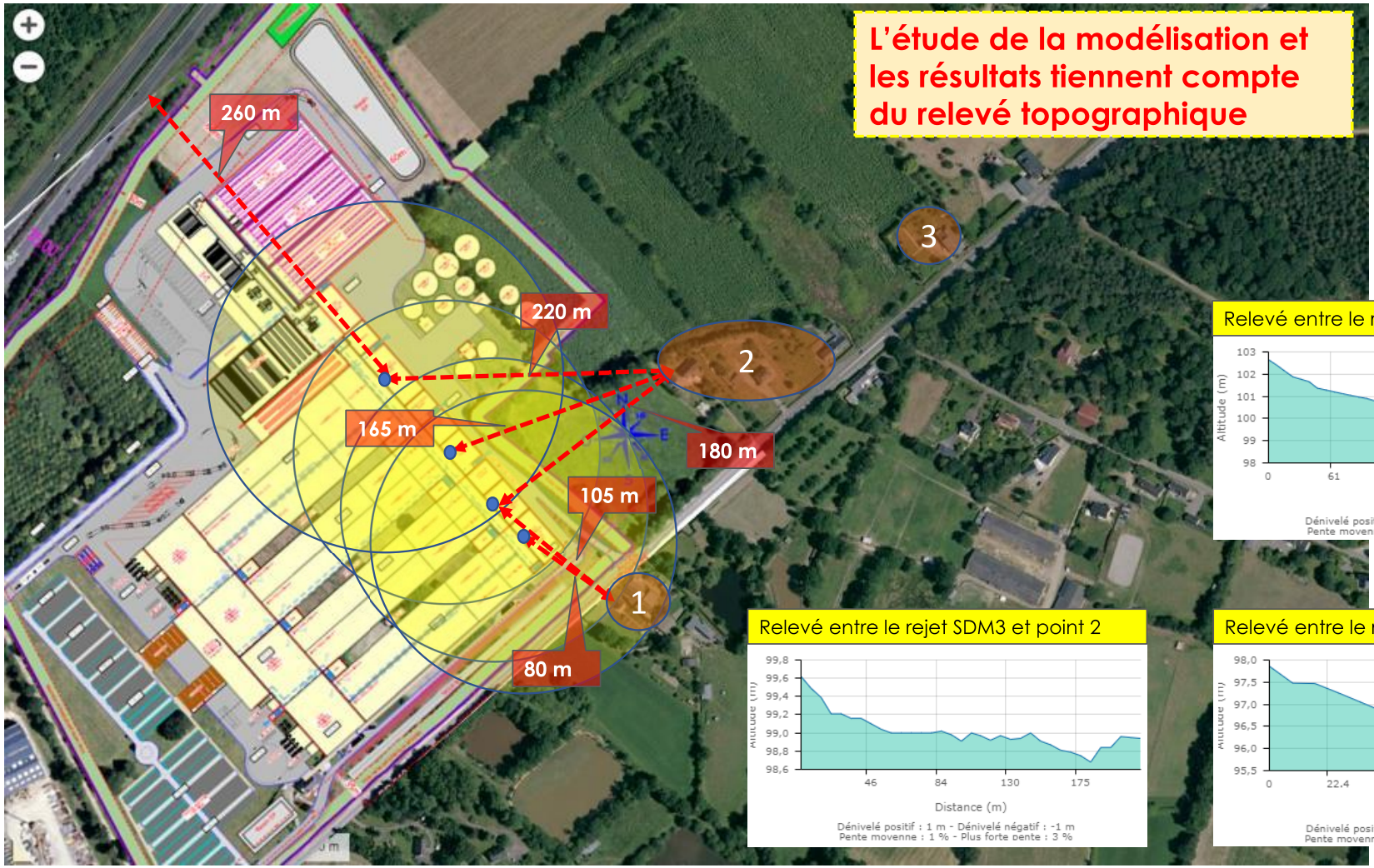
Scénarii X0 (Gaz HP)
Scénarii X1 (Liquide HP)
Scénario X4 (Fuite liquide sur tube condenseur adiabatique)
Scénario X5 (Soupapes de sécurité)

Z1 (au sol) DEL = NA
Z2 (au sol) DEI = NA

N A = La valeur « N A» (Non atteint), en distance horizontale signifie que les doses des Effets Létaux (SEL) ou des Effets Irréversibles (SEI) ne sont pas perçues au sol.

Voir résultats Annexe 14

9 – Localisation avec relevés topographiques

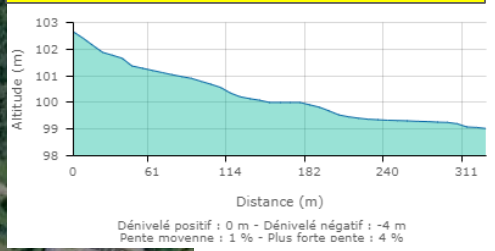


Point de rejet d'air ammoniaqué (SDM 1, 2, 3 et 4)

X — Zone d'habitation le plus proches (1, 2 et 3)

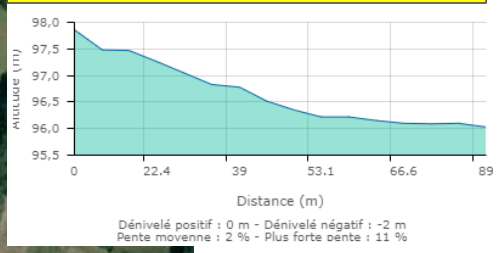
xxx m — Distance entre le point de rejet et la zone d'habitation considérée

Relevé entre le rejet SDM1 et point 2

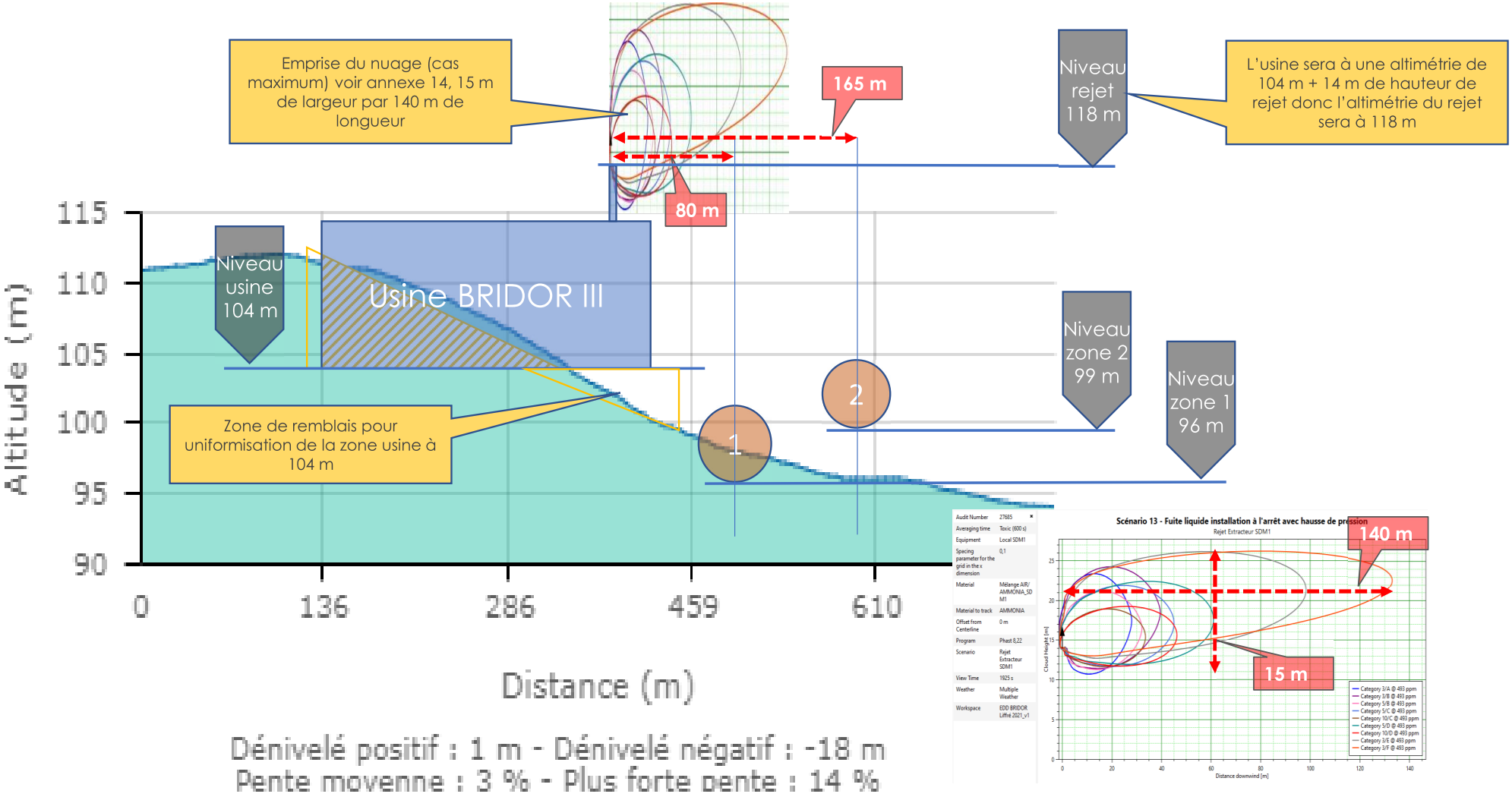


Relevé entre le rejet SDM3 et point 2

Relevé entre le rejet SDM4 et point 1



10 – Détails relevés topographiques avec résultats scénarii majorants



Annexe 14 – Scénario avec méthode PHAST 8.22

BRIDOR – Liffré (35)

Table des matières

1. **Localisation des scénarii** 2
2. **Rejet depuis bouteille BP ou échangeur (avec perte de confinement totale) – SDM1 (scénario 13)** 3
3. **Rejet depuis une tuyauterie liquide HP dans l'édicule – SDM1 (scénario 11)** 6
4. **Rejet depuis bouteille BP ou échangeur (avec perte de confinement totale) – SDM2 (scénario 23)** 9
5. **Rejet depuis une tuyauterie liquide HP dans l'édicule – SDM2 (scénario 21)** 12
6. **Rejet depuis bouteille BP ou échangeur (avec perte de confinement totale) – SDM3 (scénario 33)** 15
7. **Rejet depuis une tuyauterie liquide HP dans l'édicule – SDM3 (scénario 31)** 18
8. **Rejet depuis bouteille BP ou échangeur (avec perte de confinement totale) – SDM4 (scénario 43)** 21
9. **Rejet depuis une tuyauterie liquide HP dans l'édicule – SDM4 (scénario 41)** 24

1. Localisation des scénarii

La carte du site est téléchargée dans le logiciel PHAST pour positionnement des scénarii retenus (Locaux techniques). Les scénarii modélisés sont les scénarii majorants au point de rejet considéré.



SDM1
Scénario 13 – Fuite liquide BP (perte de confinement totale bouteille BP)
Scénario 11 – Fuite liquide HP (Rupture canalisation liquide circuit HP)

SDM2
Scénario 23 – Fuite liquide BP (perte de confinement totale bouteille BP)
Scénario 21 – Fuite liquide HP (Rupture canalisation liquide circuit HP)

SDM3
Scénario 33 – Fuite liquide BP (perte de confinement totale bouteille BP)
Scénario 31 – Fuite liquide HP (Rupture canalisation liquide circuit HP)

SDM4
Scénario 43 – Fuite liquide BP (perte de confinement totale bouteille BP)
Scénario 41 – Fuite liquide HP (Rupture canalisation liquide circuit HP)

2. Rejet depuis bouteille BP ou échangeur (avec perte de confinement totale) – SDM1 (scénario 13)

Données de calculs

L'installation est supposée à l'arrêt. La capacité BP contient **3 390 kg** d'ammoniac à saturation (la charge totale de l'installation est considérée), à +10°C sous 6,15 bars absolus. Il est fait l'hypothèse d'une rupture de ligne de 76,1 mm de diamètre extérieur 70,3 mm diamètre intérieur en phase liquide. L'ammoniac se répand alors dans une rétention de 200 m² à l'intérieur de la SDM1.

	Dimensions	
Longueur	28,0	*m*
Largeur	23,0	*m*
Hauteur	7,0	*m*
Volume	4 508	*m³*

Sur détection ammoniac, l'extracteur de sécurité d'air ammoniaqué se met en route. **Le débit extrait est de 12 500 m³/h**. Le point de rejet est à une **hauteur de rejet de 14 m (voir résultat ci-joint)**. La vitesse des gaz en sortie de conduite est fixée à 10,4 m/s.

Modélisation du terme source

Les caractéristiques du rejet en salle des machines sont les suivantes :

Phase	Diphasique liquide + gaz	
Débit de rejet	9,14	*Kg/s*
Durée du rejet	430	*Sec*
Température du rejet	-33,4	*°C*
Vitesse de rejet	66	*m/s*
Diamètre des gouttes	124	*µm*
Fraction liquide	82,3	*%*

Les valeurs sont données par un premier calcul « leak » sur « pressure vessel », la charge considérée est la charge maximum contenue dans le plus important récipient **3 390 kg**. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure 430 sec à un débit *(liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente)* de 9,14 kg/s. La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique soit -33,4°C. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out » est de 82,3 %, par conséquent 694 kg sont directement émis en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 1,89 kg/s.

Les effets à distance sont prépondérants pendant la phase de rejet c'est-à-dire pendant les 1 925 secondes initiales (durée calculée en fonction du débit de l'extracteur d'air ammoniaqué). La phase d'évaporation de la nappe n'est pas prise en compte par la suite (phase descendante du nuage).

Modélisation du scénario final

Dans le local, il est par conséquent fait l'hypothèse que, suite au rejet, un mélange air/ammoniac se crée à l'intérieur du local. La fraction massique d'ammoniac à l'équilibre Y_{NH3} est donnée par : $Y_{NH3} = m_{NH3} / (m_{air} + m_{NH3})$

La masse d'air dans le local vaut 3 393 kg en prenant en compte une masse volumique de 1,2 kg/m³. Par conséquent : $Y_{NH3} = 0,1145$

La température finale Tf (en K) du mélange est telle que : $T_f = [Y_{NH3}\, C_{p,NH3}\, T_{NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}\, T_{air}] / [Y_{NH3}\, C_{p,NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}]$

Avec:

$C_{p,NH3}$	Chaleur massique à pression constante de l'ammoniac gazeux (2 000 J/kg.K)
T_{NH3}	Température d'ébullition de l'ammoniac (239,6 K)
T_{air}	Température de l'air ambient (293 K)
$C_{p,air}$	Chaleur massique à pression constante de l'air (1 004 J/kg.K)

Et donc : Tf = +8,91°C

La masse molaire Mf du mélange est déduite de la relation : $M_f = 1 / [Y_{NH3} / M_{NH3} + (1- Y_{NH3})/M_{air}]$

Ou MNH3 désigne la masse molaire de l'ammoniac (0,017 kg/mol) et Mair désigne la masse molaire de l'air (0,0288 kg/mol). Ainsi : Mf = 0,0266 kg/mol. La masse volumique moyenne de mélange à +8,91°C est donc de 0,90 kg/m³.

En supposant que le débit volumique de l'extracteur reste constant, le débit massique du mélange gazeux rejeté à la cheminée vaut 3,15 kg/s. A ce rythme le temps total d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de 694 / (0,1145 x 3,15) = 1 925 s (32 minutes).

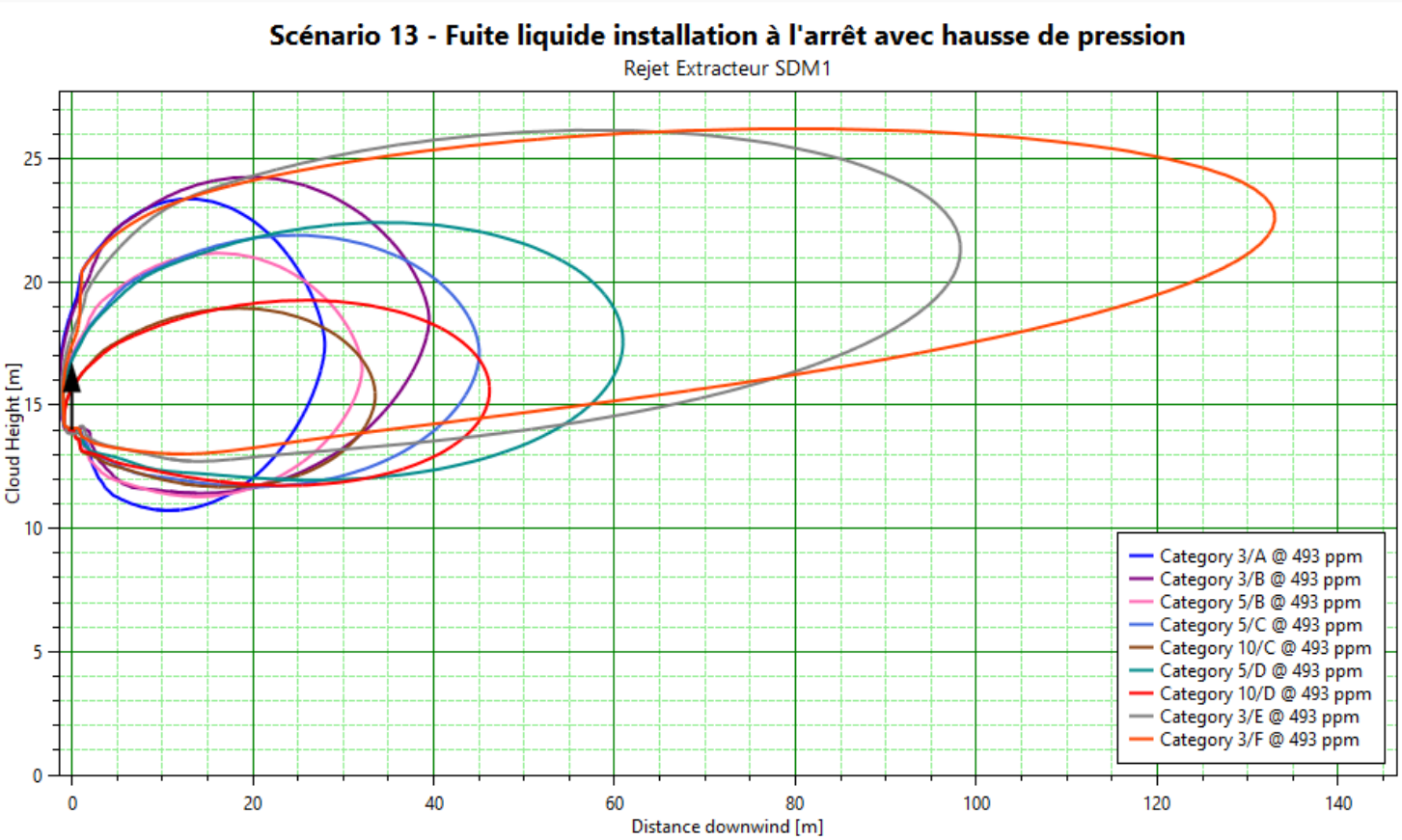
Finalement, le scénario est défini à l'aide du modèle « user defined » avec les valeurs imposées suivantes :

Phase	Vapeur (17 % ammoniac, 83 % air)
Débit de rejet (extracteur)	3,15 kg/s
Durée du rejet	1 925 sec
Température du rejet	+8,91°C
Vitesse du rejet	10,4 m/s (diamètre 650 mm)
Altitude du rejet	**14 m**

S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toute les conditions atmosphériques précisées au paragraphe sont envisagées.
Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués au paragraphe, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition (1 925 s) sont les suivantes :

- SEI : 493 ppm
- SPEL : 4 615 ppm
- SELS : 4 959 ppm

Audit Number	27685
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Local SDM1
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_SDM1
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur SDM1
View Time	1925 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD BRIDOR Liffré 2021_v1



La hauteur de 14 m correspond au point de sortie du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur est conforme** et n'engendre **pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de BRIDOR Liffré à une hauteur au sol de 1,5 m.

Résultats de calcul :

Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessus) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010) :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SELS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

3. Rejet depuis une tuyauterie liquide HP dans l'édicule – SDM1 (scénario 11)

Données de calculs

L'installation est supposée en fonctionnement. Le circuit HP (Condenseurs + tuyauteries) contient **1 033 kg** d'ammoniac à saturation (la charge totale de l'installation est considérée), à +45°C sous 17,82 bars absolus. Il est fait l'hypothèse d'une rupture de ligne de 60,3 mm de diamètre extérieur 52,48 mm diamètre intérieur en phase liquide HP. L'ammoniac se répand alors dans une rétention de 200 m² à l'intérieur de l'édicule.

	Dimensions	
Longueur	47,0	*m*
Largeur	5,0	*m*
Hauteur	4,0	*m*
Volume	940	*m³*

Sur détection ammoniac, l'extracteur de sécurité d'air ammoniaqué se met en route. **Le débit extrait est de 12 500 m³/h**. Le point de rejet est à une **hauteur de rejet de 14 m (voir résultat ci-joint)**. La vitesse des gaz en sortie de conduite est fixée à 10,4 m/s.

Modélisation du terme source

Les caractéristiques du rejet en salle des machines sont les suivantes :

Phase	Diphasique liquide + gaz	
Débit de rejet	9,12	*Kg/s*
Durée du rejet	113	*Sec*
Température du rejet	-33,4	*°C*
Vitesse de rejet	66	*m/s*
Diamètre des gouttes	124	*µm*
Fraction liquide	82,3	*%*

Les valeurs sont données par un premier calcul « leak » sur « pressure vessel », la charge considérée est la charge maximum contenue dans le plus important récipient **1 033 kg**. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure 113 sec à un débit *(liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente)* de 9,12 kg/s. La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique soit -33,4°C. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out » est de 82,3 %, par conséquent 214 kg sont directement émis en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 1,89 kg/s.

Les effets à distance sont prépondérants pendant la phase de rejet c'est-à-dire pendant les 411 secondes initiales (durée calculée en fonction du débit de l'extracteur d'air ammoniaqué). La phase d'évaporation de la nappe n'est pas prise en compte par la suite (phase descendante du nuage).

Modélisation du scénario final

Dans le local, il est par conséquent fait l'hypothèse que, suite au rejet, un mélange air/ammoniac se crée à l'intérieur du local. La fraction massique d'ammoniac à l'équilibre Y_{NH3} est donnée par : $Y_{NH3} = m_{NH3} / (m_{air} + m_{NH3})$

La masse d'air dans le local vaut 3 393 kg en prenant en compte une masse volumique de 1,2 kg/m³. Par conséquent : $Y_{NH3} = 0,160$

La température finale Tf (en K) du mélange est telle que : $T_f = [Y_{NH3}\, C_{p,NH3}\, T_{NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}\, T_{air}] / [Y_{NH3}\, C_{p,NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}]$

Avec:

$C_{p,NH3}$	Chaleur massique à pression constante de l'ammoniac gazeux (2 000 J/kg.K)
T_{NH3}	Température d'ébullition de l'ammoniac (239,6 K)
T_{air}	Température de l'air ambient (293 K)
$C_{p,air}$	Chaleur massique à pression constante de l'air (1 004 J/kg.K)

Et donc : Tf = +5,10°C

La masse molaire Mf du mélange est déduite de la relation : $M_f = 1 / [Y_{NH3} / M_{NH3} + (1- Y_{NH3})/M_{air}]$

Ou MNH3 désigne la masse molaire de l'ammoniac (0,017 kg/mol) et Mair désigne la masse molaire de l'air (0,0288 kg/mol). Ainsi : Mf = 0,0259 kg/mol. La masse volumique moyenne de mélange à +5,10°C est donc de 0,93 kg/m³.

En supposant que le débit volumique de l'extracteur reste constant, le débit massique du mélange gazeux rejeté à la cheminée vaut 3,24 kg/s. A ce rythme le temps total d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de 214 / (0,160 x 3,24) = 411 s (7 minutes).

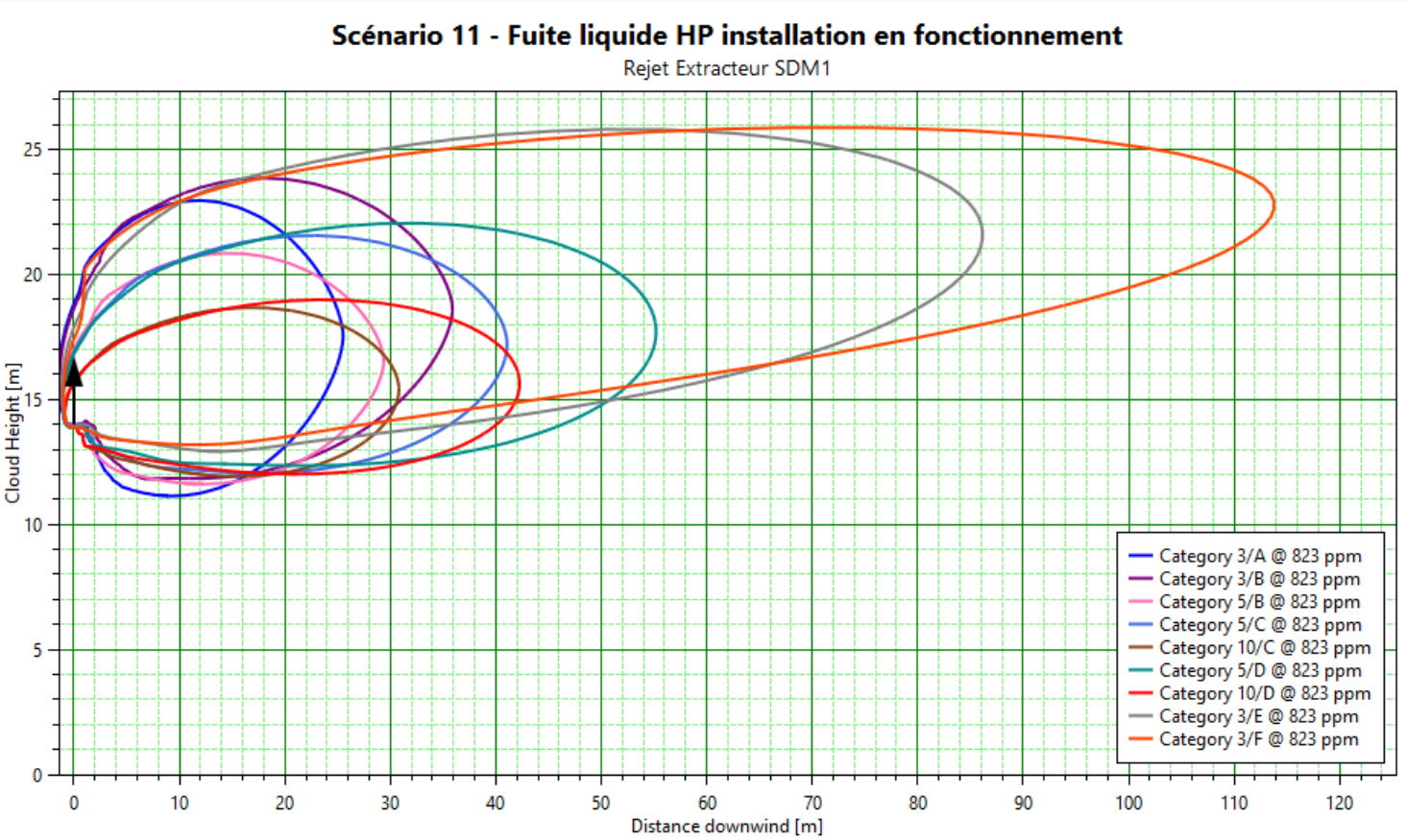
Finalement, le scénario est défini à l'aide du modèle « user defined » avec les valeurs imposées suivantes :

Phase	Vapeur (24 % ammoniac, 76 % air)
Débit de rejet (extracteur)	3,24 kg/s
Durée du rejet	411 sec
Température du rejet	+5,10°C
Vitesse du rejet	10,4 m/s (diamètre 650 mm)
Altitude du rejet	**14 m**

S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toute les conditions atmosphériques précisées au paragraphe sont envisagées.
Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués au paragraphe, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition (411s) sont les suivantes :

- SEI : 823 ppm
- SPEL : 9 832 ppm
- SELS : 10 712 ppm

Audit Number	27685
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Local édicule SDM1
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_Edicule_SDM1
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur SDM1
View Time	410,999 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD BRIDOR Liffré 2021_v1



La hauteur de 14 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur est conforme** et n'engendre **pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de BRIDOR Liffré à une hauteur au sol de 1,5 m.

Résultats de calcul :

Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessus) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010) :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SELS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

4. Rejet depuis bouteille BP ou échangeur (avec perte de confinement totale) – SDM2 (scénario 23)

Données de calculs

L'installation est supposée à l'arrêt. La capacité BP contient **2 860 kg** d'ammoniac à saturation (la charge totale de l'installation est considérée), à +10°C sous 6,15 bars absolus. Il est fait l'hypothèse d'une rupture de ligne de 76,1 mm de diamètre extérieur 70,3 mm diamètre intérieur en phase liquide. L'ammoniac se répand alors dans une rétention de 200 m² à l'intérieur de la SDM2.

	Dimensions	
Longueur	28,0	*m*
Largeur	18,0	*m*
Hauteur	7,0	*m*
Volume	3 528	*m³*

Sur détection ammoniac, l'extracteur de sécurité d'air ammoniaqué se met en route. **Le débit extrait est de 10 200 m³/h**. Le point de rejet est à une **hauteur de rejet de 14 m (voir résultat ci-joint)**. La vitesse des gaz en sortie de conduite est fixée à 8,5 m/s.

Modélisation du terme source

Les caractéristiques du rejet en salle des machines sont les suivantes :

Phase	Diphasique liquide + gaz	
Débit de rejet	9,14	*Kg/s*
Durée du rejet	313	*Sec*
Température du rejet	-33,4	*°C*
Vitesse de rejet	66	*m/s*
Diamètre des gouttes	124	*µm*
Fraction liquide	82,3	*%*

Les valeurs sont données par un premier calcul « leak » sur « pressure vessel », la charge considérée est la charge maximum contenue dans le plus important récipient **2 860 kg**. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure 313 sec à un débit *(liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente)* de 9,14 kg/s. La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique soit -33,4°C. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out » est de 82,3 %, par conséquent 505 kg sont directement émis en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 1,89 kg/s.

Les effets à distance sont prépondérants pendant la phase de rejet c'est-à-dire pendant les 1 840 secondes initiales (durée calculée en fonction du débit de l'extracteur d'air ammoniaqué). La phase d'évaporation de la nappe n'est pas prise en compte par la suite (phase descendante du nuage).

Modélisation du scénario final

Dans le local, il est par conséquent fait l'hypothèse que, suite au rejet, un mélange air/ammoniac se crée à l'intérieur du local. La fraction massique d'ammoniac à l'équilibre Y_{NH3} est donnée par : $Y_{NH3} = m_{NH3} / (m_{air} + m_{NH3})$

La masse d'air dans le local vaut 2 680 kg en prenant en compte une masse volumique de 1,2 kg/m³. Par conséquent : $Y_{NH3} = 0,1073$

La température finale Tf (en K) du mélange est telle que : $T_f = [Y_{NH3}\, C_{p,NH3}\, T_{NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}\, T_{air}] / [Y_{NH3}\, C_{p,NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}]$

Avec:

$C_{p,NH3}$	Chaleur massique à pression constante de l'ammoniac gazeux (2 000 J/kg.K)
T_{NH3}	Température d'ébullition de l'ammoniac (239,6 K)
T_{air}	Température de l'air ambient (293 K)
$C_{p,air}$	Chaleur massique à pression constante de l'air (1 004 J/kg.K)

Et donc : Tf = +9,53°C

La masse molaire Mf du mélange est déduite de la relation : $M_f = 1 / [Y_{NH3} / M_{NH3} + (1- Y_{NH3})/M_{air}]$

Ou MNH3 désigne la masse molaire de l'ammoniac (0,017 kg/mol) et Mair désigne la masse molaire de l'air (0,0288 kg/mol). Ainsi : Mf = 0,0268 kg/mol. La masse volumique moyenne de mélange à +9,53°C est donc de 0,90 kg/m³.

En supposant que le débit volumique de l'extracteur reste constant, le débit massique du mélange gazeux rejeté à la cheminée vaut 2,55 kg/s. A ce rythme le temps total d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de 505 / (0,1073 x 2,55) = 1 925 s (30 minutes).

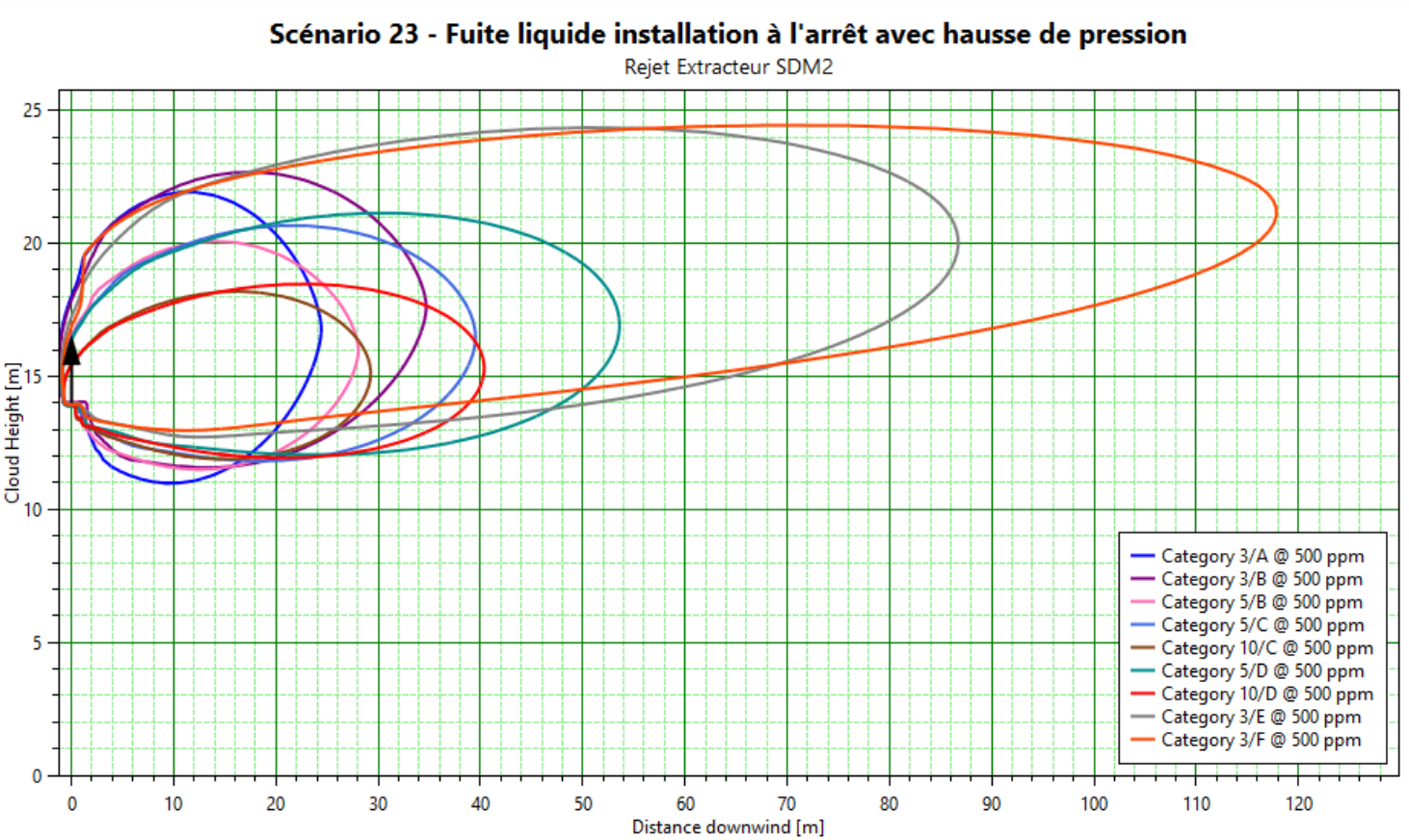
Finalement, le scénario est défini à l'aide du modèle « user defined » avec les valeurs imposées suivantes :

Phase	Vapeur (16 % ammoniac, 84 % air)
Débit de rejet (extracteur)	2,55 kg/s
Durée du rejet	1 840 sec
Température du rejet	+9,53°C
Vitesse du rejet	8,5 m/s (diamètre 650 mm)
Altitude du rejet	**14 m**

S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toute les conditions atmosphériques précisées au paragraphe sont envisagées.
Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués au paragraphe, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition (1 840 s) sont les suivantes :

- SEI : 500 ppm
- SPEL : 4 718 ppm
- SELS : 5 072 ppm

Audit Number	27685
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Local SDM2
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_SDM234
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur SDM2
View Time	1840 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD BRIDOR Liffré 2021_v1



La hauteur de 14 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur est conforme** et n'engendre **pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de BRIDOR Liffré à une hauteur au sol de 1,5 m.

Résultats de calcul :

Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessus) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010) :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SELS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

5. Rejet depuis une tuyauterie liquide HP dans l'édicule – SDM2 (scénario 21)

Données de calculs

L'installation est supposée en fonctionnement. Le circuit HP (Condenseurs + tuyauteries) contient **590 kg** d'ammoniac à saturation (la charge totale de l'installation est considérée), à +45°C sous 17,82 bars absolus. Il est fait l'hypothèse d'une rupture de ligne de 60,3 mm de diamètre extérieur 52,48 mm diamètre intérieur en phase liquide HP. L'ammoniac se répand alors dans une rétention de 125 m² à l'intérieur de l'édicule.

	Dimensions	
Longueur	25,0	*m*
Largeur	5,0	*m*
Hauteur	4,0	*m*
Volume	500	*m³*

Sur détection ammoniac, l'extracteur de sécurité d'air ammoniaqué se met en route. **Le débit extrait est de 10 200 m³/h**. Le point de rejet est à une **hauteur de rejet de 14 m (voir résultat ci-joint)**. La vitesse des gaz en sortie de conduite est fixée à 8,53 m/s.

Modélisation du terme source

Les caractéristiques du rejet en salle des machines sont les suivantes :

Phase	Diphasique liquide + gaz	
Débit de rejet	9,12	*Kg/s*
Durée du rejet	65	*Sec*
Température du rejet	-33,4	*°C*
Vitesse de rejet	66	*m/s*
Diamètre des gouttes	124	*µm*
Fraction liquide	82,3	*%*

Les valeurs sont données par un premier calcul « leak » sur « pressure vessel », la charge considérée est la charge maximum contenue dans le plus important récipient **590 kg**. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure 113 sec à un débit *(liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente)* de 9,12 kg/s. La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique soit -33,4°C. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out » est de 82,3 %, par conséquent 122 kg sont directement émis en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 1,89 kg/s.

Les effets à distance sont prépondérants pendant la phase de rejet c'est-à-dire pendant les 270 secondes initiales (durée calculée en fonction du débit de l'extracteur d'air ammoniaqué). La phase d'évaporation de la nappe n'est pas prise en compte par la suite (phase descendante du nuage).

Modélisation du scénario final

Dans le local, il est par conséquent fait l'hypothèse que, suite au rejet, un mélange air/ammoniac se crée à l'intérieur du local. La fraction massique d'ammoniac à l'équilibre Y_{NH3} est donnée par : $Y_{NH3} = m_{NH3} / (m_{air} + m_{NH3})$

La masse d'air dans le local vaut 3 393 kg en prenant en compte une masse volumique de 1,2 kg/m³. Par conséquent : $Y_{NH3} = 0,170$

La température finale Tf (en K) du mélange est telle que : $T_f = [Y_{NH3}\, C_{p,NH3}\, T_{NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}\, T_{air}] / [Y_{NH3}\, C_{p,NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}]$

Avec:

$C_{p,NH3}$	Chaleur massique à pression constante de l'ammoniac gazeux (2 000 J/kg.K)
T_{NH3}	Température d'ébullition de l'ammoniac (239,6 K)
T_{air}	Température de l'air ambient (293 K)
$C_{p,air}$	Chaleur massique à pression constante de l'air (1 004 J/kg.K)

Et donc : Tf = +4,33°C

La masse molaire Mf du mélange est déduite de la relation : $M_f = 1 / [Y_{NH3} / M_{NH3} + (1- Y_{NH3})/M_{air}]$

Ou MNH3 désigne la masse molaire de l'ammoniac (0,017 kg/mol) et Mair désigne la masse molaire de l'air (0,0288 kg/mol). Ainsi : Mf = 0,0257 kg/mol. La masse volumique moyenne de mélange à +4,33°C est donc de 0,93 kg/m³.

En supposant que le débit volumique de l'extracteur reste constant, le débit massique du mélange gazeux rejeté à la cheminée vaut 2,66 kg/s. A ce rythme le temps total d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de 122 / (0,170 x 2,66) = 270 s (4,5 minutes).

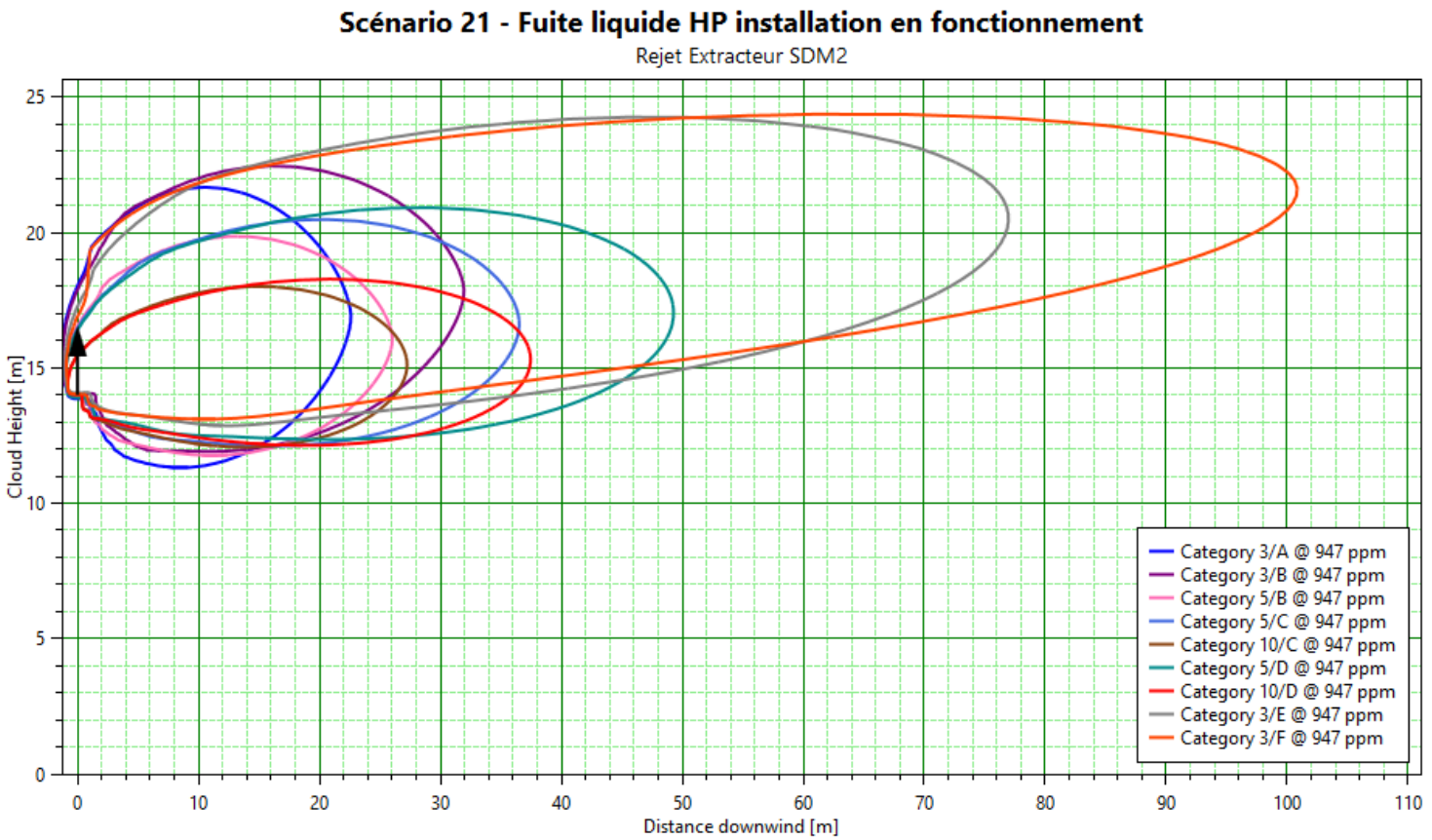
Finalement, le scénario est défini à l'aide du modèle « user defined » avec les valeurs imposées suivantes :

Phase	Vapeur (24 % ammoniac, 76 % air)
Débit de rejet (extracteur)	2,66 kg/s
Durée du rejet	270 sec
Température du rejet	+4,33°C
Vitesse du rejet	8,53 m/s (diamètre 650 mm)
Altitude du rejet	**14 m**

S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toute les conditions atmosphériques précisées au paragraphe sont envisagées.
Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués au paragraphe, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition (270 s) sont les suivantes :

- SEI : 947 ppm
- SPEL : 12 092 ppm
- SELS : 13 225 ppm

Audit Number	27685
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Local édicule SDM2
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_Edicule_SDM234
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur SDM2
View Time	269,999 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD BRIDOR Liffré 2021_v1



La hauteur de 14 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur est conforme** et n'engendre **pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de BRIDOR Liffré à une hauteur au sol de 1,5 m.

Résultats de calcul :

Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessus) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010) :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SELS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

6. Rejet depuis bouteille BP ou échangeur (avec perte de confinement totale) – SDM3 (scénario 33)

Données de calculs

L'installation est supposée à l'arrêt. La capacité BP contient **2 860 kg** d'ammoniac à saturation (la charge totale de l'installation est considérée), à +10°C sous 6,15 bars absolus. Il est fait l'hypothèse d'une rupture de ligne de 76,1 mm de diamètre extérieur 70,3 mm diamètre intérieur en phase liquide. L'ammoniac se répand alors dans une rétention de 200 m² à l'intérieur de la SDM3.

	Dimensions	
Longueur	28,0	*m*
Largeur	18,0	*m*
Hauteur	7,0	*m*
Volume	3 528	*m³*

Sur détection ammoniac, l'extracteur de sécurité d'air ammoniaqué se met en route. **Le débit extrait est de 10 200 m³/h**. Le point de rejet est à une **hauteur de rejet de 14 m (voir résultat ci-joint)**. La vitesse des gaz en sortie de conduite est fixée à 8,5 m/s.

Modélisation du terme source

Les caractéristiques du rejet en salle des machines sont les suivantes :

Phase	Diphasique liquide + gaz	
Débit de rejet	9,14	*Kg/s*
Durée du rejet	313	*Sec*
Température du rejet	-33,4	*°C*
Vitesse de rejet	66	*m/s*
Diamètre des gouttes	124	*µm*
Fraction liquide	82,3	*%*

Les valeurs sont données par un premier calcul « leak » sur « pressure vessel », la charge considérée est la charge maximum contenue dans le plus important récipient **2 860 kg**. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure 313 sec à un débit *(liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente)* de 9,14 kg/s. La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique soit -33,4°C. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out » est de 82,3 %, par conséquent 505 kg sont directement émis en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 1,89 kg/s.

Les effets à distance sont prépondérants pendant la phase de rejet c'est-à-dire pendant les 1 840 secondes initiales (durée calculée en fonction du débit de l'extracteur d'air ammoniaqué). La phase d'évaporation de la nappe n'est pas prise en compte par la suite (phase descendante du nuage).

Modélisation du scénario final

Dans le local, il est par conséquent fait l'hypothèse que, suite au rejet, un mélange air/ammoniac se crée à l'intérieur du local. La fraction massique d'ammoniac à l'équilibre Y_{NH3} est donnée par : $Y_{NH3} = m_{NH3} / (m_{air} + m_{NH3})$

La masse d'air dans le local vaut 2 680 kg en prenant en compte une masse volumique de 1,2 kg/m³. Par conséquent : $Y_{NH3} = 0,1073$

La température finale Tf (en K) du mélange est telle que : $T_f = [Y_{NH3}\, C_{p,NH3}\, T_{NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}\, T_{air}] / [Y_{NH3}\, C_{p,NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}]$

Avec:

$C_{p,NH3}$	Chaleur massique à pression constante de l'ammoniac gazeux (2 000 J/kg.K)
T_{NH3}	Température d'ébullition de l'ammoniac (239,6 K)
T_{air}	Température de l'air ambient (293 K)
$C_{p,air}$	Chaleur massique à pression constante de l'air (1 004 J/kg.K)

Et donc : Tf = +9,53°C

La masse molaire Mf du mélange est déduite de la relation : $M_f = 1 / [Y_{NH3} / M_{NH3} + (1- Y_{NH3})/M_{air}]$

Ou MNH3 désigne la masse molaire de l'ammoniac (0,017 kg/mol) et Mair désigne la masse molaire de l'air (0,0288 kg/mol). Ainsi : Mf = 0,0268 kg/mol. La masse volumique moyenne de mélange à +9,53°C est donc de 0,90 kg/m³.

En supposant que le débit volumique de l'extracteur reste constant, le débit massique du mélange gazeux rejeté à la cheminée vaut 2,55 kg/s. A ce rythme le temps total d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de 505 / (0,1073 x 2,55) = 1 925 s (30 minutes).

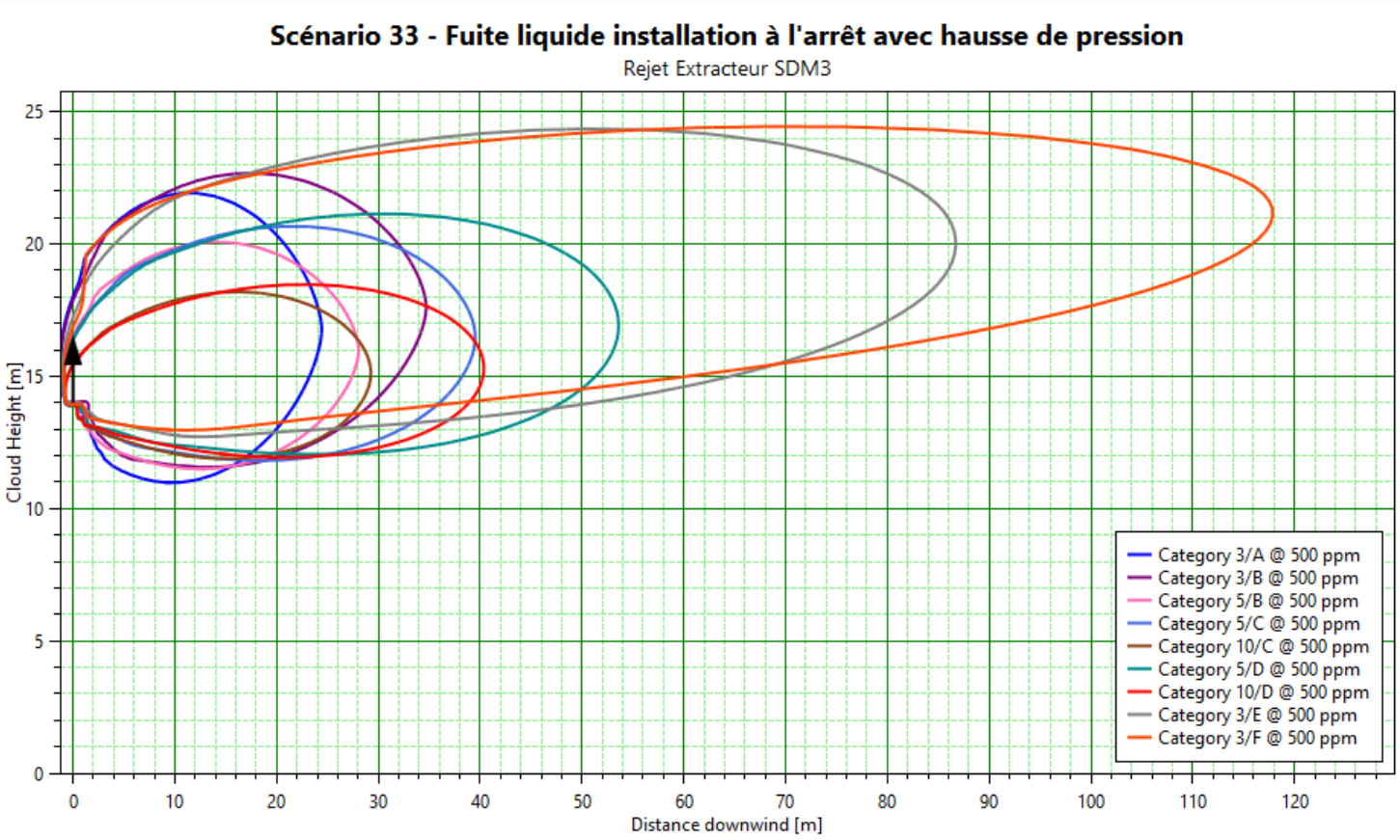
Finalement, le scénario est défini à l'aide du modèle « user defined » avec les valeurs imposées suivantes :

Phase	Vapeur (16 % ammoniac, 84 % air)
Débit de rejet (extracteur)	2,55 kg/s
Durée du rejet	1 840 sec
Température du rejet	+9,53°C
Vitesse du rejet	8,5 m/s (diamètre 650 mm)
Altitude du rejet	**14 m**

S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toute les conditions atmosphériques précisées au paragraphe sont envisagées.
Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués au paragraphe, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition (1 840 s) sont les suivantes :

- SEI : 500 ppm
- SPEL : 4 718 ppm
- SELS : 5 072 ppm

Audit Number	27685
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Local SDM3
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_SD M234
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur SDM3
View Time	1840 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD BRIDOR Liffré 2021_v1



La hauteur de 14 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur est conforme** et n'engendre **pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de BRIDOR Liffré à une hauteur au sol de 1,5 m.

Résultats de calcul :

Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessus) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010) :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SELS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

7. Rejet depuis une tuyauterie liquide HP dans l'édicule – SDM3 (scénario 31)

Données de calculs

L'installation est supposée en fonctionnement. Le circuit HP (Condenseurs + tuyauteries) contient **590 kg** d'ammoniac à saturation (la charge totale de l'installation est considérée), à +45°C sous 17,82 bars absolus. Il est fait l'hypothèse d'une rupture de ligne de 60,3 mm de diamètre extérieur 52,48 mm diamètre intérieur en phase liquide HP. L'ammoniac se répand alors dans une rétention de 125 m² à l'intérieur de l'édicule.

	Dimensions	
Longueur	25,0	*m*
Largeur	5,0	*m*
Hauteur	4,0	*m*
Volume	500	*m³*

Sur détection ammoniac, l'extracteur de sécurité d'air ammoniaqué se met en route. **Le débit extrait est de 10 200 m³/h**. Le point de rejet est à une **hauteur de rejet de 14 m (voir résultat ci-joint)**. La vitesse des gaz en sortie de conduite est fixée à 8,53 m/s.

Modélisation du terme source

Les caractéristiques du rejet en salle des machines sont les suivantes :

Phase	Diphasique liquide + gaz	
Débit de rejet	9,12	*Kg/s*
Durée du rejet	65	*Sec*
Température du rejet	-33,4	*°C*
Vitesse de rejet	66	*m/s*
Diamètre des gouttes	124	*µm*
Fraction liquide	82,3	*%*

Les valeurs sont données par un premier calcul « leak » sur « pressure vessel », la charge considérée est la charge maximum contenue dans le plus important récipient **590 kg**. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure 113 sec à un débit *(liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente)* de 9,12 kg/s. La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique soit -33,4°C. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out » est de 82,3 %, par conséquent 122 kg sont directement émis en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 1,89 kg/s.

Les effets à distance sont prépondérants pendant la phase de rejet c'est-à-dire pendant les 270 secondes initiales (durée calculée en fonction du débit de l'extracteur d'air ammoniaqué). La phase d'évaporation de la nappe n'est pas prise en compte par la suite (phase descendante du nuage).

Modélisation du scénario final

Dans le local, il est par conséquent fait l'hypothèse que, suite au rejet, un mélange air/ammoniac se crée à l'intérieur du local. La fraction massique d'ammoniac à l'équilibre Y_{NH3} est donnée par : $Y_{NH3} = m_{NH3} / (m_{air} + m_{NH3})$

La masse d'air dans le local vaut 3 393 kg en prenant en compte une masse volumique de 1,2 kg/m³. Par conséquent : $Y_{NH3} = 0,170$

La température finale Tf (en K) du mélange est telle que : $T_f = [Y_{NH3}\, C_{p,NH3}\, T_{NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}\, T_{air}] / [Y_{NH3}\, C_{p,NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}]$

Avec:

$C_{p,NH3}$	Chaleur massique à pression constante de l'ammoniac gazeux (2 000 J/kg.K)
T_{NH3}	Température d'ébullition de l'ammoniac (239,6 K)
T_{air}	Température de l'air ambient (293 K)
$C_{p,air}$	Chaleur massique à pression constante de l'air (1 004 J/kg.K)

Et donc : Tf = +4,33°C

La masse molaire Mf du mélange est déduite de la relation : $M_f = 1 / [Y_{NH3} / M_{NH3} + (1- Y_{NH3})/M_{air}]$

Ou MNH3 désigne la masse molaire de l'ammoniac (0,017 kg/mol) et Mair désigne la masse molaire de l'air (0,0288 kg/mol). Ainsi : Mf = 0,0257 kg/mol. La masse volumique moyenne de mélange à +4,33°C est donc de 0,93 kg/m³.

En supposant que le débit volumique de l'extracteur reste constant, le débit massique du mélange gazeux rejeté à la cheminée vaut 2,66 kg/s. A ce rythme le temps total d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de 122 / (0,170 x 2,66) = 270 s (4,5 minutes).

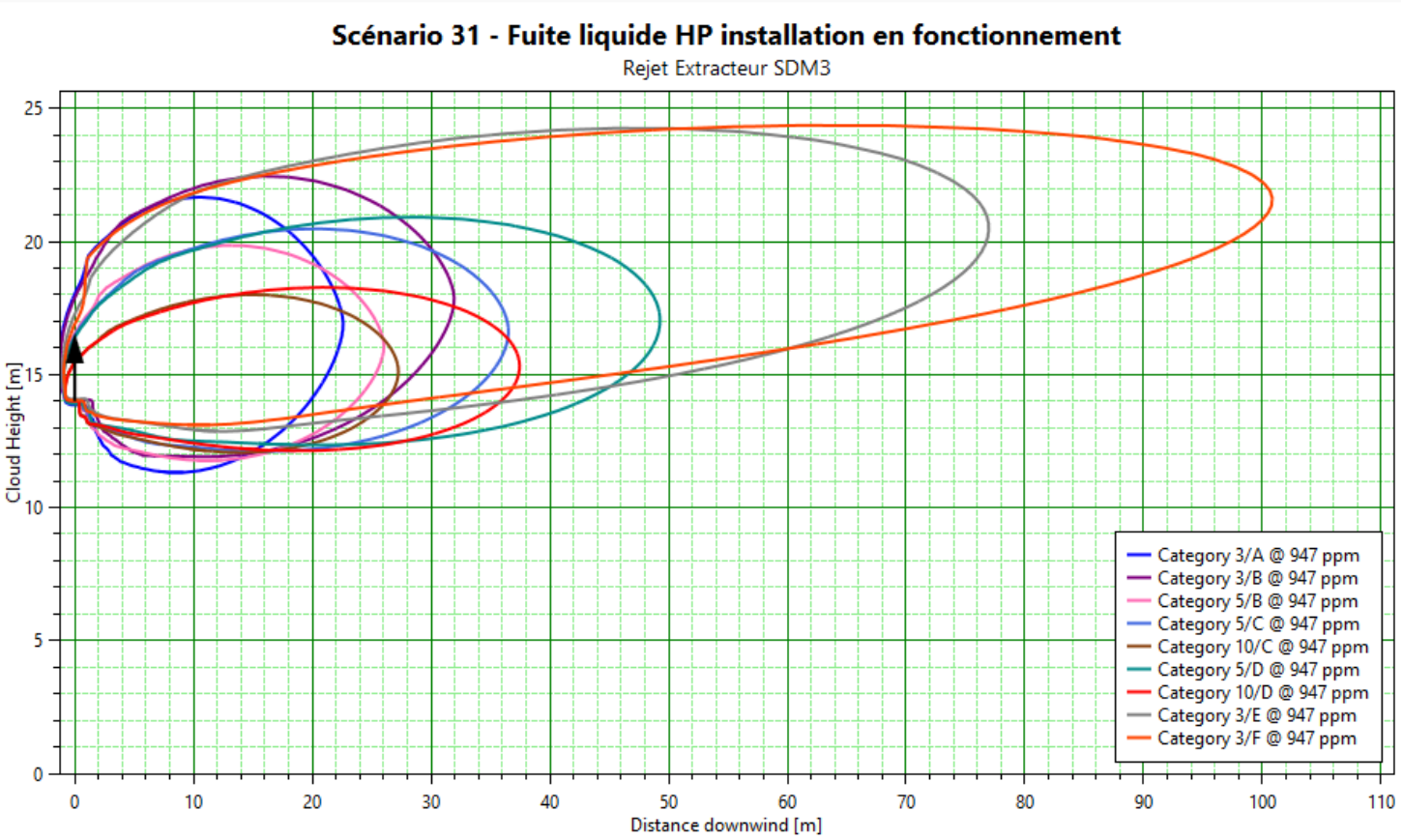
Finalement, le scénario est défini à l'aide du modèle « user defined » avec les valeurs imposées suivantes :

Phase	Vapeur (24 % ammoniac, 76 % air)
Débit de rejet (extracteur)	2,66 kg/s
Durée du rejet	270 sec
Température du rejet	+4,33°C
Vitesse du rejet	8,53 m/s (diamètre 650 mm)
Altitude du rejet	**14 m**

S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toute les conditions atmosphériques précisées au paragraphe sont envisagées.
Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués au paragraphe, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition (270 s) sont les suivantes :

- SEI : 947 ppm
- SPEL : 12 092 ppm
- SELS : 13 225 ppm

Audit Number	27685
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Local édicule SDM3
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_Edicule_SDM234
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur SDM3
View Time	269,999 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD BRIDOR Liffré 2021_v1



La hauteur de 14 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur est conforme** et n'engendre **pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de BRIDOR Liffré à une hauteur au sol de 1,5 m.

Résultats de calcul :

Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessus) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010) :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SELS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

8. Rejet depuis bouteille BP ou échangeur (avec perte de confinement totale) – SDM4 (scénario 43)

Données de calculs

L'installation est supposée à l'arrêt. La capacité BP contient **2 860 kg** d'ammoniac à saturation (la charge totale de l'installation est considérée), à +10°C sous 6,15 bars absolus. Il est fait l'hypothèse d'une rupture de ligne de 76,1 mm de diamètre extérieur 70,3 mm diamètre intérieur en phase liquide. L'ammoniac se répand alors dans une rétention de 200 m² à l'intérieur de la SDM4.

	Dimensions	
Longueur	28,0	*m*
Largeur	18,0	*m*
Hauteur	7,0	*m*
Volume	3 528	*m³*

Sur détection ammoniac, l'extracteur de sécurité d'air ammoniaqué se met en route. **Le débit extrait est de 10 200 m³/h**. Le point de rejet est à une **hauteur de rejet de 14 m (voir résultat ci-joint)**. La vitesse des gaz en sortie de conduite est fixée à 8,5 m/s.

Modélisation du terme source

Les caractéristiques du rejet en salle des machines sont les suivantes :

Phase	Diphasique liquide + gaz	
Débit de rejet	9,14	*Kg/s*
Durée du rejet	313	*Sec*
Température du rejet	-33,4	*°C*
Vitesse de rejet	66	*m/s*
Diamètre des gouttes	124	*µm*
Fraction liquide	82,3	*%*

Les valeurs sont données par un premier calcul « leak » sur « pressure vessel », la charge considérée est la charge maximum contenue dans le plus important récipient **2 860 kg**. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure 313 sec à un débit *(liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente)* de 9,14 kg/s. La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique soit -33,4°C. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out » est de 82,3 %, par conséquent 505 kg sont directement émis en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 1,89 kg/s.

Les effets à distance sont prépondérants pendant la phase de rejet c'est-à-dire pendant les 1 840 secondes initiales (durée calculée en fonction du débit de l'extracteur d'air ammoniaqué). La phase d'évaporation de la nappe n'est pas prise en compte par la suite (phase descendante du nuage).

Modélisation du scénario final

Dans le local, il est par conséquent fait l'hypothèse que, suite au rejet, un mélange air/ammoniac se crée à l'intérieur du local. La fraction massique d'ammoniac à l'équilibre Y_{NH3} est donnée par : $Y_{NH3} = m_{NH3} / (m_{air} + m_{NH3})$

La masse d'air dans le local vaut 2 680 kg en prenant en compte une masse volumique de 1,2 kg/m³. Par conséquent : $Y_{NH3} = 0,1073$

La température finale Tf (en K) du mélange est telle que : $T_f = [Y_{NH3}\, C_{p,NH3}\, T_{NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}\, T_{air}] / [Y_{NH3}\, C_{p,NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}]$

Avec:

$C_{p,NH3}$	Chaleur massique à pression constante de l'ammoniac gazeux (2 000 J/kg.K)
T_{NH3}	Température d'ébullition de l'ammoniac (239,6 K)
T_{air}	Température de l'air ambient (293 K)
$C_{p,air}$	Chaleur massique à pression constante de l'air (1 004 J/kg.K)

Et donc : Tf = +9,53°C

La masse molaire Mf du mélange est déduite de la relation : $M_f = 1 / [Y_{NH3} / M_{NH3} + (1- Y_{NH3})/M_{air}]$

Ou MNH3 désigne la masse molaire de l'ammoniac (0,017 kg/mol) et Mair désigne la masse molaire de l'air (0,0288 kg/mol). Ainsi : Mf = 0,0268 kg/mol. La masse volumique moyenne de mélange à +9,53°C est donc de 0,90 kg/m³.

En supposant que le débit volumique de l'extracteur reste constant, le débit massique du mélange gazeux rejeté à la cheminée vaut 2,55 kg/s. A ce rythme le temps total d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de 505 / (0,1073 x 2,55) = 1 925 s (30 minutes).

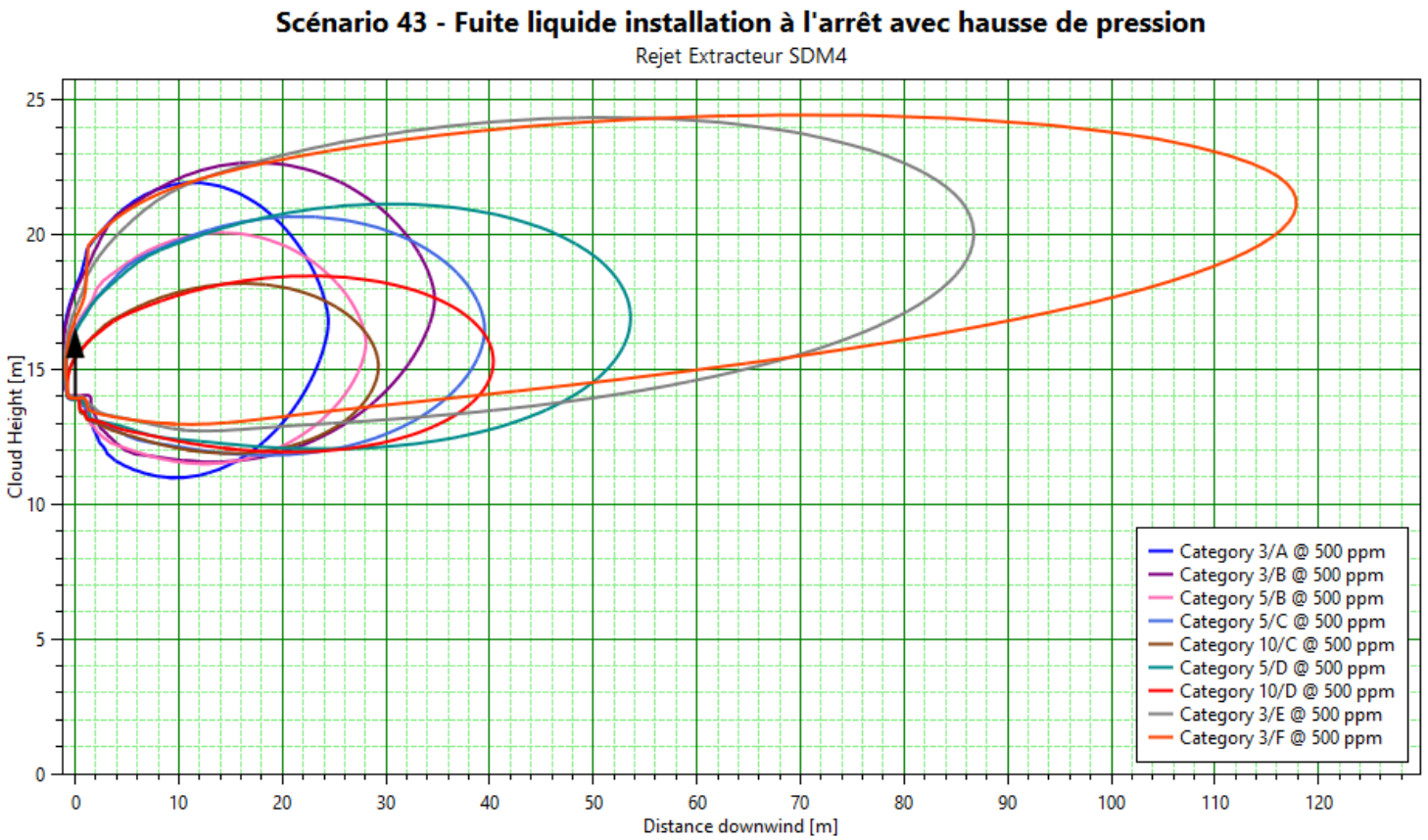
Finalement, le scénario est défini à l'aide du modèle « user defined » avec les valeurs imposées suivantes :

Phase	Vapeur (16 % ammoniac, 84 % air)
Débit de rejet (extracteur)	2,55 kg/s
Durée du rejet	1 840 sec
Température du rejet	+9,53°C
Vitesse du rejet	8,5 m/s (diamètre 650 mm)
Altitude du rejet	**14 m**

S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toute les conditions atmosphériques précisées au paragraphe sont envisagées.
Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués au paragraphe, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition (1 840 s) sont les suivantes :

- SEI : 500 ppm
- SPEL : 4 718 ppm
- SELS : 5 072 ppm

Audit Number	27685
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Local SDM4
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_SD M234
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur SDM4
View Time	1840 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD BRIDOR Liffré 2021_v1



La hauteur de 14 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur est conforme** et n'engendre **pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de BRIDOR Liffré à une hauteur au sol de 1,5 m.

Résultats de calcul :

Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessus) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010) :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SELS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

9. Rejet depuis une tuyauterie liquide HP dans l'édicule – SDM4 (scénario 41)

Données de calculs

L'installation est supposée en fonctionnement. Le circuit HP (Condenseurs + tuyauteries) contient **590 kg** d'ammoniac à saturation (la charge totale de l'installation est considérée), à +45°C sous 17,82 bars absolus. Il est fait l'hypothèse d'une rupture de ligne de 60,3 mm de diamètre extérieur 52,48 mm diamètre intérieur en phase liquide HP. L'ammoniac se répand alors dans une rétention de 125 m² à l'intérieur de l'édicule.

	Dimensions	
Longueur	25,0	*m*
Largeur	5,0	*m*
Hauteur	4,0	*m*
Volume	500	*m³*

Sur détection ammoniac, l'extracteur de sécurité d'air ammoniaqué se met en route. **Le débit extrait est de 10 200 m³/h**. Le point de rejet est à une **hauteur de rejet de 14 m (voir résultat ci-joint)**. La vitesse des gaz en sortie de conduite est fixée à 8,53 m/s.

Modélisation du terme source

Les caractéristiques du rejet en salle des machines sont les suivantes :

Phase	Diphasique liquide + gaz	
Débit de rejet	9,12	*Kg/s*
Durée du rejet	65	*Sec*
Température du rejet	-33,4	*°C*
Vitesse de rejet	66	*m/s*
Diamètre des gouttes	124	*µm*
Fraction liquide	82,3	*%*

Les valeurs sont données par un premier calcul « leak » sur « pressure vessel », la charge considérée est la charge maximum contenue dans le plus important récipient **590 kg**. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure 113 sec à un débit *(liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente)* de 9,12 kg/s. La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique soit -33,4°C. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out » est de 82,3 %, par conséquent 122 kg sont directement émis en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 1,89 kg/s.

Les effets à distance sont prépondérants pendant la phase de rejet c'est-à-dire pendant les 270 secondes initiales (durée calculée en fonction du débit de l'extracteur d'air ammoniaqué). La phase d'évaporation de la nappe n'est pas prise en compte par la suite (phase descendante du nuage).

Modélisation du scénario final

Dans le local, il est par conséquent fait l'hypothèse que, suite au rejet, un mélange air/ammoniac se crée à l'intérieur du local. La fraction massique d'ammoniac à l'équilibre Y_{NH3} est donnée par : $Y_{NH3} = m_{NH3} / (m_{air} + m_{NH3})$

La masse d'air dans le local vaut 3 393 kg en prenant en compte une masse volumique de 1,2 kg/m³. Par conséquent : $Y_{NH3} = 0,170$

La température finale Tf (en K) du mélange est telle que : $T_f = [Y_{NH3}\, C_{p,NH3}\, T_{NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}\, T_{air}] / [Y_{NH3}\, C_{p,NH3} + (1-Y_{NH3})\, C_{p,air}]$

Avec:

$C_{p,NH3}$	Chaleur massique à pression constante de l'ammoniac gazeux (2 000 J/kg.K)
T_{NH3}	Température d'ébullition de l'ammoniac (239,6 K)
T_{air}	Température de l'air ambient (293 K)
$C_{p,air}$	Chaleur massique à pression constante de l'air (1 004 J/kg.K)

Et donc : Tf = +4,33°C

La masse molaire Mf du mélange est déduite de la relation : $M_f = 1 / [Y_{NH3} / M_{NH3} + (1- Y_{NH3})/M_{air}]$

Ou MNH3 désigne la masse molaire de l'ammoniac (0,017 kg/mol) et Mair désigne la masse molaire de l'air (0,0288 kg/mol). Ainsi : Mf = 0,0257 kg/mol. La masse volumique moyenne de mélange à +4,33°C est donc de 0,93 kg/m³.

En supposant que le débit volumique de l'extracteur reste constant, le débit massique du mélange gazeux rejeté à la cheminée vaut 2,66 kg/s. A ce rythme le temps total d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de 122 / (0,170 x 2,66) = 270 s (4,5 minutes).

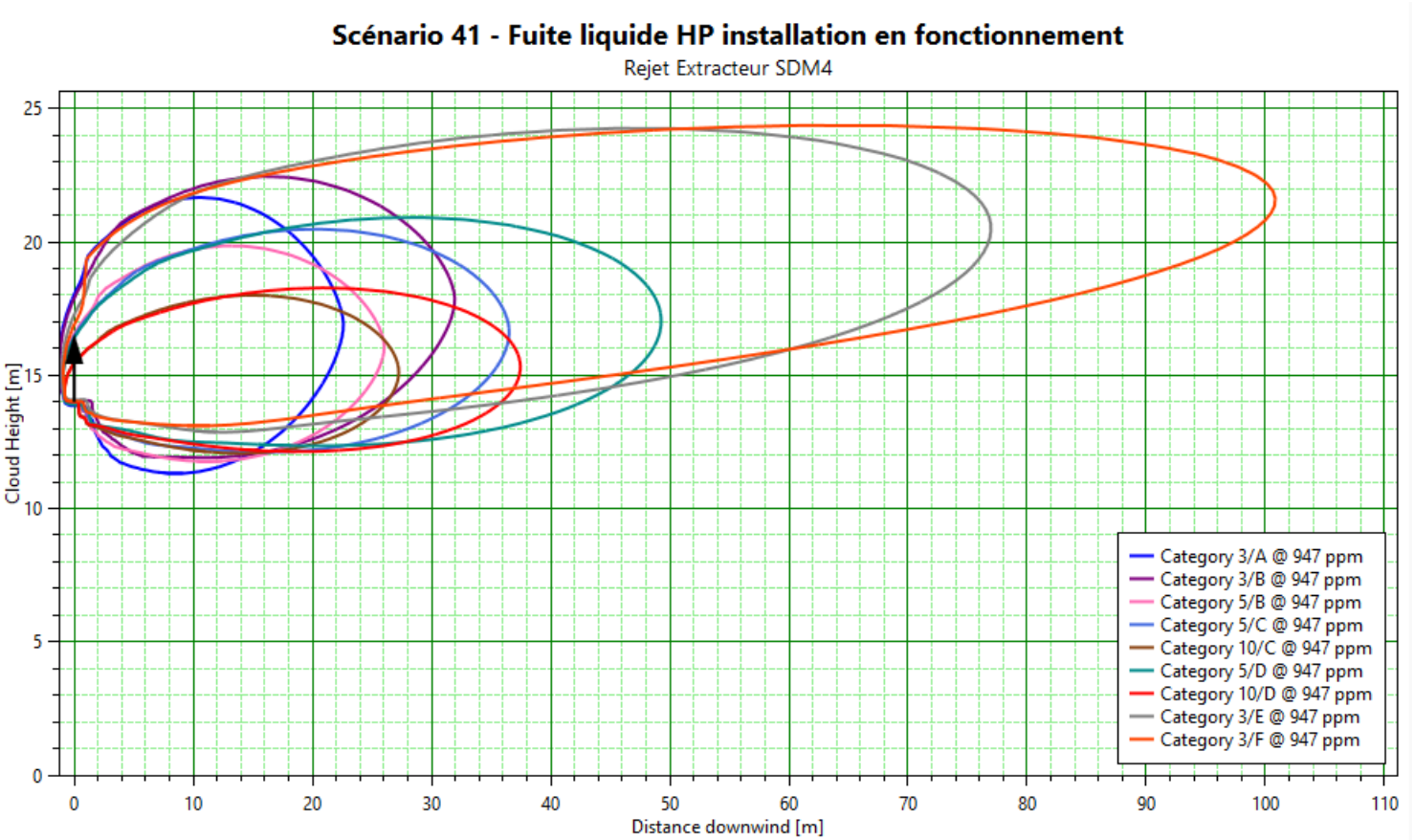
Finalement, le scénario est défini à l'aide du modèle « user defined » avec les valeurs imposées suivantes :

Phase	Vapeur (24 % ammoniac, 76 % air)
Débit de rejet (extracteur)	2,66 kg/s
Durée du rejet	270 sec
Température du rejet	+4,33°C
Vitesse du rejet	8,53 m/s (diamètre 650 mm)
Altitude du rejet	**14 m**

S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toute les conditions atmosphériques précisées au paragraphe sont envisagées.
Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués au paragraphe, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition (270 s) sont les suivantes :

- SEI : 947 ppm
- SPEL : 12 092 ppm
- SELS : 13 225 ppm

Audit Number	27685
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Local édicule SDM4
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_Edicule_SDM234
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur SDM4
View Time	269,999 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD BRIDOR Liffré 2021_v1



La hauteur de 14 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur est conforme** et n'engendre **pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de BRIDOR Liffré à une hauteur au sol de 1,5 m.

Résultats de calcul :

Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessus) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010) :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SELS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Atlantic Refrigeration Consulting

Annexe 15

Etude préalable d'implantation des détecteurs ammoniac

Frédéric LE BRONNEC
26/10/2021

Table des matières

Glossaire **2**

1. Textes applicables aux installations de réfrigération à l'ammoniac **3**

2. Principes d'évaluation des mesures **4**

2.1. Exigences réglementaires 4

2.2. Méthodes d'évaluation des barrières de sécurité 6

3. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la fuite toxique (Mesure T) **7**

3.1. Détection de fuite : détection gaz 7

3.1.1. Equipements local SDM1 13

3.1.2. Equipements local SDM2 14

3.1.3. Equipements local SDM3 15

3.1.4. Equipements local SDM4 16

4. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de l'explosion (Mesure X) **18**

5. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la pollution (Mesure P) **19**

6. Mesure de protection / Limitation vis-à-vis des incendies (Mesure I) **20**

7. Dispositifs de sécurité (Passifs ou Actifs) **21**

8. Evaluation des dispositifs assurant la sécurité **22**

8.1. Grille d'évaluation 22

8.1.1. Détecteur gaz 23

Glossaire

AFF	Association Française du Froid
APR	Analyse Préliminaire de Risques
BARPI	Pureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels
BP	Basse Pression
EDD	Etude de Dangers
ERC	Evènement Redouté Central
ERP	ERP Etablissement Recevant du Public
HP	Haute Pression
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
MMR	Mesure de Maîtrise des Risques
MP	Moyenne Pression
NC	Niveau de Confiance
PhD	Phénomène Dangereux
POI	
PPRT	Plan de Prévention des Risques Technologiques
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuil des Effets Létaux
SELS	Seuil des Effets Létaux Significatifs
SIL	Safety Integrity Level
TMD	TMD Transport de Marchandises Dangereuses
USNEF	USNEF Union Syndicale Nationale des Exploitations Frigorifiques

Cette annexe fait référence à l'Article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 qui demande une étude préalable de l'implantation des détecteurs. Ce document fait le lien entre les recommandations identifiées et les articles ou chapitres des textes réglementaires et des normes.

Dans un premier temps, les textes applicables sont rappelés.

Objectif : Déterminer le nombre et l'implantation des détecteurs ammoniac (gazeux), des détecteurs pH (en prévention de la pollution) sur le site considéré.

1. Textes applicables aux installations de réfrigération à l'ammoniac

Les textes applicables aux installations soumises à autorisation sont de deux types :

- Des réglementations applicables à la rubrique 4735 de la nomenclature applicable à compter du 1er juin 2015 (transposition de la directive Seveso 3) :
  - L'arrêté du 16 juillet 1997 relatif aux installations de réfrigération employant l'ammoniac comme fluide frigorigène ; il est applicable aux installations de plus de 1,5 tonne d'ammoniac et ne concerne pas les installations frigorifiques à l'ammoniac qui sont incluses dans une installation de fabrication d'unité chimique dont l'exploitation est déjà soumise à autorisation ;
  - La circulaire n° 97-63 du 16/07/97 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement : Application de l'arrêté du 16/07/97 relatif aux installations de réfrigération employant de l'ammoniac comme fluide frigorigène ;
  - La circulaire du 10 décembre 2003 relative à application de l'arrêté ministériel du 16 juillet 1997 relatif aux installations de réfrigération employant l'ammoniac comme fluide frigorigène.
- Le code du travail – Article R4412-149 concernant les agents chimiques présents dans l'atmosphère des lieux de travail.
- La norme relative aux « Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement » ; la norme NF EN 378 se compose des parties suivantes :
  - Partie 1 : Exigences de base, définitions, classification et critères de choix ;
  - Partie 2 : Conception, construction, essais, marquage et documentation ;
  - Partie 3 : Installation in situ et protection des personnes ;
  - Partie 4 : Fonctionnement, maintenance, réparation et récupération.

Le respect de la norme EN 378-3 chapitre 5 est imposé dans la réglementation. Les autres parties de la norme ne sont pas d'application obligatoire.

2. Principes d'évaluation des mesures

2.1. Exigences réglementaires

Les mesures de maîtrise des risques doivent répondre à des exigences réglementaires. L'arrêté 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 » fixe des exigences générales d'évaluation de performances.

- Article 4 :

« Pour être prises en compte dans l'évaluation de la probabilité, les mesures de maîtrise des risques 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 du positionnement précité. »

- Article 5 :

« L'adéquation entre la cinétique de mise en œuvre des mesures de sécurité mises en place ou prévues et la cinétique de chaque scénario pouvant mener à un accident doit être justifiée. Cette adéquation est vérifiée périodiquement, notamment à travers des tests d'équipements, des procédures et des exercices des plans d'urgence internes. »

L'arrêté du 29 septembre 2005 requiert donc la vérification des quatre critères d'efficacité, de temps de réponse adapté, de testabilité et de maintenabilité doivent être vérifiés.

L'arrêté du 16 juillet 1997 relatif « aux installations de réfrigération employant l'ammoniac comme fluide frigorigène » donne des exigences plus ciblées qui sont explicitées dans les paragraphes suivants relatifs aux différentes MMR.

De manière générale, l'arrêté du 16 juillet 1997 impose aussi :

- **Un système de conduite permettant au personnel d'identifier toute dérive et paramètres de conduite ;**
- **Des équipements et paramètres de fonctionnement importants pour la sécurité** des installations, qui doivent répondre à des exigences **de conception éprouvée, de maintenabilité et de testabilité.**

- Ainsi, l'article 39 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise :

« Le dispositif de conduite des installations est conçu de façon que le personnel concerné ait immédiatement connaissance de toutes dérives des paramètres de conduite par rapport aux conditions normales d'exploitation ».

L'exploitant détermine la liste des équipements et paramètres de fonctionnement importants, pour la sécurité des installations, en fonctionnement normal, en fonctionnement transitoire ou en situation accidentelle. Les paramètres importants pour la sécurité des installations sont mesurés, si nécessaire enregistrés en continu et équipés d'alarme.

Les équipements importants pour la sécurité sont de conception simple, d'efficacité et de fiabilité éprouvées. Ces caractéristiques doivent être établies à l'origine de l'installation, mais aussi être maintenues dans le temps. Les dispositifs sont conçus de manière à résister aux contraintes spécifiques liées aux produits manipulés à l'exploitation et à l'environnement du système (choc, corrosion. etc.). Ces dispositifs et en particulier, les chaînes de transmission sont conçues pour permettre de s'assurer périodiquement, par test de leur efficacité.

Ces équipements sont contrôlés périodiquement et maintenus en état de fonctionnement selon des procédures écrites. Les opérations de maintenance et de vérification sont enregistrées et archivées pendant trois ans.

Des consignes écrites doivent préciser la conduite à tenir en cas d'indisponibilité ou de maintenance de ces équipements.

- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que « l'exploitant doit contrôler :
    - L'existence et la pertinence d'une liste de paramètres, ainsi qu'une procédure pour les contrôler ;
    - La réalisation effective de ces contrôles ;
    - La réalisation d'essais de mise en sécurité de l'installation (après préparation de ces essais pour éviter les accidents). »

Les résultats des essais seront consultés.

L'article 46 de l'arrêté du 16 juillet 1997 **demande une alimentation électrique de secours en cas d'impossibilité de mettre en sécurité certains dispositifs de sécurité.**

« Si l'installation ou l'appareillage conditionnant la sécurité ne peuvent être mis en position de sécurité en cas de défaillance de l'alimentation électrique normale, l'exploitant s'assurera de la disponibilité de l'alimentation électrique de secours et cela particulièrement à la suite de conditions météorologiques extrêmes (foudre, températures extrêmes, etc.). »

La circulaire du 10 décembre 2003 précise que l'exploitant doit contrôler « l'existence d'une alimentation électrique secourue. »

La gestion des MMR passe par la réalisation de procédures écrites :

- Procédures écrites de contrôle périodique et de maintien en état ;
- Enregistrement des opérations de tests et maintenance ;
- Consignes écrites de conduite à tenir en cas d'indisponibilité de la MMR.

2.2. Méthodes d'évaluation des barrières de sécurité

Les barrières de sécurité sont évaluées en suivant la méthodologie :

- Oméga 10 pour les barrières techniques de sécurité ;
- Oméga 20 pour les barrières humaines de sécurité ou fiche n°7 de la circulaire du 10 mai 2010.

Ces méthodes sont accessibles sur le site internet de l'INERIS.

L'évaluation s'appuie sur les évaluations individuelles de chaque élément de la barrière (détection, traitement, action) mais c'est l'évaluation de la barrière globale qui est retenue dans les évaluations de probabilité des évènements.

Les critères d'évaluation (communs aux barrières techniques et humaines) sont :

- **L'indépendance** : faculté d'une barrière, de par sa conception, son exploitation et son environnement, à ne pas dépendre du fonctionnement d'autres éléments et notamment d'une part d'autres barrières, et d'autre part, du système de conduite de l'installation, afin d'éviter les modes communs de défaillance ou de limiter leur fréquence d'occurrence.
- **L'efficacité** : Capacité à remplir la mission/fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation
- **Le temps de réponse** : Ce temps de réponse est inclus dans la cinétique de mise en œuvre d'une fonction de sécurité, cette dernière devant être en adéquation [significativement plus courte] avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser
- **Le niveau de confiance** : il traduit la fiabilité de la barrière ;
- **Le maintien des performances** des barrières (testabilité, maintenabilité).

Le mode commun de défaillance doit être étudié. Il doit être pris en compte dans les évaluations des probabilités des phénomènes dangereux et accidents majeurs.

L'indépendance vis-à-vis des dispositifs de conduite pour les arrêts d'urgence et la mise en sécurité électrique des installations est requise explicitement dans la réglementation. Ainsi l'article 39 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : *« Des dispositions sont prises pour permettre, en toute circonstance, un arrêt d'urgence et la mise en sécurité électrique des installations. Les dispositifs utilisés à cet effet sont indépendants des systèmes de conduite. Toute disposition contraire doit être justifiée et faire l'objet de mesures compensatoires. Les systèmes de mise en sécurité électrique des installations sont à sécurité positive. »*

3. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la fuite toxique (Mesure T)

Eléments des MMR (Mesure de Maîtrise des Risques)

Ce paragraphe liste les éléments des différentes MMR. Rappelons que c'est la MMR globale qui doit être évaluée pour être prise en compte dans l'évaluation probabiliste.

Des exigences réglementaires et normatives sont précisées ; elles peuvent être utilisées pour évaluer les performances des MMR.

3.1. Détection de fuite : détection gaz

Nécessité d'une détection gaz

Pour permettre l'intervention, des exutoires de fumées à commandes automatique et manuelle doivent être installés en partie haute de la salle des machines, avec des commandes manuelles situées à l'extérieur de la salle des machines, près des accès.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise que « Les installations pouvant présenter un danger pour la sécurité ou la santé des personnes doivent être munies de systèmes de détection et d'alarme adaptés aux risques et judicieusement disposés de manière à informer rapidement le personnel de tout incident. […] Des détecteurs de gaz sont mis en place dans les zones présentant les plus grands risques en cas de dégagement ou d'accumulation importante de gaz ou de vapeurs toxiques. »
- La circulaire du 10 décembre 2010 que « l'exploitant contrôle :
  - Vérification de la conformité du plan de détection à la réalité du site ;
  - Pertinence de l'implantation de la détection ;
  - Essais périodiques de vérification de son efficacité (après préparation de ces essais pour éviter les accidents), qui doivent être enregistrés ;
  - Vérification de l'existence et de la tenue d'un document d'enregistrement relatant les déclenchements, comportant un compte-rendu des causes et du traitement de celles-ci ;
  - Vérifier que la ventilation fonctionne après déclenchement du premier seuil d'alarme ;
  - Vérification de la mise en sécurité effective de l'installation après déclenchement du second seuil d'alarme. »
- L'exploitant s'appuiera pour cela sur :
  - « Plan d'implantation de la détection ammoniac
  - Compte-rendu des essais de détection ammoniac. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise (§ 8.7) « afin d'avertir du risque d'explosion ou d'incendie des équipements dans une salle des machines spéciale, et pour des besoins de commande lorsque la charge est supérieure à 50 kg, un détecteur d'ammoniac est requis. »

Note : la norme (§ 8.7) demande également l'installation de détecteurs d'ammoniac dans le circuit de fluide frigorigène dans le cas des systèmes indirects. « Les détecteurs de R-717 doivent être incorporés dans le circuit de transfert de chaleur de systèmes indirects, par exemple des circuits d'eau ou de glycol, pour détecter la présente de fluide frigorigène dans le circuit, si la charge en R717 est supérieure à 500 kg. Ces détecteurs doivent déclencher une alarme dans la salle des machines et, si possible, à l'interface système de commande/opérateur, mais ils ne doivent ni déclencher de balises ou d'avertisseurs sonores ni initier une évacuation. »

Note : pour les installations situées à l'extérieur (condenseur en terrasse par exemple), la détection gaz est également recommandée ; le maillage devra permettre de couvrir les fuites dans toutes les directions. D'autres systèmes pourront être envisagés (pression basse…). L'efficacité de la détection sera accrue en cas de capotage des zones à risque avec installation des détecteurs au niveau du capotage.

Asservissements pour la salle des machines (et édicule condenseurs) – Cinétique.

La détection gaz est équipée de deux seuils de sécurité qui déclenchent les asservissements en deux temps + un seuil pour le risque d'explosivité :

- **1er seuil** : alarme visuelle et sonore + ventilation d'urgence ;
- **2ème seuil** : idem 1er seuil (le visuel et sonore seront différents du 1er seuil) + mise en sécurité des installations (coupure des alimentations électrique de tous les équipements du local technique), alarme générale.
- **3ème seuil** : alarme sirène pour la gestion du risque d'explosivité (seulement sur le capteur explosimètre (l'installation à déjà été arrêté au 2ème seuil).

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « L'exploitant fixera au minimum les deux seuils de sécurité suivants :
  - Le franchissement du premier seuil entraînera le déclenchement d'une alarme sonore ou lumineuse et la mise en service, de la ventilation additionnelle, […] ;
  - Le franchissement du deuxième seuil entraînera, en plus des dispositions précédentes, la mise à l'arrêt en sécurité des installations, une alarme audible en tous points de l'établissement et, le cas échéant une transmission à distance vers une personne techniquement compétente (ce seuil est au plus égal au double de la valeur choisie pour le 1er seuil).
- Les détecteurs fixes doivent déclencher une alarme sonore ou visuelle retransmise en salle de contrôle. »
- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise :
  - « Au niveau bas d'alarme, une alarme et la ventilation mécanique doivent être actionnées.
  - Au niveau haut d'alarme, le système de réfrigération doit être automatiquement arrêté. Au niveau haut d'alarme, l'alimentation électrique pour le fluide frigorigène vers la salle des machines spéciale doit également être arrêtée, ainsi que le système de ventilation mécanique d'urgence à moins qu'il existe des dispositions particulières (voir 5.17.1.2). »

Spécifications système de détection ammoniac.

Cinétique du système de détection ammoniac		**Signal sonore**	**Signal lumineux**	**Extraction NH3**	**Arrêt système SDM**	**Coupure des énergies** (sources électriques)
	**3ème Seuil** **10% LIE**	Signal 3	**Bleu**	Oui	Oui	Oui
	2ème seuil **1 000 ppm**	Signal 1 + 2	**Rouge**	Oui	Oui	Oui
	1er seuil **500 ppm**	Signal 1	**Orange**	Oui	Non	Non
	Opération de maintenance (1)	RAS	**Jaune**	Oui en mode forcée	Non	Non
	Conditions normales de fonctionnement	RAS	**Vert**	Non	Non	Non
Etape 1	**Signal sonore n°1** : Buzzer Alarme (> 10 dB du niveau de bruit ambiant)					
Etape 2	**Signal sonore n°2** : Sirène Alarme (Audible en tout point du site)					
Etape 3	**Signal sonore n°3** : Sirène hurlante (Audible en tout point du site)					
Etape 2	**Arrêt système de réfrigération** : Arrêt impératif de l'alimentation générale de tous les départs électriques alimentant des équipements dans la SDM					
Etape 2	**Coupure des énergies** : Coupure instantanée de toutes les sources d'alimentation électrique des équipements se trouvant dans la salle des machines et ce depuis d'extérieur de la salle des machines					
	AU : Une action sur AU (Arrêt d'urgence, aura le même effet que l'étape 2					
(1)	Un mode maintenance peut être activé pour un signalement d'une opération en cours (exemple une purge d'huile avec des émanations d'ammoniac possibles)					
(NB)	Toutes les étapes seront associées à des procédures d'interventions bien définies					

Seuils et nature des détecteurs

Le choix des seuils et des technologies de détecteurs dépend des risques envisagés. Dans les locaux avec du personnel, les effets toxiques sont recherchés et les seuils sont adaptés au temps de présence du personnel. On étudiera différemment les lieux de travail suivants :

- Salle des machines 1 (local technique) + édicule condenseurs.
- Salle des machines 2 (local technique) + édicule condenseurs.
- Salle des machines 3 (local technique) + édicule condenseurs.
- Salle des machines 4 (local technique) + édicule condenseurs.

Détection ammoniac dans les installations de réfrigération :

*Pour **les installations ammoniac de plus de 1500k**g il est nécessaire de respecter **l'arrêté du 16 juillet 1997**. Cet arrêté mentionne à l'article 42 du titre VIII le point suivant :*

« …. L'exploitant fixera au minimum les deux seuils de sécurité suivants :

- *Le franchissement du premier seuil entraînera le déclenchement d'une alarme sonore ou lumineuse et la mise en service de la ventilation additionnelle, conformément aux normes en vigueur ;*
- *Le franchissement du deuxième seuil entraînera en plus des dispositions précédentes, la mise à l'arrêt en sécurité des installations, une alarme audible en tous points de l'établissement et, le cas échéant, une transmission à distance vers une personne techniquement compétente **(ce seuil est égal au plus au double de la valeur choisie pour le premier seuil)** …… ».*

***La norme NF EN 378-3** (ex NF 35-400) **obligatoirement applicable dans le cadre des arrêtés cités aux points 2) et 3)** et recommandée dans le cadre du point 1) stipule entre autres au point 7.5:*

*« **7.5 Détecteurs d'ammoniac avertissant du danger d'explosion ou d'incendie** :*

Un détecteur d'ammoniac requis en 6.2.5 (Ammoniac dans des salles des machines spéciale) doit fonctionner à une concentration ne dépassant pas :

- *380 mg/m3 (500ppm (V/V) dans les salles des machines (niveau bas d'alarme) ;*
- *22800 mg/m3 (30000ppm (V/V) (niveau haut d'alarme).*

Au niveau bas d'alarme, une alarme et la ventilation mécanique doivent être actionnées. Au niveau haut d'alarme le système de réfrigération doit être automatiquement arrêté. »

CONCLUSIONS : comme on doit cumuler l'application de tous ces textes, il va falloir prendre le plus contraignant de chaque texte.

📋 ***Résultat 1 :*** *Ce qui signifie* ***que pour la protection en zone technique :***

- *Le* ***premier seuil*** *de détection sera* ***au maximum de 500 ppm****,*
- *Le* ***second seuil*** *de détection sera* ***au maximum de 1000 ppm*** *tout en ne dépassant pas le double du premier seuil,*
- *Le* ***troisième seuil*** *de détection sera* ***au maximum de 30 000 ppm*** *seuil haut donné par l'EN 378,*
- *Le choix sur le* ***type de sondes*** *à utiliser se portera des sondes de type «* ***toximétrique*** *» : en effet technologie actuelle des sondes de type « explosimétrique » ne permet pas dans leur gamme de mesure (0 à 30000ppm) de contrôler des seuils aussi bas (500ppm maxi).*

📋 ***Résultat 2 :*** ***La protection des travailleurs*** *recommande les valeurs prévues par* ***le du code du travail et fixées dans l'article R4412-149*** *à savoir :*

- *La VME (Valeur limite de Moyenne Exposition sur le lieu de travail* ***pour un poste de 8 heures****) à* ***10 ppm****,*
- *La VLE (Valeur Limite d'Exposition sur le lieu de travail* ***pendant 15 minutes****) à* ***20 ppm****,*

En cas de fuite d'ammoniac ou présence supposée et au vu de ces recommandations on appliquera les seuils de ***protection des travailleurs*** *de façon à ce que les travailleurs ne soient pas incommodés. La valeur de ces seuils sera contrôlée grâce à des détecteurs portables qui seront à utiliser pour entrer dans lesdits lieux à atmosphère ammoniaquée.*

En fonction des procédures du site le personnel habilité pourra entrer avec les EPI adéquats dans les locaux « ammoniaqués ».

Zone de travail avec personnel *: Les volumes des zones où les employés travaillent en permanence sont très grands et les organes à risques de fuite d'ammoniac sont éloignés des travailleurs postés. En cas de fuite l'ammoniac sera dilué dans le grand volume d'air des locaux et la concentration d'NH3 diminuera en approchant du personnel.*

Il faut se rappeler que le meilleur détecteur est l'odorat, et en cas de fuite même minime le travailleur sentira l'ammoniac plus rapidement qu'une sonde ne pourrait le faire. La personne ayant senti l'ammoniac évacuera d'elle-même sans attendre le signal automatique déclenché par la sonde NH3.

Ce qui signifie que pour la ***protection des travailleurs*** *il est possible, mais non obligatoire, de mettre des détecteurs fixes pour empêcher le personnel d'entrer dans une zone « ammoniaquée » ou déclencher une alarme, par -contre* ***les valeurs limites pour l'ammoniac sont réglementaire contraignante****.*

On recommandera donc les valeurs suivantes pour les postes de travail permanant :

- *Le* ***premier seuil*** *de détection sera* ***au maximum de 10 ppm****,*
- *Le* ***second seuil*** *de détection sera* ***au maximum de 20 ppm*** *tout en ne dépassant pas le* ***double du premier seuil****,*
- *Le choix sur le type de sondes à utiliser se portera des sondes de type « toximétrique ».* ***Dans tous les cas les ensembles de détection seront antidéflagrants*** *(voir directive ATEX).*

Technologie des détecteurs

En salle des machines et sur la plateforme de condensation (absence de personnel), les détecteurs sont du type électrochimique dans la mesure où les seuils de détection retenus sont usuellement de l'ordre de 1000 ppm.

Si des utilisations en explosimétrie sont visées, les détecteurs seront de type catalytique

Parfois, un 3ème seuil plus bas (toximétrie) est possible sur les détecteurs. En cas d'intervention en salle des machines, le personnel pourra s'équiper d'un détecteur portatif.

Dans les locaux où du personnel peut être présent, les détecteurs sont du type électrochimique et sont réglés pour des utilisations en toximétrie.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Les zones de sécurité sont équipées de systèmes de détection dont les niveaux de sensibilité sont adaptés aux situations. Ces détecteurs doivent être de type toximétrie dans les endroits où les employés travaillent en permanence ou susceptibles d'être exposés, et de type explosimétrie dans les autres cas où peuvent être présentes des atmosphères confinées. »

Nombre et position des détecteurs

Le positionnement des détecteurs reste difficile à recommander de manière générale. Des exigences existent pour le positionnement au-dessus des équipements sujets à fuite (compresseurs, pompes…). Les règles de bonnes pratiques conduisent usuellement à mettre plusieurs détecteurs dans la salle des machines (au minimum deux) situés en partie basse et haute. Un ordre de grandeur peut être d'un détecteur pour 100 m2 au sol. On pourra installer des détecteurs toximétriques en partie basse (position des intervenants) et des explosimétriques en partie haute. Souvent un détecteur est placé au niveau de la gaine d'extraction.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 note « L'implantation des détecteurs résulte d'une étude préalable. ».
- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 8.7) fixe des exigences sur le nombre et la position des détecteurs : « Lorsque la salle des machines spéciale ne comprend que des compresseurs ou des unités de compresseurs, au moins un détecteur doit être placé sur les compresseurs ou les unités. Le site des pompes de réfrigération, dans une salle des machines ou dans d'autres zones, doit également être surveillé par un détecteur monté à l'avant et à proximité des pompes. »

Note : pour les installations situées à l'extérieur, le maillage de la détection ammoniac devra permettre de couvrir les différentes directions de fuite.

3.1.1. Equipements local SDM1

Equipement de détection à mettre en place (suivant Arrêté 16/07/97 et EN 378-3) :

Désignation	Détecteur gaz ATEX SIL2 (Cellule catalytique) > 0-100% LIE	Détecteur ATEX SIL2 (Cellule électronique) > 0-5000 ppm	Détecteur pH
Local SDM1			
SDM partie haute[N5]	2		
Zone de compression MP10[N1]		1	
Zone de compression MP20[N1]		1	
Séparateur de liquide MP[N1]		1	
Echangeur Spray-chiller avec station de pompe ammoniac[N1]		1	
Collecteur d'échappement soupapes de sécurité[N3]	1	Ou (1)	
Circuit MPG (-8/-4°C) [N4]			1
Circuit MPG (0/+4°C)			1
Circuit MPG chaud[N4]			1
Circuit récupération de chaleur			1
Rejets des eaux du local[N2]			1
Local Edicule SDM1			
Edicule partie haute[N5]	1		
Zone intérieur n°1		1	
Zone intérieur n°2		1	
Collecteur d'échappement soupapes de sécurité[N3]	1	Ou (1)	
Condenseurs adiabatiques (en extérieur)			
Intérieur du condenseur	3 points / condenseur		
Rejets des eaux condenseur adiabatique[N2]			1

N1 : Suivant EN 378-3 article 9.3.3 « Détecteurs de R717 »

N2 : Il est possible de faire un contrôle du pH commun aux rétentions, l'objectif étant une totale maitrise du risque de pollution à l'intérieur du site. Pour cela il faudra collecter les eaux de déconcentration avant rejet vers la station. Le montage de la sonde ph pourra se faire dans un syphon largement dimensionné équipé d'une vanne motorisée en sortie. Cette vanne motorisée sera asservie à la détection pH (fermeture en cas de fuite ammoniac, ph élevé).

N3 : Le contrôle des soupapes peut se faire dans une boite à soupapes (contrôle commun). Attention à la plage de mesure de ce capteur dédié aux soupapes.

N4 : Une seule détection pH est suffisante si les circuits sont communs.

N5 : Ce capteur est nécessaire dans la gestion du risque d'explosivité de l'ammoniac en cas de forte concentration (disfonctionnement de l'extracteur d'air ammoniaqué par exemple).

3.1.2. Equipements local SDM2

Equipement de détection à mettre en place (suivant Arrêté 16/07/97 et EN 378-3) :

Désignation	Détecteur gaz ATEX SIL2 (Cellule catalytique) > 0-100% LIE	Détecteur ATEX SIL2 (Cellule électronique) > 0-5000 ppm	Détecteur pH
Local SDM2			
SDM partie haute[N5]	2		
Zone de compression MP10[N1]		1	
Zone de compression MP20[N1]		1	
Séparateur de liquide MP[N1]		1	
Echangeur Spray-chiller avec station de pompe ammoniac[N1]		1	
Collecteur d'échappement soupapes de sécurité[N3]	1	Ou (1)	
Circuit MPG (-8/-4°C) [N4]			1
Circuit MPG (0/+4°C)			1
Circuit MPG chaud[N4]			1
Circuit récupération de chaleur			1
Rejets des eaux du local[N2]			1
Local Edicule SDM2			
Edicule partie haute[N5]	1		
Zone intérieur n°1		1	
Zone intérieur n°2		1	
Collecteur d'échappement soupapes de sécurité[N3]	1	Ou (1)	
Condenseurs adiabatiques (en extérieur)			
Intérieur du condenseur		3 points / condenseur	
Rejets des eaux condenseur adiabatique[N2]			1

N1 : Suivant EN 378-3 article 9.3.3 « Détecteurs de R717 »

N2 : Il est possible de faire un contrôle du pH commun aux rétentions, l'objectif étant une totale maitrise du risque de pollution à l'intérieur du site. Pour cela il faudra collecter les eaux de déconcentration avant rejet vers la station. Le montage de la sonde ph pourra se faire dans un syphon largement dimensionné équipé d'une vanne motorisée en sortie. Cette vanne motorisée sera asservie à la détection pH (fermeture en cas de fuite ammoniac, ph élevé).

N3 : Le contrôle des soupapes peut se faire dans une boite à soupapes (contrôle commun). Attention à la plage de mesure de ce capteur dédié aux soupapes.

N4 : Une seule détection pH est suffisante si les circuits sont communs.

N5 : Ce capteur est nécessaire dans la gestion du risque d'explosivité de l'ammoniac en cas de forte concentration (disfonctionnement de l'extracteur d'air ammoniaqué par exemple).

3.1.3. Equipements local SDM3

Equipement de détection à mettre en place (suivant Arrêté 16/07/97 et EN 378-3) :

Désignation	Détecteur gaz ATEX SIL2 (Cellule catalytique) > 0-100% LIE	Détecteur ATEX SIL2 (Cellule électronique) > 0-5000 ppm	Détecteur pH
Local SDM3			
SDM partie haute[N5]	2		
Zone de compression MP10[N1]		1	
Zone de compression MP20[N1]		1	
Séparateur de liquide MP[N1]		1	
Echangeur Spray-chiller avec station de pompe ammoniac[N1]		1	
Collecteur d'échappement soupapes de sécurité[N3]	1	Ou (1)	
Circuit MPG (-8/-4°C) [N4]			1
Circuit MPG (0/+4°C)			1
Circuit MPG chaud[N4]			1
Circuit récupération de chaleur			1
Rejets des eaux du local[N2]			1
Local Edicule SDM3			
Edicule partie haute[N5]	1		
Zone intérieur n°1		1	
Zone intérieur n°2		1	
Collecteur d'échappement soupapes de sécurité[N3]	1	Ou (1)	
Condenseurs adiabatiques (en extérieur)			
Intérieur du condenseur	3 points / condenseur		
Rejets des eaux condenseur adiabatique[N2]			1

N1 : Suivant EN 378-3 article 9.3.3 « Détecteurs de R717 »

N2 : Il est possible de faire un contrôle du pH commun aux rétentions, l'objectif étant une totale maitrise du risque de pollution à l'intérieur du site. Pour cela il faudra collecter les eaux de déconcentration avant rejet vers la station. Le montage de la sonde ph pourra se faire dans un syphon largement dimensionné équipé d'une vanne motorisée en sortie. Cette vanne motorisée sera asservie à la détection pH (fermeture en cas de fuite ammoniac, ph élevé).

N3 : Le contrôle des soupapes peut se faire dans une boite à soupapes (contrôle commun). Attention à la plage de mesure de ce capteur dédié aux soupapes.

N4 : Une seule détection pH est suffisante si les circuits sont communs.

N5 : Ce capteur est nécessaire dans la gestion du risque d'explosivité de l'ammoniac en cas de forte concentration (disfonctionnement de l'extracteur d'air ammoniaqué par exemple).

3.1.4. Equipements local SDM4

Equipement de détection à mettre en place (suivant Arrêté 16/07/97 et EN 378-3) :

Désignation	Détecteur gaz ATEX SIL2 (Cellule catalytique) > 0-100% LIE	Détecteur ATEX SIL2 (Cellule électronique) > 0-5000 ppm	Détecteur pH
Local SDM4			
SDM partie haute[N5]	2		
Zone de compression MP10[N1]		1	
Zone de compression MP20[N1]		1	
Séparateur de liquide MP[N1]		1	
Echangeur Spray-chiller avec station de pompe ammoniac[N1]		1	
Collecteur d'échappement soupapes de sécurité[N3]	1	Ou (1)	
Circuit MPG (-8/-4°C) [N4]			1
Circuit MPG (0/+4°C)			1
Circuit MPG chaud[N4]			1
Circuit récupération de chaleur			1
Rejets des eaux du local[N2]			1
Local Edicule SDM4			
Edicule partie haute[N5]	1		
Zone intérieur n°1		1	
Zone intérieur n°2		1	
Collecteur d'échappement soupapes de sécurité[N3]	1	Ou (1)	
Condenseurs adiabatiques (en extérieur)			
Intérieur du condenseur	3 points / condenseur		
Rejets des eaux condenseur adiabatique[N2]			1

N1 : Suivant EN 378-3 article 9.3.3 « Détecteurs de R717 »

N2 : Il est possible de faire un contrôle du pH commun aux rétentions, l'objectif étant une totale maitrise du risque de pollution à l'intérieur du site. Pour cela il faudra collecter les eaux de déconcentration avant rejet vers la station. Le montage de la sonde ph pourra se faire dans un syphon largement dimensionné équipé d'une vanne motorisée en sortie. Cette vanne motorisée sera asservie à la détection pH (fermeture en cas de fuite ammoniac, ph élevé).

N3 : Le contrôle des soupapes peut se faire dans une boite à soupapes (contrôle commun). Attention à la plage de mesure de ce capteur dédié aux soupapes.

N4 : Une seule détection pH est suffisante si les circuits sont communs.

N5 : Ce capteur est nécessaire dans la gestion du risque d'explosivité de l'ammoniac en cas de forte concentration (disfonctionnement de l'extracteur d'air ammoniaqué par exemple).

Remarque sur la position de la ou les centrales de détection :

La ou les centrales seront éloignées des zones à risques. La lecture des alarmes sur ladite centrale permettra de connaître immédiatement le lieu de la supposée fuite, car toutes les zones à risque du site sont surveillées par cet ensemble de détection « ammoniac » à sécurité dite « positive ».

La centrale sera secourue par une source externe de courant si nécessaire, à minima par une batterie interne.

Particularité pour la SDM sur la mise en œuvre de la mesure barrière :

L'ensemble du système de détection, la ventilation de sécurité et l'éclairage de secours doivent répondre à la réglementation **ATEX** pour un classement en **Zone 2** (Présence de matières inflammables dans des conditions anormales pendant de courtes périodes uniques).

Les protections **IP6X** doivent être adaptées (presse-étoupe adapté), le câblage de l'ensemble doit être réalisé avec du câble pour **zone ATEX 2**.

Ammoniac (Groupe de gaz IIA, classement température T1).

Suivi des détecteurs

Conformément aux réglementations en vigueur (exigences de testabilité et de maintenabilité), les détecteurs gaz doivent faire l'objet d'un suivi et de tests réguliers. Les détecteurs électrochimiques sont testés usuellement tous les 6 mois. Les têtes doivent être changées assez souvent, en fonction des résultats des tests ; en ordre de grandeur, le changement s'effectue tous les 18 à 24 mois.

- L'article 42 de l'arrêté du 16 juillet 1997 spécifie « L'exploitant doit dresser la liste de ces détecteurs avec leur fonctionnalité et doit déterminer les opérations d'entretien destinées à maintenir leur efficacité dans le temps. »
- Il est spécifié dans la norme (§ 8.7) que « les détecteurs doivent être adaptés à leur utilisation et étalonnés par un organisme compétent. ».

Exigences en cas de déclenchement

En cas de déclenchement d'un détecteur gaz, des contrôles doivent être effectués et tracés. La remise en service de l'installation ne peut pas être faite automatiquement.

- L'article 42 de la l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « Tout incident ayant entraîné le dépassement du seuil d'alarme gaz toxique donne lieu à un compte rendu écrit tenu à la disposition de l'inspecteur des installations classées durant un an. […] La remise en service d'une installation arrêtée à la suite du déclenchement d'une alarme ne peut être décidée que par une personne déléguée à cet effet, après examen détaillé des installations et analyse de la défaillance ayant provoqué l'alarme. »

4. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de l'explosion (Mesure X)

Les mesures explicitées dans ce chapitre visent à prévenir l'inflammation en cas de nuage d'ammoniac en zone confinée.

Ci-dessous un extrait du document INERIS :

Retour d'expérience

L'ammoniac et la réfrigération

Réf. : SEI / BARPI ED0389 - Février 1995 (complété par la MàJ du 30/03/1995).

« L'ammoniac est considéré comme un gaz relativement peu inflammable. Ses limites d'inflammabilité dans l'air sont comprises entre 15 et 28 %. Une étude indique cependant que la L.I.E. peut être réduite de 4 % en présence pour un nuage composé d'huile (fuite simultanée de lubrifiant) et d'ammoniac en aérosol. La température d'auto-inflammation de l'ammoniac est de 630°C. Sa dissociation en azote et en hydrogène débutant à 450 - 550°C, la combustion obtenue peut provenir de l'hydrogène formé.

Bien que très supérieure à celle de la plupart des hydrocarbures, son énergie minimale d'inflammation (680 mJ) est néanmoins inférieure à celle délivrée par l'étincelle d'un interrupteur (1 J).

Le caractère inflammable et explosif de l'ammoniac, en milieu confiné en particulier est sujet à controverses. Une bibliographie réalisée en 1991 précise que toutes les caractéristiques d'inflammabilité et d'explosivité publiées indiquent que l'ammoniac est un gaz combustible assez nettement moins réactif, vis-à-vis de l'air, que la plupart des autres gaz combustibles, le méthane en particulier. Ainsi, l'énergie d'inflammation d'un mélange air / ammoniac est plus grande, la flamme dans le mélange se propage plus difficilement et plus lentement, enfin la violence de l'explosion en récipient fermé est plus faible. L'étude réalisée cite quelques accidents à l'étranger dans lesquels une inflammation / explosion de l'ammoniac est suspectée. En l'état actuel des connaissances et sans élément précis sur ces accidents (aucun cas connu n'est répertorié en France), ce risque n'est abordé que superficiellement dans cette étude. Il n'en sera pas de même, par contre, pour les incendies liés à l'environnement proche de l'installation (de nombreux cas sont connus en raison notamment des matériaux d'isolation employés), ces derniers pouvant être à l'origine d'un effet domino éventuel ».

Détection explosimétrique

Un capteur explosimétrique sera installé en SDM, car souvent les capteurs toximétrique installé pour le premier et deuxième seuil ont une échelle de mesure limitée. Le capteur toximétrique permettra à tout moment en cas incident la lecture de la concentration et ainsi d'avertir sur le niveau de risque réel les équipes d'intervention présente.

5. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la pollution (Mesure P)

Dissociation eaux procédés et eaux pluviales

Les eaux utilisées dans le procédé doivent être dissociées des eaux pluviales ; un contrôle de leur qualité doit être effectué avant leur rejet. Les tuyauteries contenant de l'ammoniac ne sont pas installées dans des conduits en liaison avec les égouts.

- L'article 34 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise : « le rejet direct d'eaux de refroidissement ou de chauffage ainsi que des eaux de dégivrage provenant des circuits alimentant des échangeurs et appareillages dans lesquels circulent l'ammoniac ne peut être effectué qu'après avoir vérifié que ces eaux ne soient pas polluées accidentellement. »
- L'article 35 ajoute : « Le réseau de collecte doit être de type séparatif, permettant d'isoler les eaux résiduaires polluées des eaux pluviales non susceptibles être polluées. Les points de rejet des eaux résiduaires doivent être en nombre aussi réduit que possible et aménagés pour permettre un prélèvement aisé d'échantillon et l'installation d'un dispositif de mesure du débit. En aucun cas, les tuyauteries contenant l'ammoniac ne sont situées dans les égouts ou dans les conduits en liaison directe avec les égouts. »
- L'article 37 précise : « Les effluents aqueux récupérés susceptibles d'être pollués (pompages, lavage d'installation. etc.) doivent être stockés dans des capacités avant leur valorisation ou leur élimination dans des conditions ne présentant pas de risque de pollution. »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que doivent être vérifiés :
  - « Qu'un contrôle de la qualité des eaux est effectué et formalisé ;
  - Les dispositions prises en cas de fuite, de rejet des eaux de refroidissement, de dégivrage ;
  - **Les moyens de contrôle du pH** ;
  - L'existence et la mise en œuvre d'un programme de contrôle de rejets. »
- La vérification s'appuiera sur les « documents de contrôle de la qualité des eaux (modalités et mesures), les procédures de traitement des eaux ammoniaquées, le programme de contrôle des rejets. »

6. Mesure de protection / Limitation vis-à-vis des incendies (Mesure I)

Des incendies sont possibles à l'extérieur de la salle des machines (par exemple dans les installations d'entreposage de denrées). **Des effets dominos sont possibles et des mesures doivent être prises pour prévenir la propagation d'un incendie**.

La salle des machines peut aussi être le siège d'incendies. Des mesures sont prises pour prévenir le développement et la propagation des incendies.

Les mesures relatives à l'incendie sont précisées dans ce paragraphe.

Limitation des effets d'un incendie

Détection incendie et alarmes

Les installations (salle des machines, utilisateurs) doivent être équipées de détecteurs incendie. En cas de déclenchement, une alarme sonore et lumineuse est requise pour intervention éventuelle.

- L'article 48 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « L'exploitant doit implanter de façon judicieuse un réseau de détection incendie, au besoin en s'assurant du concours des services internes à l'établissement ou d'entreprises spécialisées. Tout déclenchement du réseau de détection incendie entraîne une alarme sonore et lumineuse localement et au niveau d'un service spécialisé de l'établissement (poste de garde, PC incendie, etc.). »
- La circulaire du 10 décembre 2003 précise que les actions suivantes doivent être effectuées :
  - « Vérification de la mise en place de la détection incendie avec dispositif d'alerte ;
  - Vérification des détecteurs ;
  - Vérification périodique du fonctionnement du système de détection. »
- Ces contrôles s'appuieront sur un plan de détection incendie.

Intervention : exutoire de fumées

Pour permettre l'intervention, des exutoires de fumées à commandes automatique et manuelle doivent être installés en partie haute de la salle des machines, avec des commandes manuelles situées à l'extérieur de la salle des machines, près des accès.

- L'article 45 de l'arrêté du 16 juillet 1997 précise « Les salles de machines doivent être équipées en partie haute de dispositifs à commande automatique et manuelle permettant l'évacuation des fumées et gaz de combustion dégagés en cas d'incendie. Les commandes d'ouverture manuelle sont placées à l'extérieur du risque et à proximité des accès. Les commandes des dispositifs d'ouverture doivent facilement être accessibles. »

7. Dispositifs de sécurité (Passifs ou Actifs)

Un dispositif de sécurité est en général un élément unitaire, autonome, ayant pour objectif de remplir une fonction de sécurité, dans sa globalité.

Un dispositif peut être classé en 2 catégories :

- Les **dispositifs passifs** qui ne mettent en jeu aucun système mécanique pour remplir leur fonction et qui ne nécessitent ni action humaine (hors intervention de type maintenance), ni action d'une mesure technique, ni source d'énergie externe pour remplir leur fonction. On retrouve notamment dans cette catégorie les cuvettes de rétention, les disques de rupture, les arrête-flammes ainsi que les murs coupe-feu.
- Les **dispositifs actifs** qui mettent en jeu des dispositifs mécaniques (ressort, levier…) pour remplir leur fonction. On retrouve notamment dans cette catégorie les soupapes de décharge et les clapets limiteurs de débit.

Systèmes Instrumentés de sécurité SIS : ce sont des combinaisons de capteur, d'unité de traitement et d'actionneur ayant pour objet de remplir une fonction, ou sous fonction, de sécurité. Un SIS nécessite une énergie extérieure pour initier ses composants et mener à bien sa fonction de sécurité.

Remarque : Les capteurs électriques considérés comme des EIPS, seront câblé de façon « **à sécurité positive** ». De cette façon, par manque de tension les alarmes sont automatiquement émises (même si le défaut n'existe pas réellement, cela est nécessaire pour déceler un disfonctionnement de la chaine de sécurité qui doit toujours rester sous tension.

Il est recommandé qu'une chaine de sécurité des EIPS ne passe pas par un API, mais doit être connecté directement sur la puissance (on peut avoir un report sur l'automate bien sûr, mais ce n'est pas l'automate qui doit émettre un signal de coupure).

Dénomination barrières	Dispositif PASSIF	Dispositif ACTIF	Systèmes instrumentés de sécurité SIS		Temps de réponse *(secondes)*	NC
			Simple	Complexe		
Détecteur incendie avec capteurs		X	Oui		30	3
Détecteur NH3		X	Sans objet		15	3
Capteur NH3		X	Sans objet		1	2
Détecteur NH3 + capteurs		X	Oui		16	2

8. Evaluation des dispositifs assurant la sécurité

Les équipements définis comme important pour la sécurité ayant été déterminé par l'exploitant, on exigera de ces équipements qu'ils répondent pour la sécurité à des caractéristiques spécifiques.

Ces caractéristiques servent de base d'évaluation des EIPS et sont regroupées en trois catégories :

1. Caractéristiques de conception,
2. Comportement sur défauts,
3. Suivi de l'équipement (maintenance, vérification, étalonnage).

8.1. Grille d'évaluation

Cette méthodologie d'évaluation consiste à contrôler et valider l'adéquation entre les performances des matériels et l'utilisation sur site, elle s'appuie sur une notation des différentes performances évoquées précédemment à l'aide d'une grille d'évaluation.

L'évaluation d'un équipement au moyen de cette grille se déroule en cinq étapes.

Première étape :

Définir le danger combattu et les équipements IPS associés, en indiquant leur désignation, leur fonction ainsi que leur quantité.

Deuxième étape :

Evaluer le niveau d'efficacité et de fiabilité des équipements IPS en s'assurant qu'ils répondent aux exigences des 5 principes (PI à P5) évoqué précédemment. Pour chaque principe, on donne la note 1 si l'exigence est remplie et la note 0 si elle n'est pas remplie. Indiquer le temps de réponse, si l'équipement est concerné par cette performance.

Troisième étape :

Evaluer le comportement de l'équipement IPS vis à vis des défauts. Pour chaque défaut (inviolabilité, mode dégradé, blocage, compatibilité) évoqué précédemment, on met la note 1 s'il n'y le défaut est possible et la note 0 si le défaut ne peut exister.

Quatrième étape :

Définir si les actions d'ordre organisationnel, nécessaires au bon fonctionnement de l'équipement IPS, sont mises en place. Ceci consiste à vérifier la mise en œuvre d'actions planifiées et systématiques, fondées sur des procédures écrites, mises à jour et donnant lieu à l'établissement de documents archivés. Pour chaque action organisationnelle (procédure de mise en œuvre, de maintenance, d'étalonnage) définie précédemment, on donne la note 1 si elle est mise en place et appliquée et la note 0 dans le cas contraire.

Cinquième étape :

Donner la note finale de l'équipement et statuer sur son niveau de confiance. Le principe de notation finale est en cours de validation. Nous testons cette méthode d'évaluation sur plusieurs sites chimiques afin d'avoir un retour d'expérience suffisant vis à vis de cette cotation.

8.1.1. Détecteur gaz

Détecteur (gaz) – usuellement considérées comme des EIPS			
	Capteur NH3 avec son transmetteur	Polytron 7000 ou similaire	
	Fabricant	DRAEGER ou autre	
Généralités			
Danger combattu	Rejet d'ammoniac dans l'atmosphère par suite de rupture accidentelle d'origine humaine ou mécanique.		
Barrière active	Par présence d'ammoniac au seuil prédéfini l'ensemble de détection arrête l'installation et isole la partie distribution de la partie SDM.		
Barrière de prévention	Au signal détecté, l'installation est arrêtée pour limiter la durée et par conséquent la quantité du rejet dans la SDM, ou dans la salle de PROCESS, puis à l'extérieur.		
Description de l'équipement			
Désignation	Ensemble de détection NH3.		
Fonction	Arrêt total de l'installation en cas de détection au-delà du seuil de 500ppm.		
Temps de réponse avec arrêt système	Ce temps est inférieur à 15 secondes après présence 500ppm NH3 sur sonde.		
Caractéristique de conception / Niveau d'efficacité et de fiabilité			
*Exigence remplie note = **1** ; non remplie note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Principe de concept éprouvé	✓ Pas de taux de défaillance connu à ce jour. ✓ Dispositif certifié conformément aux normes EN 50021 "matériel à énergie limitée de petite dimension pour gaz pouvant être monté dans une zone dangereuse. ✓ Voir la fiche produit du constructeur.	**P1**	**1**
Principe de sécurité positive	✓ En cas de détection NH3 une information est donnée à l'unité de traitement. ✓ En cas de manque de tension une information est donnée à l'unité de traitement pour action sur les éléments terminaux (arrêt SDM, extraction NH3, fermeture vanne de barrage).	**P2**	**1**
Principe de tolérance à la défaillance	✓ Pour chaque zone un ensemble de détection est mis en redondance par rapport à un autre ensemble de détection. ✓ Si un des éléments le constituant est défectueux il y a action sur les organes terminaux. (Arrêt SDM, extraction NH3, fermeture vanne de barrage).	**P3**	**1**
Principe de résistance aux contraintes spécifiques	✓ Ces ensembles de détection ont été spécialement étudiés pour détecter de l'ammoniac dans l'air. ✓ Ces ensembles ont subi des essais de validation (voir certificat). ✓ Ces ensembles sont conformes à la Norme Européenne pré citée.	**P4**	**1**
Principe de testabilité	✓ Ces ensembles peuvent être testé facilement. ✓ Ces ensembles peuvent être testés en marche avec gaz étalon ✓ Des procédures de test de ces ensembles seront mises en œuvre après sa mise en place. (Test installateur en partenariat avec utilisateur, 2 fois par an, et archivage sur 3 ans). ✓ Toute la chaîne de sécurité complète sera également testée dans les mêmes conditions.	**P5**	**1**

Comportement sur défaut de l'équipement			
*Pas de dysfonctionnement note = **1** ; dysfonctionnement note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Mise hors service de la barrière	✓ La barrière ne peut pas être mise hors service sauf lors des tests en réels, avec une procédure spécifique. ✓ Le boitier d'accès aux valeurs de réglages est scellé. ✓ Seul du personnel compétent est habilité à intervenir sur ces ensembles. ✓ Les valeurs de réglages ne sont pas accidentellement modifiables par inattention.	D1	1
Etat bloqué	✓ La barrière ne peut pas se bloquer sécuritairement. ✓ Toutes les parties électroniques sont inaccessibles car enfermées dans un local de contrôle spécifique.	D2	1
Efficacité dégradée ou dérive	✓ En cas de défaillance d'un capteur, la voie se met en défaut après auto-scrutation avec une émission d'alarme sonore et visuelle au niveau de la centrale.	D3	1
Compatibilité avec le système	✓ La technologie du système est compatible avec sa fonction à assurer (détection NH3) quel que soit les conditions d'exploitation (poussières, milieu salin, hygrométrie, températures ambiantes de -40°C à +65°C).	D4	1
Inspection et maintenance spécifique / Organisation entretien			
*Procédures existantes note = **1** ; Pas de procédures note = **0** ; critère non applicable = **NA***		**Niveau**	
Procédure spécifique opératoire	✓ La conception de la barrière est de conception simple, fréquemment utilisée dans les circuits frigorifiques sans connaissance particulière du produit. ✓ Des vérifications mensuelles seront effectuées pour garantir la présence physique de l'EIPS.	AQ1	1
Procédure de maintenance préventive	✓ La maintenance suivra les recommandations du fabricant quant aux périodicités de contrôle. ✓ Toutes les procédures de maintenance seront archivées pour une durée minimale de 3 ans.	AQ2	1
Procédure d'étalonnage	✓ Test / Maintenance : effectué régulièrement (partie électrique peut être faite par utilisateur et partie « cellule » doit être faite par un spécialiste (le plus souvent le fournisseur) ; vérifié semestriellement ; contrat d'entretien avec constructeur.	AQ3	1
Niveau SIL[6] (**S**afety **I**ntegrity **L**evel)			
	SIL 2 vérifié, selon constructeur	SIL	2
Niveau de confiance (NC)			
Information complémentaire	✓ Plusieurs détecteurs sont présents dans la salle des machines (par zone de compression et à proximité dans séparateurs de liquide). ✓ Centrale : automate spécifique (le plus souvent) ou automate de l'exploitant ; Si centrale spécifique, est usuellement certifiée (SIL1 ou SIL2) ;	ACCEPTABLE	
		NC	3

Pour plus d'informations, le lecteur se reportera aux fiches BADORIS sur le site internet de l'INERIS :

- Fiche sur les détecteurs électrochimiques et capacitifs : détecteur ammoniac : BADORIS - Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.)
- Détecteur fixe de gaz ammoniac - Version 1.1 – janvier 2008 : Fiche sur les détecteurs de gaz inflammables : Détecteur de gaz inflammable – 2004.

(6) Le SIL (Safety Integrity Level) traduit la fiabilité de la MMR. Il est déterminé dans le cadre de certifications de matériel.

📋 L'évaluation de la maîtrise des détecteurs de gaz a fait l'objet d'une fiche d'inspection spécifique (voir Annexe 11) dans le cadre d'une action nationale lancée par le MEDDE en 2014. Le lecteur pourra se reporter à cette fiche et à son guide pédagogique [x] afin d'avoir un complément d'informations pour la maîtrise des détecteurs de gaz, en particulier les aspects « dimensionnement » et « temps de réponse ».

Atlantic Refrigeration Consulting

Annexe 16

Complément MMR CO2

Frédéric LE BRONNEC
26/04/2021

Table des matières

Glossaire 2

1. Textes applicables aux installations de réfrigération au CO2 3

2. Principes d'évaluation des mesures 4

2.1. Exigences réglementaires 4

2.2. Méthodes d'évaluation des barrières de sécurité 5

3. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la fuite toxique (Mesure T) 6

3.1. Détection de fuite : détection gaz 6

3.1.1. Equipements local SDM1 10

3.1.2. Equipements local SDM2 11

3.1.3. Equipements local SDM3 12

3.1.4. Equipements local SDM4 13

3.1.5. Dispositions particulières 14

3.1.6. Réduction des effets – Extraction mécanique 15

4. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de l'explosion (Mesure X) 16

5. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la pollution (Mesure P) 16

6. Mesure de protection / Limitation vis-à-vis des incendies (Mesure I) 16

Glossaire

AFF	Association Française du Froid
APR	Analyse Préliminaire de Risques
BARPI	Pureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels
BP	Basse Pression
EDD	Etude de Dangers
ERC	Evènement Redouté Central
ERP	ERP Etablissement Recevant du Public
HP	Haute Pression
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
MMR	Mesure de Maîtrise des Risques
MP	Moyenne Pression
NC	Niveau de Confiance
PhD	Phénomène Dangereux
POI	
PPRT	Plan de Prévention des Risques Technologiques
SEI	Seuil des Effets Irréversibles
SEL	Seuil des Effets Létaux
SELS	Seuil des Effets Létaux Significatifs
SIL	Safety Integrity Level
TMD	TMD Transport de Marchandises Dangereuses
USNEF	USNEF Union Syndicale Nationale des Exploitations Frigorifiques

Dans un premier temps, les textes applicables sont rappelés.

Objectif : Déterminer le nombre et l'implantation des détecteurs CO2 (gazeux sur le site considéré.

1. Textes applicables aux installations de réfrigération au CO2

Les textes applicables aux installations soumises à autorisation sont de deux types :

- Décret n°2020-1546 du 9 décembre 2020 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes pour certains agents chimiques.
- La norme relative aux « Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement » ; la norme NF EN 378 se compose des parties suivantes :
  - Partie 1 : Exigences de base, définitions, classification et critères de choix ;
  - Partie 2 : Conception, construction, essais, marquage et documentation ;
  - Partie 3 : Installation in situ et protection des personnes ;
  - Partie 4 : Fonctionnement, maintenance, réparation et récupération.

2. Principes d'évaluation des mesures

2.1. Exigences réglementaires

Les mesures de maîtrise des risques doivent répondre à des exigences réglementaires. L'arrêté 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 » fixe des exigences générales d'évaluation de performances.

- Article 4 :

« Pour être prises en compte dans l'évaluation de la probabilité, les mesures de maîtrise des risques 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 du positionnement précité. »

La gestion des MMR passe par la réalisation de procédures écrites :

- Procédures écrites de contrôle périodique et de maintien en état ;
- Enregistrement des opérations de tests et maintenance ;
- Consignes écrites de conduite à tenir en cas d'indisponibilité de la MMR.

2.2. Méthodes d'évaluation des barrières de sécurité

Les barrières de sécurité sont évaluées en suivant la méthodologie :

- Oméga 10 pour les barrières techniques de sécurité ;
- Oméga 20 pour les barrières humaines de sécurité ou fiche n°7 de la circulaire du 10 mai 2010.

Ces méthodes sont accessibles sur le site internet de l'INERIS.

L'évaluation s'appuie sur les évaluations individuelles de chaque élément de la barrière (détection, traitement, action) mais c'est l'évaluation de la barrière globale qui est retenue dans les évaluations de probabilité des évènements.

Les critères d'évaluation (communs aux barrières techniques et humaines) sont :

- **L'indépendance** : faculté d'une barrière, de par sa conception, son exploitation et son environnement, à ne pas dépendre du fonctionnement d'autres éléments et notamment d'une part d'autres barrières, et d'autre part, du système de conduite de l'installation, afin d'éviter les modes communs de défaillance ou de limiter leur fréquence d'occurrence.
- **L'efficacité** : Capacité à remplir la mission/fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation
- **Le temps de réponse** : Ce temps de réponse est inclus dans la cinétique de mise en œuvre d'une fonction de sécurité, cette dernière devant être en adéquation [significativement plus courte] avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser
- **Le niveau de confiance** : il traduit la fiabilité de la barrière ;
- **Le maintien des performances** des barrières (testabilité, maintenabilité).

Le mode commun de défaillance doit être étudié. Il doit être pris en compte dans les évaluations des probabilités des phénomènes dangereux et accidents majeurs.

L'indépendance vis-à-vis des dispositifs de conduite pour les arrêts d'urgence et la mise en sécurité électrique des installations est requise explicitement dans la réglementation.

3. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la fuite toxique (Mesure T)

Eléments des MMR (Mesure de Maîtrise des Risques)

Ce paragraphe liste les éléments des différentes MMR. Rappelons que c'est la MMR globale qui doit être évaluée pour être prise en compte dans l'évaluation probabiliste.

Des exigences réglementaires et normatives sont précisées ; elles peuvent être utilisées pour évaluer les performances des MMR.

3.1. Détection de fuite : détection gaz

Nécessité d'une détection gaz

Pour permettre l'intervention, des exutoires de fumées à commandes automatique et manuelle doivent être installés en partie haute de la salle des machines, avec des commandes manuelles situées à l'extérieur de la salle des machines, près des accès.

- L'exploitant contrôle :
  - Vérification de la conformité du plan de détection à la réalité du site ;
  - Pertinence de l'implantation de la détection ;
  - Essais périodiques de vérification de son efficacité (après préparation de ces essais pour éviter les accidents), qui doivent être enregistrés ;
  - Vérification de l'existence et de la tenue d'un document d'enregistrement relatant les déclenchements, comportant un compte-rendu des causes et du traitement de celles-ci ;
  - Vérifier que la ventilation fonctionne après déclenchement du premier seuil d'alarme ;
  - Vérification de la mise en sécurité effective de l'installation après déclenchement du second seuil d'alarme. »
- L'exploitant s'appuiera pour cela sur :
  - Plan d'implantation de la détection CO2
  - Compte-rendu des essais de détection CO2

Asservissements pour la salle des machines – Cinétique.

La détection gaz est équipée de deux seuils de sécurité qui déclenchent les asservissements en deux temps + un seuil pour le risque d'explosivité :

- **1er seuil** : alarme visuelle et sonore + ventilation d'urgence ;
- **2ème seuil** : idem 1er seuil (le visuel et sonore seront différents du 1er seuil) + alarme générale avec évacuation de la zone concernée.

- La partie 3 de la norme NF EN 378 précise :
  - « Si des alarmes sont utilisées pour avertir d'une fuite dans la salle des machines ou dans un espace occupé, elle doit avertir d'une fuite de fluide frigorigène conformément à 8.3. L'alarme doit être déclenchée par le signal du détecteur conformément à l'Article 9. L'alarme doit également alerter une personne autorisée pour qu'elle prenne les mesures nécessaires.
  - Le système d'alarme doit générer un avertissement à la fois sonore et visuel, comme par exemple une forte sonnerie (15 dB(A) au-dessus du niveau sonore ambiant) et une lumière clignotante.
  - Pour une salle des machines, le système d'alarme doit générer un avertissement à l'intérieur et à l'extérieur de la salle des machines. L'alarme située à l'extérieur de la salle des machines peut être installée dans un endroit surveillé.
  - Pour un espace occupé, le système d'alarme doit générer un avertissement au moins à l'intérieur de l'espace occupé. »

Seuils et nature des détecteurs

Le choix des seuils et des technologies de détecteurs dépend des risques envisagés. Dans les locaux avec du personnel, les seuils sont adaptés au temps de présence du personnel. On étudiera différemment les lieux de travail suivants :

- Salle des machines 1 (local technique) + combles techniques.
- Zone de production tranche 1.
- Salle des machines 2 (local technique) + édicule condenseurs.
- Zone de production tranche 2.
- Salle des machines 3 (local technique) + édicule condenseurs.
- Zone de production tranche 3.
- Salle des machines 4 (local technique) + édicule condenseurs.
- Zone de production tranche 4.

Détection CO2 dans les installations de réfrigération :

La norme NF EN 378-3 *(2020)* ***applicable dans le cadre d'installation de réfrigération fonctionnant au CO2*** *et recommandée stipule entre autres au point 9.3.1 :*

*« **Type et performances de détecteurs** :*

- *Tout détecteur adéquat peut être utilisé et doit générer un signal électrique à la valeur présélectionnée de la concentration en fluide frigorigène ou en oxygène (valeur présélectionnée) qui active les robinets d'arrêt, le système d'alarme, la ventilation mécanique ou d'autres commandes d'urgence.*
- *Le fonctionnement des détecteurs doit être contrôlé de manière continue. En cas de panne d'un détecteur, il convient d'activer la séquence d'urgence comme si un fluide frigorigène avait été détecté.*
- *La valeur présélectionnée du détecteur de fluide frigorigène à 30 °C ou 0 °C, selon la plus critique des deux valeurs, doit être fixée à 25 % de la LFL ou **50 % de l'ATEL/ODL**, en retenant la plus faible des deux valeurs, comme indiqué dans l'EN 378-1 :2016+A1 :2020, Annexe E. La valeur présélectionnée du détecteur de privation d'oxygène doit être de 18 % ou plus.*

Décret n°2020-1546 du 9 décembre 2020 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes pour certains agents chimiques

- *Limite haute pour 8h d'exposition (VLEP) pour le CO2 :* ***5 000 ppm***

Résultat 1 : *Synthèse de l'EN 378 + le Décret n°2020-1546* ***:***

- *Le **premier seuil** de détection sera **au maximum de 5 000 ppm**,*
- *Le **second seuil** de détection sera **au maximum de 15 000 ppm***

Les 15 000 ppm sont le résultat en appliquant 50% de ATEL/ODL

Pour information synthèse des réglementations internationales (expérience avec le CO2) :

Valeurs limites d'exposition professionnelle (ppm)	UE	UK	US
Taux normal de l'atmosphère		380 - 480	
Taux correct en lieux fermés		600 -800	
Taux tolérable en lieux fermés	1 000		
Limite haute pour 8h d'exposition (VLEP)	5 000	5 000	5 000
Exposition très courte (max)	15 000	15 000	30 000
IDLH*	-	-	40 000
Augmentation fréquence respiration et cardiaque		3 à 8%	
Nausée, vomissement, évanouissement		> 10%	
Evanouissement rapide, décès		> 20%	

(*) Immediately Dangerous to Life an Health Concentration

Technologie des détecteurs

En salle des machines et sur la plateforme de condensation (absence de personnel), les détecteurs sont du type infrarouge.

Nombre et position des détecteurs

Le positionnement des détecteurs reste difficile à recommander de manière générale. Des exigences existent pour le positionnement au-dessus des équipements sujets à fuite (compresseurs, pompes…). Les règles de bonnes pratiques conduisent usuellement à mettre plusieurs détecteurs dans la salle des machines (au minimum deux) situés en partie basse et haute. Un ordre de grandeur peut être d'un détecteur pour 100 m^2 au sol. Pour le CO2, les détecteurs seront positionnés en partie basse (CO2 gaz lourd).

- La partie 3 de la norme NF EN 378 (§ 9.2)
    - L'emplacement des détecteurs doit être choisi en fonction du fluide frigorigène et ils doivent être situés là où le fluide frigorigène provenant d'une fuite se concentrera.
    - Le détecteur doit être positionné en tenant compte des schémas locaux d'écoulement de l'air ainsi que de l'emplacement des sources de ventilation et des grilles d'aération. La possibilité de dommage mécanique ou de contamination doit également être prise en compte.
    - Au moins un détecteur doit être installé dans chaque salle des machines ou espace occupé considéré et/ou dans la salle souterraine la plus basse pour les fluides frigorigènes plus lourds que l'air et au point le plus haut pour les fluides frigorigènes plus légers que l'air.

3.1.1. Equipements local SDM1

Equipement de détection à mettre en place (suivant EN 378-3) :

Désignation	Détecteur Infrarouge CO2	Détecteur O2
Local SDM1		
SDM1		1
Zone 1 (zone de compression)	1	
Zone 2 (zone Bouteille BP10)	1	
Zone 3 (zone Bouteille BP20)	1	
Zone 4 (zone de condensation)	1	
Combles techniques		
Combles techniques surgélateurs		1
Combles techniques CF négative		1
Station de vannes surgélateur n°1	1	
Station de vannes surgélateur n°2	1	
Station de vannes surgélateur n°3	1	
Station de vannes CF rognures	1	
Station de vannes CF négative	2	
Locaux de production (Atelier de travail)		
Atelier surgélateur n°1	2	1
Atelier surgélateur n°2	2	1
Atelier surgélateur n°3	2	1
CF rognures	1	
CF négative	2	

N1 : Les détecteurs CO2 sont placés en partie basse dans les locaux (h < 50 cm) – avec une protection mécanique (inox dans les Atelier de production).

N2 : Pour les TK le même principe sera appliqué pour le nombre et l'implantation des détecteurs.

3.1.2. Equipements local SDM2

Equipement de détection à mettre en place (suivant EN 378-3) :

Désignation	Détecteur Infrarouge CO2	Détecteur O2
Local SDM2		
SDM1		1
Zone 1 (zone de compression)	1	
Zone 2 (zone Bouteille BP10)	1	
Zone 3 (zone de condensation)	1	
Combles techniques		
Combles techniques surgélateurs		1
Combles techniques CF négative		1
Station de vannes surgélateur n°4	1	
Station de vannes surgélateur n°5	1	
Station de vannes CF rognures	1	
Station de vannes CF négative	2	
Locaux de production (Atelier de travail)		
Atelier surgélateur n°4	2	1
Atelier surgélateur n°5	2	1
CF rognures	1	

N1 : Les détecteurs CO2 sont placés en partie basse dans les locaux (h < 50 cm) – avec une protection mécanique (inox dans les Atelier de production).

3.1.3. Equipements local SDM3

Equipement de détection à mettre en place (EN 378-3) :

Désignation	Détecteur Infrarouge CO2	Détecteur O2
Local SDM3		
SDM1		1
Zone 1 (zone de compression)	1	
Zone 2 (zone Bouteille BP10)	1	
Zone 3 (zone de condensation)	1	
Combles techniques		
Combles techniques surgélateurs		1
Combles techniques CF négative		1
Station de vannes surgélateur n°6	1	
Station de vannes surgélateur n°7	1	
Station de vannes CF rognures	1	
Station de vannes CF négative	2	
Locaux de production (Atelier de travail)		
Atelier surgélateur n°6	2	1
Atelier surgélateur n°7	2	1
CF rognures	1	

N1 : Les détecteurs CO2 sont placés en partie basse dans les locaux (h < 50 cm) – avec une protection mécanique (inox dans les Atelier de production).

3.1.4. Equipements local SDM4

Equipement de détection à mettre en place (EN 378-3) :

Désignation	Détecteur Infrarouge CO2	Détecteur O2
Local SDM4		
SDM1		1
Zone 1 (zone de compression)	1	
Zone 2 (zone Bouteille BP10)	1	
Zone 3 (zone de condensation)	1	
Combles techniques		
Combles techniques surgélateurs		1
Combles techniques CF négative		1
Station de vannes surgélateur n°8	1	
Station de vannes surgélateur n°9	1	
Station de vannes CF rognures	1	
Station de vannes CF négative	2	
Locaux de production (Atelier de travail)		
Atelier surgélateur n°8	2	1
Atelier surgélateur n°9	2	1
CF rognures	1	

N1 : Les détecteurs CO2 sont placés en partie basse dans les locaux (h < 50 cm) – avec une protection mécanique (inox dans les Atelier de production).

3.1.5. Dispositions particulières

Remarque sur la position de la ou les centrales de détection :

La ou les centrales seront éloignées des zones à risques. La lecture des alarmes sur ladite centrale permettra de connaître immédiatement le lieu de la supposée fuite, car toutes les zones à risque du site sont surveillées par cet ensemble de détection « CO2 » à sécurité dite « positive ».

La centrale sera secourue par une source externe de courant si nécessaire, à minima par une batterie interne (EN 378 §8.2)**.**

Suivi des détecteurs

Conformément aux réglementations en vigueur (exigences de testabilité et de maintenabilité), les détecteurs gaz doivent faire l'objet d'un suivi et de tests réguliers. Les détecteurs électrochimiques sont testés usuellement tous les 6 mois. Les têtes doivent être changées assez souvent, en fonction des résultats des tests ; en ordre de grandeur, le changement s'effectue tous les 18 à 24 mois.

- EN 378 § 9.3.1 : Une période de maintenance appropriée doit être établie pour chaque type de détecteur utilisé.

Exigences en cas de déclenchement

En cas de déclenchement d'un détecteur gaz, des contrôles doivent être effectués et tracés. La remise en service de l'installation ne peut pas être faite automatiquement.

- EN 378 § 8.1 : Si des alarmes sont utilisées pour avertir d'une fuite dans la salle des machines ou dans un espace occupé, elle doit avertir d'une fuite de fluide frigorigène conformément à 8.3. L'alarme doit être déclenchée par le signal du détecteur conformément à l'Article 9. **L'alarme doit également alerter une personne autorisée pour qu'elle prenne les mesures nécessaires**.

3.1.6. Réduction des effets – Extraction mécanique

- **Réduction des effets par mise en route de l'extraction :** la barrière est constituée des éléments suivants :
  - ✓ Détection de fuite : comme précédemment ;
  - ✓ Action : mise en route de l'extraction d'urgence qui se fait :
    - Automatiquement sur détection gaz ;
    - Manuellement par action sur un bouton (indépendant de celui arrêtant les installations).
  - ✓ **Nombre et débit des extracteurs CO2.**

Désignation	Ventilation	Débit
		m^3/h
SDM 1 Local production de froid	Ventilateur SDM1	30 000
SDM 2 Local production de froid	Ventilateur SDM2	18 000
SDM 3 Local production de froid	Ventilateur SDM3	18 000
SDM 4 Local production de froid	Ventilateur SDM4	18 000
/Surgélateur*		5 000
/CF négative (station de vannes)		5 000

(*) le débit d'extraction est donné à titre indicatif calculé avec une charge de CO2 théorique qui sera réadapté en fonction des données fournisseurs.

Dans les locaux techniques, la ventilation mécanique se fait en partie basse. En condition normale un volet est fermé sur l'extérieur. Lors d'une détection le volet s'ouvre et la ventilation est mise en service.

Dans les combles techniques, la ventilation mécanique se fait en partie basse des combles, les entrées d'air sont les aérations déjà prévu pour les combles.

Pour les ateliers de productions le brassage se fera par les CTA en passant en air neuf + la mise en service d'extracteur, ce qui permettra un brassage de l'atelier.

Extracteur CO2 :

Débit d'extraction minimum (obligatoire) est calculé à partir de la relation de la NF EN 378/3 qui est : $V = 14 \times M^{2/3}$

Avec V en l / s et M la masse CO2 du plus grand circuit de la SDM, bouteille MP ou BP

Ce débit minimum horaire (en m3/h) doit également être supérieur à 4 fois le volume de la SDM.

Ce débit minimum horaire (en m3/h) n'est pas limité en débit maximal il est ajusté en fonction de l'étude des scénarii, du refroidissement de la SDM du respect du débit d'extraction qui doit être inférieur à 15 fois le volume de la SDM. Ce qui est respecté.

L'extraction de sécurité se fait en partie basse

4. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de l'explosion (Mesure X)

Le CO2 est un gaz utilisé comme agent extincteur – Il n'y a pas de risque d'explosion.

5. Mesures de protection / Limitation vis-à-vis de la pollution (Mesure P)

Il n'y a pas de risque de pollution des eaux. A pression atmosphérique le CO2 est à l'état solide (neige carbonique – sublimation lors d'une fuite).

6. Mesure de protection / Limitation vis-à-vis des incendies (Mesure I)

Les mesures de protection sont déjà traitées dans l'étude de dangers ammoniac.

ANNEXE 2

Essais palette Efectis

Efectis France
Espace Technologique
Bâtiment Apollo
Route de l'Orme des Merisiers
F-91193 Saint-Aubin
Tél : 33 (0)1 60 13 83 80

RAPPORT D'ESSAI

Référence : 21-000535-JLU
Affaire : 21-000277-NA

ESSAI DE CARACTERISATION SOUS HOTTE CALORIMETRIQUE DE LA COMBUSTION DE PALETTES SELON LE PROTOCOLE FLUMILOG

PALETTES DE VIENNOISERIES ET PAINS SURGELES

Client demandeur	SAS LE DUFF (BRIDOR)
Référence et date de commande	Bon pour commande de David BRIENS du 05/02/2021
Projet	Essai de caractérisation de palettes

Date : 19 Mars 2021
Indice de révision : A
Nombre de pages : 47

Auteur(s) :
Jordan LAUMESFELD

SUIVI DES MODIFICATIONS

Indice de révision	Date	Modifications
A	19/03/2021	Version initiale

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

SOMMAIRE

1. Introduction 5
2. Documents de référence 6
3. Description de la palette de produits testés 7
4. Installation des essais 8
4.1. Hotte calorimétrique 8
4.2. Disposition de la palette 9
4.3. Instrumentation 9
4.3.1. Cheminée (venturi) 9
4.3.2. Pesée 10
4.3.3. Flux thermique 10
4.3.4. Localisation des points de mesure de flux 10
5. Résultats expérimentaux 12
5.1. Conditions initiales 12
5.2. Essai n°1 : palette seule 12
5.2.1. Allumage 12
5.2.2. Observations 12
5.2.3. Principaux résultats 13
5.3. Essai n°2 : calibration de l'agression 14
5.4. Essai n°3 : palette en configuration de stockage 16
5.4.1. Observations 17
5.4.2. Principaux résultats 17
6. Analyse des essais 19
7. Conclusion 20
ANNEXE A : Hotte calorimétrique 21
A.1 Plan de la hotte 21
A.2 Vues de la hotte 22
ANNEXE B : Prises de vue 24
B.1 Essai 1 24
B.2 Essai 2 25
B.3 Essai 3 26
ANNEXE C : Données métrologiques essai 1 27
C.1 Concentration O2 27
C.2 Concentration CO2 28
C.3 Débit de fumées 29
C.4 Débit calorifique 30
C.5 Perte de masse 31
C.6 Energie consommée 32
C.7 Flux thermiques 33
ANNEXE D : Données métrologiques essai 2 34
D.1 Concentration O2 34
D.2 Concentration CO2 35
D.3 Débit de fumées 36
D.4 Débit calorifique 37

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

D.5 Perte de masse 38
D.6 Energie consommée 39
D.7 Flux thermiques 40
ANNEXE E : Données métrologiques essai 3 41
E.1 Concentration O2 41
E.2 Concentration CO2 42
E.3 Débit de fumées 43
E.4 Débit calorifique 44
E.5 Perte de masse 45
E.6 Energie consommée 46
E.7 Flux thermiques 47

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

1. INTRODUCTION

Le présent document constitue le rapport d'essais de caractérisation sous hotte calorimétrique de l'incendie d'une palette **de viennoiseries et de pains surgelés conditionnés en 48 cartons**, pour le compte de la société **BRIDOR – SAS LE DUFF**, selon le protocole FLUMilog.

Ces essais se placent dans le contexte de la mise en application de la doctrine générale n°BRTICP/2011-331/AL-PB du 28/11/11 [1] : Prise en compte du caractère « combustible » pour le classement sous la rubrique 1510.

Une palette de produits est considérée comme combustible si elle est constituée de produits réalisés en matériaux classés autres que A1 ou A2-s1-d0 au sens de l'arrêté du 21/11/2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement [2]. La réalisation d'essais par un protocole reconnu par la DGPR [4] peuvent permettre d'affiner les caractéristiques de combustion (puissance et durée) à prendre en compte dans les études de flux thermiques associées.

Le protocole suivi [4] se décline en trois essais :

- **Essai 1** : essai avec la palette complète avec pour source d'ignition un bac d'heptane ayant une courte durée de combustion dans le but de caractériser la chaleur de combustion de la palette ;
- **Essai 2** : essai avec une charge calorifique équivalente (palettes bois) permettant de reproduire la puissance observée lors de l'essai 1 ;
- **Essai 3** : essai avec la palette complète agressée sur trois faces par la charge calibrée lors de l'essai 2.

La comparaison des essais 2 et 3 permet le cas échéant de déterminer les caractéristiques de combustion propres de la palette de produits, en situation de stockage.

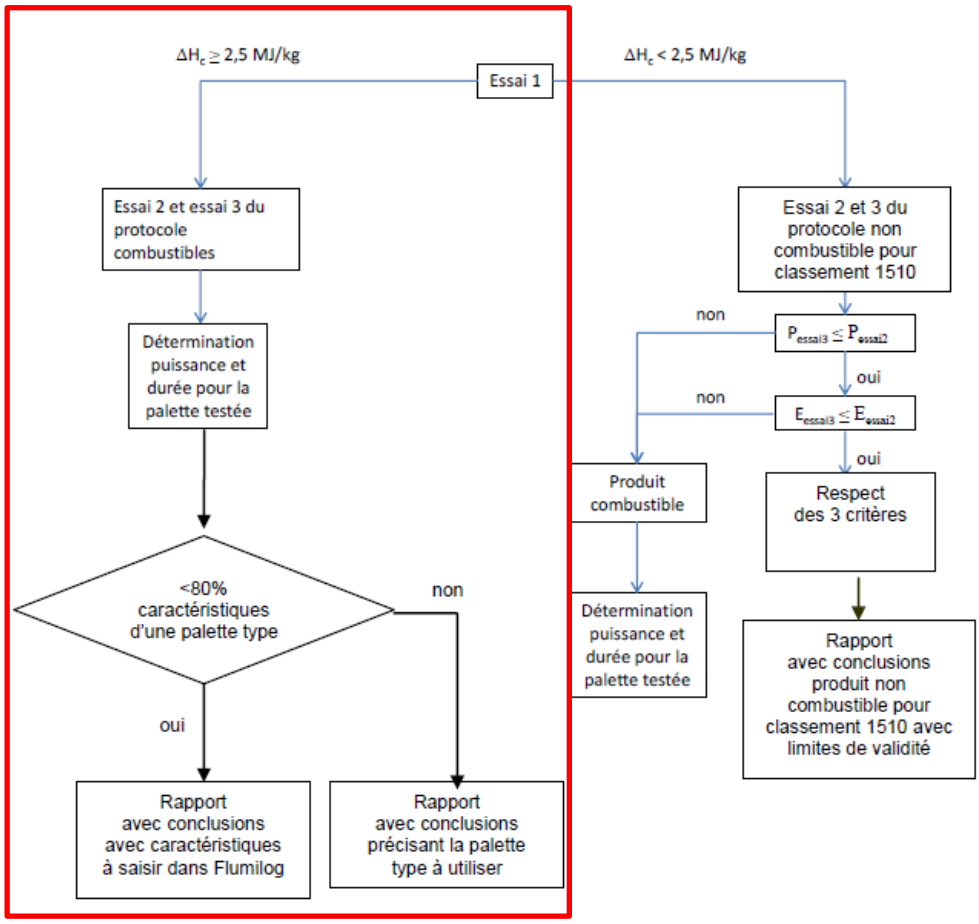


Figure 1-1 : Synoptique du protocole « Combustible » FLUMilog [4]

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

[1] Note de doctrine Générale BRTICP/2011-331/AL-PB du 28 novembre 2011

[2] Arrêté du 21 Novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement (publié au JORF du 31 décembre 2002)

[3] FLUMILOG : Description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt. Rapport INERIS/CTIM/CNPP/IRSN/EFECTIS France DRA-09-90977-14553A, Version 2.04/08/2011

[4] FLUMILOG : Protocole d'essais de caractérisation de l'incendie d'une palette – Rapport INERIS DRA-13-133881-07549A, Mars 2014

[5] The relation of oxygen to the heat of combustion of organic compounds, M. Thornton. Phil. Mag. 3., 1917

[6] The Measurement of Heat Release Rates by Oxygen Consumption Calorimetry in Fires Under Suppression. B. Z. Dlugogorski, J. R. Mawhinney and V. Huu Duc Fire safety Science proceeding of the 4th Int. Symp., Ottawa, 1994

[7] Generation of Heat and Fire Products. A. TEWARSON, Technical report of Factory Mutual, May 1995.

[8] Liste de colisage (packing list). Bon de livraison N°81010207 du 22/02/2021

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

3. DESCRIPTION DE LA PALETTE DE PRODUITS TESTES

La palette de cartons de viennoiseries et pains surgelés était composée :

- De 48 cartons répartis sur 8 niveaux dont :
  - 24 cartons de mini-pains au chocolat ;
  - 10 cartons de croissants ;
  - 14 cartons de pains surgelés bio « le bâtard ».
- De plastique d'emballage ;
- Et d'une palette en bois de dimensions 80 cm x 120 cm.

La palette totale est composée de 24 cartons de 7,30 kg de mini-pains au chocolat, 10 cartons de 10,8 kg de croissants et 14 cartons de 7,40 kg de pains surgelés bio « le bâtard ».

La masse totale mesurée de la palette testée est d'environ 459 kg. Les masses totales de plastique composant l'emballage, de carton, et des viennoiseries et pains surgelés sont déterminées sur la base des informations fournies dans la fiche de palettisation [8], et sur des décompositions forfaitaires des pains et viennoiseries en eau, farine et beurre. Sur cette base, la chaleur de combustion moyenne théorique, déterminée à partir des chaleurs de combustion issues de la littérature [3], serait de **22,9 MJ/kg**. On constate par ailleurs que la part de combustible présente sur la palette représente environ 89 % du poids de la palette.

Description	Masse (kg)	Chaleur combustion (MJ/kg)	Énergie (MJ)
Palette bois	25	18	450
Plastique (emballages)	24,15	40	966
Carton (emballages)	24,15	18	435
Farine	193	17	3 281
Beurre	141	38	5 372
Eau	51,7	0	0
Total	**459**	**22,9**	**10 504**

Tableau 3-1 : Estimation des masses élémentaires et chaleurs de combustion des produits stockés sur la palette de viennoiseries et pains surgelés

On donne ci-dessous des illustrations des éléments composant la palette testée.



Figure 3-1 : Palette (gauche) et pains bio « le bâtard » (droite)

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

4. INSTALLATION DES ESSAIS

4.1. HOTTE CALORIMETRIQUE

L'essai a été réalisé dans la hotte calorimétrique du laboratoire d'Efectis France implanté à Maizières-lès-Metz (57). Il s'agit d'une enceinte fermée, d'une surface au sol de 8 m x 8 m, surmontée d'une hotte et d'une cheminée centrale.

L'évacuation des fumées produites par le foyer situé à l'intérieur se fait naturellement par une cheminée d'une hauteur de 7,1 m, qui est un conduit métallique non protégé thermiquement. Celle-ci est munie d'un venturi (Ø 1200 / 840 mm) permettant une prise de données sur des fumées bien homogène et stable. La hauteur d'entraînement des fumées en dessous de la cheminée est de 6,2 m par rapport au sol.

L'amenée d'air frais dans la hotte est réalisée par quatre (4) trappes de ventilation basse, présentant un passage libre unitaire de 1000 x 700 mm (l x h), réparties sur deux faces : Est et Ouest. La face Nord est mitoyenne au bâtiment 4 et plus particulièrement au local de pilotage.

L'accès à la hotte par l'extérieur est réalisé par une porte à deux vantaux de passage libre 2000 x 3000 mm (l x h). Une porte d'accès de 2000 x 2500 mm (l x h) connecte la hotte au local de pilotage.

Sur les faces intérieures, l'enceinte est habillée sur une hauteur de 2,5 m d'une maçonnerie en béton cellulaire. Au-dessus, la hotte en inox est protégée par des plaques silico-calcaire ou de la laine minérale. Un habillage en bardage métallique a été disposé à l'extérieur.

Le détail de la hotte est présenté en ANNEXE A.



Figure 4-1 : Hotte calorimétrique d'Efectis France à Maizières-lès-Metz (57)

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

4.2. DISPOSITION DE LA PALETTE

La palette a été disposée sur des blocs de béton cellulaire afin de permettre la mise en place du bac de départ de feu sous la palette, lui-même positionné au sein d'un bac de rétention au centre de la hotte. Cet ensemble est posé sur la balance. Le bac de rétention doit permettre de contenir la chute de cartons ou produits hors de la balance.

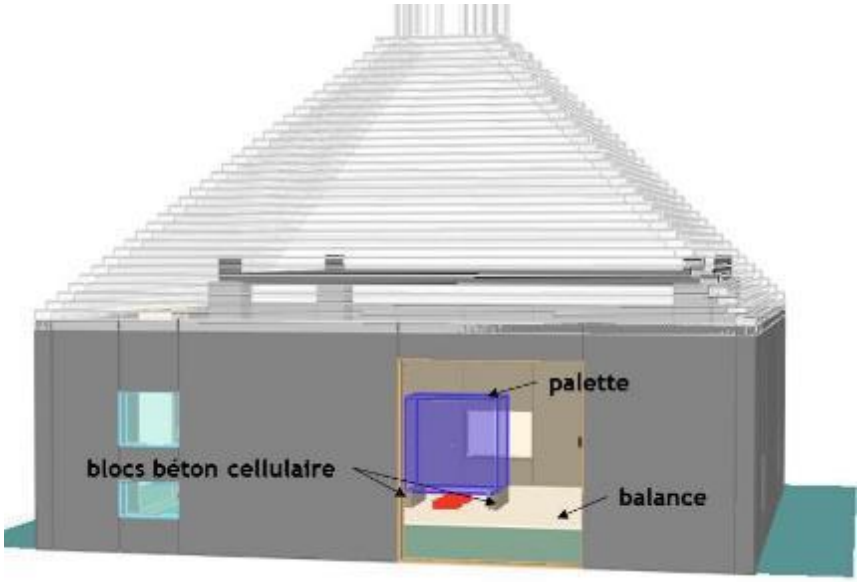


Figure 4-2 : Représentation de la disposition de la palette depuis l'entrée Nord de la hotte (local de pilotage)

4.3. INSTRUMENTATION

L'instrumentation pour cet essai comprend :

- Une balance pour la perte de masse de la palette avec une pesée en continu ;
- Un analyseur de gaz O_2, CO_2, CO pour la mesure des concentrations en gaz dans le venturi de la cheminée ;
- Un capteur de pression et un thermocouple pour la mesure du débit et température des fumées dans le venturi de la cheminée ;
- Deux fluxmètres devant la palette ;
- Une caméra pour l'enregistrement vidéo de l'essai.

L'acquisition a été réalisée par un enregistreur AOIP avec une fréquence de scrutation de 10 secondes.

4.3.1. Cheminée (venturi)

La pression différentielle au passage du tube Venturi était mesurée par un micro manomètre FURNACE CONTROL FCO 318, 0-200 Pa, utilisé sur sa plage de mesure 0 - 100 %.

Le débit volumique des fumées est ainsi calculé en fonction de la pression différentielle au passage du venturi et de la température des fumées qui permet de définir la masse volumique.

Les concentrations en O_2, CO_2 et CO étaient mesurées par prélèvement dans le venturi et un analyseur de gaz, muni d'une boucle de prélèvement rapide. Les plages de mesure des cellules de l'analyseur étaient les suivantes :

- O_2 : 0 à 25 %.
- CO_2 : 0 à 25 %.
- CO : 0 à 10 000 ppm.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

Le débit calorifique a été calculé suivant les deux méthodes indiquées dans le document [2], à savoir :

- La méthode de consommation d'oxygène (OC) définie par Thornton [5]. Une correction de la valeur par les concentrations en dioxyde et monoxyde de carbone est employée [6].
- La méthode de production de dioxyde de carbone et monoxyde de carbone dans les fumées (CDG) initiée par Tewarson [7].

Implantation	Repères	Planche de résultats n°
Pression différentielle au passage du Venturi	Pr1	-
Concentration en oxygène O_2	Gaz2	1
Concentration en dioxyde de carbone CO_2	Gaz3	2
Concentration en monoxyde de carbone CO	Gaz4	-
Température des fumées (section basse Venturi)	Tc5	-
Température des fumées (section centrale Venturi)	Tc6	-
Débit volumique des fumées	Qv9	3

Tableau 4-1 : repérage des voies de mesures dans la cheminée et des planches de résultats en ANNEXE C, ANNEXE D et ANNEXE E

4.3.2. Pesée

La pesée en continu de l'échantillon d'essai était assurée par une plateforme de pesée réf. GIB4C3008 (PMA), muni de 4 pesons, de dimensions 3 000 x 2 000 mm, de portée 3000 kg, et de précision 500 g. La plateforme était reliée à un terminal de pesage analogique IT3000A, réf. SY13SYS501 avec une sortie analogique.

Implantation	Repères	Planche de résultats n°
Pesée de la palette et des bacs d'ignition et blocs béton de support	M4	5

Tableau 4-2 : repérage de la voie de mesure de pesée et de la planche de résultats en ANNEXE C, ANNEXE D et ANNEXE E

4.3.3. Flux thermique

Le flux thermique a été mesuré par deux fluxmètres.

Implantation	Repères	Planche de résultats n°
Fluxmètre à une hauteur de 1 m et une distance de 1 m de la face Nord de la palette	Fx15	7
Fluxmètre à une hauteur de 2 m et une distance de 2 m de la face Nord de la palette	Fx16	7

Tableau 4-3 : repérage de la voie de mesure de flux et de la planche de résultats en ANNEXE C, ANNEXE D et ANNEXE E

4.3.4. Localisation des points de mesure de flux

Les fluxmètres ont été placés pour l'un à une distance de 1 m de la face Nord de la palette et une hauteur de 1 m et pour l'autre à une distance de 2 m et une hauteur de 2 m.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

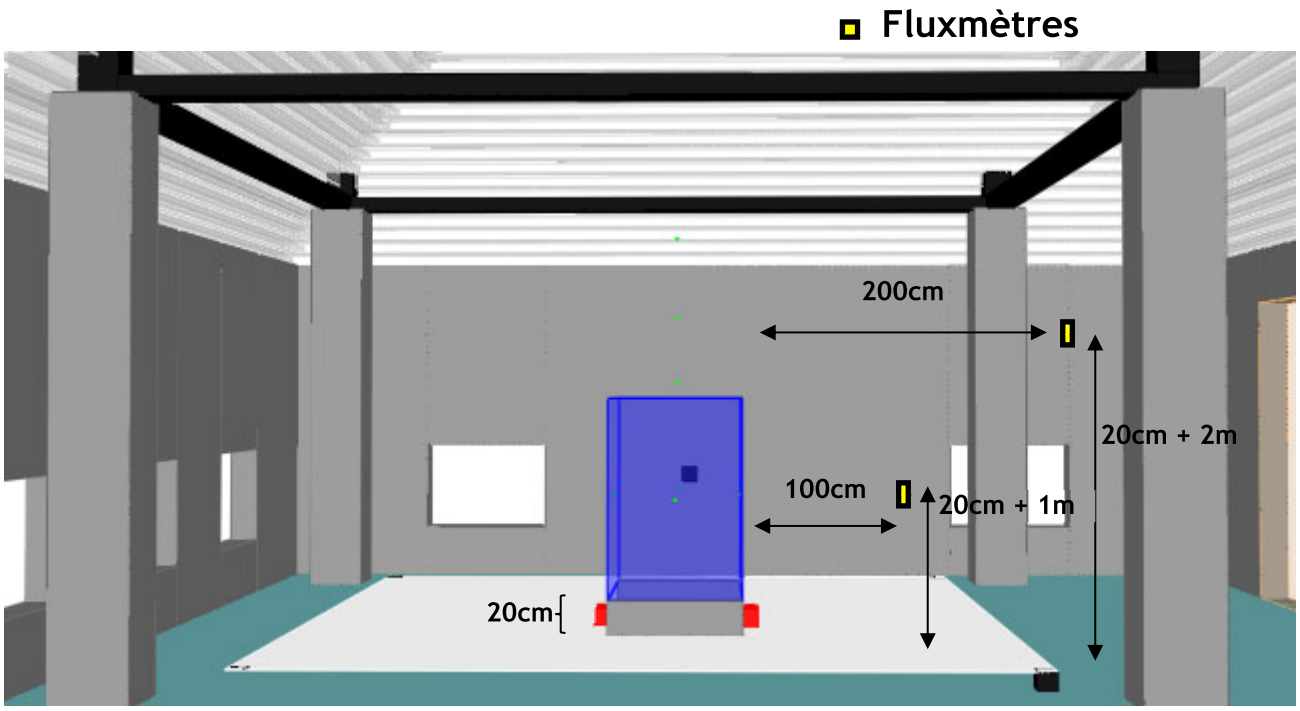


Figure 4-3 : Plan d'instrumentation depuis la face Est (entrée depuis l'extérieur)

5. RESULTATS EXPERIMENTAUX

5.1. CONDITIONS INITIALES

Les conditions météorologiques extérieures lors des essais réalisés les **02 et 03 mars 2021** furent les suivantes :

Paramètres	Essai 1	Essai 3
Température [°C]	6,7	5,3
Pression atmosphérique [hPa]	990,1	1005,4
Humidité relative [%]	77	80
Point de rosée [°C]	2,9	2,1
Vitesse du vent [km/h]	18	11
Direction du vent	Sud, Sud-Est	Ouest

Tableau 5-1 : Caractéristiques météorologiques pendant les essais

5.2. ESSAI N°1 : PALETTE SEULE

L'ensemble des planches de données métrologiques est présenté en ANNEXE C.

Cet essai consiste à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance (débit calorifique) de la palette de viennoiseries et pains surgelés brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance se fera à l'aide des deux méthodes (OC et CDG).

5.2.1. Allumage

Pour le démarrage de la palette de viennoiseries et pains surgelés, un bac de 30 x 30 cm² avec 3 cm d'heptane a été disposé sous la palette, surélevée de 20 cm. La puissance totale de ce bac est d'environ 150 kW.

5.2.2. Observations

Les observations qualitatives relevées lors de l'essai 1 de palette de viennoiseries et pains surgelés sont indiquées ci-dessous :

Temps [min]	Temps [hh:mm:ss]	Observations	Photos
0.00	**00:00:00**	Allumage	**Photo B-1**
1.62	**00:01:37**	Inflammation de toutes les faces de la palette	
2.27	**00:02:16**	Combustion des emballages sur les faces	**Photo B-2**
2.45	**00:02:27**	Effondrement de la palette sur la grille	
2.88	**00:02:53**	Chute de cartons enflammés	
3.12	**00:03:07**	L'effondrement des cartons sur les côtés forme une "pyramide" de combustible	**Photo B-3**
3.43	**00:03:26**	Affaissement progressif de la palette	
5.63	**00:05:38**	Poursuite de la combustion à puissance réduite	
8.82	**00:08:49**	La majorité des emballages a brulé, il reste un amas de pains/viennoiseries	
31.17	**00:31:10**	Puissance réduite, poursuite de la combustion très fumigène	**Photo B-4**
257.53	**04:17:32**	Puissance réduite mais stable, avec occasionnelle reprise de flammes, toujours fumigène	
269.37	**04:29:22**	Arrêt de l'essai	

Tableau 5-2 : Observations au cours de l'Essai 1 pour la palette de viennoiseries et pains surgelés

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

5.2.3. Principaux résultats

L'évolution de la puissance est présentée sur la Figure 5-1 avec chacune des deux méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

La puissance maximale (débit calorifique) mesurée lors de cet essai est de **2 500 kW**. L'énergie totale dégagée durant cet essai est d'environ **2 438 MJ**.

La chaleur de combustion calculée à partir de l'énergie totale dégagée sur la durée de l'essai 1, ramenée à la masse de la palette (459 kg) est de **5,3 MJ/kg**. Cette valeur est bien en-deçà de celle calculée de **22,9 MJ/kg** (cf. Tableau 3-1), ce qui est cohérent en considérant la quantité de produits n'ayant pas brûlé sur la durée de l'essai. Il est à noter que pour des raisons de mise en œuvre, l'essai a été arrêté au bout de 4h30. En effet, la liquéfaction du beurre contenu dans les viennoiseries entretenait un incendie de faible puissance, permettant la combustion progressive de l'ensemble des éléments contenus sur la palette. Ainsi, si l'essai n'avait pas été arrêté, l'ensemble des produits contenus sur la palette aurait pu continuer à brûler, et la chaleur de combustion estimée aurait été de l'ordre de 10,5 MJ/kg. Cette estimation est donnée sur l'analyse de l'énergie dégagée par rapport à la masse perdue (230 kg) sur la durée de l'essai, et sur la masse restante au moment de l'arrêt de l'essai.

La chaleur de combustion déterminée est bien **supérieure à 2,5 MJ/kg**, qui est le critère défini dans le protocole FLUMilog [4] permettant le choix de protocole d'essais « combustible » ou « non-combustible » (voir Figure 1-1). Les essais 2 et 3 sont donc réalisés selon le **protocole d'essai « combustible »** visant à déterminer la puissance et la durée de combustion de la palette.

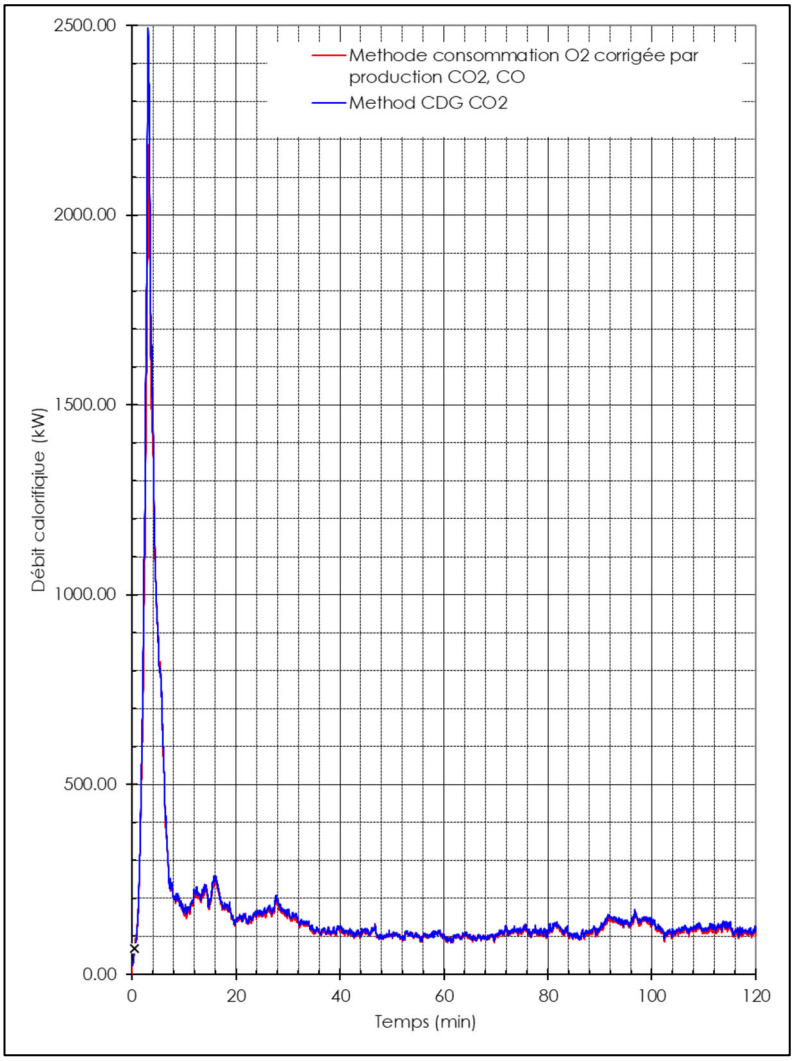


Figure 5-1 : Évolution du débit calorifique de l'essai 1

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

5.3. ESSAI N°2 : CALIBRATION DE L'AGRESSION

L'ensemble des planches de données métrologiques est présenté en ANNEXE D.

Il s'agit, dans le cas d'un produit ne pouvant pas prétendre au caractère « non combustible », de générer une agression représentative de l'incendie de la palette seule.

Une masse de bois de 3 palettes Europe (soit environ 75 kg de bois) par face[1] est conséquente et permet de représenter le pic de puissance réaliste tout en restant en sécurité vis-à-vis des personnes et des installations. On considère ainsi un essai avec 9 palettes Europe de masse unitaire d'environ 25 kg.

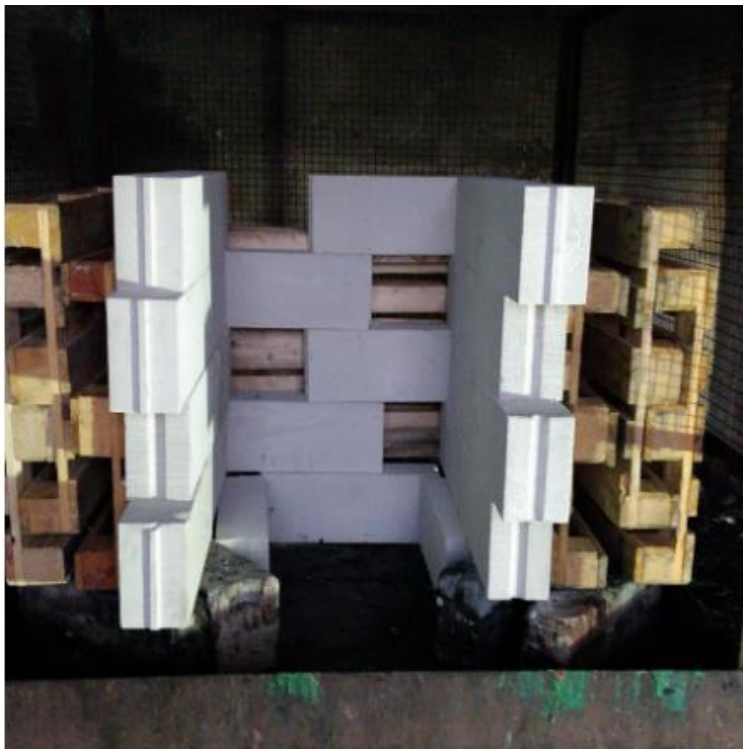


Figure 5-2 : Photo du dispositif de l'essai 2

Des observations de l'essai 2 sont données en Annexe B.2, à travers les Photos B-5 à B-8.

La Figure 5-3 montre l'évolution de la puissance totale d'une agression sur 3 faces correspondant à l'essai n°2. On observe un pic de puissance à **3 150 kW** environ.

L'énergie dégagée pendant cet essai est de **3 085 MJ.**

[1] *Un essai 2 au sens du protocole FLUMilog est représenté par 3 agressions thermiques (une par face)*

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

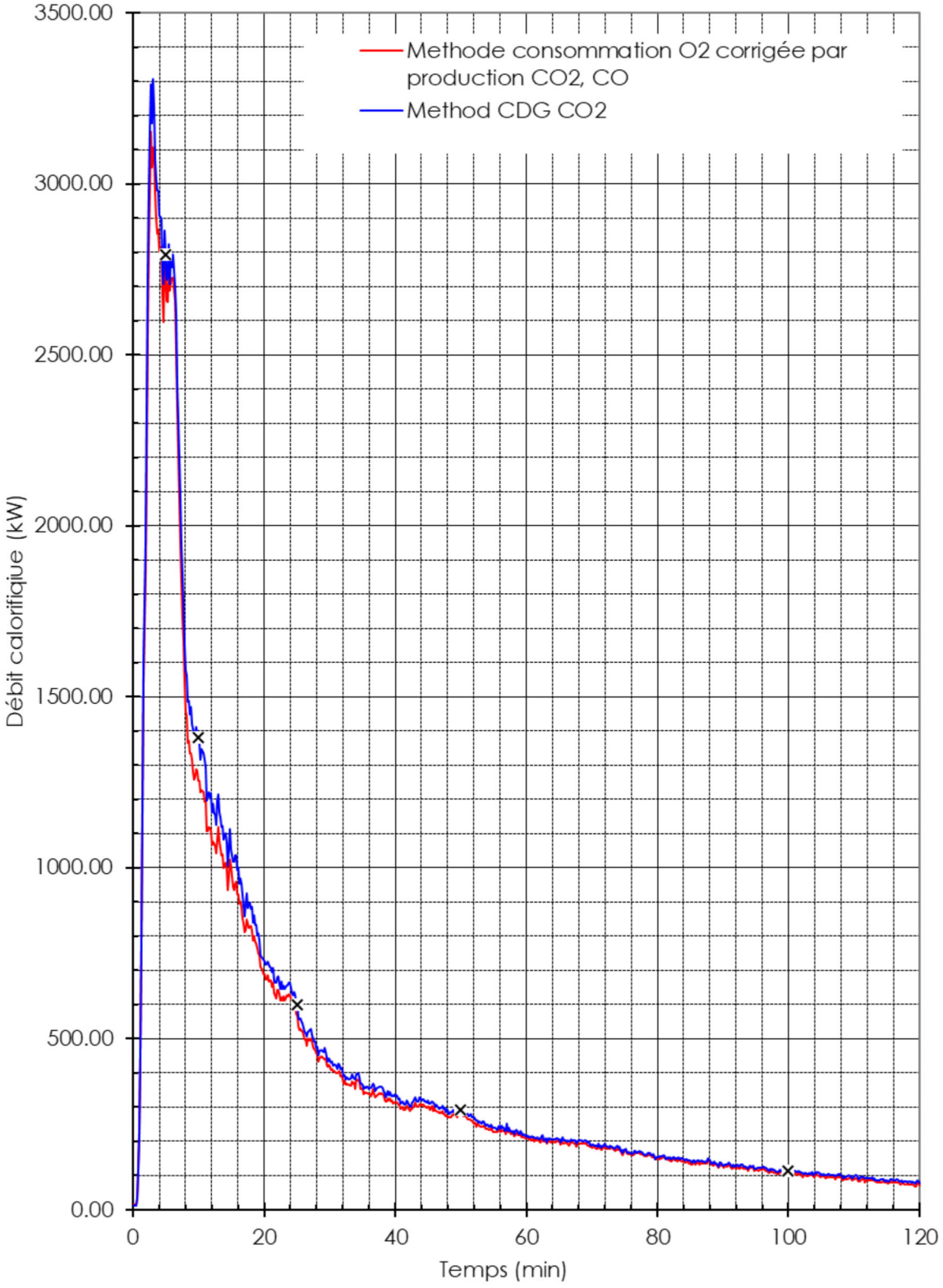


Figure 5-3 : Évolution de la puissance de l'agression retenue

5.4. ESSAI N°3 : PALETTE EN CONFIGURATION DE STOCKAGE

L'essai 3 est réalisé afin de reproduire la proximité de palettes voisines lors du stockage en entrepôt. L'influence de ces palettes est reproduite par l'agression déterminée lors de l'essai 2 et appliquée sur 3 faces de la palette testée.

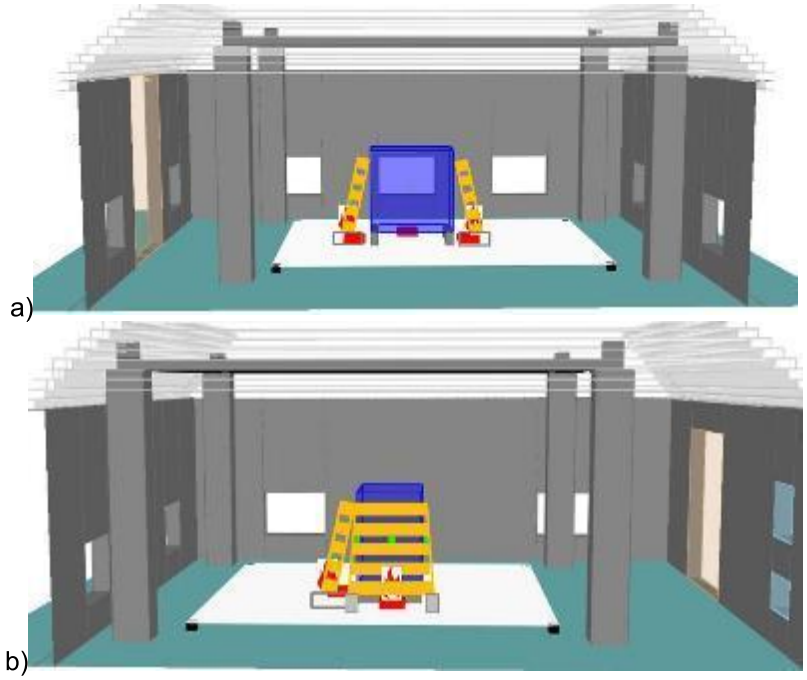


Figure 5-4 : Principe de disposition des foyers calibrés autour de la palette de produits a) vue de face b) vue de côté

La palette est positionnée dans un bac grillagé afin d'éviter le plus possible toute chute de cartons en dehors de la balance et d'assurer la combustion des produits présents sur la palette.



Figure 5-5 : Principe de disposition des foyers calibrés autour de la palette - Essai 3

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

5.4.1. Observations

Temps [min]	Temps [hh:mm:ss]	Observations	Photos
0.00	**00:00:00**	Allumage	
0.35	**00:00:21**	Toutes les faces de palettes bois sont bien parties	**Photo B-9**
1.58	**00:01:35**	Palettes bois bien embrasées	**Photo B-10**
2.72	**00:02:43**	Effondrement de la palette contre la grille	
3.52	**00:03:31**	Forte puissance, combustion des palettes bois et des emballages de la palette de produits	**Photo B-11**
6.33	**00:06:20**	Affaissement progressif de la palette	
11.73	**00:11:44**	Poursuite de la combustion à une puissance soutenue	**Photo B-12**
22.33	**00:22:20**	Les palettes bois se sont affaissées sur la palette, formant une pyramide qui brûle encore à puissance soutenue. Combustion fumigène	**Photo B-13**
63.83	**01:03:50**	Puissance réduite mais stable, poursuite de la combustion	
141.47	**02:21:28**	Puissance réduite mais stable, poursuite de la combustion	**Photo B-14**
171.30	**02:51:18**	Arrêt de l'essai	

Tableau 5-3 : Observations au cours de l'essai 3 et repérage des photos

A l'image de l'essai 1, l'essai 3 a été arrêté après 2h50, pour des raisons de mise en œuvre. La liquéfaction du beurre contenu dans les viennoiseries entretenait un incendie de faible puissance, dont la durée aurait pu se prolonger encore plusieurs heures, et permettant la combustion progressive de l'ensemble des éléments contenus sur la palette. Ainsi, si l'essai n'avait pas été arrêté, l'ensemble des produits contenus sur la palette aurait brûlé.

5.4.2. Principaux résultats

L'ensemble des planches de données métrologiques pour l'essai n°3 est présenté en ANNEXE E.

Les résultats de l'essai n°3 permettent de comparer la puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète (Essai 3) à la puissance maximale mesurée lors de la combustion d'un équivalent aux combustibles présents sur la palette (Essai 2).

Sur la Figure 5-6 est représentée l'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai, comparée à celle de l'essai 2**.** On note un **pic de puissance plus important pour l'essai 3** que pour l'essai 2. La différence entre les deux pics de puissance donne la puissance réellement dégagée par la palette testée en conditions de stockage, avec un pic à **1 920 kW**.

En soustrayant l'énergie dégagée par la combustion des palettes de bois utilisées pour l'agression (essai 2), et en extrapolant les valeurs sur la base de la masse restante à l'arrêt de l'essai 3, il est possible d'estimer que l'incendie d'une palette de viennoiseries en condition de stockage dégagerait environ **3 800 MJ**.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

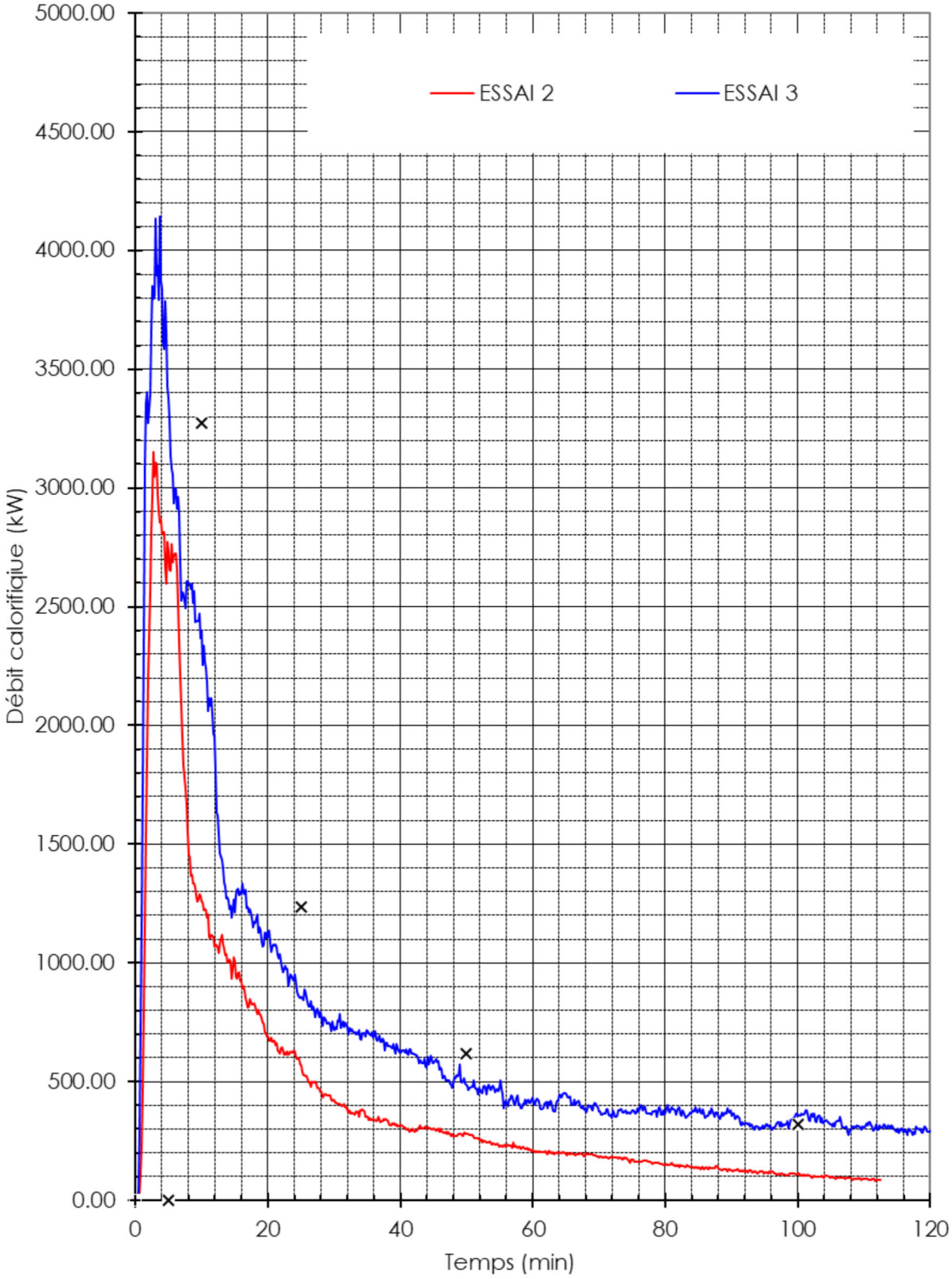


Figure 5-6 : Comparaison des courbes de puissance des essais 2 et 3

6. ANALYSE DES ESSAIS

Conformément au protocole FLUMilog [4], la puissance maximale obtenue et l'énergie dégagée doivent être comparées à celles indiquées pour une palette type rubrique [3] afin de déterminer les éléments à renseigner dans l'outil de calcul FLUMilog pour les études de flux thermiques.

La palette type 1511 dégage une puissance de 900 kW/m² par m^3 de stockage. Ainsi, pour une palette type 1511 de dimensions identiques à la palette de viennoiserie : 1,2 x 0,8 x 2,1 m^3, la puissance dégagée serait de l'ordre de 1 820 kW et l'énergie de 4 914 MJ. La puissance pic mesurée pendant l'essai (1 920 kW) est proche de la puissance prédite pour une palette type et l'énergie légèrement inférieure.

La figure suivante montre l'évolution dans le temps de la puissance expérimentale en comparaison de la courbe utilisée pour une palette type, corrigée pour tenir compte de la taille de la palette.

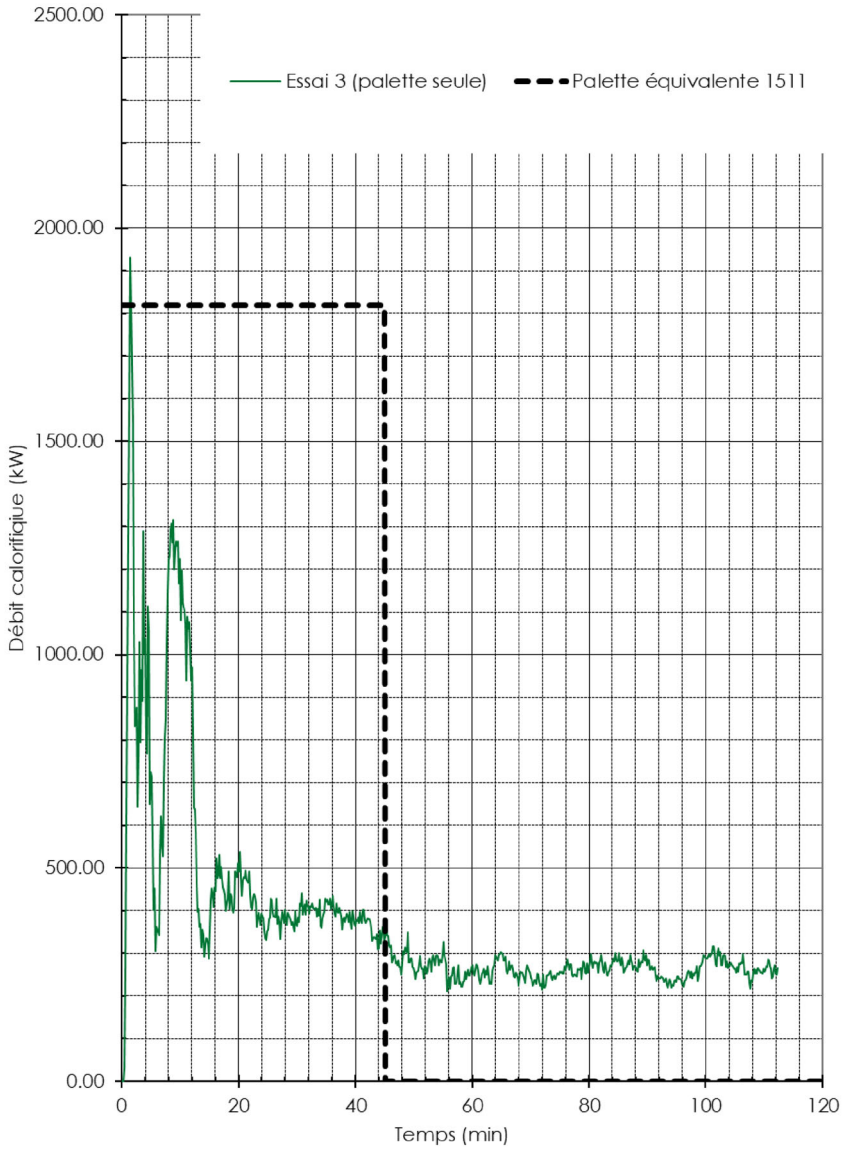


Figure 6-1 : Comparaison de l'évolution de la puissance dégagée par une palette de viennoiseries et pains surgelés et de la puissance d'une palette type 1511 équivalente

Il convient dans ce cas de retenir une palette type 1511 pour le calcul des distances d'effets thermiques avec l'outil Flumilog. En effet, au vu de la puissance pic obtenue et de l'énergie totale dégagée, les distances d'effet calculées au moyen du logiciel Flumilog pour une palette type sont représentatives de ce type de palettes.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

7. CONCLUSION

Les essais ont mis en évidence pour la palette de viennoiseries et pains surgelés, telle que décrite dans le Tableau 3-1, que :

- La chaleur de combustion produite sur la durée de l'essai est de 5,3 MJ/kg, et la chaleur de combustion totale estimée est de l'ordre de 10,5 MJ/kg, donc **supérieure à 2,5 MJ/kg** ;
- La puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète **est supérieure** à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette ;
- L'énergie libérée lors de la combustion de la palette complète **est supérieure** à l'énergie libérée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette.

Par ailleurs, la puissance mesurée lors de l'essai de la palette en situation de stockage (essai 3) est supérieure à 80% de la valeur théorique d'une palette rubrique 1511.

Ainsi, les essais réalisés selon le protocole FLUMilog [4] ont montré que la palette de viennoiseries et pains surgelés :

- de dimensions 1,2 x 0,8 x 2,1 m^3 (L x l x h) ;
- et composée comme décrite dans le Tableau 3-1 ;

est à classer comme combustible avec les caractéristiques d'une palette type 1511 de mêmes dimensions telle que décrite dans l'outil FLUMilog [3].

Ces conclusions ne valent que pour les palettes de viennoiseries et pains surgelés présentant le même conditionnement que celui indiqué dans ce document, et dans le strict respect des documents en possession d'Efectis France, ainsi que des informations et palettes qui lui ont été fournies.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

ANNEXE A : HOTTE CALORIMETRIQUE

A.1 PLAN DE LA HOTTE

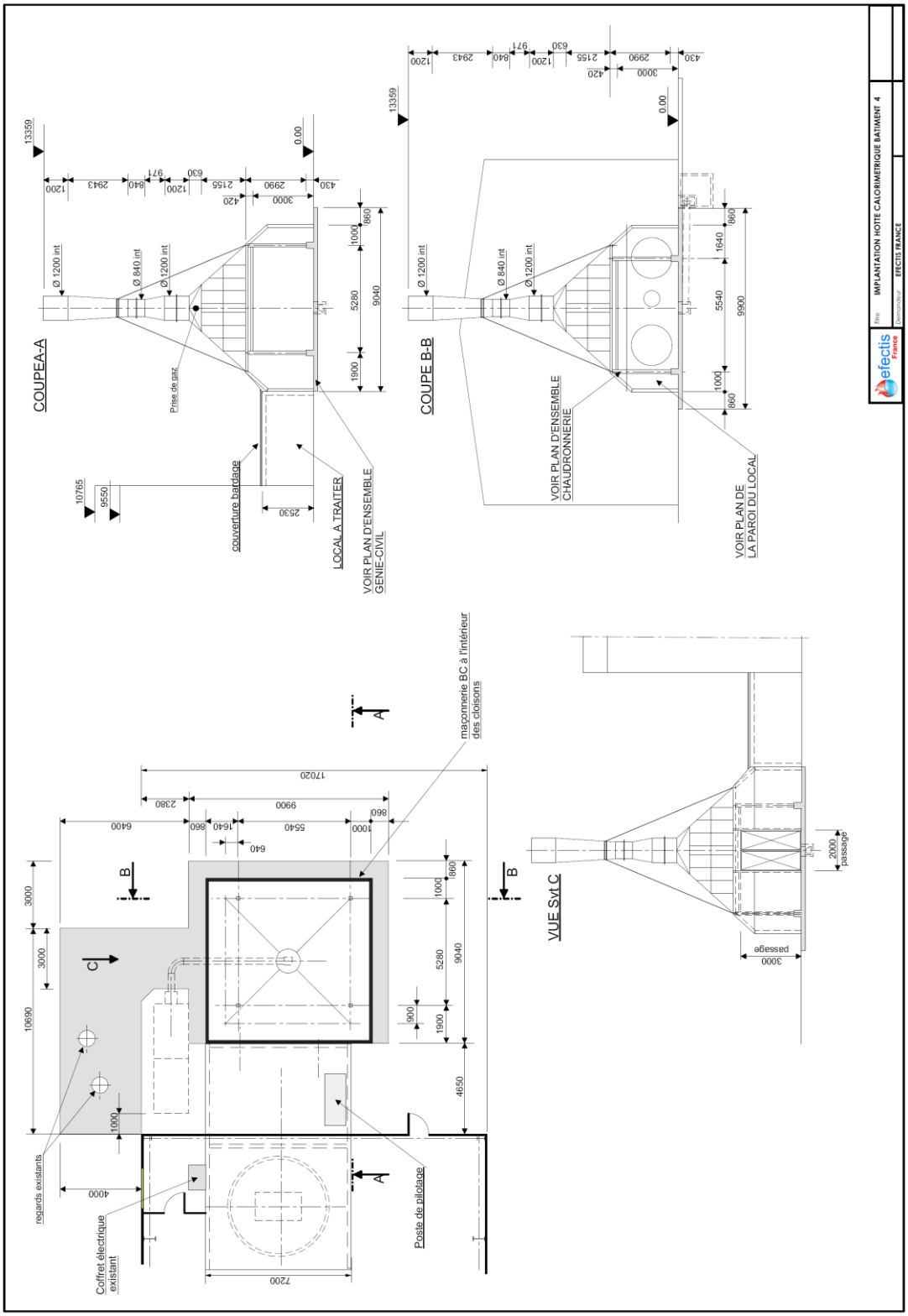


Figure A-7-1 : Plans de la hotte calorimétrique

A.2 VUES DE LA HOTTE



Figure A-7-2 : Implantation de la hotte au sud du bâtiment 4 et vue de la façade Sud



Figure A-7-3 : vues des façades Est et Ouest



Figure A-7-4 : vue du local de pilotage et des baies vitrées depuis la hotte

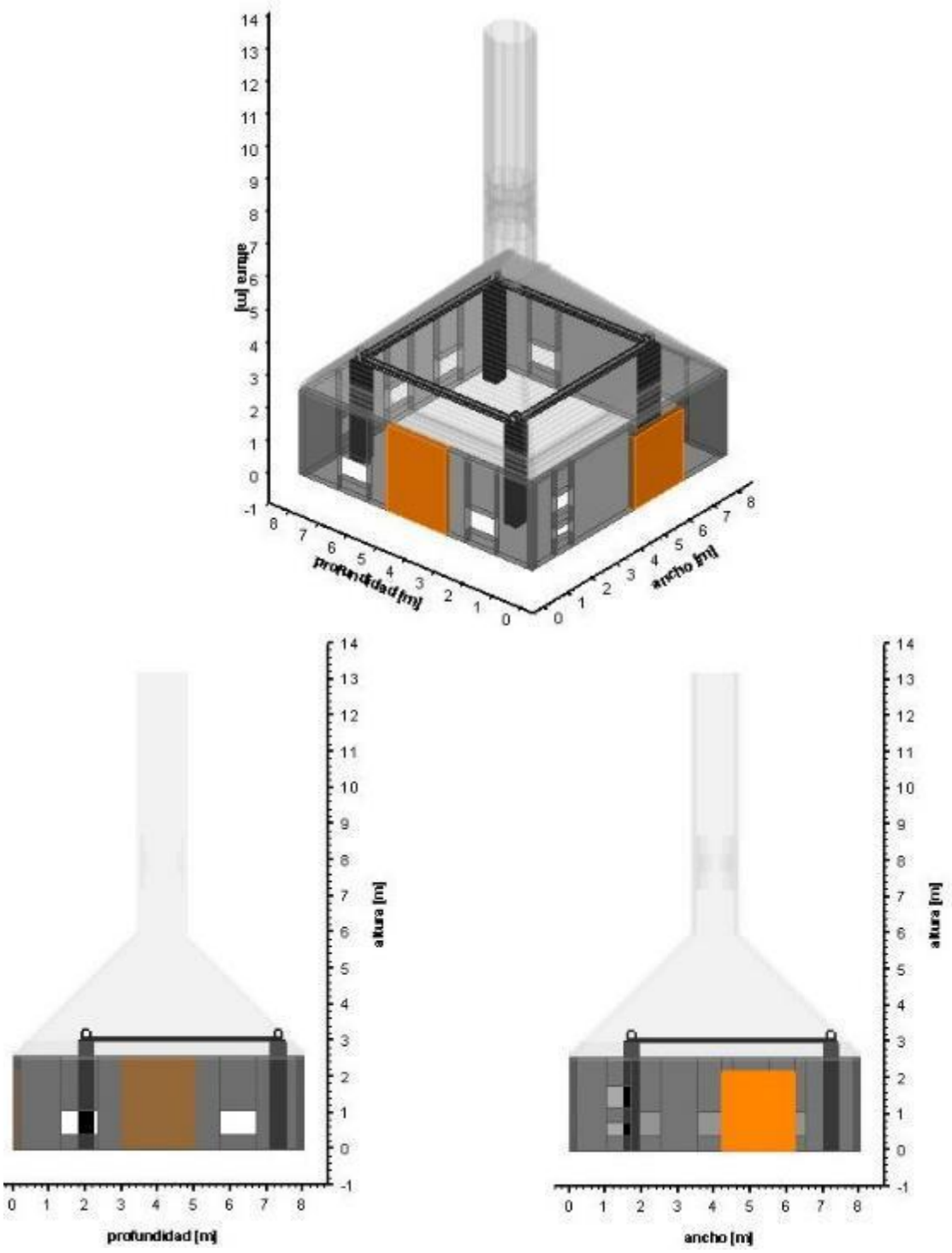


Figure A-7-5 : Représentation virtuelle de la hotte calorimétrique
Vues axonométrique, depuis la face Ouest et depuis la face Nord

ANNEXE B: PRISES DE VUE

B.1 ESSAI 1



Photo B-1

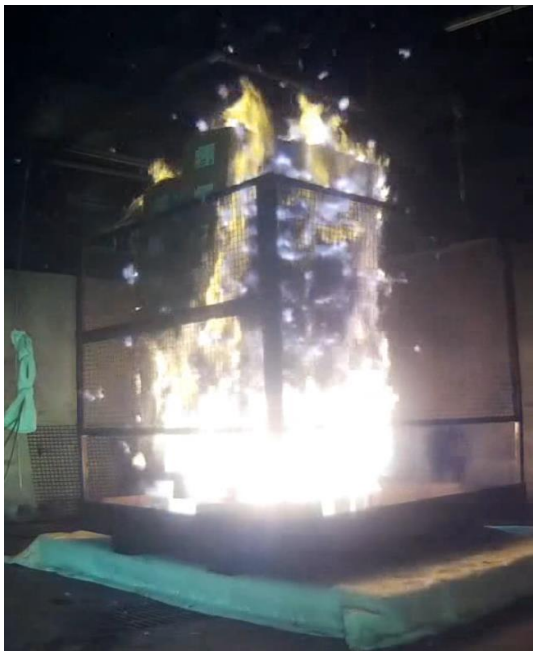


Photo B-2

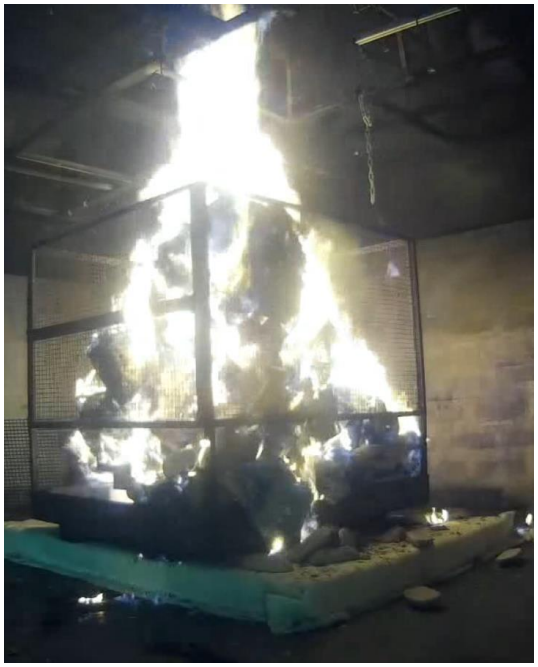


Photo B-3



Photo B-4

B.2 ESSAI 2



Photo B-5



Photo B-6



Photo B-7



Photo B-8

B.3 ESSAI 3



Photo B-9



Photo B-10



Photo B-11



Photo B-12



Photo B-13

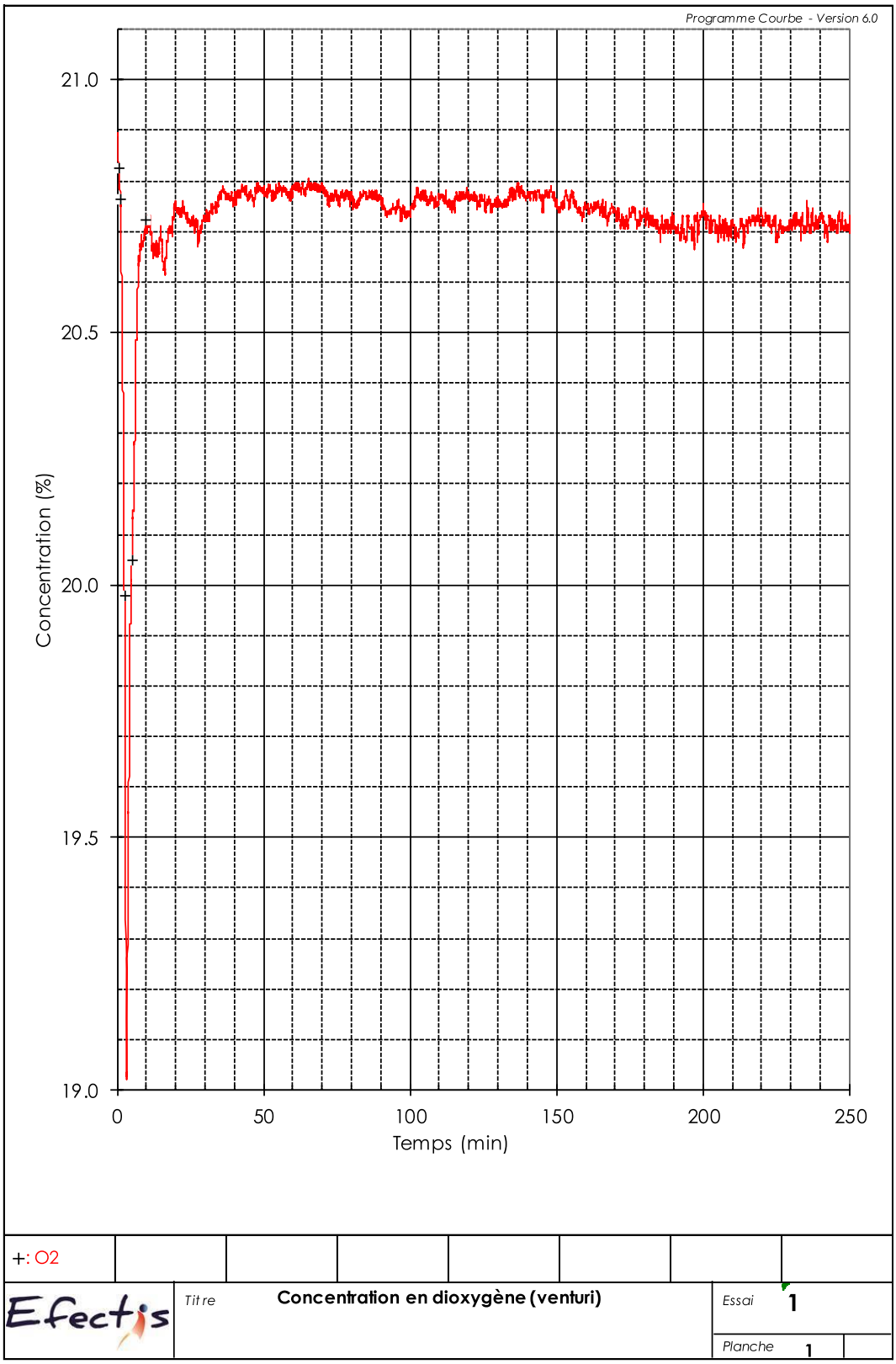


Photo B-14

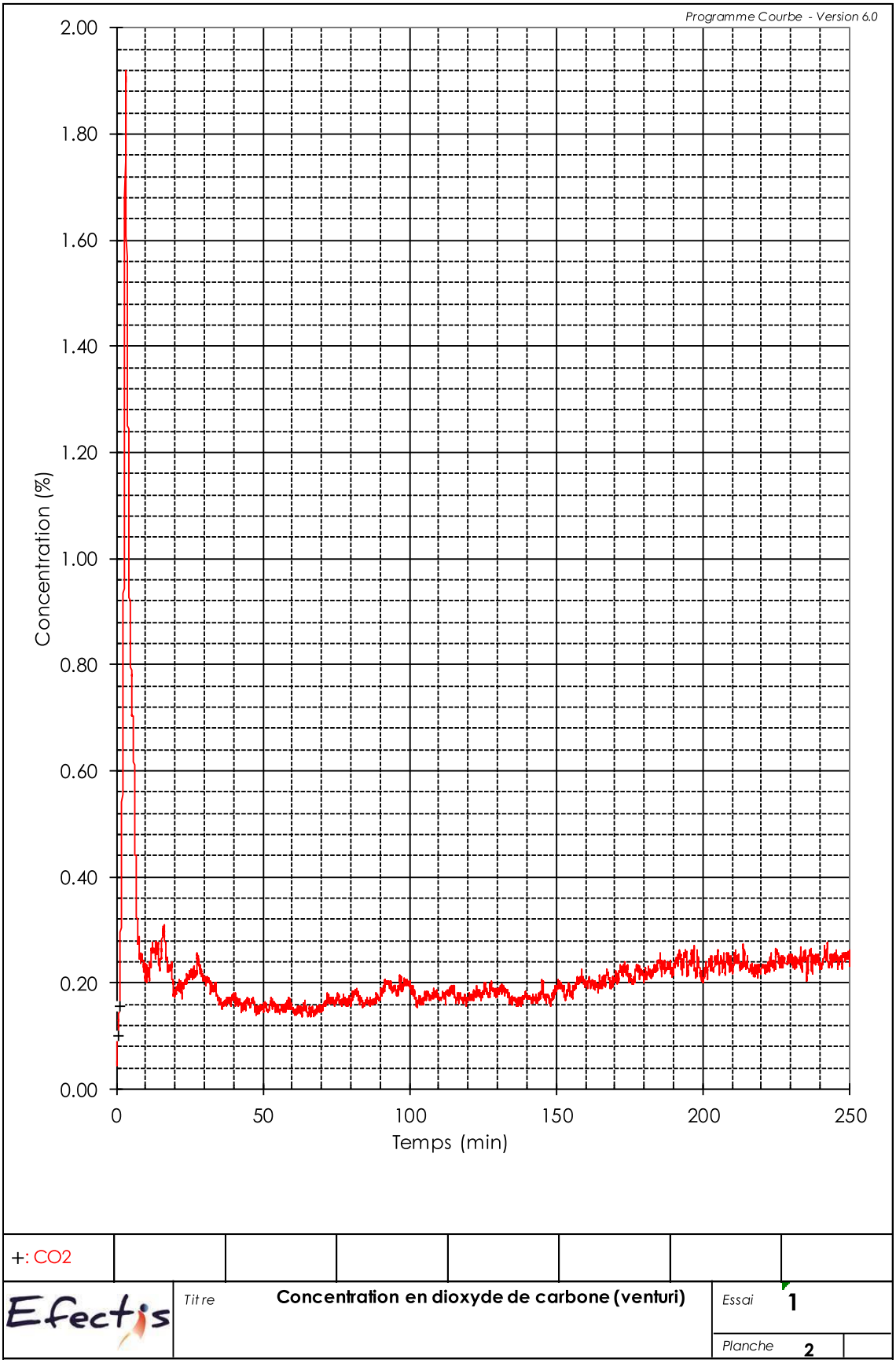
La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

ANNEXE C : DONNEES METROLOGIQUES ESSAI 1

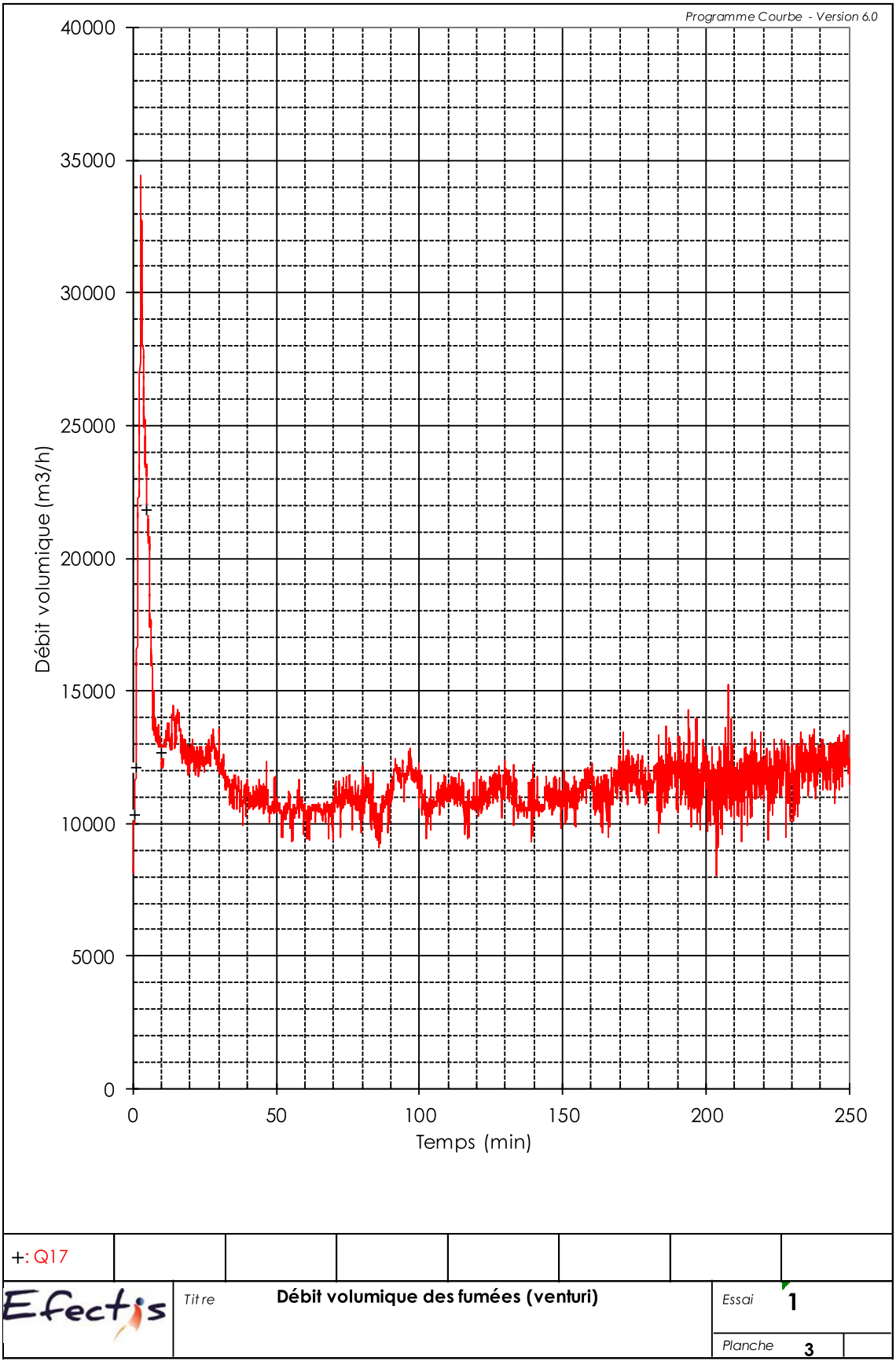
C.1 CONCENTRATION O2



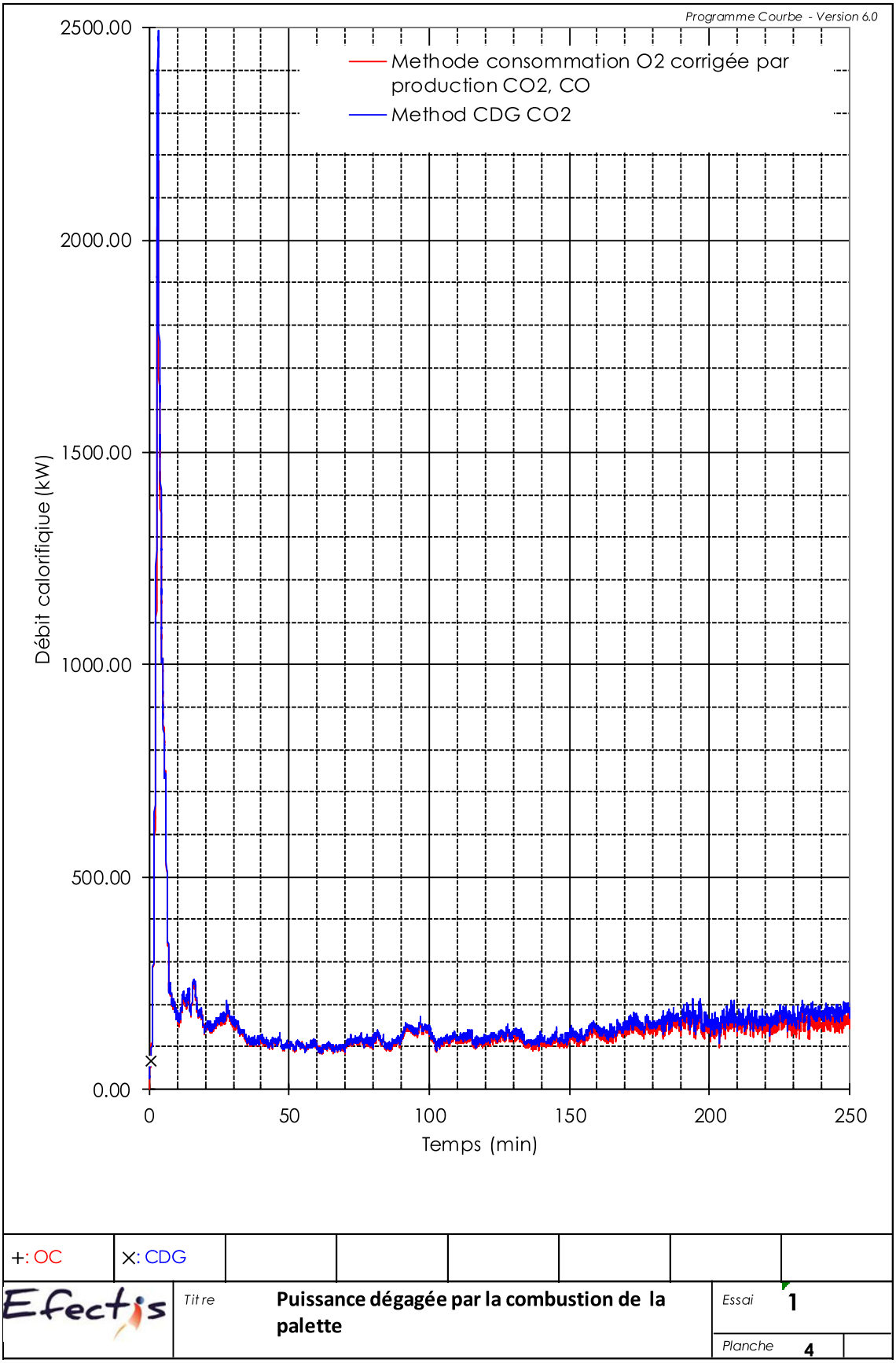
C.2 CONCENTRATION CO2



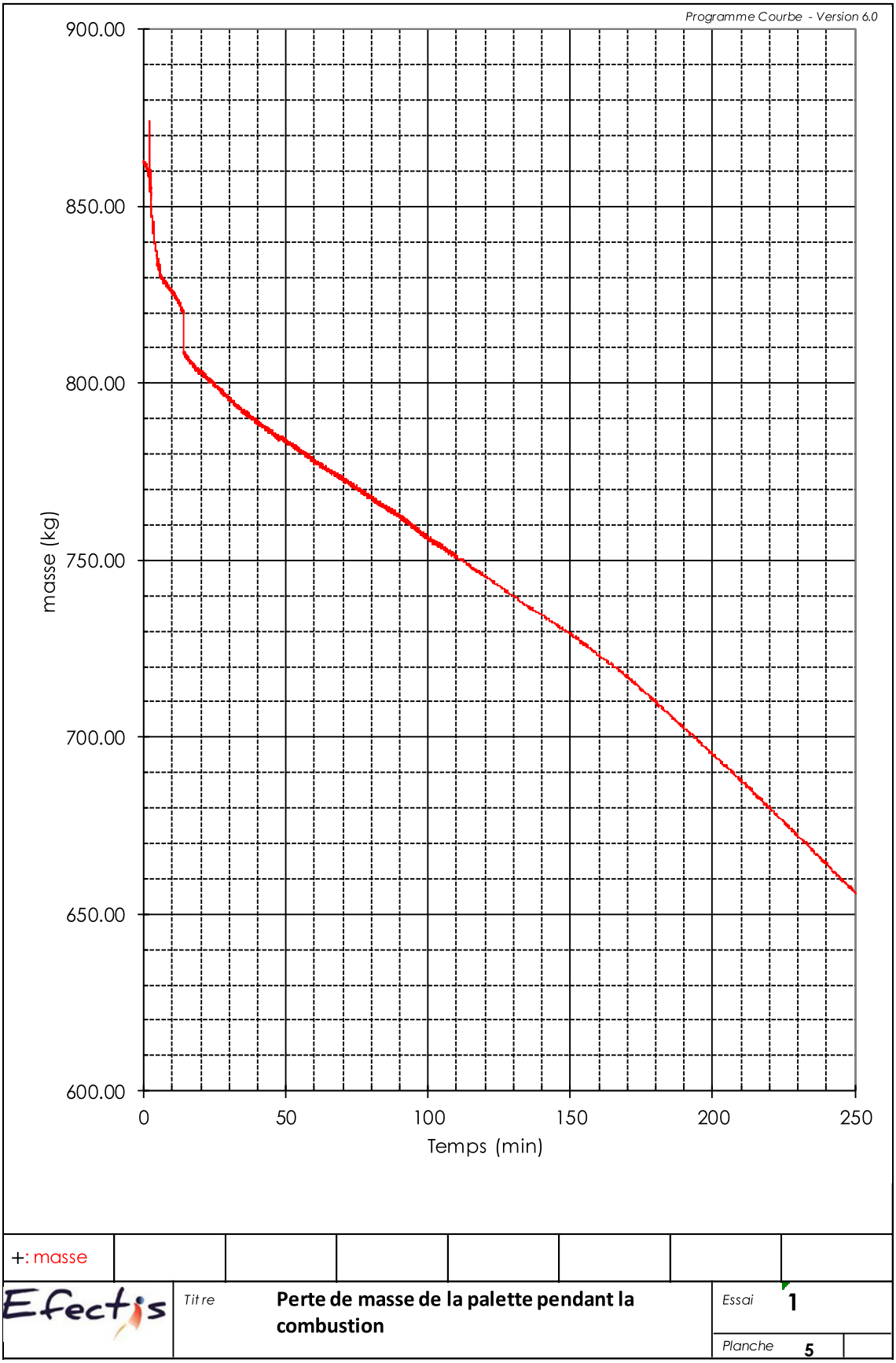
C.3 DEBIT DE FUMEES



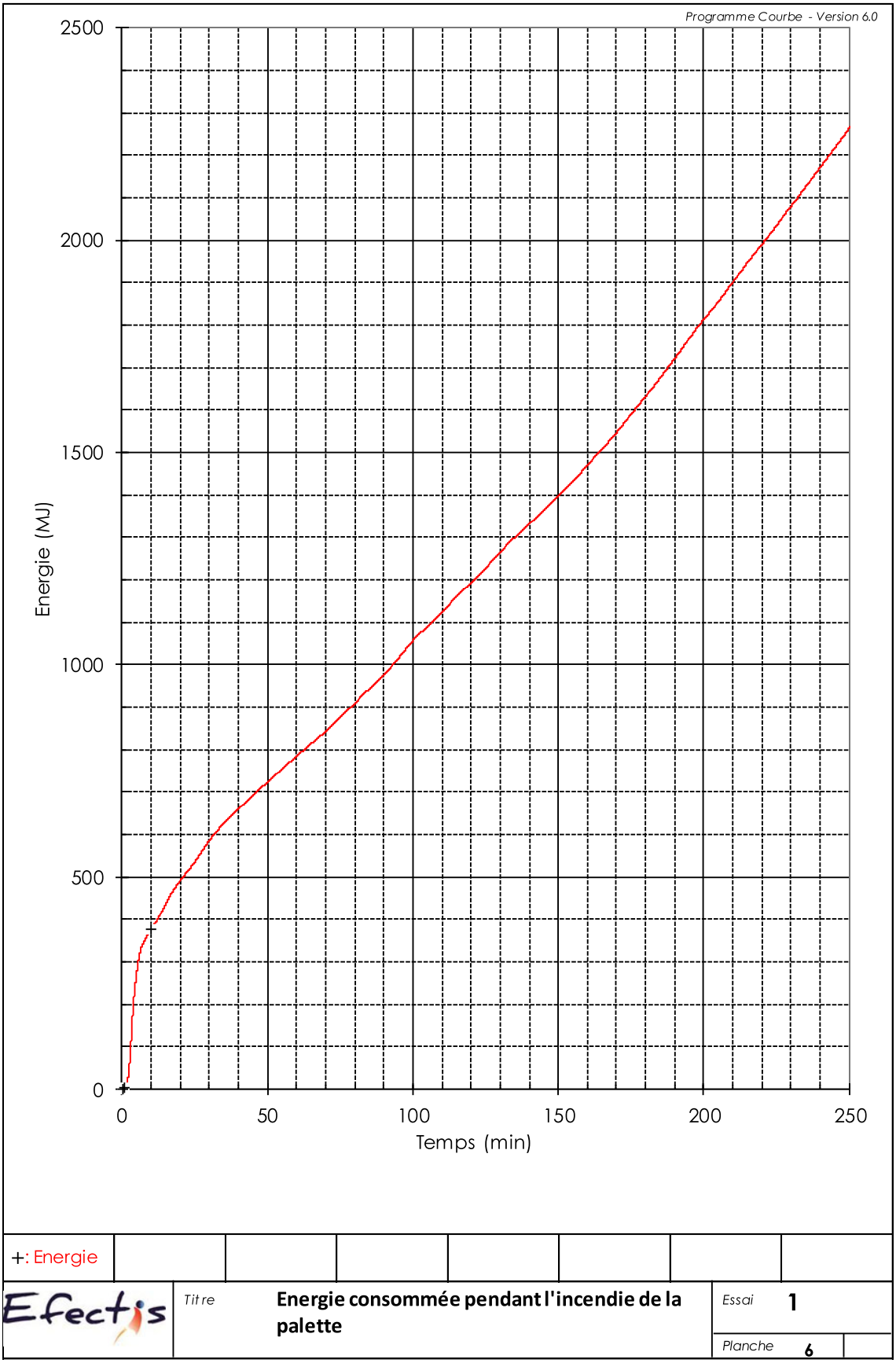
C.4 DEBIT CALORIFIQUE



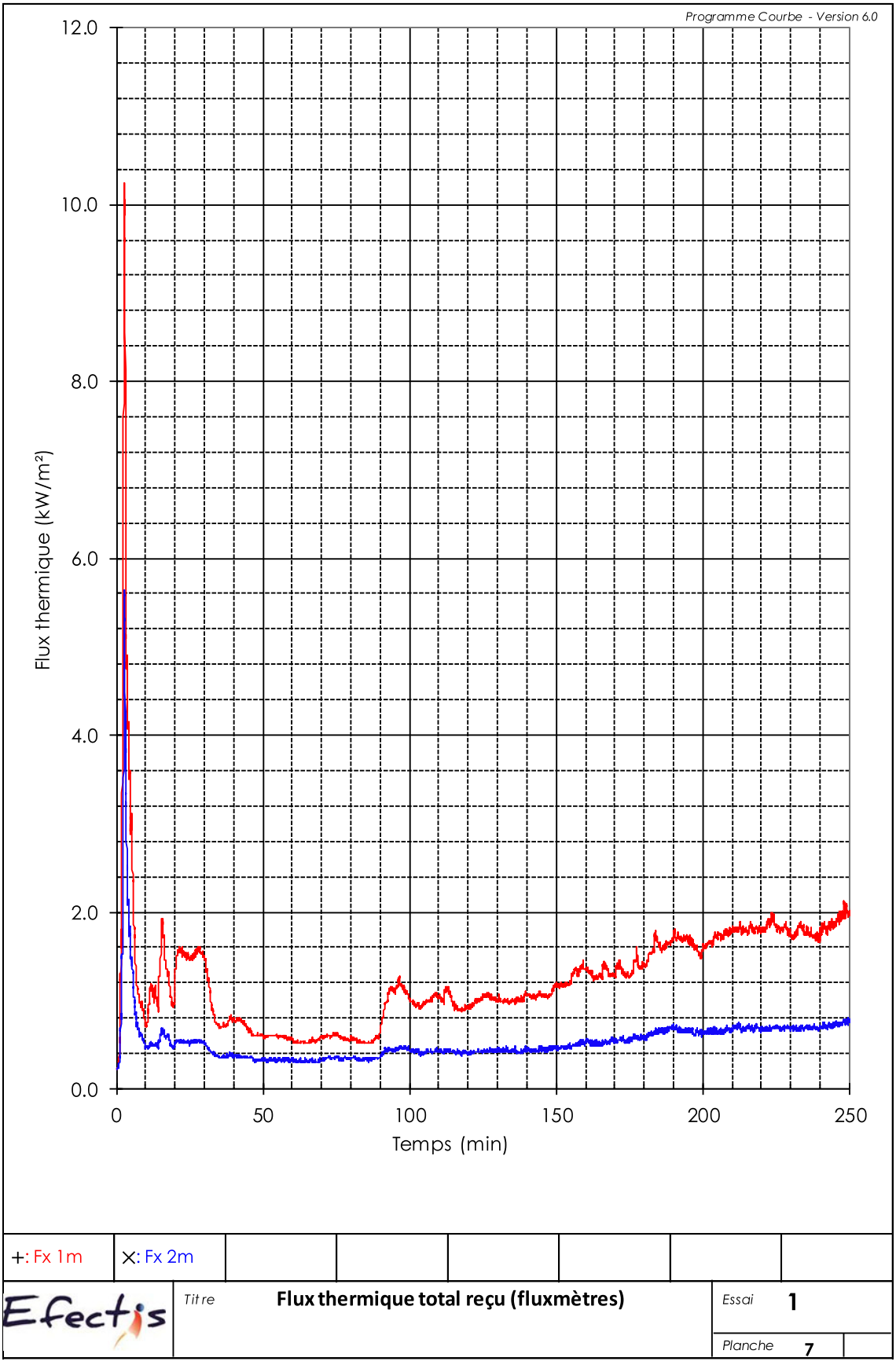
C.5 PERTE DE MASSE



C.6 ENERGIE CONSOMMEE

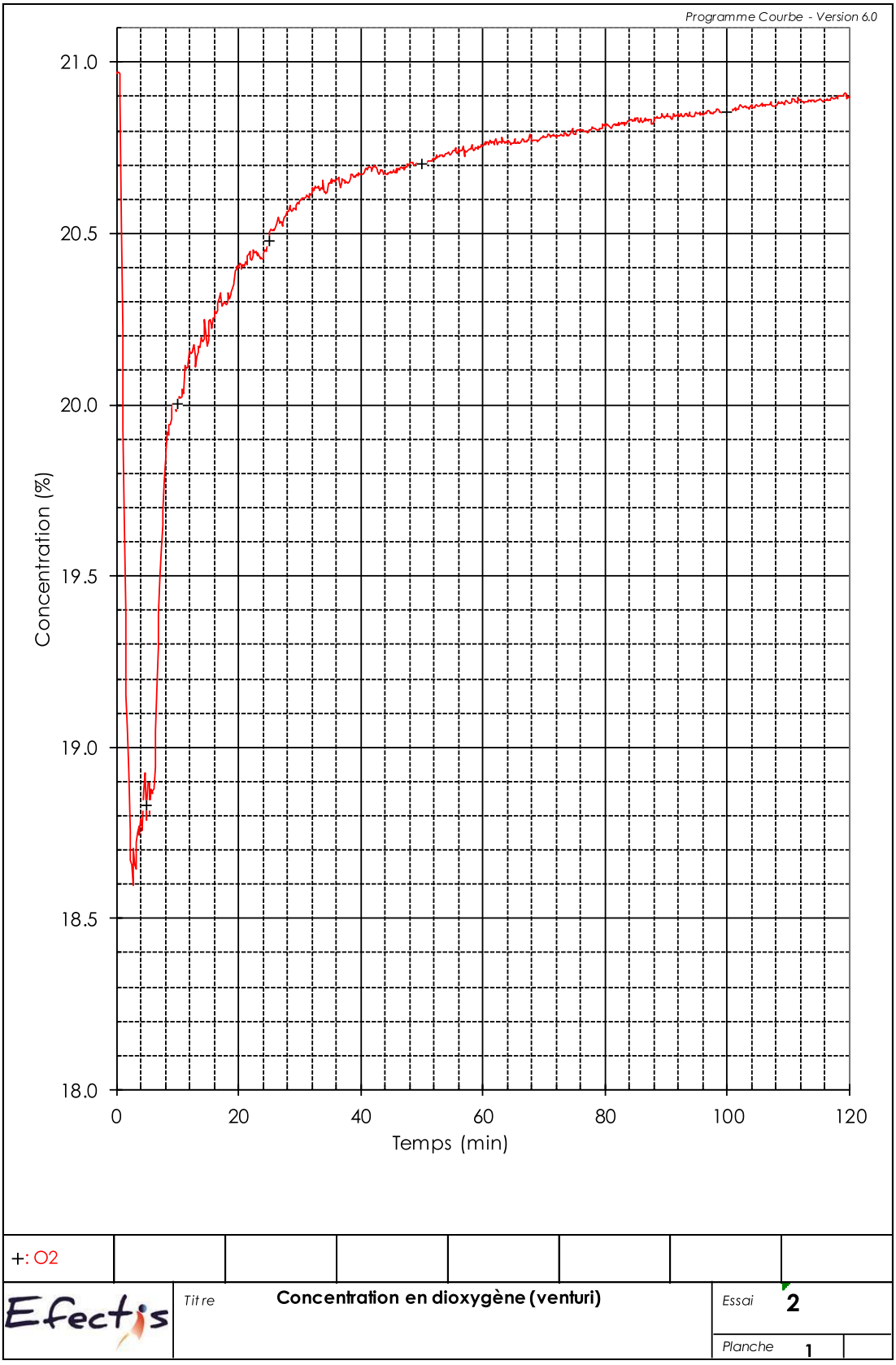


C.7 FLUX THERMIQUES

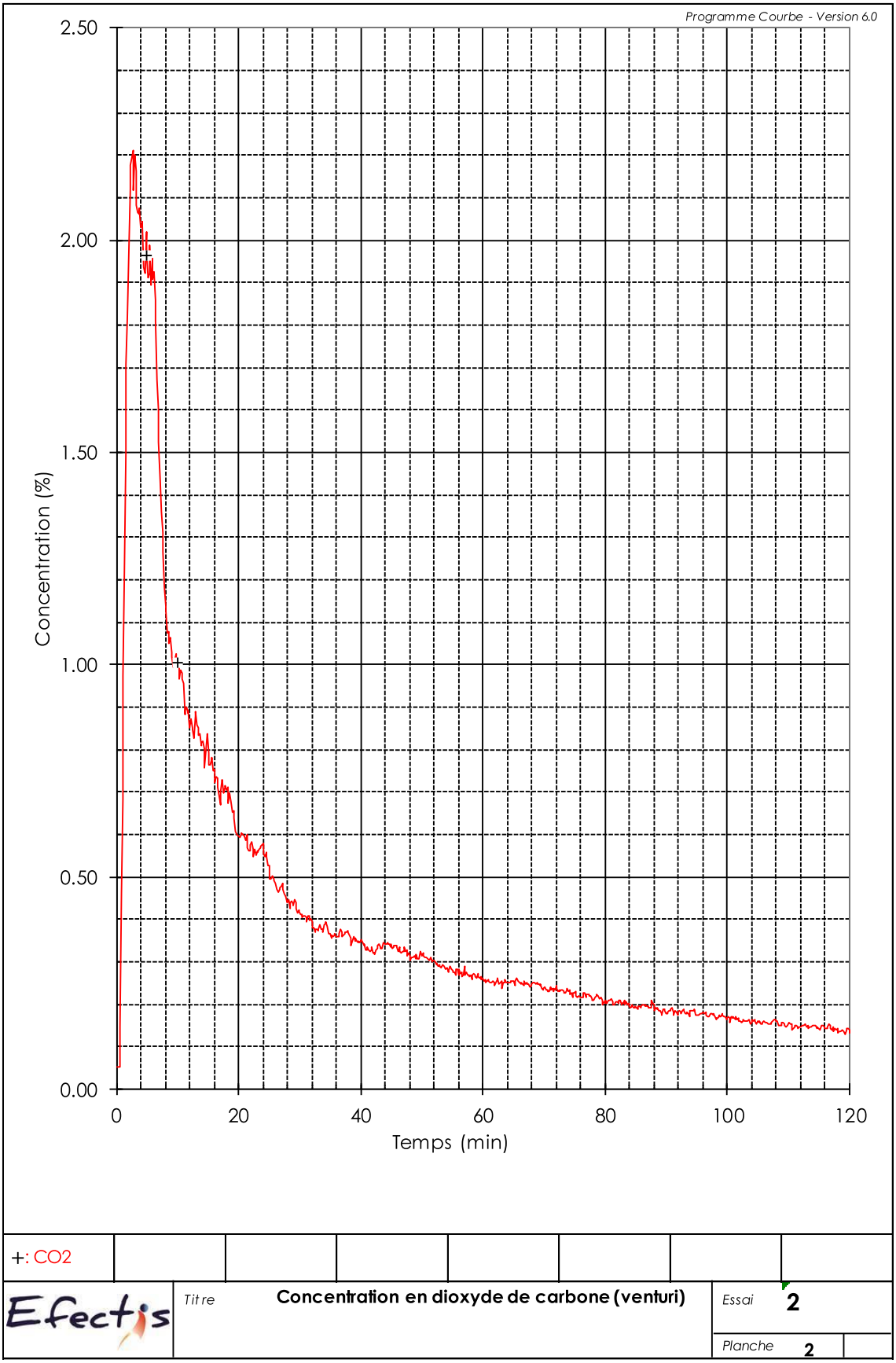


ANNEXE D : DONNEES METROLOGIQUES ESSAI 2

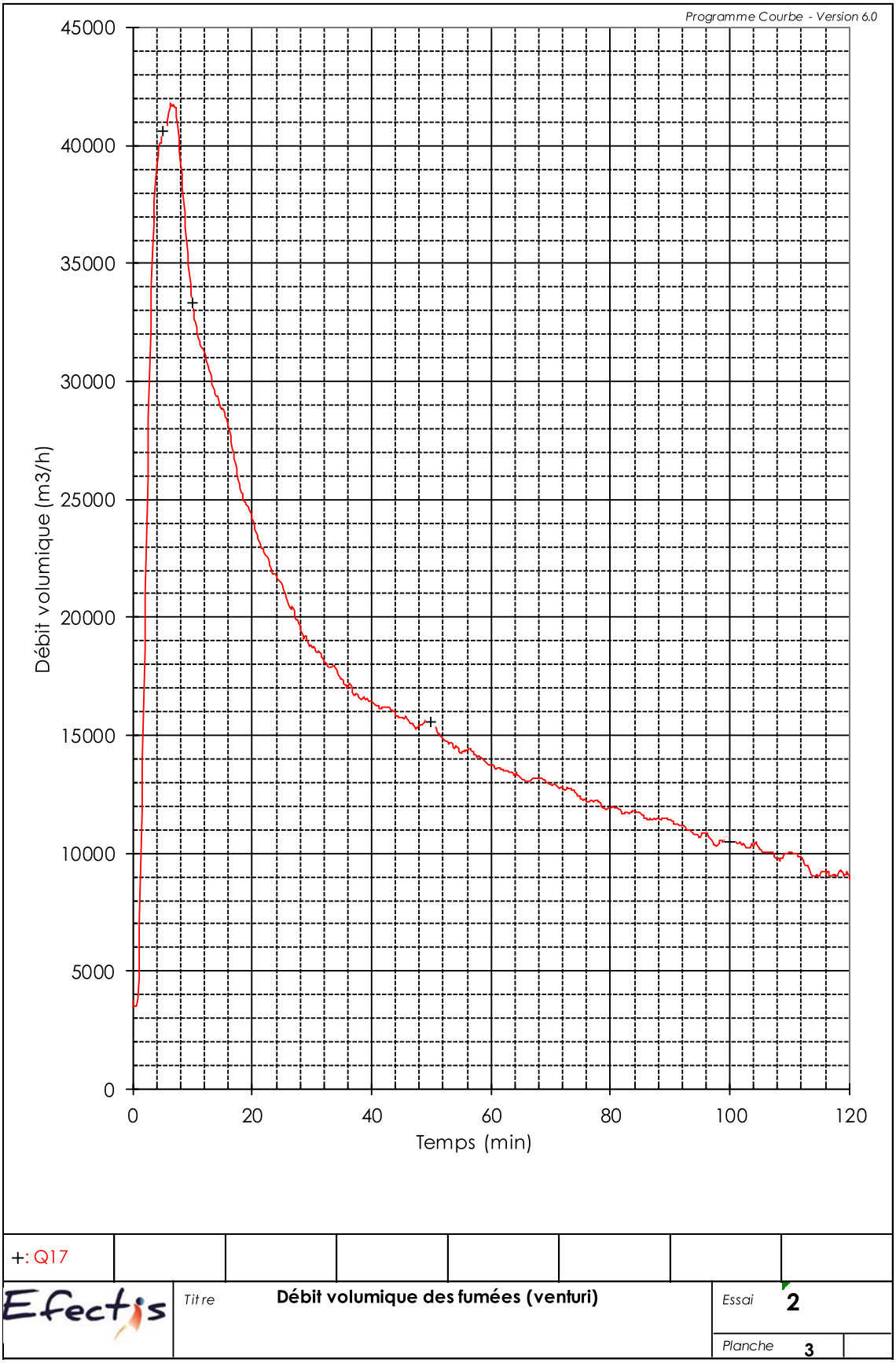
D.1 CONCENTRATION O2



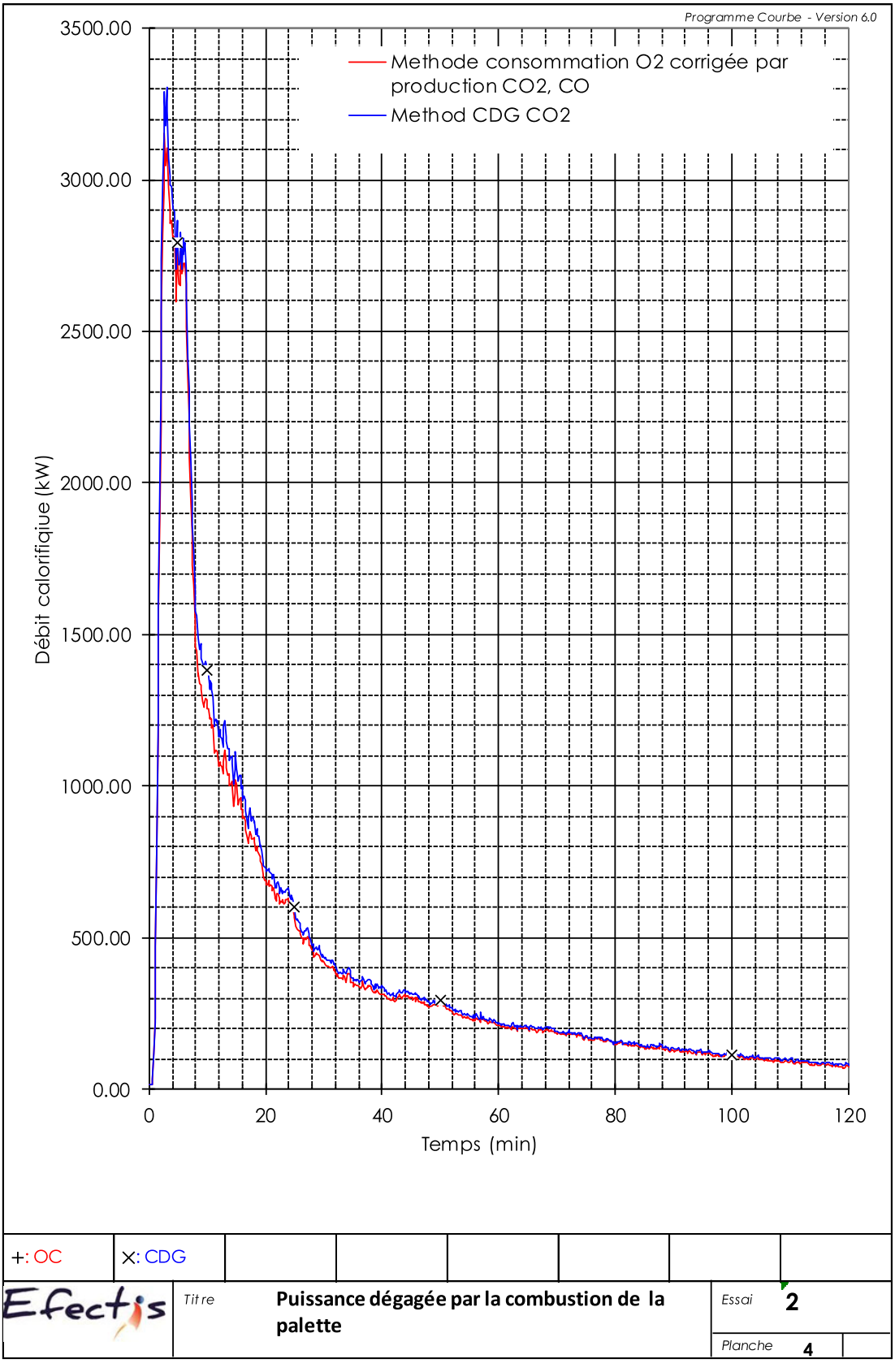
D.2 CONCENTRATION CO2



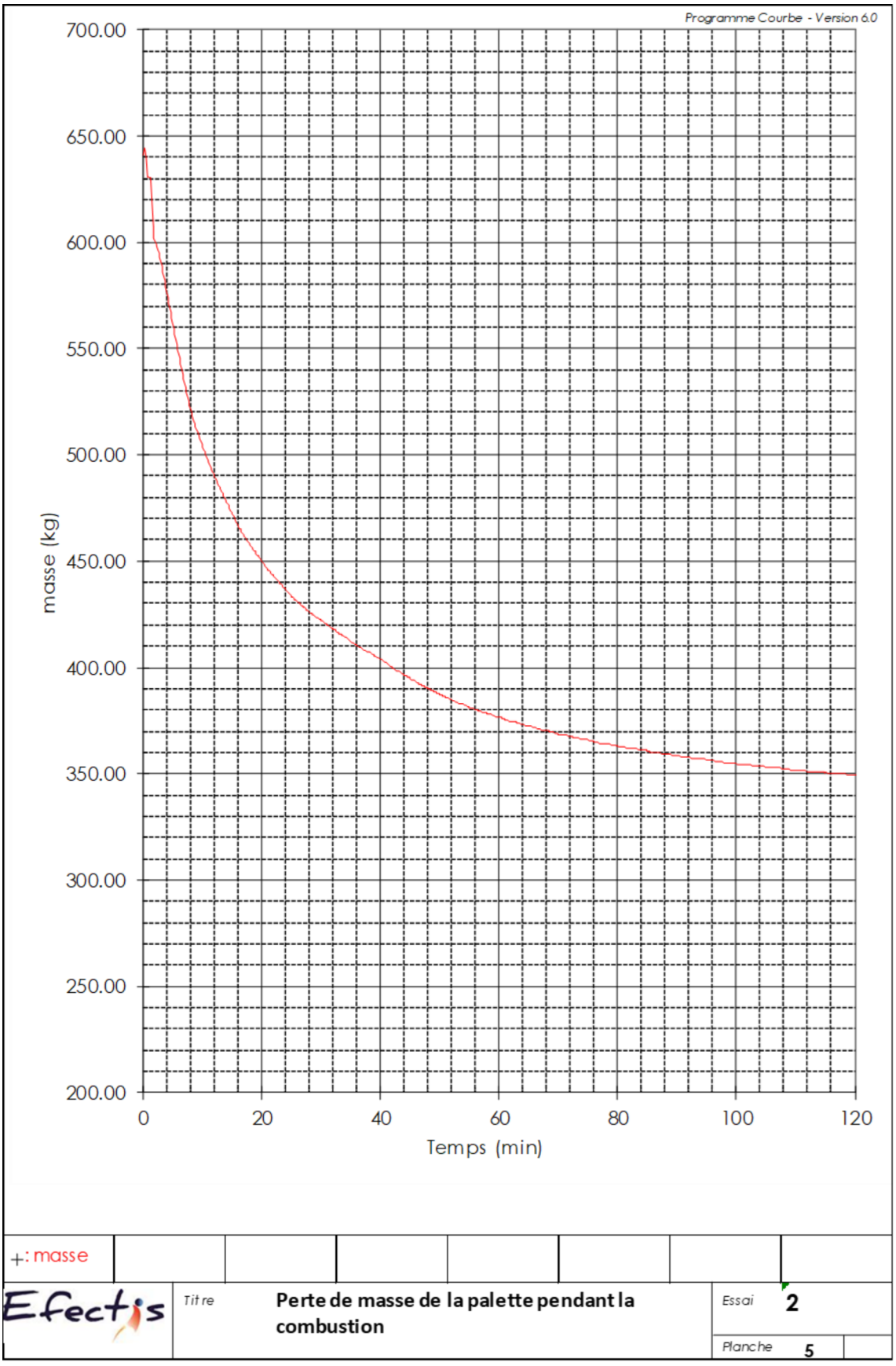
D.3 DEBIT DE FUMEES



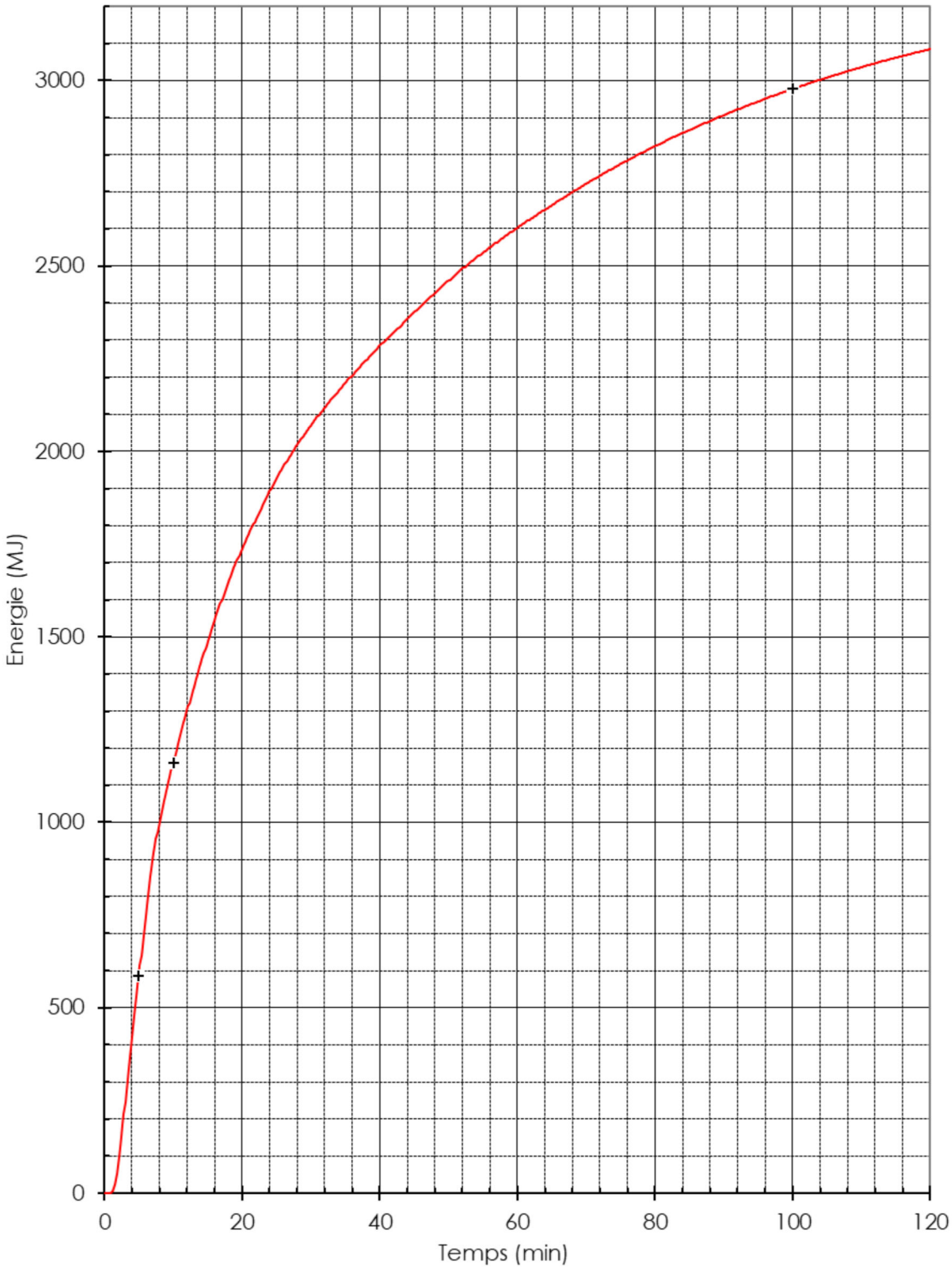
D.4 DEBIT CALORIFIQUE



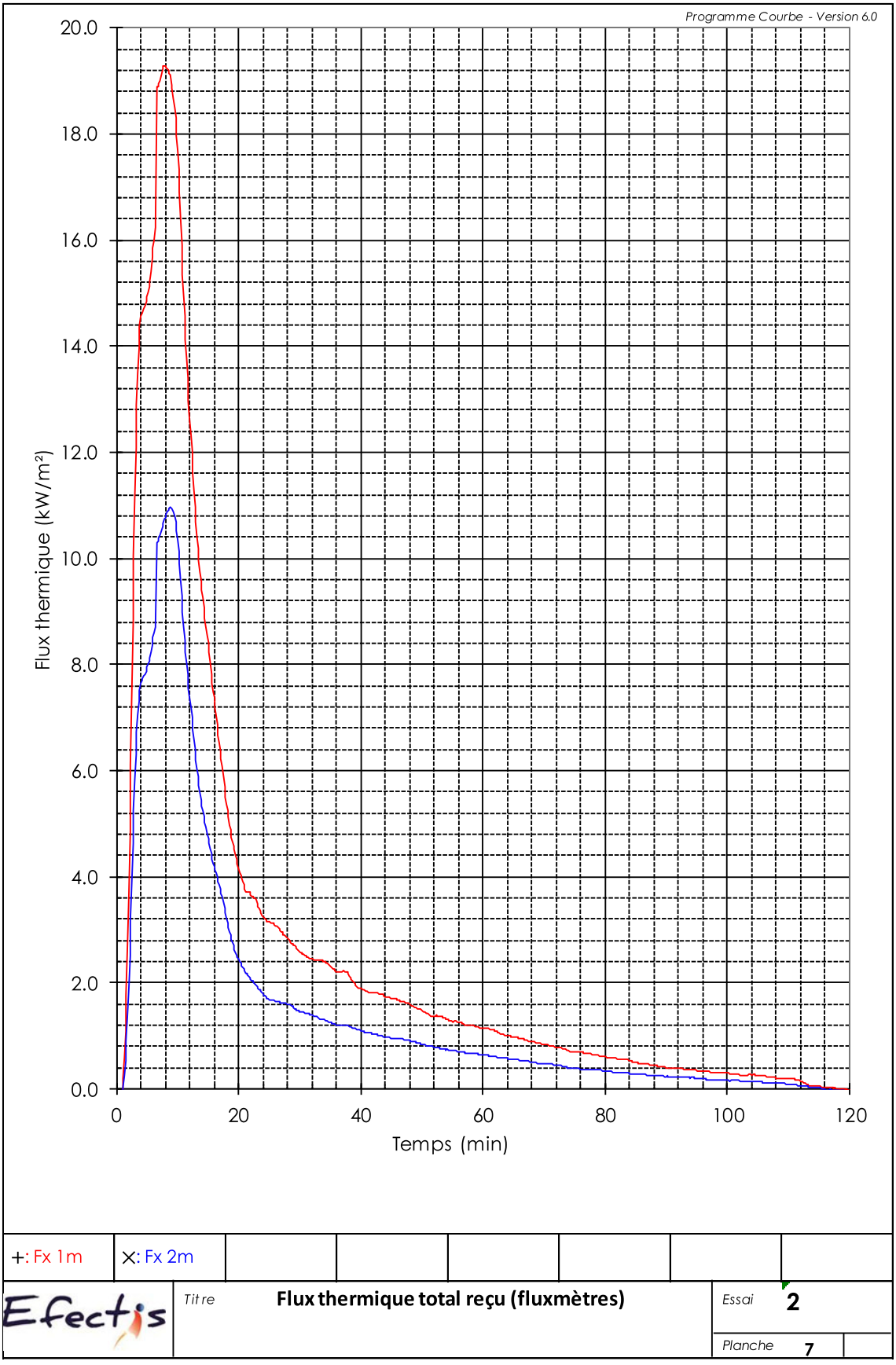
D.5 PERTE DE MASSE



D.6 ENERGIE CONSOMMEE

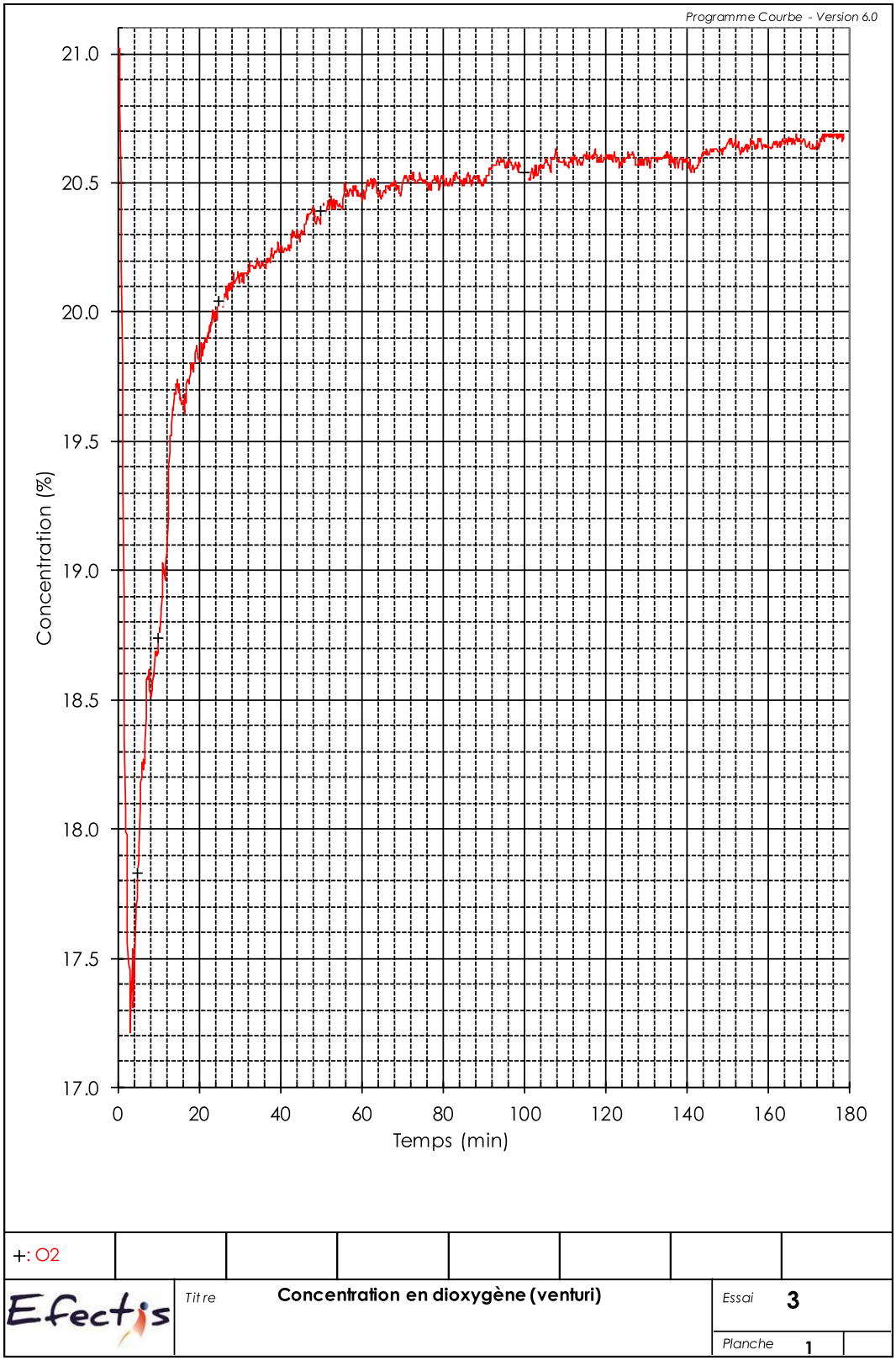


D.7 FLUX THERMIQUES

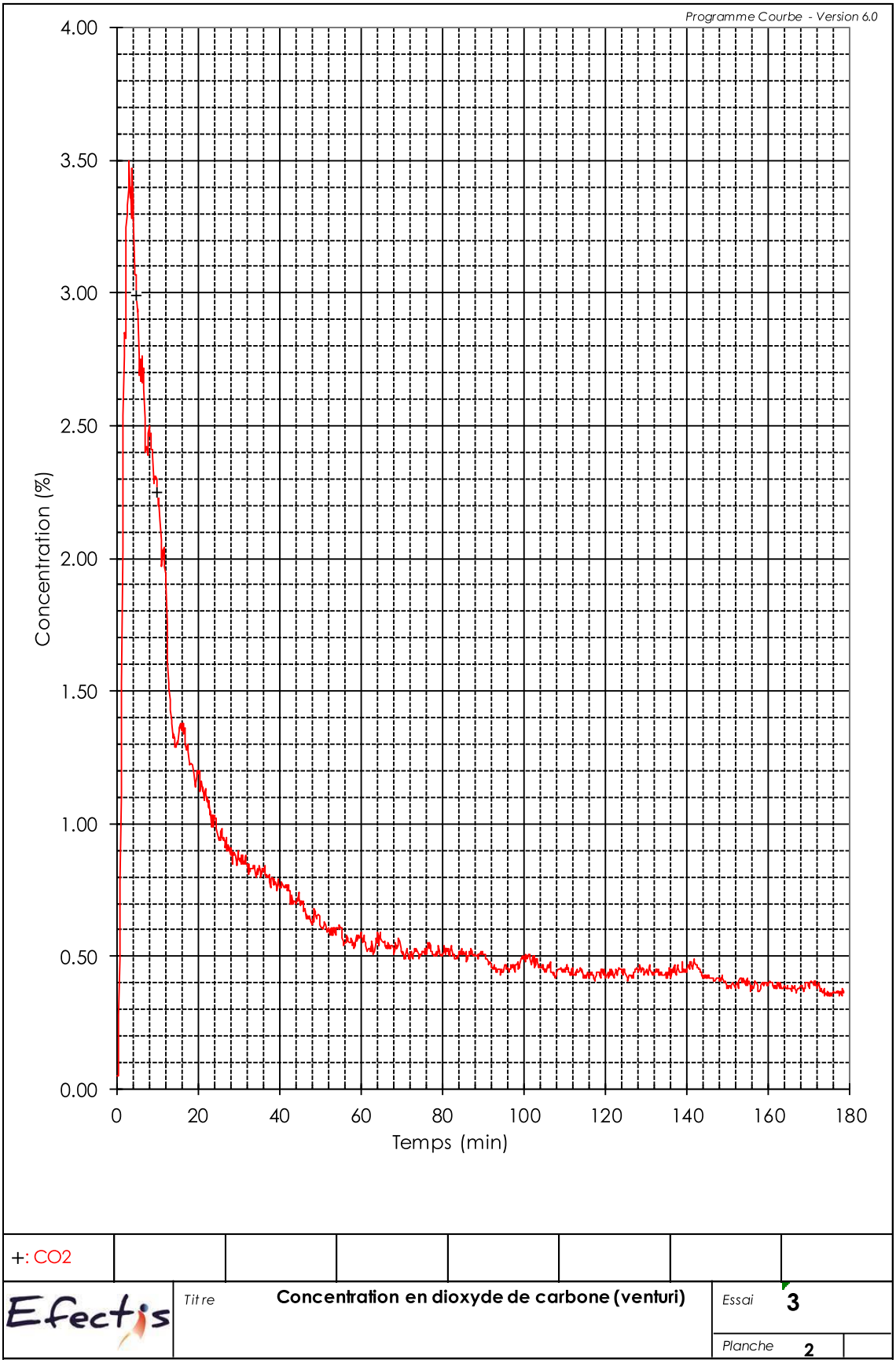


ANNEXE E: DONNEES METROLOGIQUES ESSAI 3

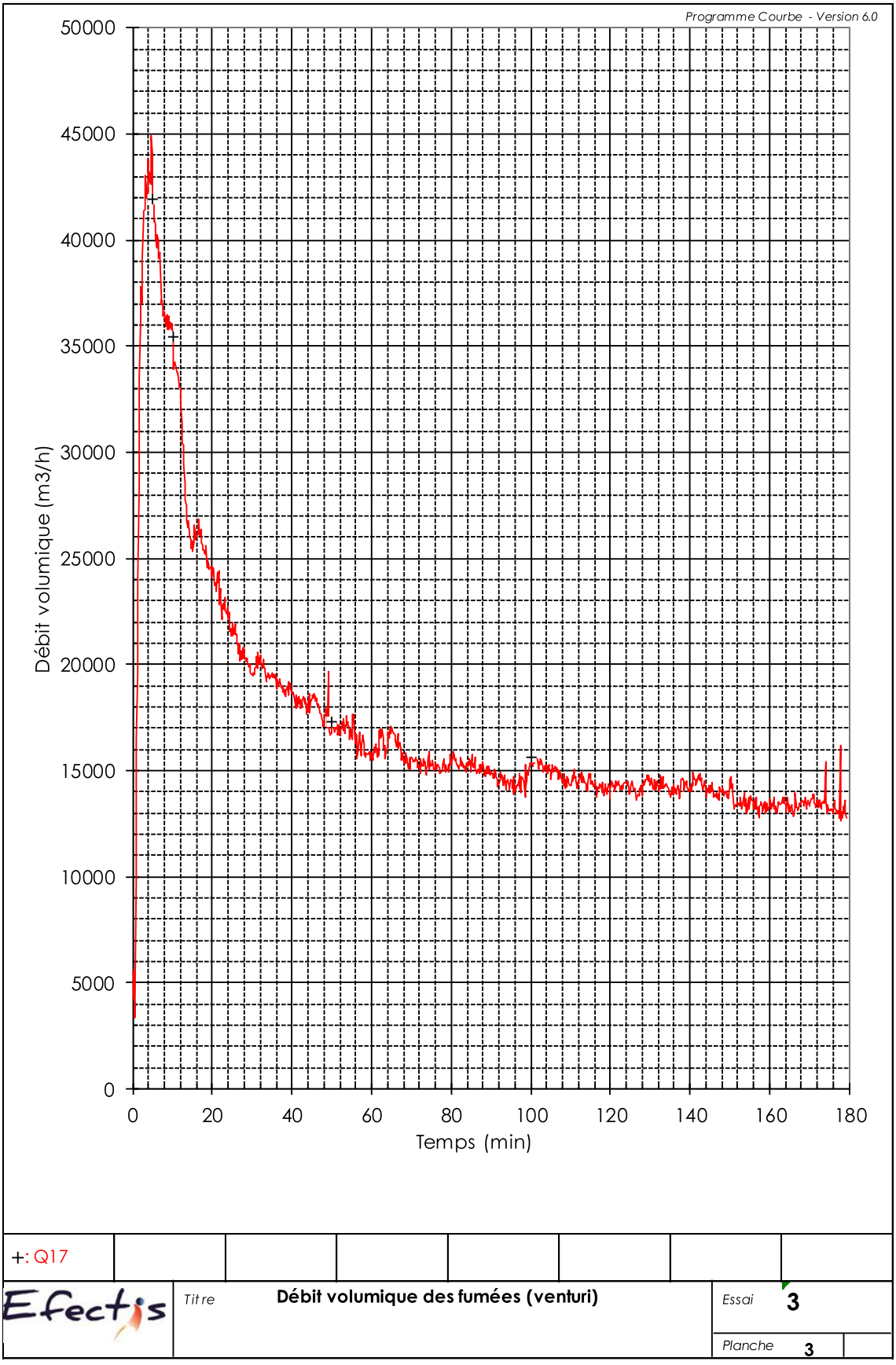
E.1 CONCENTRATION O2



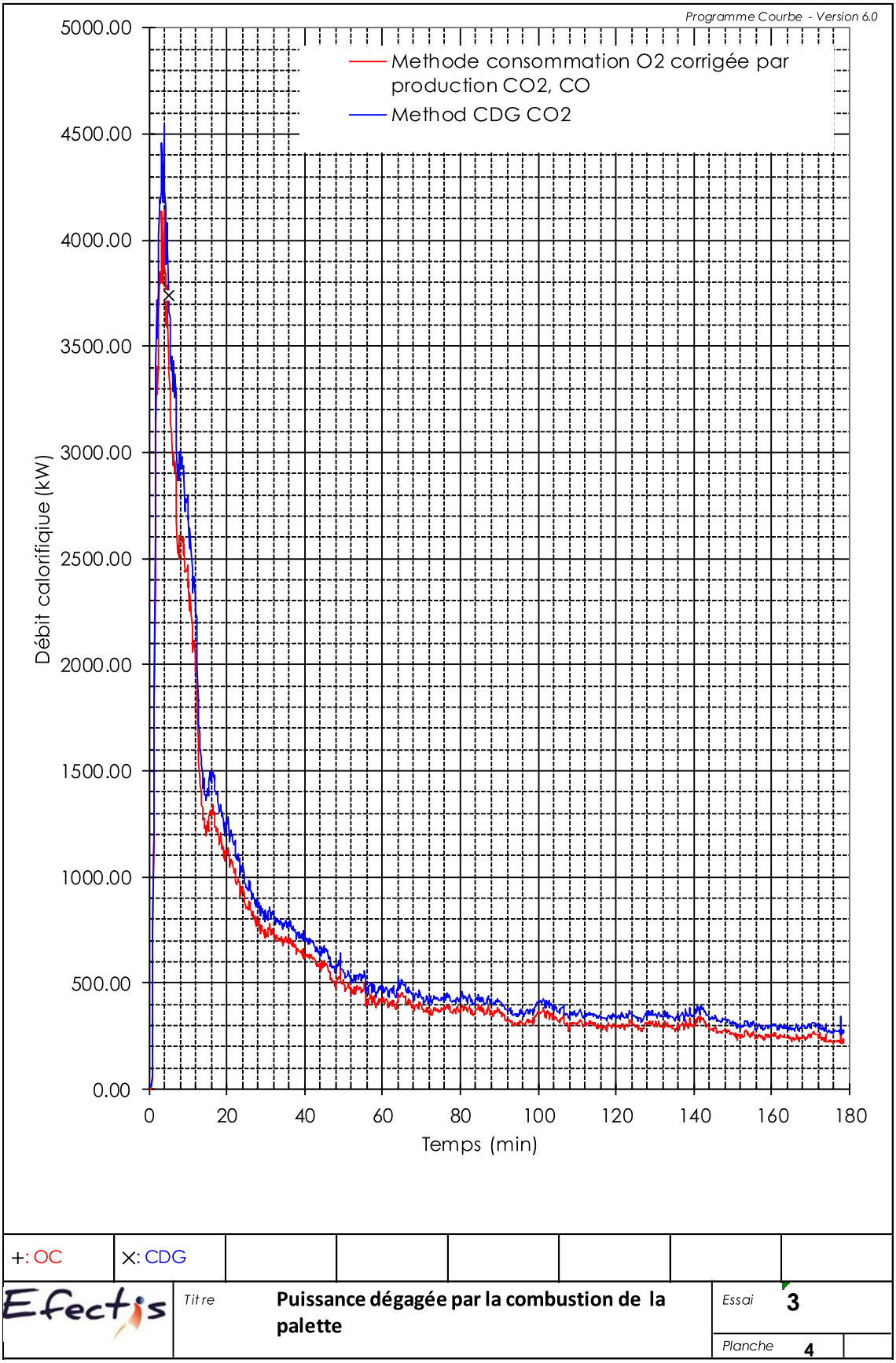
E.2 CONCENTRATION CO2



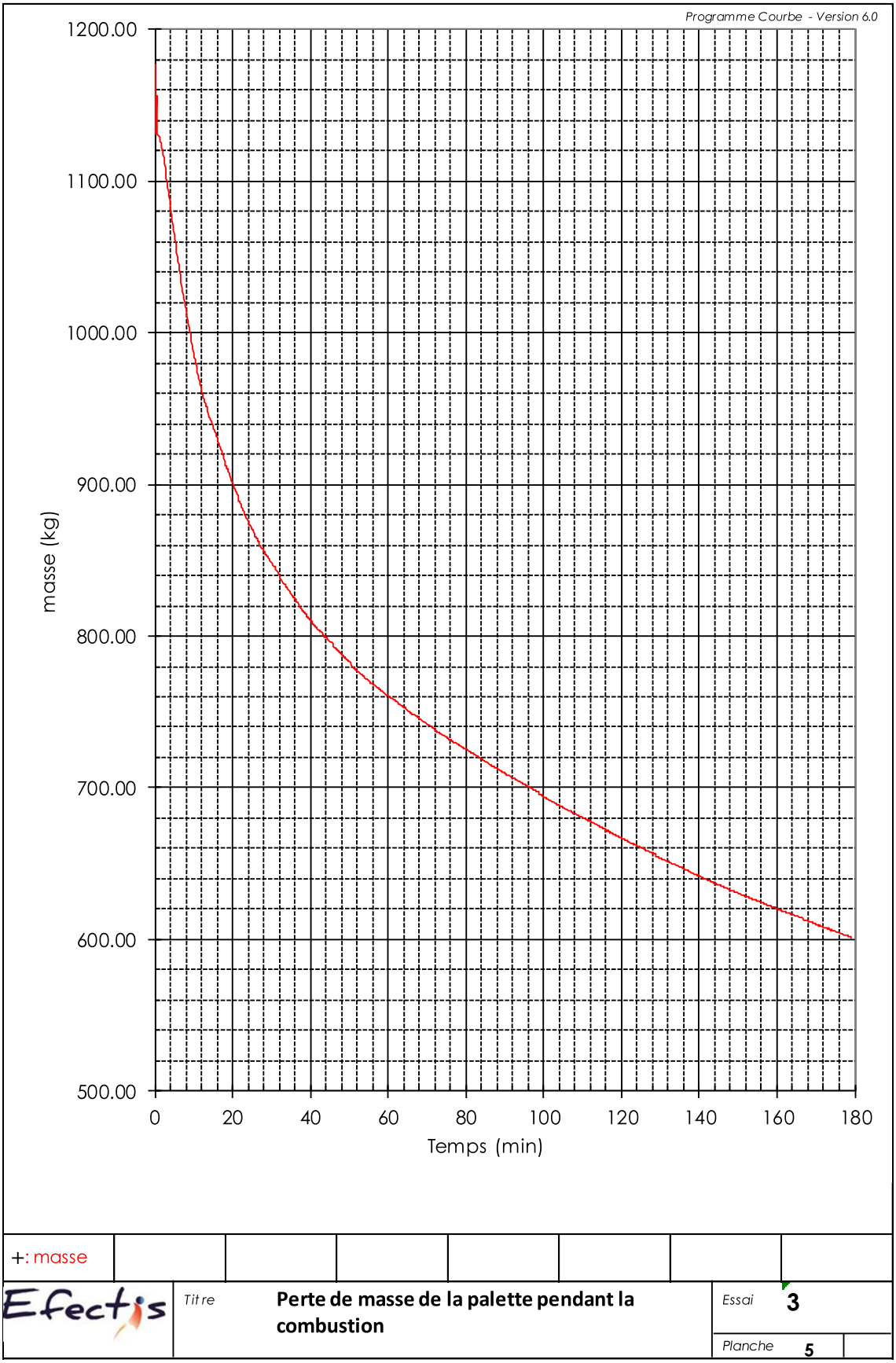
E.3 DEBIT DE FUMEES



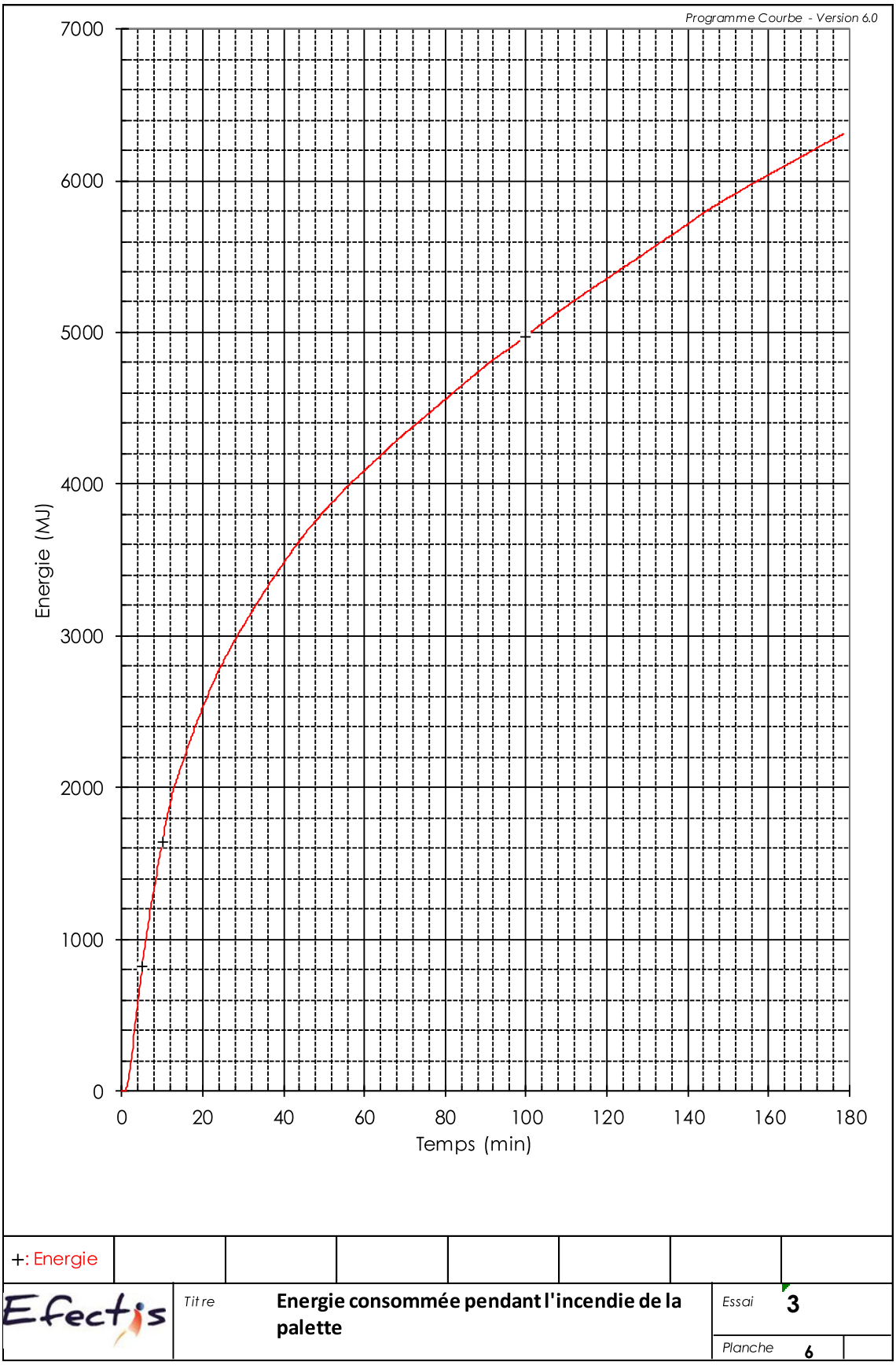
E.4 DEBIT CALORIFIQUE



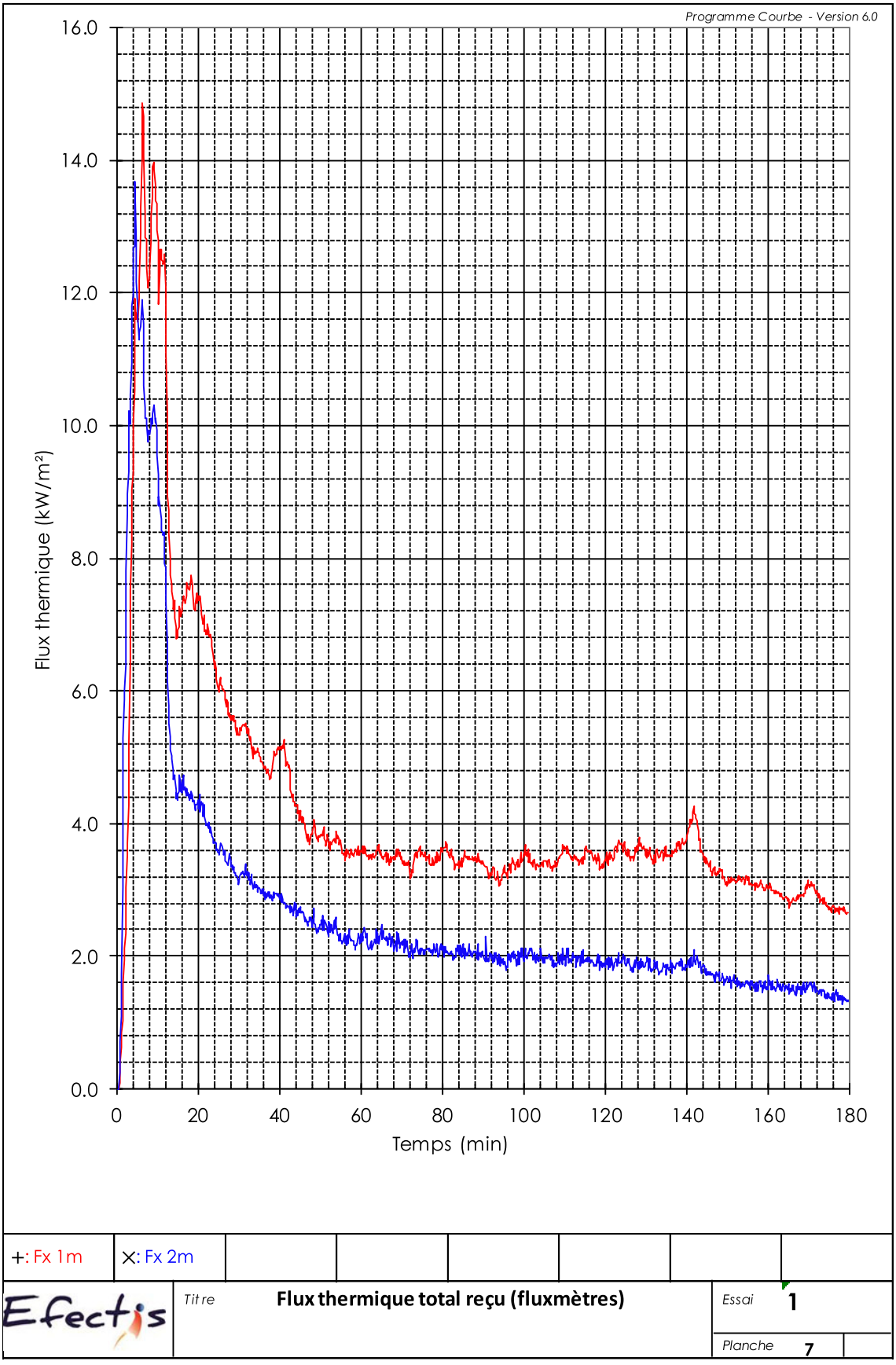
E.5 PERTE DE MASSE



E.6 ENERGIE CONSOMMEE



E.7 FLUX THERMIQUES



ANNEXE 3

Calculs D9

DIMENSIONNEMENT DES BESOINS EN EAU POUR LA DEFENSE EXTERIEURE CONTRE UN INCENDIE SELON LE GUIDE PRATIQUE D9 (édition juin 2020)

Entreprise	BRIDOR - LIFFRE
Surface globale (m^2)	Plan cantonnement du 12/04/21
Surface de référence (m^2)	

PROJET	
Designation des bâtiments, locaux ou zones constituant la surface de référence	
Principales activités dans la surface de référence	
Fascicule de référence selon annexe 1 du guide D9	B (Industries agro-alimentaires) = 6 Boulangeries et pâtisseries industrielles (Activité = risque 1 / Stockage = 2)
Stockages (quantité et nature des principaux matériaux combustibles/ inflammables)	

Zone n° A :	Lignes production 1 à 3 + conditionnement et paletissation (10 772 m^2 dont 770 m^2 de fours en A2s1d0) + mezzanine palettisation (954 m^2) + coursive (768 m^2) phase 1
Zone n° B :	Lignes production 4 et 5 + conditionnement et paletissation (6 970 m^2 dont 770 m^2 de fours en A2s1d0) + mezzanine palettisation (600 m^2) + coursive (583 m^2) phase 2
Zone n° C :	Lignes production 6 et 7 + conditionnement et paletissation (6 970 m^2 dont 770 m^2 de fours en A2s1d0) + mezzanine palettisation (600 m^2) + coursive (586 m^2) phase 3
Zone n° D :	Lignes production 8 et 9 + conditionnement et paletissation (6 850 m^2 dont 770 m2 de fours en A2s1d0) + mezzanine palettisation (600 m^2) + coursive (610 m^2) phase 4
Zone n° E :	Zones matières premières 1 et 2 phase 2
Zone n° F :	Zones matières premières 3 et 4 phase 4
Zone n° G :	Chambre froide phase 1
Zone n° H :	Emballages phase 1
Zone n° I :	MGH1 ou MGH2 ou MGH3 phases 2,3 et 4
Zone n° J :	Zone préparation commandes phase 4 **AVEC plancher REI 120 entre chaque niveau**

Critères	**Coefficients additionnels**	**Coefficients retenus pour le calcul**															**Commentaires/ justificatifs**
		Zone A (hors fours)	**Zone A (zone fours)**	**Zone B (hors fours)**	**Zone B (zone fours)**	**Zone C (hors fours)**	**Zone C (zone fours)**	**Zone D (hors fours)**	**Zone D (hors fours)**	**Zone E**	**Zone F**	**Zone G**	**Zone H**	**Zone I**	**Zone J**		
															niveau 0	**niveau 1**	**niveau 2**	
Hauteur de stockage																		
Jusqu'à 3 m	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,7	0	0,1	0	
Jusqu'à 8 m	**0,1**																	
Jusqu'à 12 m	**0,2**																	
Jusqu'à 30 m	**0,5**																	
Jusqu'à 40 m	**0,7**																	
Au delà de 40 m	**0,8**																	
Type de construction																		
Résistance mécanique de l'ossature ≥ R 60	**-0,1**	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	
Résistance mécanique de l'ossature ≥ R 30	**0**																	
Résistance mécanique de l'ossature < R 30	**0,1**																	
Matériaux aggravants																		
Présence d'au moins un matériau aggravant	**0,1**	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	non prise en compte d'éventuel panneaux photovoltaiques en toiture Hypothèse : panneaux Bs1d0 pour activités et stockage (matériau aggravant pour stockage) sauf pour zones fours A2s1d0
Hauteur de stockage																		
Accueil 24/24 (présence permanente à l'entrée)	**-0,1**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
DAI généralisée reportée 24h/24 7j/7 en télésurveillance ou au poste de secours 24/24 lorsqu'il existe, avec des consignes d'appels	**-0,1**	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	
Service de sécurité incendie ou équipe de seconde intervention avec moyens appropriés en mesure d'intervenir 24h/24	**-0,3**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
∑ coefficients		0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,2	0,6	-0,1	0	-0,1	
1 + ∑ coefficients		1	1	1	1	1	1	1	1	1,3	1,3	1,3	1,2	1,6	0,9	1	0,9	
Surface (S en m^2)		11 724	770	7 383	770	7 383	770	7 290	770	4476	4068	2909	1680	3412	4351	4351	4351	66458
Qi = 30 x (S/500) x (1+∑ Coef)		703	46	443	46	443	46	437	46	349	317	227	121	328	235	261	235	
Catégorie de risque																		
Risque faible : Q_{RF} = Qi x 0,5	**x0,5**	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	Locaux dont les parois sont constitués par des panneaux < à Bs1d0 = Risque 2
Risque 1 : Q1 = Qi x 1	**x1**																	
Risque 2 : Q2 = Qi x 1,5	**x1,5**																	
Risque 3 : Q3 = Qi x 2	**x2**																	
Qi corrigé avec catégorie de risque		1055	46	664	46	664	46	656	46	524	476	340	181	491	352	392	352	
Risque protégé pour une installation d'extinction automatique à eau	**OUI / NON**	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI	NON	OUI	OUI	OUI	
Si OUI: Q_{RF}, Q1, Q2 ou Q3 / 2	**x0,5**	**528**	**23**	**332**	**23**	**332**	**23**	**328**	**23**	**262**	**238**	**170**	**91**	**491**	**176**	**196**	**176**	
		551		**355**		**355**		**351**										
Débit calculé (Q en m^3/h)		551																Débit maximum selon compartimentage REI120 sur les phases 1 à 4
Débit retenu		**540 m^3/h**																

ANNEXE 4

Calculs FLUMilog

- Annexe - Étude flux thermique Efectis
- Annexe Flumilog 1 – Picking niveau 1
- Annexe Flumilog 2 – Picking niveau 2
- Annexe Flumilog 3 - Stockage local palettes vides
- Annexe Flumilog 4 Stockage extérieur de palettes
- Annexe Flumilog 5 -Stockage emballages
- Annexe Flumilog 6- Stockage chambre froide négative (CF1)
- Annexe Flumilog 7 - Stockage MP 1-2
- Annexe Flumilog 8- Stockage MP 3-4

Table des matières

Etude des flux thermiques - Efectis 4
Annexe Etude EFECTIS_MGH1_BRIDOR_35m_coursive 20
1 Sommaire 21
1.1 I. Données d'entrée 21
1.1.1 Donnée Cible 21
1.1.2 Géométrie Cellule1 21
1.1.3 Toiture 21
1.1.4 Parois de la cellule : MGH1 22
1.1.5 Stockage de la cellule : MGH1 23
1.1.6 Palette type de la cellule MGH1 23
1.1.7 Merlons 24
1.2 II. Résultats 25
1.2.1 Distance d'effets des flux maximum 25
Annexe Etude EFECTIS_MGH1_BRIDOR_35m_picking 26
1 Sommaire 27
1.1 I. Données d'entrée 27
1.1.1 Donnée Cible 27
1.1.2 Géométrie Cellule1 27
1.1.3 Toiture 27
1.1.4 Parois de la cellule : MGH1 28
1.1.5 Stockage de la cellule : MGH1 29
1.1.6 Palette type de la cellule MGH1 29
1.1.7 Merlons 30
1.2 II. Résultats 31
1.2.1 Distance d'effets des flux maximum 31
Annexe Etude EFECTIS_MGH1_BRIDOR_35m_stock 32
1 Sommaire 33
1.1 I. Données d'entrée 33
1.1.1 Donnée Cible 33
1.1.2 Géométrie Cellule1 33
1.1.3 Toiture 33
1.1.4 Parois de la cellule : MGH1 34
1.1.5 Stockage de la cellule : MGH1 35
1.1.6 Palette type de la cellule MGH1 35
1.1.7 Merlons 36
1.2 II. Résultats 37
1.2.1 Distance d'effets des flux maximum 37
Annexe Flumilog 1 – Picking niveau 1 38
1 Sommaire 39
1.1 I. Données d'entrée 39
1.1.1 Donnée Cible 39
1.1.2 Géométrie Cellule1 39
1.1.3 Toiture 39

1.1.4 Parois de la cellule : Picking n1 40
1.1.5 Stockage de la cellule : Picking n1 41
1.1.6 Palette type de la cellule Picking n1 41
1.1.7 Merlons 42
1.2 II. Résultats 43
1.2.1 Distance d'effets des flux maximum 43
Annexe Flumilog 2 – Picking niveau 2 44
1 Sommaire 45
1.1 I. Données d'entrée 45
1.1.1 Donnée Cible 45
1.1.2 Géométrie Cellule1 45
1.1.3 Toiture 45
1.1.4 Parois de la cellule : Picking n1 46
1.1.5 Stockage de la cellule : Picking n1 47
1.1.6 Palette type de la cellule Picking n1 47
1.1.7 Merlons 48
1.2 II. Résultats 49
1.2.1 Distance d'effets des flux maximum 49
Annexe Flumilog 3 - Stockage local palettes vides 50
1 Sommaire 51
1.1 I. Données d'entrée 51
1.1.1 Donnée Cible 51
1.1.2 Géométrie Cellule1 51
1.1.3 Toiture 51
1.1.4 Parois de la cellule : Stock palettes vides 52
1.1.5 Stockage de la cellule : Stock palettes vides 53
1.1.6 Palette type de la cellule Stock palettes vides 53
1.1.7 Merlons 54
1.2 II. Résultats 55
1.2.1 Distance d'effets des flux maximum 55
Annexe Flumilog 4 Stockage extérieur de palettes 56
1 Sommaire 57
1.1 I. Données d'entrée 57
1.1.1 Donnée Cible 57
1.1.2 Stockage à l'air libre 57
1.1.3 Géométrie Cellule1 57
1.1.4 Stockage de la cellule : Palettes 58
1.1.5 Palette type de la cellule Palettes 58
1.1.6 Merlons 59
1.2 II. Résultats 60
1.2.1 Distance d'effets des flux maximum 60
Annexe Flumilog 5 -Stockage emballages 61
1 Sommaire 62
1.1 I. Données d'entrée 62
1.1.1 Donnée Cible 62

1.1.2 Géométrie Cellule1 62
1.1.3 Toiture 62
1.1.4 Parois de la cellule : Stock Emballages 63
1.1.5 Stockage de la cellule : Stock Emballages 64
1.1.6 Palette type de la cellule Stock Emballages 64
1.1.7 Merlons 65
1.2 II. Résultats 66
1.2.1 Distance d'effets des flux maximum 66
Annexe Flumilog 6- Stockage chambre froide négative (CF1) 67
1 Sommaire 68
1.1 I. Données d'entrée 68
1.1.1 Donnée Cible 68
1.1.2 Géométrie Cellule1 68
1.1.3 Toiture 68
1.1.4 Parois de la cellule : CF 1 69
1.1.5 Stockage de la cellule : CF 1 70
1.1.6 Palette type de la cellule CF 1 70
1.1.7 Merlons 71
1.2 II. Résultats 72
1.2.1 Distance d'effets des flux maximum 72
Annexe Flumilog 7 - Stockage MP 1-2 73
1 Sommaire 74
1.1 I. Données d'entrée 74
1.1.1 Donnée Cible 74
1.1.2 Géométrie Cellule1 74
1.1.3 Toiture 74
1.1.4 Parois de la cellule : Stock MP 75
1.1.5 Stockage de la cellule : Stock MP 76
1.1.6 Palette type de la cellule Stock MP 76
1.1.7 Merlons 77
1.2 II. Résultats 78
1.2.1 Distance d'effets des flux maximum 78
Annexe Flumilog 8- Stockage MP 3-4 79
1 Sommaire 80
1.1 I. Données d'entrée 80
1.1.1 Donnée Cible 80
1.1.2 Géométrie Cellule1 80
1.1.3 Toiture 80
1.1.4 Parois de la cellule : Stock MP 3-4 81
1.1.5 Stockage de la cellule : Stock MP 3-4 82
1.1.6 Palette type de la cellule Stock MP 3-4 82
1.1.7 Merlons 83
1.2 II. Résultats 84
1.2.1 Distance d'effets des flux maximum 84

Efectis France
Espace Technologique
Bâtiment Apollo
Route de l'Orme des Merisiers
F-91193 Saint-Aubin
Tél : 33 (0)1 60 13 83 80

RAPPORT D'ÉTUDE

Référence : 21-000641b-AMat
Affaire : 21-001125-NA

ETUDE DE FLUX THERMIQUES POUR TROIS CELLULES DE GRANDE HAUTEUR – LIFFRE (35)

RAPPORT D'ETUDE DE FLUX THERMIQUES (FLUMILOG)

Client demandeur	BRIDOR
Référence et date de commande	Bons pour commande du 8 mars 2021 et du 14 avril 2021
Projet	Construction d'une nouvelle unité de production à Liffré

Date : 16 04 2021
Indice de révision : B
Nombre de pages : 16

Auteur(s) :
Amandine WILHELM

SUIVI DES MODIFICATIONS

Indice de révision	Date	Modifications
A	26/03/2021	Version initiale
B	16/04/2021	Analyse des distances d'effet à hauteur de toiture des cellules mitoyennes

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

SOMMAIRE

1. Introduction 4
2. Documents de référence 5
2.1. Données fournies par le demandeur 5
2.2. Autres documents 5
3. Aspect sécuritaire de la méthodologie FLUMilog 6
4. Description du bâtiment de grande hauteur 7
5. Hypothèses retenues pour l'étude FLUMilog 8
5.1. Hauteur de cible 8
5.2. Dimensions des cellules MGH 9
5.3. Toiture 9
5.4. Données relatives aux parois 9
5.5. Données relatives au stockage 10
6. Résultats 11
6.1. Distances d'effet à hauteur d'Homme 11
6.2. Distances d'effet sur la toiture de la cellule picking 13
6.3. Distances d'effet sur la coursive aérienne 14
6.4. Distances d'effet sur la toiture de la cellule stock palettes 15
7. Conclusion 16

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

1. INTRODUCTION

Dans le cadre d'un projet de construction d'un bâtiment de stockage dans la commune de Liffré (35), il est prévu l'implantation de transstockeurs mobiles présentant une hauteur de stockage supérieure à 23 m. Le bâtiment possède une surface de 9 300 m² divisée en trois cellules de stockage identiques. Il dispose d'une hauteur sous plafond de 36 m. Le site sera soumis à autorisation sous les rubriques 1510 et 1511 des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

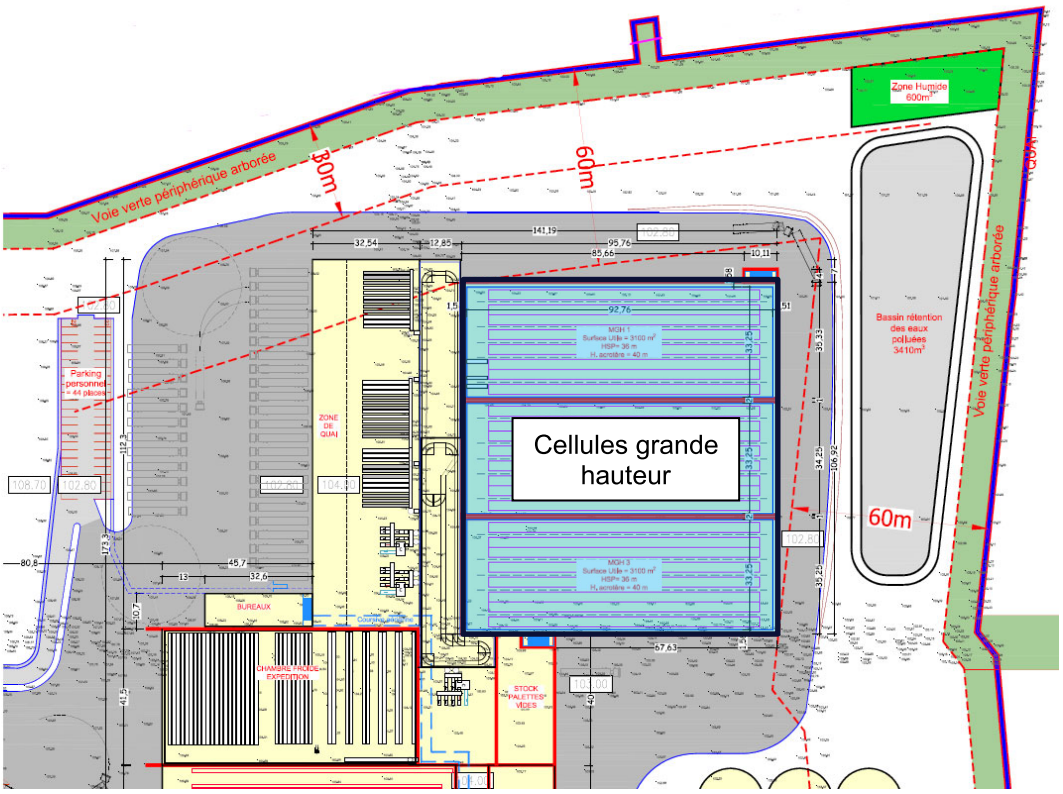


Figure 1-1 : Plan de masse du site et localisation des cellules de grande hauteur [2]

La société BRIDOR souhaite connaitre les distances d'effets de flux thermiques autour de ces cellules de grande hauteur, stockant des produits surgelés typiques de la rubrique 1511, afin de vérifier que les zones d'effet supérieures à 5 kW/m², vis-à-vis d'une cible à hauteur d'Homme, ne sortent pas des limites de propriété. Il est également souhaité l'analyse des flux thermiques à hauteur de toiture des cellules mitoyennes (picking, coursive et stockage palettes).

Ce document constitue le rapport d'étude visant à déterminer les distances d'effets de flux thermiques, autour de ces cellules de grande hauteur uniquement[1], d'après la méthodologie FLUMilog [6] sur la base des données fournies par le demandeur.

[1] Les éventuels effets des autres cellules du site ne sont pas pris en compte dans le cadre de la présente étude

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

2.1. DONNEES FOURNIES PAR LE DEMANDEUR

[1] 20210219_BRIDOR_20087_APS_INDICE_C_Masse-RDC_Phase-Terme.pdf

[2] A3_MASSE-MGH 1-500_20210222.pdf

[3] 20210412_BRIDOR_PHASAGES indice H_2.6_COUPES.pdf

2.2. AUTRES DOCUMENTS

[4] Arrêté du 11 avril 2017 relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts couverts soumis à la rubrique 1510

[5] Arrêté du 29/09/2005 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 ICPE

[6] « Description de la méthode de calcul des effets thermiques produit par un feu d'entrepôt - Partie A - Rapport final 04/08/2011 DRA-09-90977-14553A Version 2» - FLUMilog

[7] FAQ_Propagation. 01/12/2020. FLUMilog

[8] PPRT. Guide de prescriptions techniques pour la résistance du bâti face à un aléa technologique thermique avec pour unique but la protection des personnes. Réf E- ING – 07/565c – GA/AR

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

3. ASPECT SECURITAIRE DE LA METHODOLOGIE FLUMILOG

La méthode de calcul FLUMilog a été développée pour évaluer les flux thermiques issus d'incendies généralisés dans les entrepôts. Étant un outil réglementaire, il se doit de présenter des résultats sécuritaires mais aussi réalistes que possible dans la plupart des cas, dans l'ensemble de son domaine de validité. Il prend notamment en compte les deux hypothèses suivantes :

- Les racks à l'intérieur des cellules en feu restent en place ;
- La hauteur des flammes peut atteindre jusqu'à 2,5 fois la hauteur des racks.

En effet, la première de ces hypothèses est faite sur la base d'un retour d'expérience suite à des incendies d'entrepôts où il a parfois été observé qu'une partie des racks restait en place, généralement pour des hauteurs jusqu'à 5 m ou 6 m maximum ; à ces hauteurs, les contraintes mécaniques sur les racks sont relativement faibles.

La seconde hypothèse a été faite sur la base d'observations dans le cadre du programme FLUMilog, lors d'essais grandeur nature de cellules de stockage présentant une surface de l'ordre de 1 000 m² maximum et une hauteur allant jusqu'à 12 m.

Conserver ces deux hypothèses pour traiter des cas de cellules de très grande hauteur apparait sécuritaire.

Cet aspect sécuritaire étant connu, il existe une limite pratique (stockage maximal à 23 m de haut) à l'utilisation du logiciel pour les utilisateurs (non développeurs) du logiciel. Cette limite est mise en place pour que seuls des utilisateurs avertis, conscients de l'aspect sécuritaire et des limites du système prennent en compte des hauteurs très importantes.

Efectis France, co-développeur de l'outil FLUMilog est conscient de ces éléments et a ainsi la possibilité de débloquer la limite pratique afin d'étendre la hauteur de stockage au-delà de 23 m. **Pour cela, il est réalisé une étude paramétrique préalable à différentes hauteurs de stockage pour retenir le cas enveloppe.**

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

4. DESCRIPTION DU BATIMENT DE GRANDE HAUTEUR

Le bâtiment étudié, divisé en trois cellules identiques, présente une longueur de 96 m environ pour une largeur totale de 107 m environ [2]. Il s'agit d'un bâtiment dit « de grande hauteur » qui mesure 36 mètres (hauteur sous plafond).

Sa structure est réalisée en poteaux, poutres et pannes en béton qui présentent une résistance au feu de 120 minutes. Ses parois sont faites de panneaux sandwich laine de roche avec des caractéristiques EI120.

Enfin, la toiture est réalisée en bac acier multicouches. Le désenfumage est assuré au moyen d'exutoires dont la surface utile représente 2% de la surface de toiture.

La figure ci-après représente l'implantation du stockage dans les cellules. Celui-ci est réalisé en racks sur 35 m de hauteur et environ 82 m de long. Les produits qui y sont stockés sont des palettes de pains et viennoiseries surgelés, classés sous la rubrique 1511 des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

Remarque : Il conviendra de s'assurer que la hauteur de stockage et la hauteur sous plafond sont compatibles avec le respect des exigences en matière de hauteur d'écran de cantonnement.

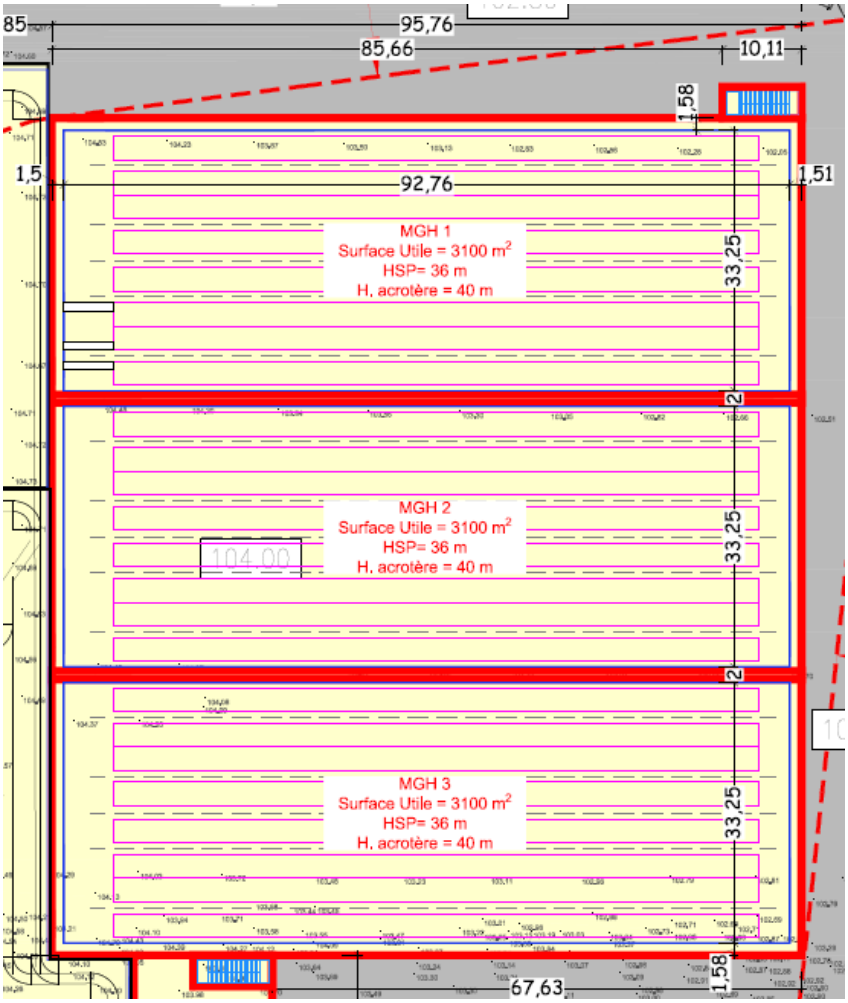


Figure 4-1 : Vue en plan des cellules et implantation du stockage [2]

5. HYPOTHESES RETENUES POUR L'ETUDE FLUMILOG

On présente ici les hypothèses prises en compte pour les calculs de flux thermiques autour des cellules grande hauteur de l'entrepôt.

Les paragraphes ci-dessous décrivent ainsi les paramètres retenus :

- En fonction des informations transmises, relatives aux propriétés du bâtiment et du stockage,
- Afin de permettre une représentation cohérente du stockage dans l'outil FLUMilog.

Il est à noter que les hypothèses retenues dans cette étude répondent à une démarche sécuritaire, conformément à la méthodologie FLUMilog [6].

*Note : la version de l'outil utilisée dans le cadre de cette étude est la version **5.52_WD**, et celle de l'interface **5.4.0.5**.*

5.1. HAUTEUR DE CIBLE

Le seuil de flux thermiques étudié en limites de propriétés est le seuil de 5 kW/m², correspondant au seuil des effets létaux délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement [4][5]. Ce seuil doit être observé à hauteur d'Homme : 1,8 m depuis le sol, ce qui constitue la hauteur de cible.

Par ailleurs, il est souhaité l'analyse des distances d'effet à hauteur de toiture des cellules mitoyennes afin d'évaluer le risque de propagation incendie. La figure ci-dessous présente la position des cellules en question.

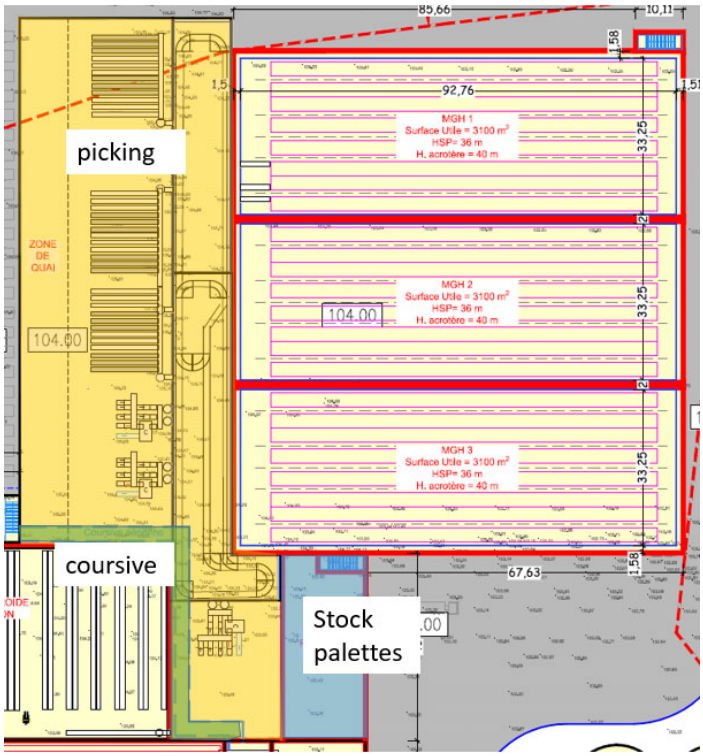


Figure 5-1 : Cellules mitoyennes aux cellules grande hauteur

D'après les coupes fournies [3], les hauteurs moyennes de toiture retenues pour les différentes cellules, qui constituent donc des hauteurs de cibles, sont les suivantes :

- Picking : 19,9 m ;
- Coursive : 7,5 m ;
- Stock palettes : 10,5 m.

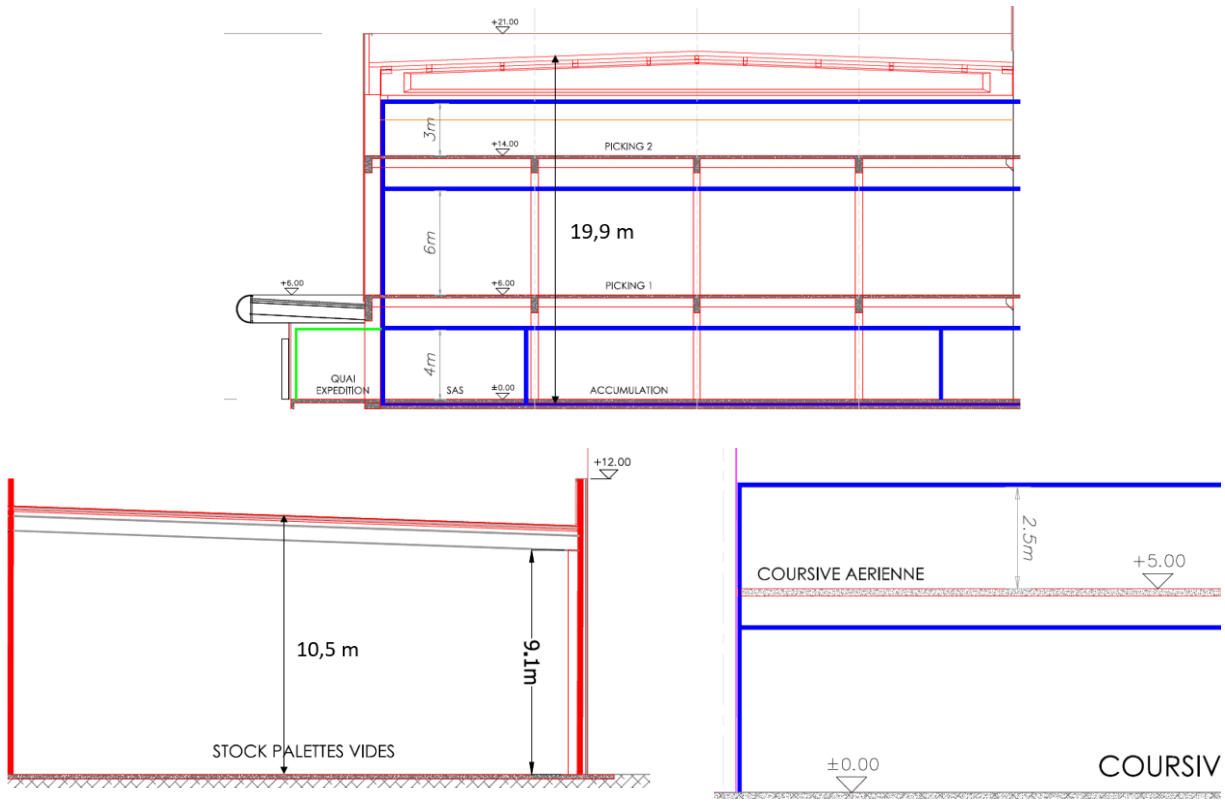


Figure 5-2 : Vue en coupe sur : la cellule picking - le stock palettes vides – la coursive aérienne [3]

5.2. DIMENSIONS DES CELLULES MGH

Les dimensions retenues pour les cellules MGH sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Longueur (m)	95,8
Largeur (m)	35,6
Hauteur moyenne sous faitage (m)	36

Tableau 5-1 : Synthèse des dimensions de l'entrepôt

5.3. TOITURE

Les caractéristiques retenues pour la toiture sont les suivantes :

Résistance au feu des poutres de toiture (min)	120
Résistance au feu des pannes de toiture (min)	120
Matériaux constituant la couverture	Métallique multicouches
% d'exutoires en surface utile	2

Tableau 5-2 : Synthèse des caractéristiques de toiture de l'entrepôt

5.4. DONNEES RELATIVES AUX PAROIS

D'après les données fournies, les parois sont REI120 sur toutes les faces des cellules.

Structure	Poteau béton
Résistance au feu de la structure (R en min)	120
Matériau constituant la paroi	Panneau sandwich laine de roche
Etanchéité/Isolation de la paroi (EI en min)	120

Tableau 5-3 : Synthèse des caractéristiques des parois de l'entrepôt

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

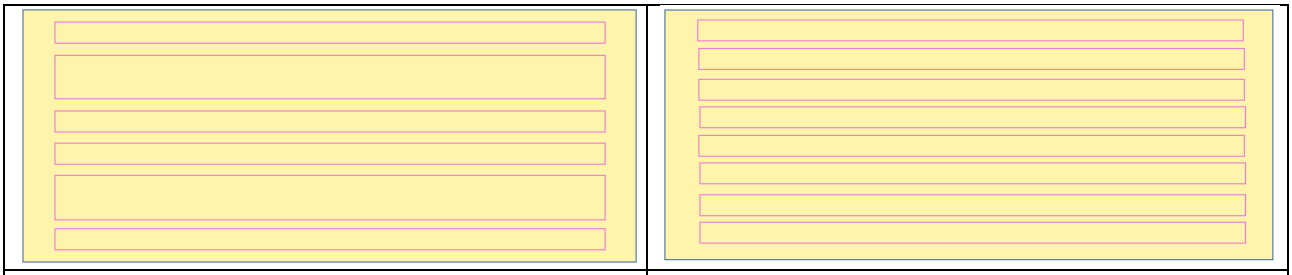
5.5. DONNEES RELATIVES AU STOCKAGE

D'après les données fournies [2], le stockage est réalisé de la façon suivante :

- 4 racks simples de 3 m de large ;
- 2 doubles racks de 6 m de large ;
- Largeur d'allée de 1,5 m.

L'outil FLUM*ilog* ne permettant la modélisation que de 2 simples racks, la représentation du stockage doit être adaptée pour refléter au mieux à la réalité. Par ailleurs, sachant que l'outil considère que la largeur d'un double rack est égale à deux fois la longueur d'une palette (les palettes stockées présentant des dimensions standards, donc une longueur de 1,2 m), on choisit d'assimiler un simple rack de 3 m de large à un double rack dans FLUM*ilog*. De la même façon, les doubles racks représentés sur la Figure 4-1 seront modélisés par 2 doubles racks dans FLUM*ilog*.

On présente ci-dessous la schématisation des racks selon les données fournies [2] et celle choisie pour la représentation FLUM*ilog* (prise en compte de doubles racks uniquement).

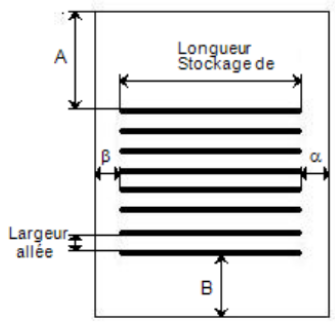


Stockage réel	Représentation FLUM*ilog*

Figure 5-3 : Schématisation du stockage

Ainsi, la modélisation prendra en compte 8 doubles racks de 3 m de large. Par ailleurs, de façon à conserver les largeurs d'allée de 1,5 m, on fait le choix de réduire les déports par rapport aux parois longs pans. Il s'agit d'une hypothèse sécuritaire.

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques retenues pour le stockage.



Longueur de stockage (m)	82,4
Nombre de doubles racks	8
Nombre de racks simples	0
Nombre de niveaux de stockage (m)	15
Largeur d'un double rack (m)	3
Largeur d'un rack simple (m)	0
Largeur des allées entre les racks (m)	1,5
Déports (A, B, α et β) (m)	A = 0
	B = 1,5
	α = 5,5
	β = 7,9
Hauteur de stockage (m)	35

Tableau 5-4 : Synthèse des caractéristiques du stockage

Par ailleurs, la palette retenue pour la modélisation est une palette type rubrique 1511, qui présente les caractéristiques suivantes [6] pour des dimensions de 1,2 m x 0,8 m x 1,5 m :

- Puissance : 1 300 kW ;
- Durée : 45 min.

Les palettes stockées dans les cellules de grande hauteur présentent des dimensions différentes, mais l'utilisation d'une palette rubrique sous FLUM*ilog* permet de s'affranchir des dimensions car l'outil adapte virtuellement les dimensions du stockage.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

6. RESULTATS

Dans cette partie sont présentés les flux thermiques de l'incendie généralisé de l'entrepôt étudié. Du fait de la grande hauteur de l'entrepôt (et comme précisé dans le §3) les résultats présentés ci-après font suite à une étude paramétrique à différentes hauteurs de stockage, afin de retenir le cas enveloppe.

On présente ci-après les distances d'effet pour les différentes hauteurs cible indiquées au § 5.1.

6.1. DISTANCES D'EFFET A HAUTEUR D'HOMME

Dans un premier temps, on réalise les calculs pour une cellule grande hauteur seule. La cartographie des flux thermiques observés autour de la cellule MGH1 à hauteur d'Homme est présentée ci-après sur le plan masse.

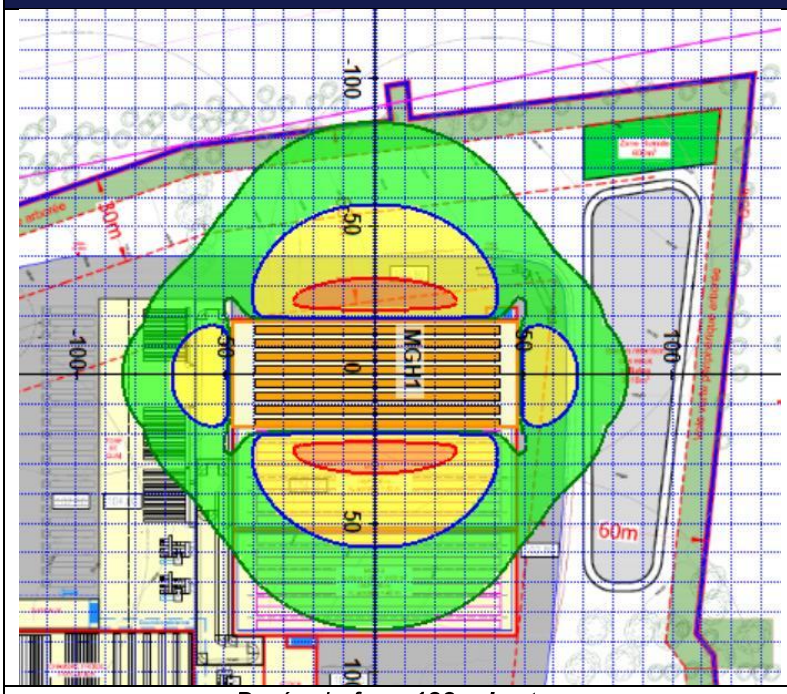
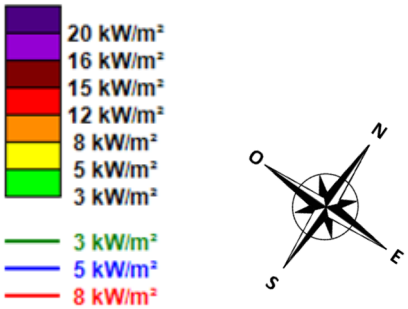
Cellule étudiée	*Légende*
	
*Durée de feu : **182 minutes***	

Tableau 6-1 : Synthèse des résultats de l'étude des flux thermiques à hauteur d'Homme pour une cellule seule

Ainsi il est observé que le seuil des effets létaux de 5 kW/m^2 reste dans les limites de propriétés (représentées en violet). Cette conclusion est valable pour chacune des cellules MGH prises indépendamment, pour lesquelles on présente sur la figure ci-dessous l'enveloppe générale des flux sans considérer de propagation.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

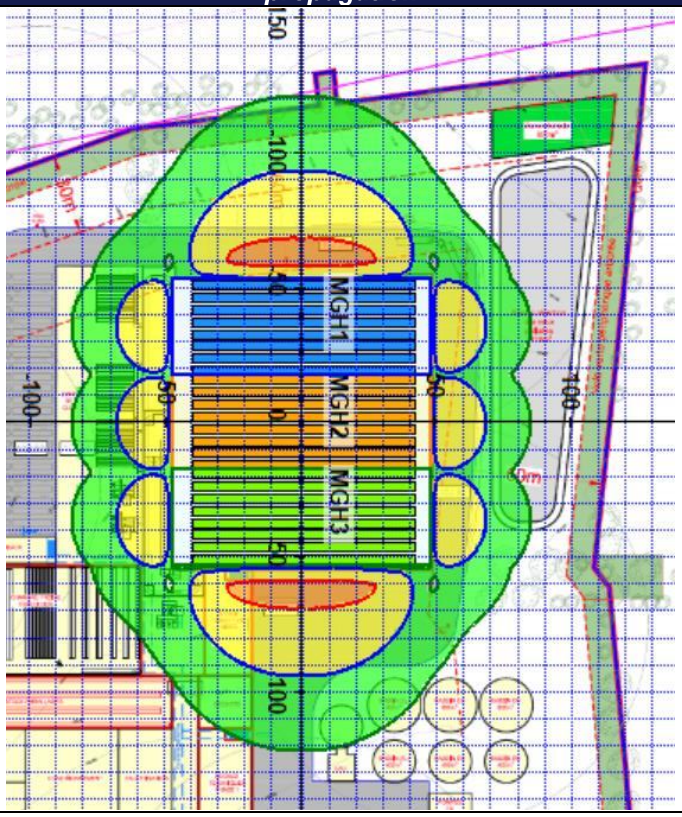
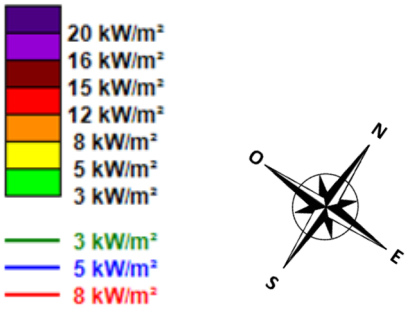
Enveloppe des résultats pour des cellules seules sans propagation	*Légende*
	

Tableau 6-2 : Enveloppe des résultats de l'étude des flux thermiques à hauteur d'Homme pour les incendies pris séparément dans chaque cellule

Par ailleurs, on note que la durée d'incendie dans la cellule est de 182 minutes. Les parois séparatives entre cellules présentant une résistance au feu de 120 minutes, on pourrait craindre un risque de propagation.

Cependant, il est indiqué dans une FAQ FLUM*ilog* [7] que considérer la durée de feu calculée par l'outil et la comparer à la durée de résistance au feu des parois afin de juger de la possibilité de propagation est une approche très prudente pour certains cas, car elle ne prend pas en compte la nature réelle de l'agression thermique sur la paroi, en comparaison des caractéristiques d'un feu normalisé.

Il est ainsi recommandé pour les entrepôts relevant de la rubrique 1511, de ne pas modéliser le scénario de propagation d'un incendie au travers d'une paroi REI120, et ce, quelle que soit la durée de feu calculée par FLUM*ilog*. Cette recommandation n'est pas assortie de limitations relatives à l'organisation du bâtiment ou du stockage.

Dans ces conditions, en l'absence de scénario de propagation de l'incendie entre cellules, les distances d'effet à retenir sont celles obtenues pour une cellule seule. Comme observé dans le **Tableau 6-1**, il est donc possible de conclure que le seuil des effets létaux reste dans les limites de propriété du site.

Toutefois, il convient de rappeler qu'en cas de présence d'ouvertures dans les parois REI120, des fermetures automatiques de degré au moins équivalent sont nécessaires pour que cette conclusion soit valable.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

6.2. DISTANCES D'EFFET SUR LA TOITURE DE LA CELLULE PICKING

On présente ci-dessous les distances d'effet à une hauteur cible de 19,9 m correspondant à la hauteur de toiture de la cellule picking. Comme expliqué précédemment, il n'est pas considéré de propagation du feu entre les cellules de grande hauteur, toutefois, la cellule picking étant mitoyenne aux trois cellules, on présente l'enveloppe générale des flux.

La cellule cible est repérée en orange.

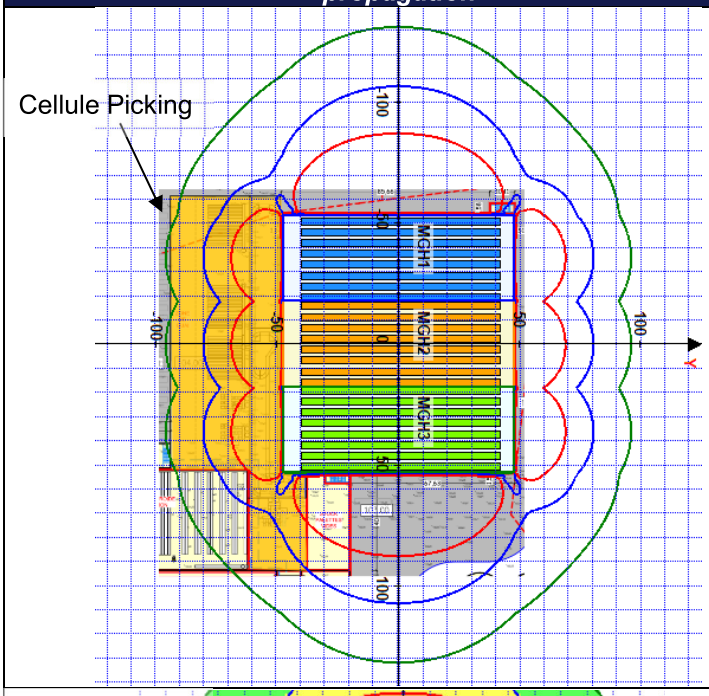
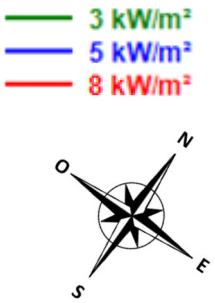
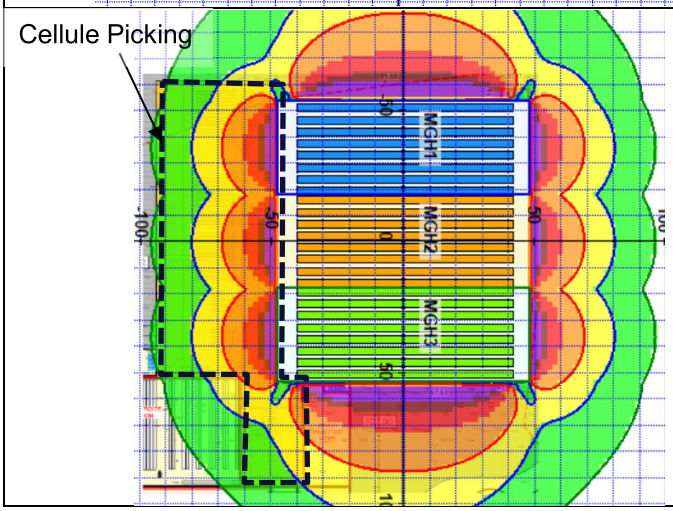
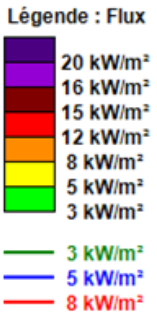
Enveloppe des flux pour les cellules seules sans propagation	*Légende*
	
	

Tableau 6-3 : Enveloppe des résultats de l'étude des flux thermiques à hauteur de toiture de la cellule picking pour les incendies pris séparément dans chaque cellule

De manière générale, on considère qu'il y a un risque de propagation de l'incendie lorsque les flux reçus atteignent 8 kW/m². D'après les résultats présentés ci-avant, on observe que ce seuil est atteint sur une quinzaine de mètres en toiture de la cellule picking.

Par ailleurs, des flux compris entre 12 et plus de 20 kW/m² sont observés sur une quinzaine de mètres en toiture de la cellule picking depuis le bord des cellules grande hauteur.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

6.3. DISTANCES D'EFFET SUR LA COURSIVE AERIENNE

On présente ci-dessous les distances d'effet à une hauteur cible de 7,5 m correspondant à la hauteur de toiture de la coursive aérienne. La cellule MGH3 étant la plus proche de la coursive, les résultats sont présentés uniquement pour cette cellule.

La cible étudiée est repérée en orange.

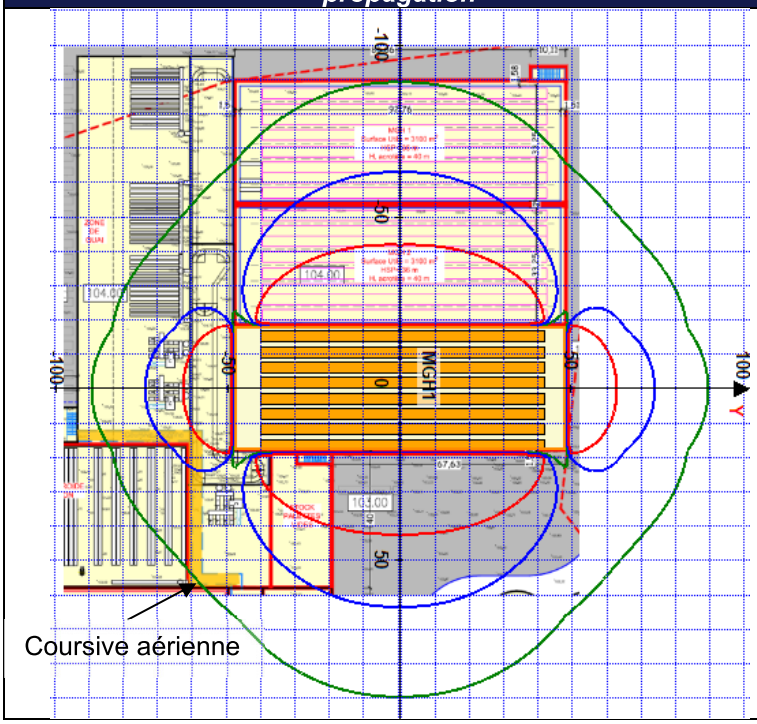
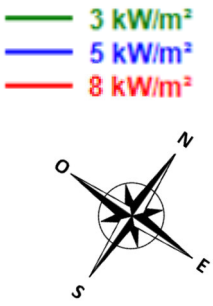
Enveloppe des flux pour les cellules seules sans propagation	*Légende*
	

Tableau 6-4 : Enveloppe des résultats de l'étude des flux thermiques à hauteur de toiture de la coursive aérienne pour l'incendie de la MGH3

De manière générale, on considère qu'il y a un risque de propagation de l'incendie lorsque les flux reçus atteignent 8 kW/m². D'après les résultats présentés ci-avant, on observe que ce seuil est atteint sur quelques mètres seulement en toiture de la coursive aérienne. Les flux maximums restent inférieurs à 12 kW/m².

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

6.4. DISTANCES D'EFFET SUR LA TOITURE DE LA CELLULE STOCK PALETTES

On présente ci-dessous les distances d'effet à une hauteur cible de 10,5 m correspondant à la hauteur de toiture de la cellule stock palettes. La cellule MGH3 étant la seule mitoyenne avec la cible étudiée, les résultats sont présentés uniquement pour cette cellule.

La cible étudiée est repérée en orange.

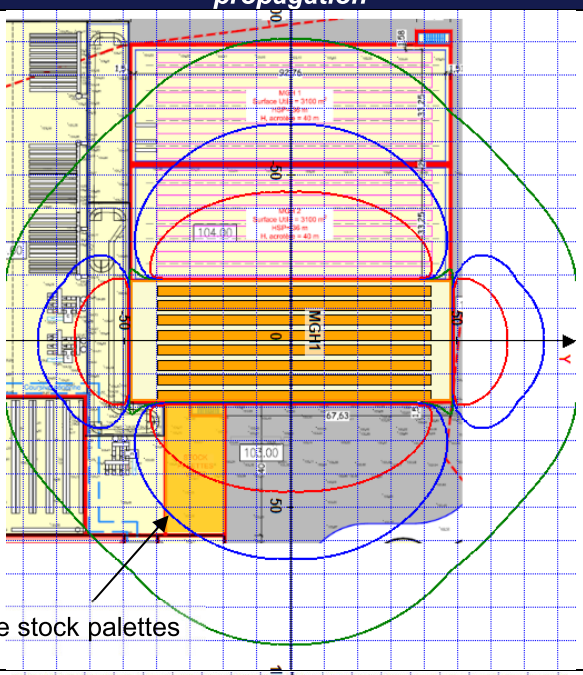
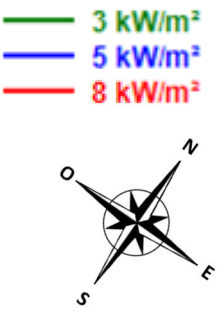
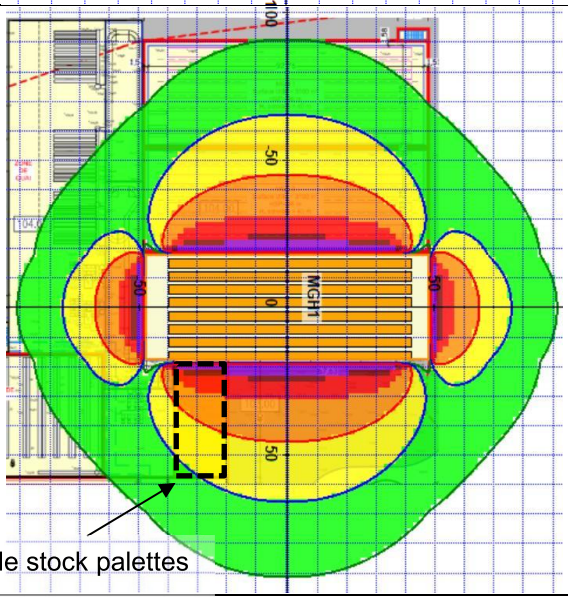
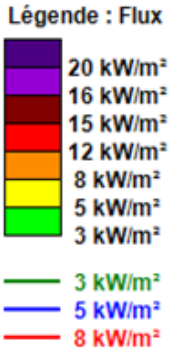
Enveloppe des flux pour les cellules seules sans propagation	*Légende*
	
	

Tableau 6-5 : Enveloppe des résultats de l'étude des flux thermiques à hauteur de toiture de la cellule stock palettes pour l'incendie de la MGH3

De manière générale, on considère qu'il y a un risque de propagation de l'incendie lorsque les flux reçus atteignent 8 kW/m². D'après les résultats présentés ci-avant, on observe que ce seuil est atteint sur une vingtaine de mètres en toiture de la cellule stock palettes.

Par ailleurs, des flux compris entre 12 et plus de 20 kW/m² sont observés sur une dizaine de mètres en toiture de la cellule stock palettes depuis le bord de la cellule MGH3.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

7. CONCLUSION

Ce rapport, portant sur l'analyse des distances d'effets thermiques dans le cas d'un feu généralisé à l'entrepôt de grande hauteur BRIDOR à Liffré (35) s'est attaché à présenter les hypothèses et résultats des calculs de flux thermiques réalisés à l'aide de la méthode FLUMilog. Les hypothèses retenues dans cette étude répondent à une démarche sécuritaire, conformément à la méthodologie FLUMilog [6].

Les calculs de flux thermiques dans le cas d'un feu généralisé sur les cellules de grande hauteur de l'entrepôt ont montré qu'aucun flux thermique supérieur au seuil règlementaire de 5 kW/m^2 n'est observé en dehors des limites de propriété du site.

Cette conclusion est notamment valable car il s'agit d'un entrepôt classé 1511 qui ne nécessite pas l'étude d'un scénario de propagation entre les cellules grande hauteur du fait de la présence de parois REI120 [7]. Il conviendra de s'assurer que ces parois, si elles disposent d'ouvertures, soient équipées de fermetures automatiques de degré au moins équivalent. De plus, toute dégradation de la paroi (présence d'ouverture non équipée de dispositif automatique de fermeture, passage de canalisation non coupe-feu, interactions potentielles avec la structure principale, etc.) devra conduire à modéliser un scénario d'incendie propagé.

Par ailleurs, les distances d'effet à hauteur de toiture des cellules mitoyennes aux cellules grande hauteur ont été étudiées. De manière générale, on considère qu'il y a un risque de propagation de l'incendie lorsque les flux reçus atteignent 8 kW/m². Les résultats ont montré que le seuil de 8 kW/m² était atteint sur l'ensemble des cibles étudiées, avec une emprise plus ou moins importante :

- Cellule Picking : sur une quinzaine de mètres ;
- Coursive aérienne : sur quelques mètres ;
- Stock palettes : sur une vingtaine de mètres.

L'installation de bandes incombustibles permet de limiter les risques de propagation du feu par la toiture et ainsi de retarder la propagation du feu d'une cellule à une autre.

Le type de bandes incombustibles recommandé est une bande de protection disposée sur le revêtement d'étanchéité de la toiture, le long du mur séparatif, destinée à prévenir la propagation d'un sinistre d'une cellule à l'autre par la toiture. Cette bande est en matériau A2 s1 d1 ou comporte en surface une feuille métallique A2 s1 d1 [4].

Enfin, en toiture des cellules picking et stock palettes, des flux allant jusqu'à plus de 20 kW/m^2 sont observés. Dans ces conditions, il est préconisé :

- Pour des flux allant jusqu'à 12 kW/m² : d'équiper les exutoires de désenfumage d'un capotage opaque acier avec 10 mm d'isolant classé au minimum A2 [8] ;
- Pour des flux au-delà de 12 kW/m² : d'éviter l'installation d'exutoires de désenfumage dans cette zone.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale

FLUMilog

Interface graphique v.5.4.0.5

Outil de calculV5.52_WD

Flux Thermiques
Détermination des distances d'effets

Attention

Etude réalisée en dehors du domaine de validité

A présenter avec une note justifiant les résultats

Utilisateur :	
Société :	
Nom du Projet :	MGH1_BRIDOR_35m_coursive
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	15/04/2021 à19:23:43avec l'interface graphique v. 5.4.0.5
Date de création du fichier de résultats :	15/4/21

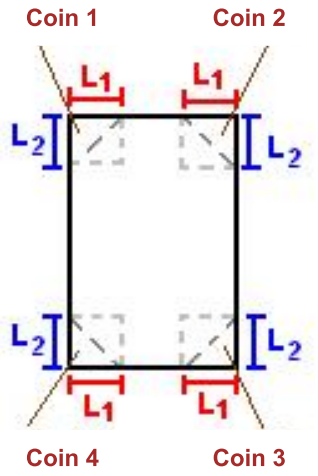
I. DONNEES D'ENTREE :

Donnée Cible

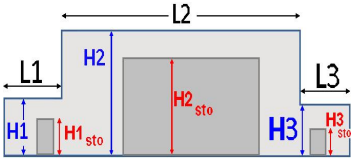
Hauteur de la cible : 7.5 m

Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :MGH1			
Longueur maximum de la cellule (m)	95.8		
Largeur maximum de la cellule (m)	35.6		
Hauteur maximum de la cellule (m)	36.0		
Coin 1	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0
Coin 2	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0
Coin 3	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0
Coin 4	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0



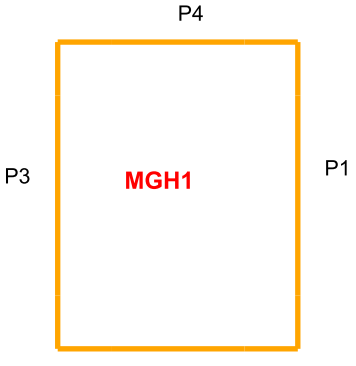
Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0.0	0.0	0.0
H (m)	0.0	0.0	0.0
H sto (m)	0.0	0.0	0.0



Toiture

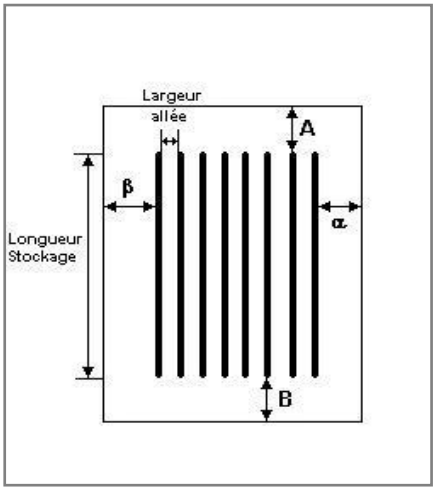
Résistance au feu des poutres (min)	120
Résistance au feu des pannes (min)	120
Matériaux constituant la couverture	metallique multicouches
Nombre d'exutoires	11
Longueur des exutoires (m)	3.0
Largeur des exutoires (m)	2.0

Parois de la cellule : MGH1



	Paroi P1	Paroi P2	Paroi P3	Paroi P4
Composantes de la Paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure Support	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton
Nombre de Portes de quais	0	0	0	0
Largeur des portes (m)	0.0	0.0	0.0	0.0
Hauteur des portes (m)	4.0	0.0	0.0	0.0
	Un seul type de paroi	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*
Matériau	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche
R(i) : Résistance Structure(min)	120	120	120	120
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	120	120	120
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	120	120	120	120
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	120	120	120	120

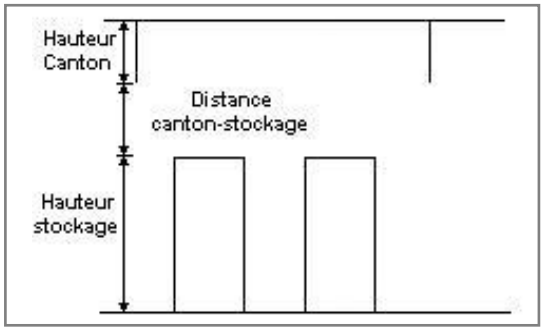
Stockage de la cellule : MGH1



Nombre de niveaux	15	
Mode de stockage	Rack	

Dimensions

Longueur de stockage	82.4	m
Déport latéral α	0.0	m
Déport latéral β	1.1	m
Longueur de préparation A	5.5	m
Longueur de préparation B	7.9	m
Hauteur maximum de stockage	35.0	m
Hauteur du canton	0.0	m
Ecart entre le haut du stockage et le canton	1.0	m



Stockage en rack

Sens du stockage	dans le sens de la paroi 1	
Nombre de double racks	8	
Largeur d'un double rack	3.0	m
Nombre de racks simples	0	
Largeur d'un rack simple	1.5	m
Largeur des allées entre les racks	1.5	m

Palette type de la cellule MGH1

Dimensions Palette

Longueur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette (Longueur de la palette est très inférieure à la largeur du rack.
Largeur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Hauteur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Volume de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette

Nom de la palette : Palette type 1511 Poids total de la palette : Par défaut

Composition de la Palette (Masse en kg)

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NC	NC	NC	NC
0.0	0.0	0.0	0.0

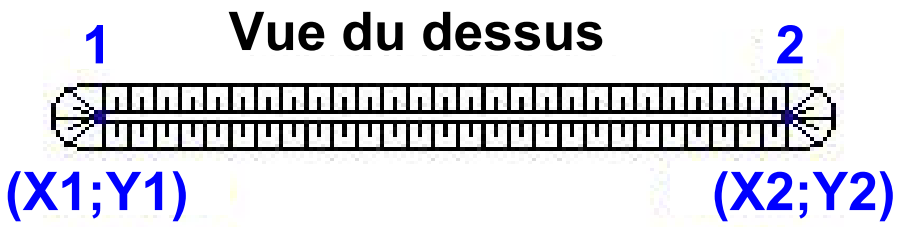
Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette : 45.0 min

Puissance dégagée par la palette : Adaptée aux dimensions de la palette

Rappel : les dimensions standards d'une Palette type 1511 sont de 1,2 m * 0,8 m x 1,5 m, sa puissance est de 1300.0 kW

Merlons



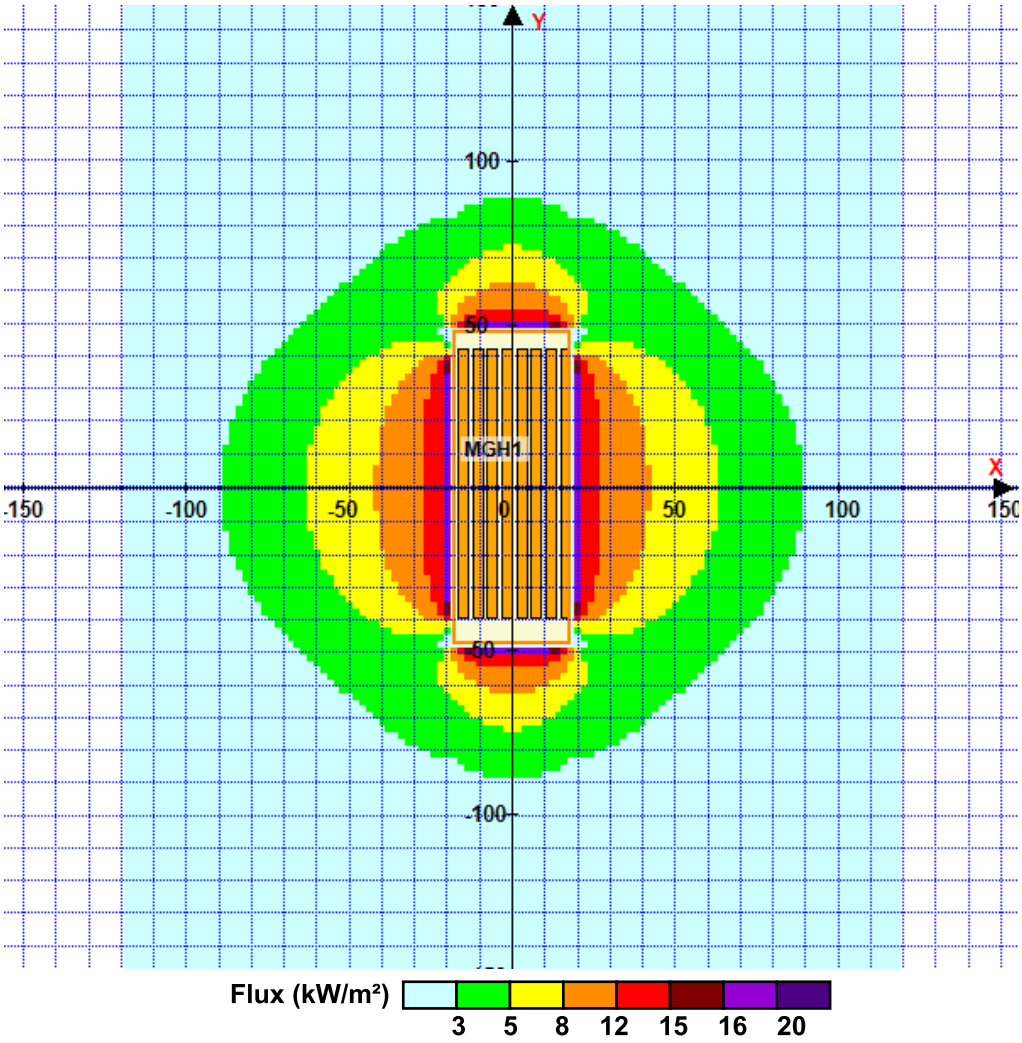
		Coordonnées du premier point		Coordonnées du deuxième point	
Merlon n°	Hauteur (m)	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : MGH1

Durée de l'incendie dans la cellule : MGH1 182.0 min

Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme,le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

FLUMilog

Interface graphique v.5.4.0.5

Outil de calculV5.52_WD

Flux Thermiques
Détermination des distances d'effets

Attention

Etude réalisée en dehors du domaine de validité

A présenter avec une note justifiant les résultats

Utilisateur :	
Société :	
Nom du Projet :	MGH1_BRIDOR_35m_picking
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	15/04/2021 à19:23:27avec l'interface graphique v. 5.4.0.5
Date de création du fichier de résultats :	15/4/21

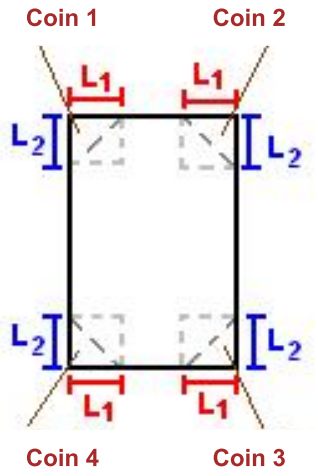
I. DONNEES D'ENTREE :

Donnée Cible

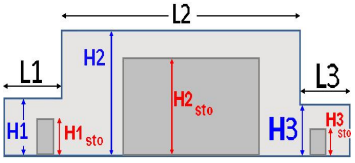
Hauteur de la cible : 19.9 m

Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :MGH1			
Longueur maximum de la cellule (m)	95.8		
Largeur maximum de la cellule (m)	35.6		
Hauteur maximum de la cellule (m)	36.0		
Coin 1	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0
Coin 2	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0
Coin 3	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0
Coin 4	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0



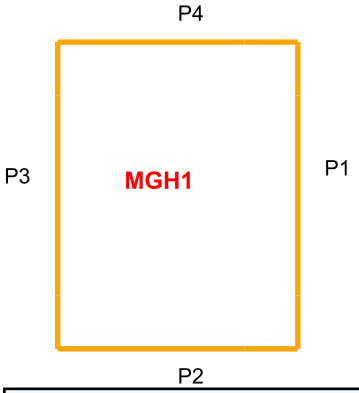
Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0.0	0.0	0.0
H (m)	0.0	0.0	0.0
H sto (m)	0.0	0.0	0.0



Toiture

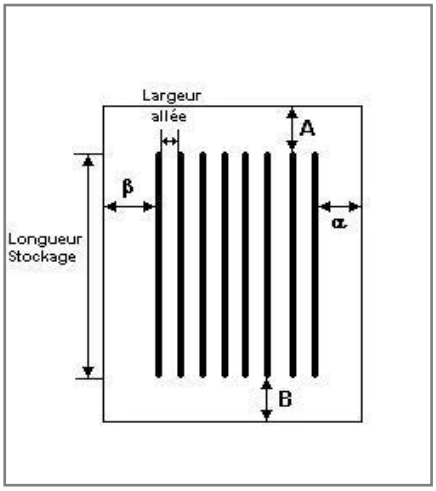
Résistance au feu des poutres (min)	120
Résistance au feu des pannes (min)	120
Matériaux constituant la couverture	metallique multicouches
Nombre d'exutoires	11
Longueur des exutoires (m)	3.0
Largeur des exutoires (m)	2.0

Parois de la cellule : MGH1



	Paroi P1	Paroi P2	Paroi P3	Paroi P4
Composantes de la Paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure Support	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton
Nombre de Portes de quais	0	0	0	0
Largeur des portes (m)	0.0	0.0	0.0	0.0
Hauteur des portes (m)	4.0	0.0	0.0	0.0
	Un seul type de paroi	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*
Matériau	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche
R(i) : Résistance Structure(min)	120	120	120	120
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	120	120	120
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	120	120	120	120
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	120	120	120	120

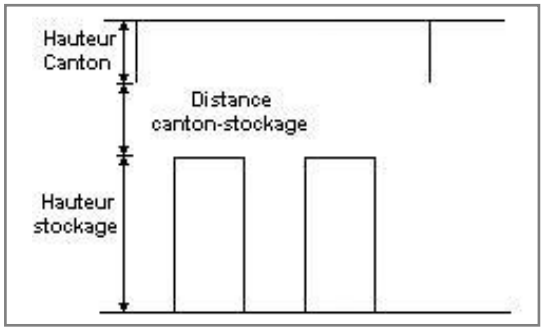
Stockage de la cellule : MGH1



Nombre de niveaux	15	
Mode de stockage	Rack	

Dimensions

Longueur de stockage	82.4	m
Déport latéral α	0.0	m
Déport latéral β	1.1	m
Longueur de préparation A	5.5	m
Longueur de préparation B	7.9	m
Hauteur maximum de stockage	35.0	m
Hauteur du canton	0.0	m
Ecart entre le haut du stockage et le canton	1.0	m



Stockage en rack

Sens du stockage	dans le sens de la paroi 1	
Nombre de double racks	8	
Largeur d'un double rack	3.0	m
Nombre de racks simples	0	
Largeur d'un rack simple	1.5	m
Largeur des allées entre les racks	1.5	m

Palette type de la cellule MGH1

Dimensions Palette

Longueur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette	Longueur de la palette est très inférieure à la largeur du rack.
Largeur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette	
Hauteur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette	
Volume de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette	
Nom de la palette :	Palette type 1511	Poids total de la palette : Par défaut

Composition de la Palette (Masse en kg)

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NC	NC	NC	NC
0.0	0.0	0.0	0.0

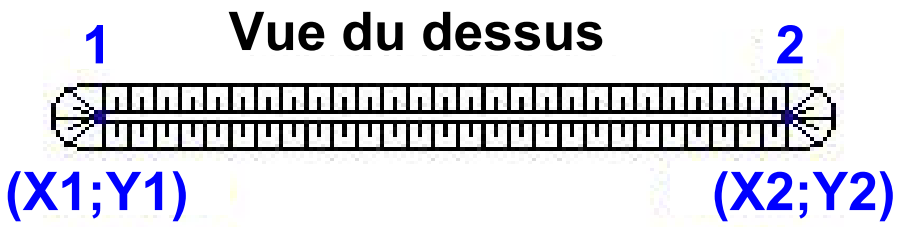
Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette : 45.0 min

Puissance dégagée par la palette : Adaptée aux dimensions de la palette

Rappel : les dimensions standards d'une Palette type 1511 sont de 1,2 m * 0,8 m x 1,5 m, sa puissance est de 1300.0 kW

Merlons



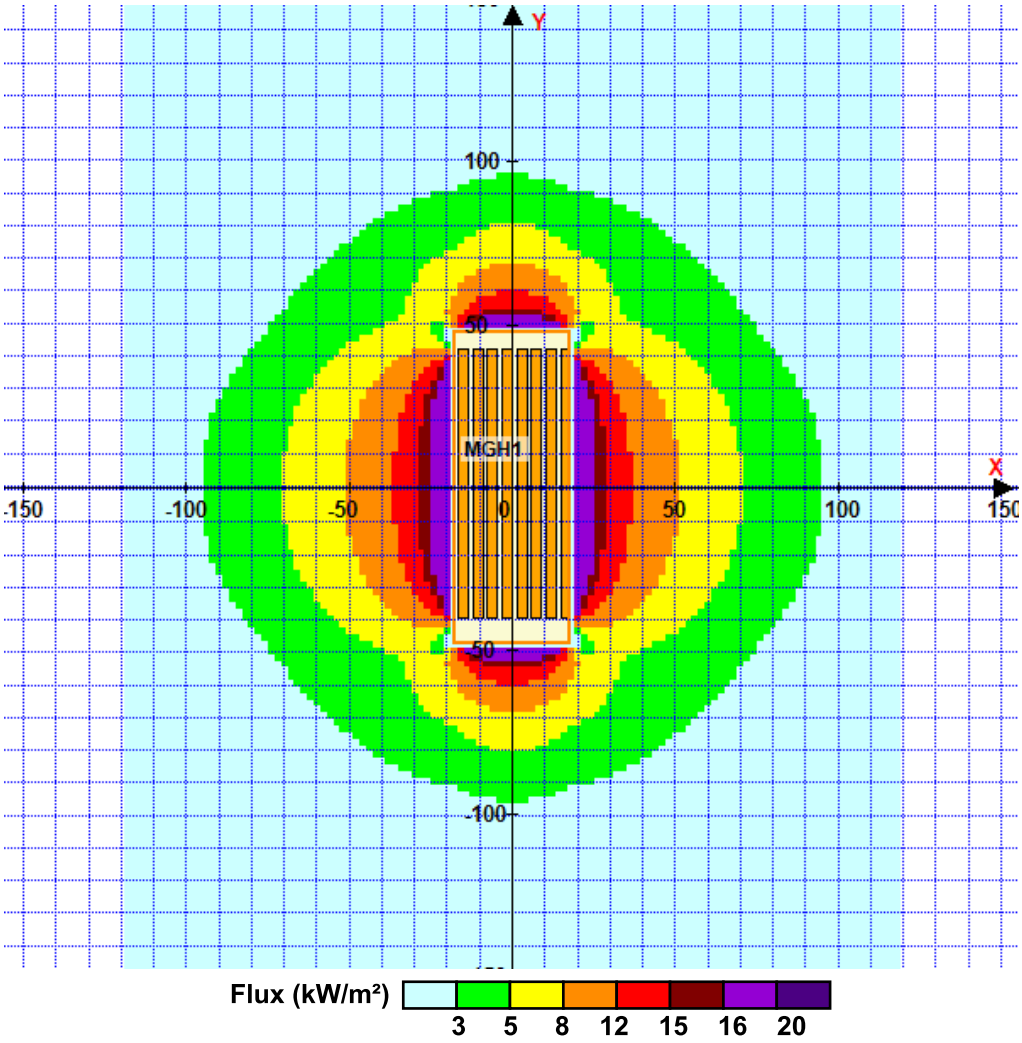
		Coordonnées du premier point		Coordonnées du deuxième point	
Merlon n°	Hauteur (m)	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : MGH1

Durée de l'incendie dans la cellule : MGH1 182.0 min

Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme,le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

FLUMilog

Interface graphique v.5.4.0.5

Outil de calculV5.52_WD

Flux Thermiques
Détermination des distances d'effets

Attention

Etude réalisée en dehors du domaine de validité

A présenter avec une note justifiant les résultats

Utilisateur :	
Société :	
Nom du Projet :	MGH1_BRIDOR_35m_stock
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	15/04/2021 à19:24:01avec l'interface graphique v. 5.4.0.5
Date de création du fichier de résultats :	15/4/21

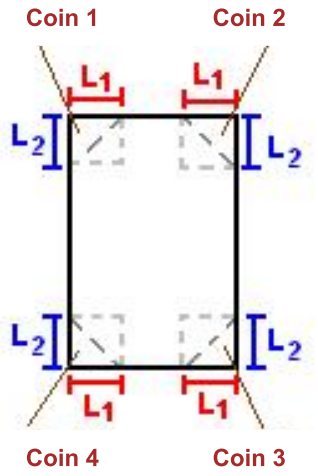
I. DONNEES D'ENTREE :

Donnée Cible

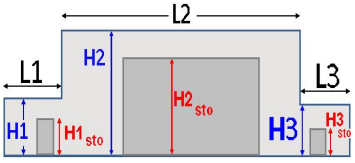
Hauteur de la cible : 10.5 m

Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :MGH1			
Longueur maximum de la cellule (m)	95.8		
Largeur maximum de la cellule (m)	35.6		
Hauteur maximum de la cellule (m)	36.0		
Coin 1	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0
Coin 2	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0
Coin 3	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0
Coin 4	non tronqué	L1 (m)	0.0
		L2 (m)	0.0



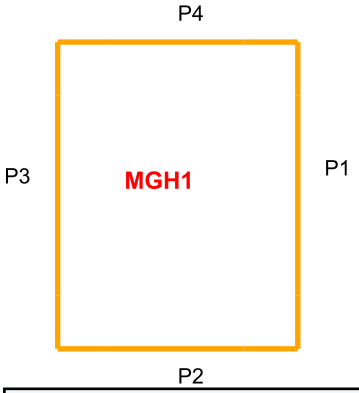
Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0.0	0.0	0.0
H (m)	0.0	0.0	0.0
H sto (m)	0.0	0.0	0.0



Toiture

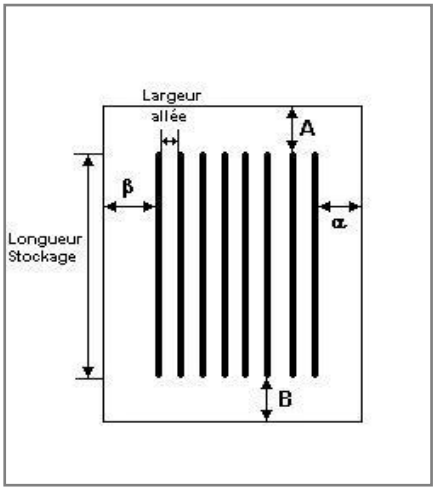
Résistance au feu des poutres (min)	120
Résistance au feu des pannes (min)	120
Matériaux constituant la couverture	metallique multicouches
Nombre d'exutoires	11
Longueur des exutoires (m)	3.0
Largeur des exutoires (m)	2.0

Parois de la cellule : MGH1



	Paroi P1	Paroi P2	Paroi P3	Paroi P4
Composantes de la Paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure Support	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton
Nombre de Portes de quais	0	0	0	0
Largeur des portes (m)	0.0	0.0	0.0	0.0
Hauteur des portes (m)	4.0	0.0	0.0	0.0
	Un seul type de paroi	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*
Matériau	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche
R(i) : Résistance Structure(min)	120	120	120	120
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	120	120	120
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	120	120	120	120
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	120	120	120	120

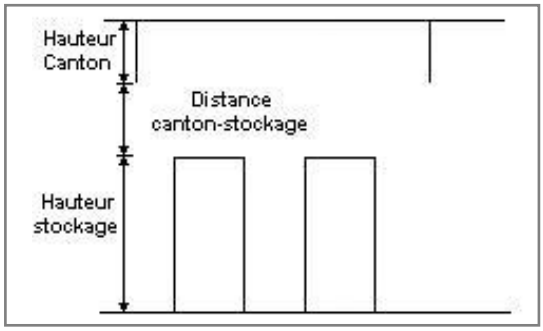
Stockage de la cellule : MGH1



Nombre de niveaux	15	
Mode de stockage	Rack	

Dimensions

Longueur de stockage	82.4	m
Déport latéral α	0.0	m
Déport latéral β	1.1	m
Longueur de préparation A	5.5	m
Longueur de préparation B	7.9	m
Hauteur maximum de stockage	35.0	m
Hauteur du canton	0.0	m
Ecart entre le haut du stockage et le canton	1.0	m



Stockage en rack

Sens du stockage	dans le sens de la paroi 1	
Nombre de double racks	8	
Largeur d'un double rack	3.0	m
Nombre de racks simples	0	
Largeur d'un rack simple	1.5	m
Largeur des allées entre les racks	1.5	m

Palette type de la cellule MGH1

Dimensions Palette

Longueur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette. La longueur de la palette est très inférieure à la largeur du rack.
Largeur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Hauteur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Volume de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette

Nom de la palette : Palette type 1511 Poids total de la palette : Par défaut

Composition de la Palette (Masse en kg)

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NC	NC	NC	NC
0.0	0.0	0.0	0.0

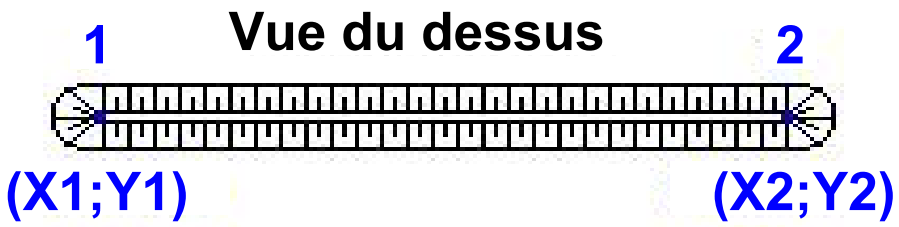
Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette : 45.0 min

Puissance dégagée par la palette : Adaptée aux dimensions de la palette

Rappel : les dimensions standards d'une Palette type 1511 sont de 1,2 m * 0,8 m x 1,5 m, sa puissance est de 1300.0 kW

Merlons



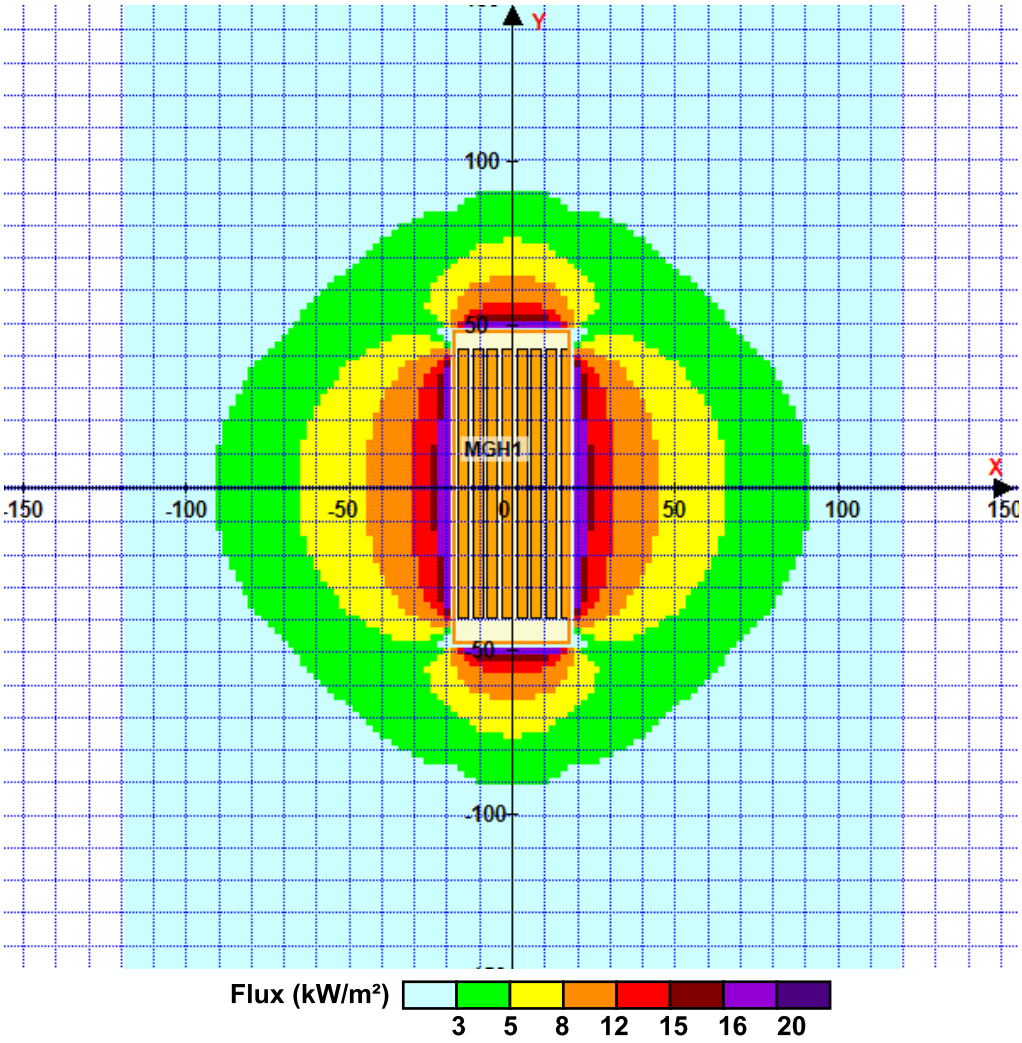
		Coordonnées du premier point		Coordonnées du deuxième point	
Merlon n°	Hauteur (m)	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : MGH1

Durée de l'incendie dans la cellule : MGH1 182.0 min

Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme,le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

FLUMilog

Interface graphique v.5.4.0.5

Outil de calculV5.54_WD

Flux Thermiques
Détermination des distances d'effets

Utilisateur :	**ZB**
Société :	**GES**
Nom du Projet :	**Picking_nv1_cible-4**
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	**28/04/2021 à14:52:53avec l'interface graphique v. 5.4.0.5**
Date de création du fichier de résultats :	**1/5/21**

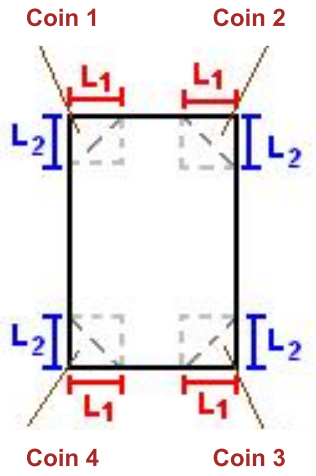
I. DONNEES D'ENTREE :

Donnée Cible

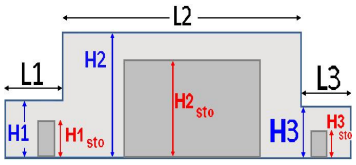
Hauteur de la cible : -4,2 m

Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :Picking n1			
Longueur maximum de la cellule (m)	111,0		
Largeur maximum de la cellule (m)	32,0		
Hauteur maximum de la cellule (m)	6,0		
Coin 1	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 2	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 3	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 4	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0



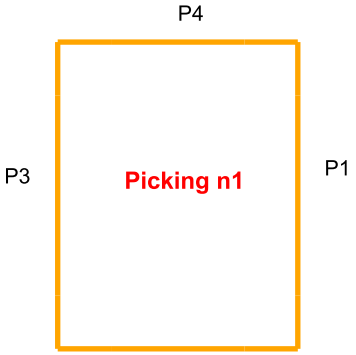
Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0,0	0,0	0,0
H (m)	0,0	0,0	0,0
H sto (m)	0,0	0,0	0,0



Toiture

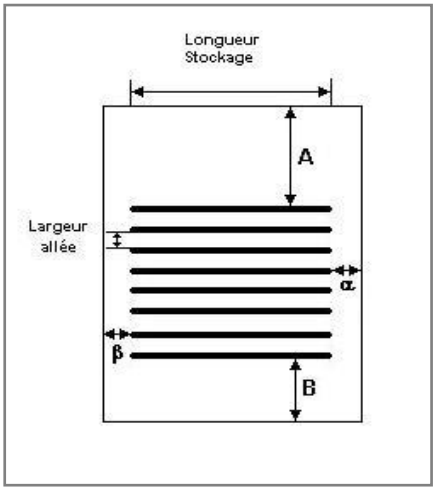
Résistance au feu des poutres (min)	120
Résistance au feu des pannes (min)	120
Matériaux constituant la couverture	Dalle beton
Nombre d'exutoires	12
Longueur des exutoires (m)	3,0
Largeur des exutoires (m)	2,0
Résistance au feu de la dalle (min)	120

Parois de la cellule : Picking n1



	Paroi P1	Paroi P2	Paroi P3	Paroi P4
Composantes de la Paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure Support	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton
Nombre de Portes de quais	0	0	0	0
Largeur des portes (m)	0,0	0,0	0,0	0,0
Hauteur des portes (m)	4,0	4,0	0,0	0,0
	Un seul type de paroi	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*
Matériau	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche	bardage double peau	bardage double peau
R(i) : Résistance Structure(min)	120	120	120	120
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	120	15	15
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	120	120	15	15
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	120	120	15	15

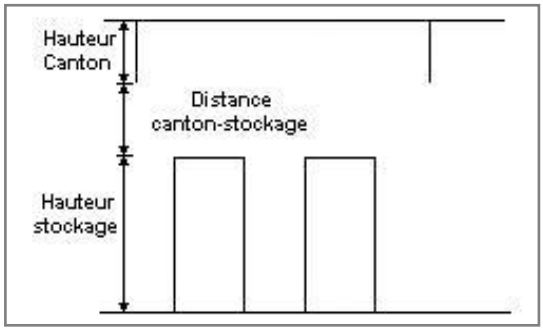
Stockage de la cellule : Picking n1



Nombre de niveaux	3	
Mode de stockage	Rack	

Dimensions

Longueur de stockage	25,0	m
Déport latéral A	5,0	m
Déport latéral B	5,0	m
Longueur de préparation α	4,5	m
Longueur de préparation β	2,5	m
Hauteur maximum de stockage	4,5	m
Hauteur du canton	1,0	m
Ecart entre le haut du stockage et le canton	0,5	m



Stockage en rack

Sens du stockage	dans le sens de la paroi 2	
Nombre de double racks	12	
Largeur d'un double rack	2,4	m
Nombre de racks simples	2	
Largeur d'un rack simple	1,2	m
Largeur des allées entre les racks	5,4	m

Palette type de la cellule Picking n1

Dimensions Palette

Longueur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Largeur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Hauteur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Volume de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette

Nom de la palette : Palette type 1511 Poids total de la palette : Par défaut

Composition de la Palette (Masse en kg)

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0

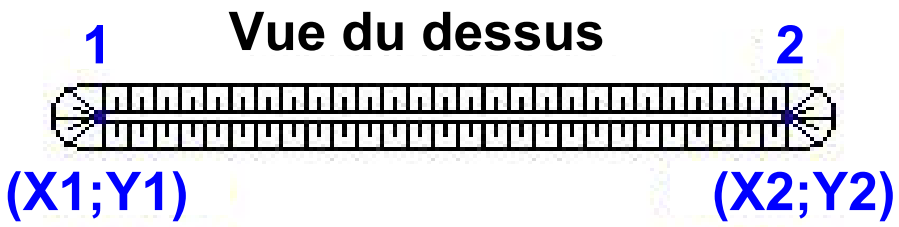
Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette : 45,0 min

Puissance dégagée par la palette : Adaptée aux dimensions de la palette

Rappel : les dimensions standards d'une Palette type 1511 sont de 1,2 m * 0,8 m x 1,5 m, sa puissance est de 1300,0 kW

Merlons



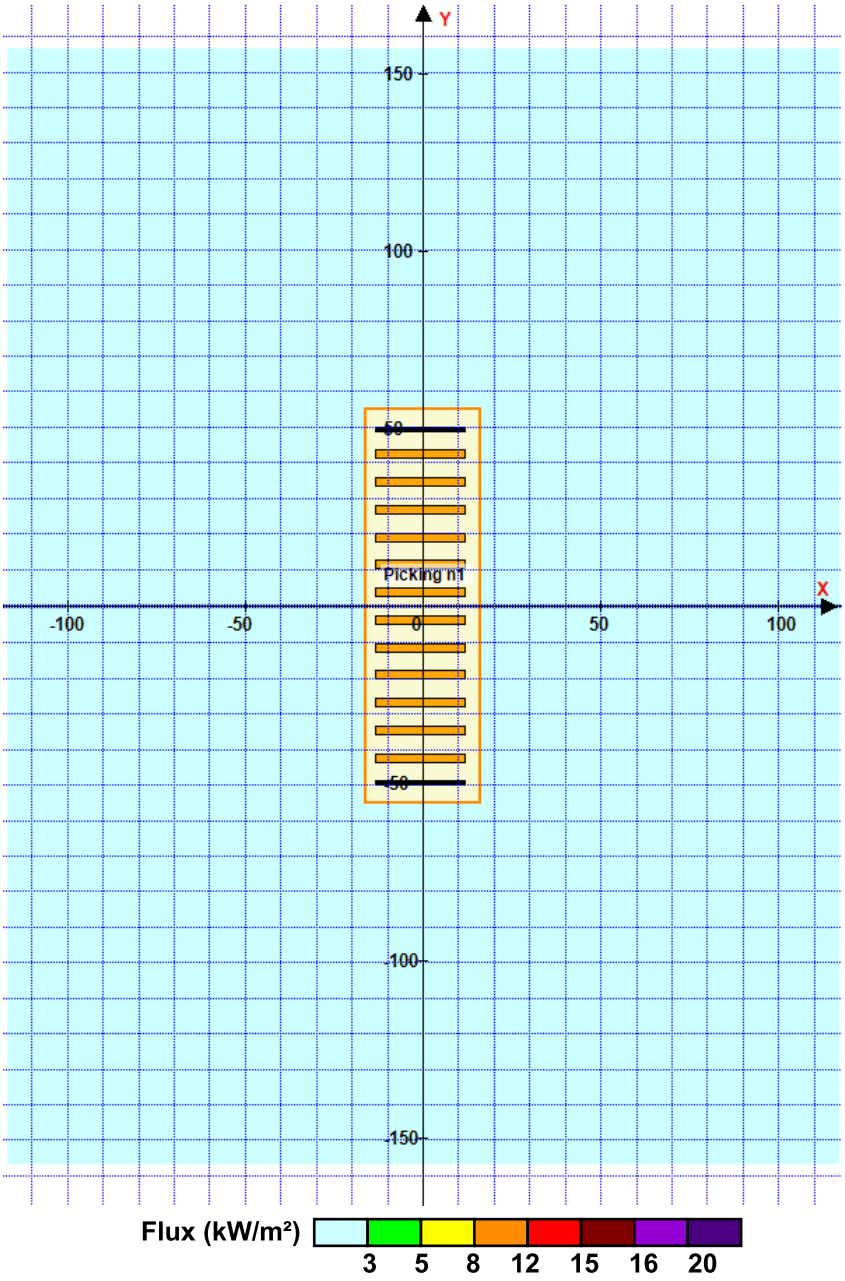
		Coordonnées du premier point		Coordonnées du deuxième point	
Merlon n°	Hauteur (m)	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : Picking n1

Durée de l'incendie dans la cellule : Picking n1 131,0 min

Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme,le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

FLUMilog

Interface graphique v.5.4.0.5

Outil de calculV5.54_WD

Flux Thermiques
Détermination des distances d'effets

Utilisateur :	**ZB**
Société :	**GES**
Nom du Projet :	**Picking_nv2_cible-12**
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	**06/05/2021 à17:10:58avec l'interface graphique v. 5.4.0.5**
Date de création du fichier de résultats :	**6/5/21**

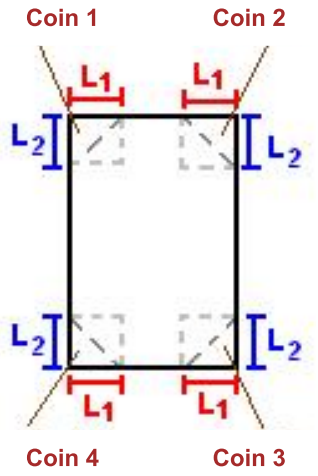
I. DONNEES D'ENTREE :

Donnée Cible

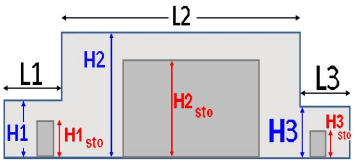
Hauteur de la cible : -12,2 m

Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :Picking n1			
Longueur maximum de la cellule (m)	111,0		
Largeur maximum de la cellule (m)	32,0		
Hauteur maximum de la cellule (m)	3,0		
Coin 1	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 2	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 3	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 4	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0



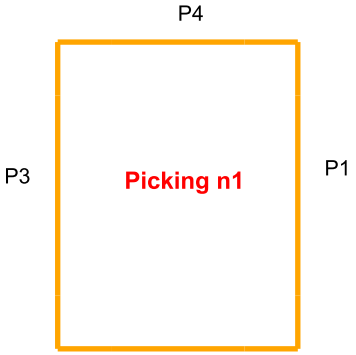
Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0,0	0,0	0,0
H (m)	0,0	0,0	0,0
H sto (m)	0,0	0,0	0,0



Toiture

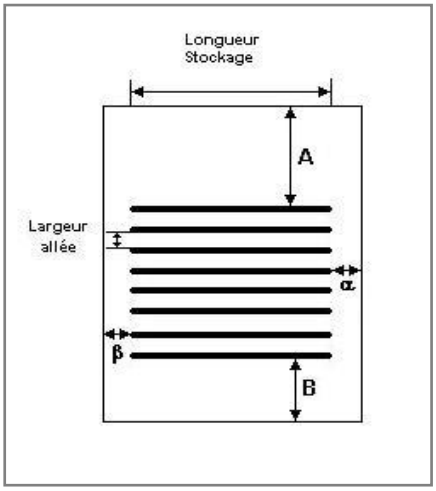
Résistance au feu des poutres (min)	120
Résistance au feu des pannes (min)	120
Matériaux constituant la couverture	metallique multicouches
Nombre d'exutoires	12
Longueur des exutoires (m)	3,0
Largeur des exutoires (m)	2,0

Parois de la cellule : Picking n1



	Paroi P1	Paroi P2	Paroi P3	Paroi P4
Composantes de la Paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure Support	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton
Nombre de Portes de quais	0	0	0	0
Largeur des portes (m)	0,0	0,0	0,0	0,0
Hauteur des portes (m)	3,0	3,0	3,0	0,0
	Un seul type de paroi	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*
Matériau	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche	bardage double peau	bardage double peau
R(i) : Résistance Structure(min)	120	120	120	120
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	120	15	15
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	120	120	15	15
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	120	120	15	15

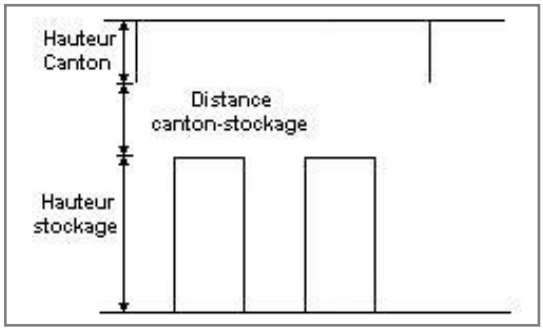
Stockage de la cellule : Picking n1



Nombre de niveaux	1	
Mode de stockage	Rack	

Dimensions

Longueur de stockage	29,0	m
Déport latéral A	5,0	m
Déport latéral B	5,0	m
Longueur de préparation α	2,0	m
Longueur de préparation β	1,0	m
Hauteur maximum de stockage	2,0	m
Hauteur du canton	1,0	m
Ecart entre le haut du stockage et le canton	0,0	m



Stockage en rack

Sens du stockage	dans le sens de la paroi 2	
Nombre de double racks	10	
Largeur d'un double rack	2,4	m
Nombre de racks simples	0	
Largeur d'un rack simple	1,2	m
Largeur des allées entre les racks	8,6	m

Palette type de la cellule Picking n1

Dimensions Palette

Longueur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Largeur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Hauteur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Volume de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette

Nom de la palette : Palette type 1511 Poids total de la palette : Par défaut

Composition de la Palette (Masse en kg)

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0

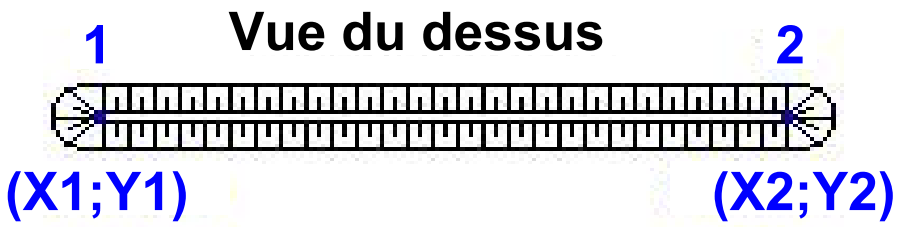
Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette : 45,0 min

Puissance dégagée par la palette : Adaptée aux dimensions de la palette

Rappel : les dimensions standards d'une Palette type 1511 sont de 1,2 m * 0,8 m x 1,5 m, sa puissance est de 1300,0 kW

Merlons



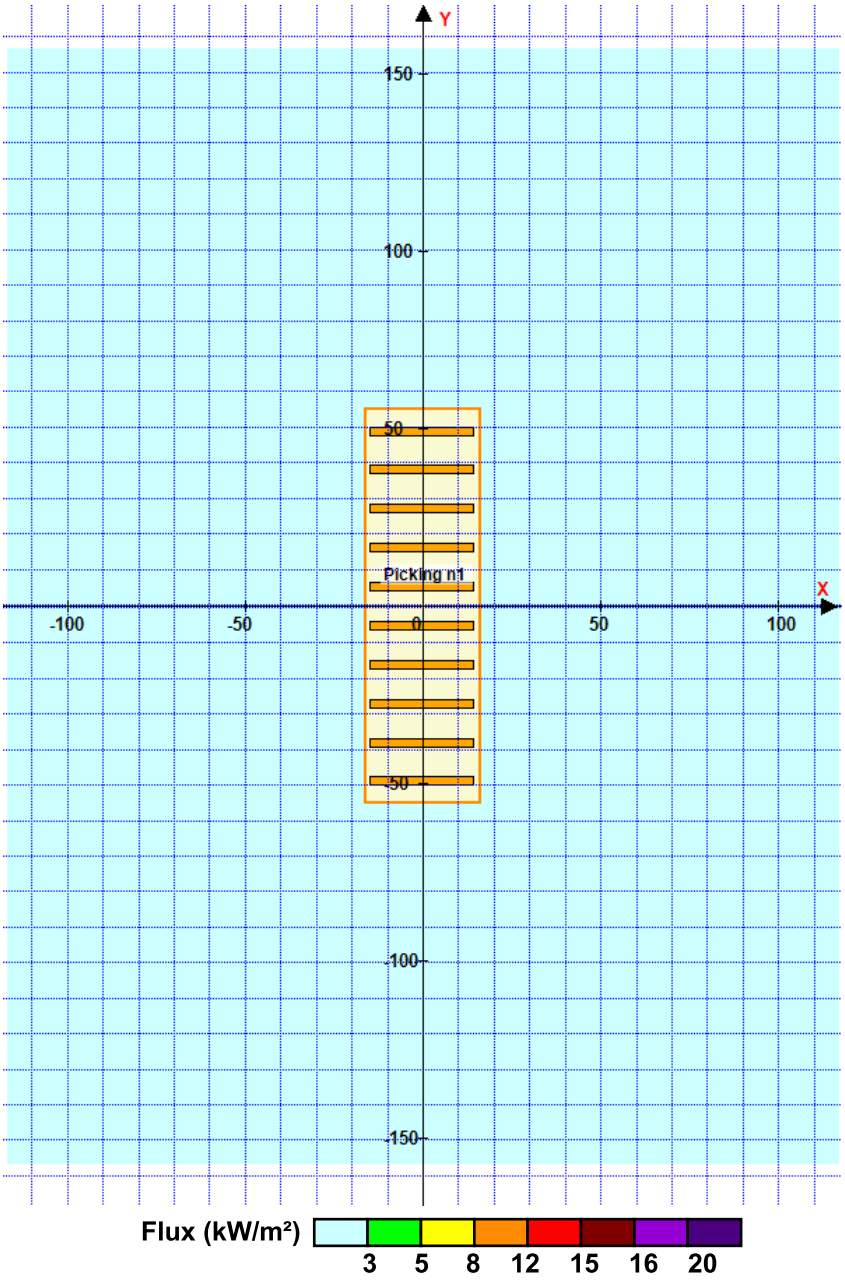
		Coordonnées du premier point		Coordonnées du deuxième point	
Merlon n°	Hauteur (m)	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : **Picking n1**

Durée de l'incendie dans la cellule : Picking n1 **53,0** **min**

Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme,le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

FLUMilog

Interface graphique v.5.4.0.5

Outil de calculV5.54_WD

Flux Thermiques
Détermination des distances d'effets

Utilisateur :	**ZB**
Société :	**GES**
Nom du Projet :	**Pal_int**
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	**28/04/2021 à14:12:45avec l'interface graphique v. 5.4.0.5**
Date de création du fichier de résultats :	**28/4/21**

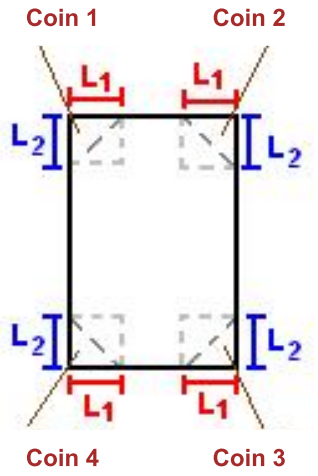
I. DONNEES D'ENTREE :

Donnée Cible

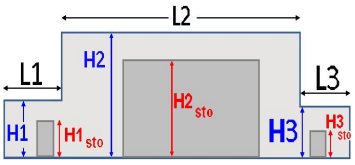
Hauteur de la cible : 1,8 m

Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :Stock palettes vides			
Longueur maximum de la cellule (m)	23,0		
Largeur maximum de la cellule (m)	15,0		
Hauteur maximum de la cellule (m)	8,0		
Coin 1	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 2	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 3	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 4	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0



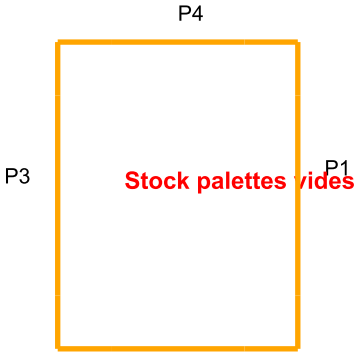
Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0,0	0,0	0,0
H (m)	0,0	0,0	0,0
H sto (m)	0,0	0,0	0,0



Toiture

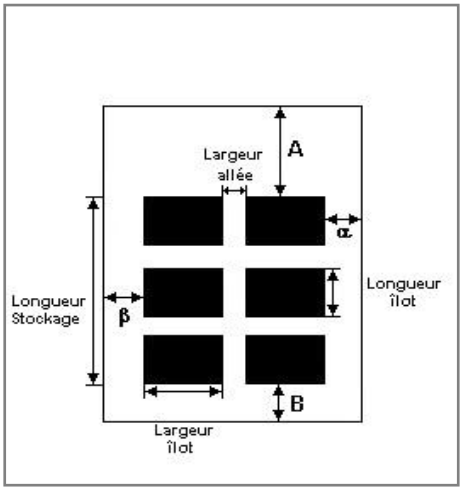
Résistance au feu des poutres (min)	15
Résistance au feu des pannes (min)	15
Matériaux constituant la couverture	metallique multicouches
Nombre d'exutoires	1
Longueur des exutoires (m)	3,0
Largeur des exutoires (m)	2,0

Parois de la cellule : Stock palettes vides



	Paroi P1	Paroi P2	Paroi P3	Paroi P4
Composantes de la Paroi	Multicomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure Support	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton
Nombre de Portes de quais	2	0	0	0
Largeur des portes (m)	2,5	0,0	0,0	0,0
Hauteur des portes (m)	4,0	4,0	0,0	0,0
	Partie en haut à gauche	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*
Matériau	bardage double peau	Beton Arme/Cellulaire	Beton Arme/Cellulaire	Beton Arme/Cellulaire
R(i) : Résistance Structure(min)	15	120	120	120
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	15	120	120	120
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	15	120	120	120
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	15	120	120	120
Largeur (m)	12,0			
Hauteur (m)	4,0			
	Partie en haut à droite			
Matériau	Beton Arme/Cellulaire			
R(i) : Résistance Structure(min)	120			
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120			
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	120			
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	120			
Largeur (m)	11,0			
Hauteur (m)	4,0			
	Partie en bas à gauche			
Matériau	bardage double peau			
R(i) : Résistance Structure(min)	15			
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	15			
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	15			
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	15			
Largeur (m)	12,0			
Hauteur (m)	4,0			
	Partie en bas à droite			
Matériau	Beton Arme/Cellulaire			
R(i) : Résistance Structure(min)	120			
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120			
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	120			
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	120			
Largeur (m)	11,0			
Hauteur (m)	4,0			

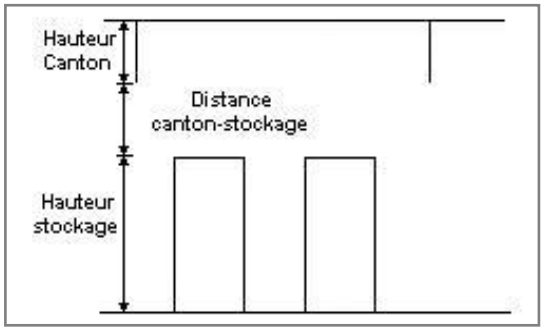
Stockage de la cellule : Stock palettes vides



Mode de stockage	Masse	

Dimensions

Longueur de préparation A	0,2	m
Longueur de préparation B	3,8	m
Déport latéral α	0,0	m
Déport latéral β	0,0	m
Hauteur du canton	1,0	m



Stockage en masse

Nombre d'îlots dans le sens de la longueur	2	
Nombre d'îlots dans le sens de la largeur	2	
Largeur des îlots	6,0	m
Longueur des îlots	8,0	m
Hauteur des îlots	6,0	m
Largeur des allées entre îlots	3,0	m

Palette type de la cellule Stock palettes vides

Dimensions Palette

Longueur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette		
Largeur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette		
Hauteur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette		
Volume de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette		
Nom de la palette :	Palette type 1510	Poids total de la palette :	Par défaut

Composition de la Palette (Masse en kg)

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

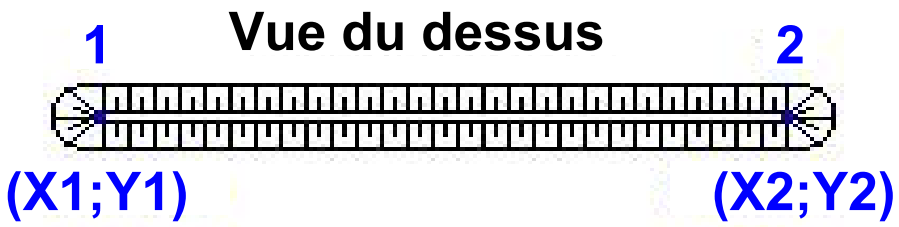
NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0

Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette :	45,0	min
Puissance dégagée par la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette	

Rappel : les dimensions standards d'une Palette type 1510 sont de 1,2 m * 0,8 m x 1,5 m, sa puissance est de 1525,0 kW

Merlons



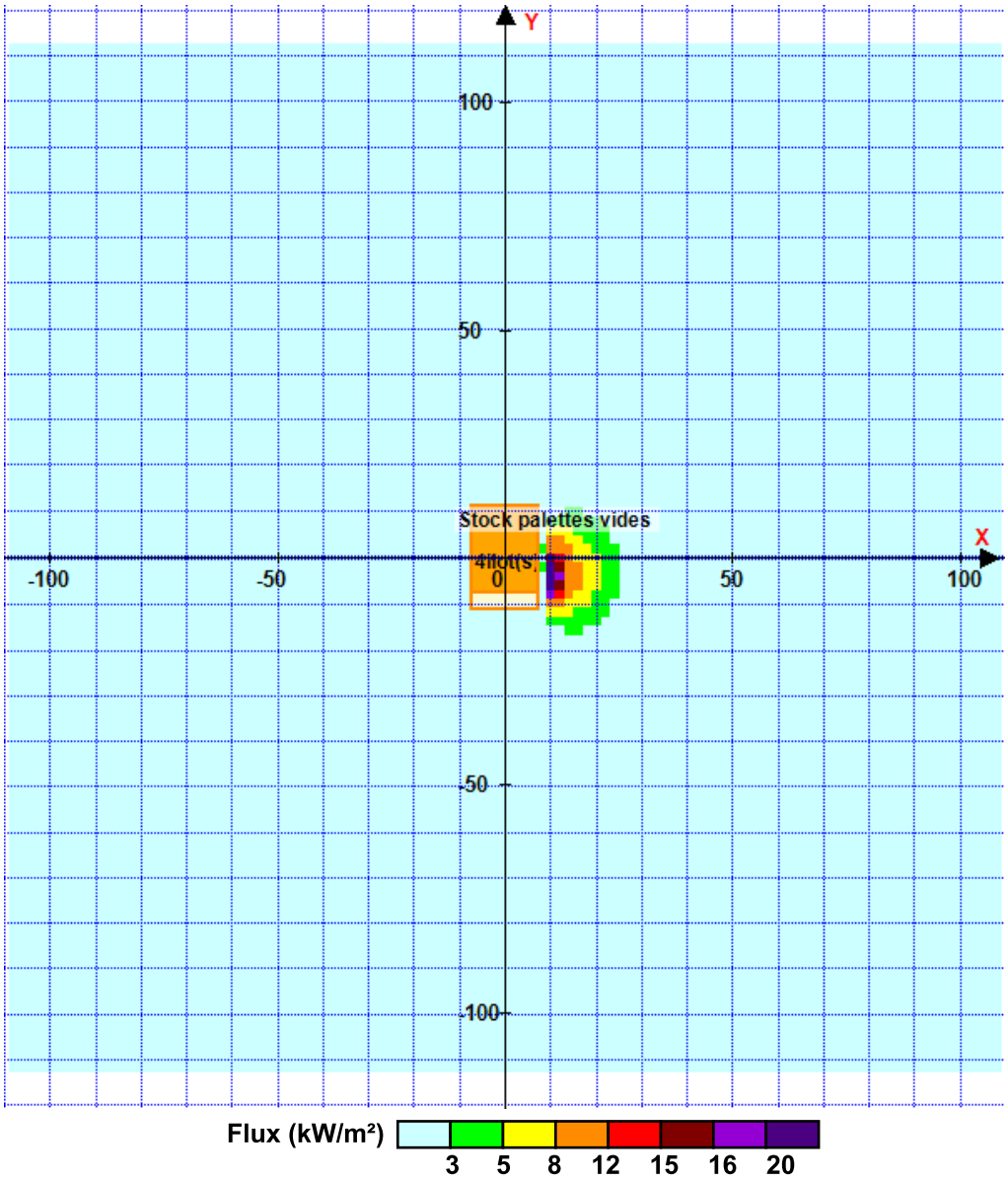
		Coordonnées du premier point		Coordonnées du deuxième point	
Merlon n°	Hauteur (m)	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : Stock palettes vides

Durée de l'incendie dans la cellule : Stock palettes vides 95,0 min

Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme,le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

FLUMilog

Interface graphique v.5.4.0.5

Outil de calculV5.54_WD

Flux Thermiques
Détermination des distances d'effets

Utilisateur :	**ZB**
Société :	**GES**
Nom du Projet :	**Palettes_ext**
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	**28/04/2021 à09:08:14avec l'interface graphique v. 5.4.0.5**
Date de création du fichier de résultats :	**28/4/21**

I. DONNEES D'ENTREE :

Donnée Cible

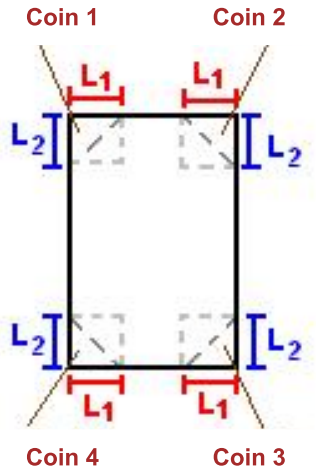
Hauteur de la cible : 1,8 m

Stockage à l'air libre

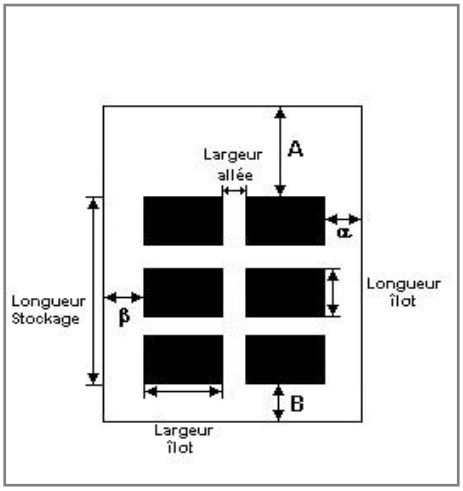
Oui

Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :Palettes			
Longueur maximum de la zone de stockage(m)	15,0		
Largeur maximum de la zone de stockage (m)	15,4		
Coin 1	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 2	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 3	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 4	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0



Stockage de la cellule : Palettes

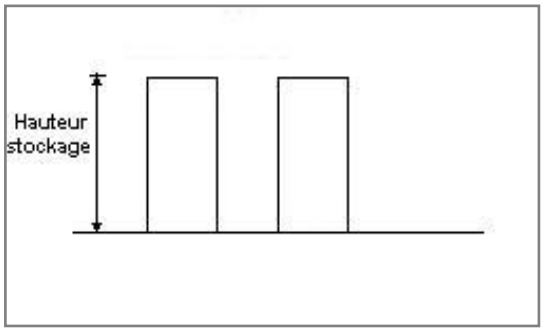


Mode de stockage	Masse	

Dimensions

Longueur de préparation A	0,0	m
Longueur de préparation B	0,0	m
Déport latéral α	0,0	m
Déport latéral β	0,0	m

Stockage en masse



Nombre d'îlots dans le sens de la longueur	1	
Nombre d'îlots dans le sens de la largeur	1	
Largeur des îlots	15,4	m
Longueur des îlots	15,0	m
Hauteur des îlots	3,0	m
Largeur des allées entre îlots	0,0	m

Palette type de la cellule Palettes

Dimensions Palette

Longueur de la palette :	1,2	m
Largeur de la palette :	0,8	m
Hauteur de la palette :	3,0	m
Volume de la palette :	2,9	m^3
Nom de la palette :	Palettes bois	

Poids total de la palette : 300,0 kg

Composition de la Palette (Masse en kg)

Palette Bois	NC	NC	NC	NC	NC	NC
300,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

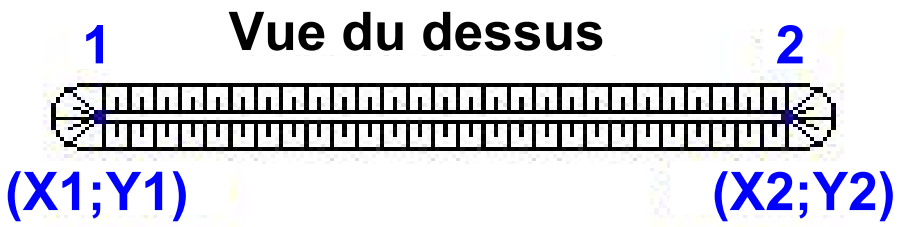
NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0

Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette :	31,4	min
Puissance dégagée par la palette :	2863,6	kW

Merlons



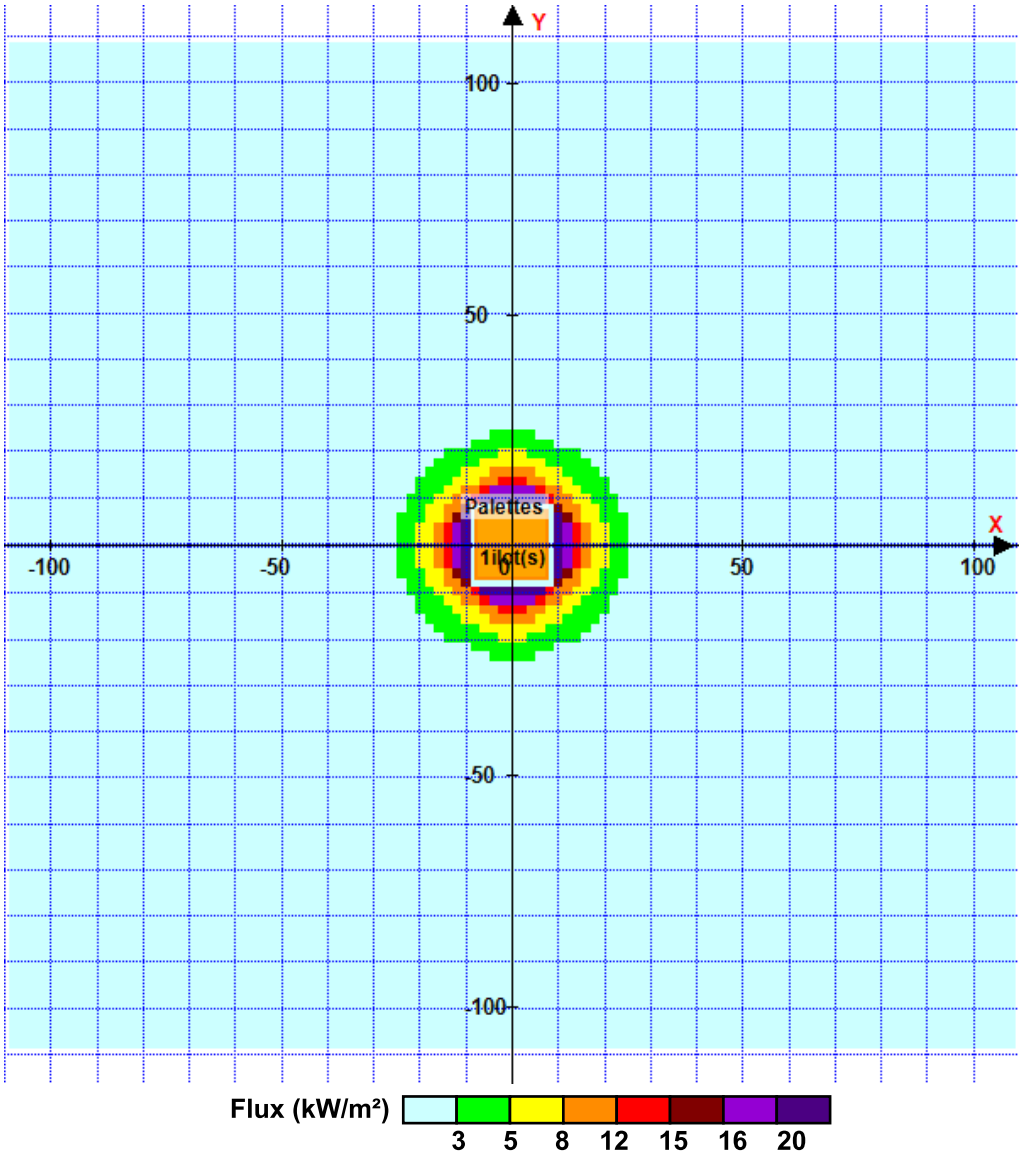
		Coordonnées du premier point		Coordonnées du deuxième point	
Merlon n°	Hauteur (m)	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : Palettes

Durée de l'incendie dans la cellule : Palettes 53,0 min

Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme,le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

FLUMilog

Interface graphique v.5.4.0.5

Outil de calculV5.54_WD

Flux Thermiques
Détermination des distances d'effets

Utilisateur :	**ZB**
Société :	**GES**
Nom du Projet :	**Stockage_Emballages**
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	**28/04/2021 à08:57:27avec l'interface graphique v. 5.4.0.5**
Date de création du fichier de résultats :	**28/4/21**

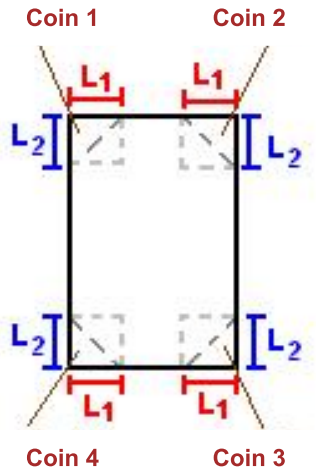
I. DONNEES D'ENTREE :

Donnée Cible

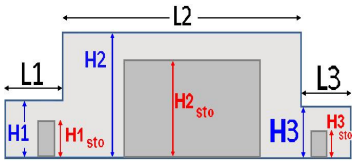
Hauteur de la cible : 1,8 m

Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :Stock Emballages			
Longueur maximum de la cellule (m)	19,4		
Largeur maximum de la cellule (m)	87,0		
Hauteur maximum de la cellule (m)	10,8		
Coin 1	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 2	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 3	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 4	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0



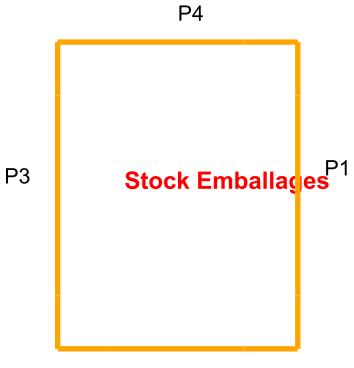
Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0,0	0,0	0,0
H (m)	0,0	0,0	0,0
H sto (m)	0,0	0,0	0,0



Toiture

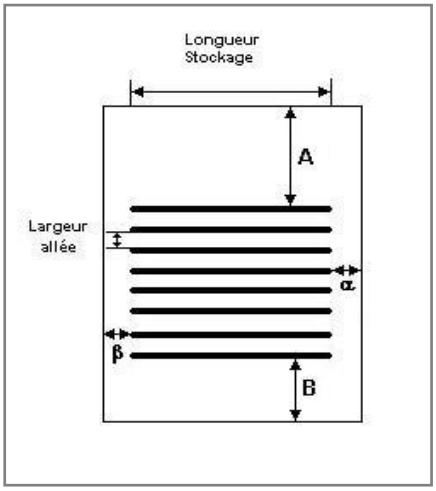
Résistance au feu des poutres (min)	15
Résistance au feu des pannes (min)	15
Matériaux constituant la couverture	metallique multicouches
Nombre d'exutoires	6
Longueur des exutoires (m)	3,0
Largeur des exutoires (m)	2,0

Parois de la cellule : Stock Emballages



	Paroi P1	Paroi P2	Paroi P3	Paroi P4
Composantes de la Paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure Support	Poteau beton	Poteau beton	Poteau Acier	Poteau beton
Nombre de Portes de quais	0	0	3	0
Largeur des portes (m)	0,0	0,0	2,5	0,0
Hauteur des portes (m)	4,0	0,0	3,0	4,0
	Un seul type de paroi	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*
Matériau	Beton Arme/Cellulaire	Beton Arme/Cellulaire	Panneaux sandwich-polyurethane	Beton Arme/Cellulaire
R(i) : Résistance Structure(min)	120	120	15	120
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	120	15	120
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	120	120	15	120
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	120	120	15	120

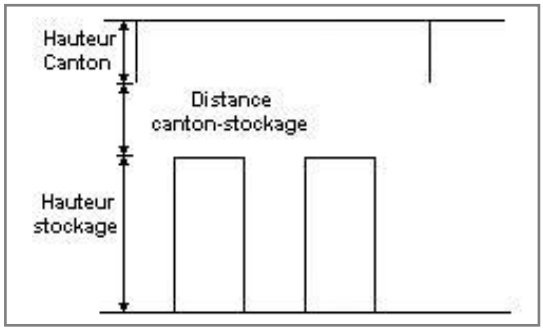
Stockage de la cellule : Stock Emballages



Nombre de niveaux	4	
Mode de stockage	Rack	

Dimensions

Longueur de stockage	78,0	m
Déport latéral A	0,7	m
Déport latéral B	0,7	m
Longueur de préparation α	0,7	m
Longueur de préparation β	8,3	m
Hauteur maximum de stockage	9,0	m
Hauteur du canton	1,0	m
Ecart entre le haut du stockage et le canton	0,8	m



Stockage en rack

Sens du stockage	dans le sens de la paroi 2	
Nombre de double racks	2	
Largeur d'un double rack	2,5	m
Nombre de racks simples	2	
Largeur d'un rack simple	1,3	m
Largeur des allées entre les racks	3,5	m

Palette type de la cellule Stock Emballages

Dimensions Palette

Longueur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Largeur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Hauteur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Volume de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette

Nom de la palette : Palette type 1510 Poids total de la palette : Par défaut

Composition de la Palette (Masse en kg)

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0

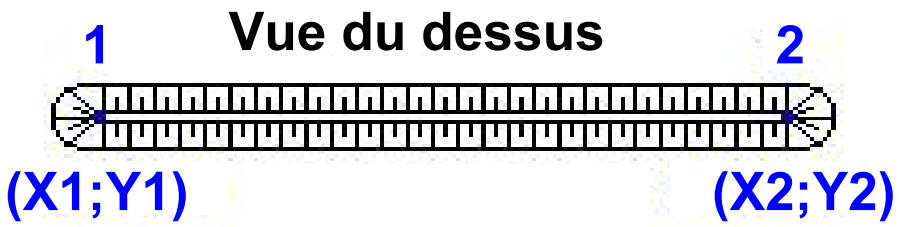
Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette : 45,0 min

Puissance dégagée par la palette : Adaptée aux dimensions de la palette

Rappel : les dimensions standards d'une Palette type 1510 sont de 1,2 m * 0,8 m x 1,5 m, sa puissance est de 1525,0 kW

Merlons



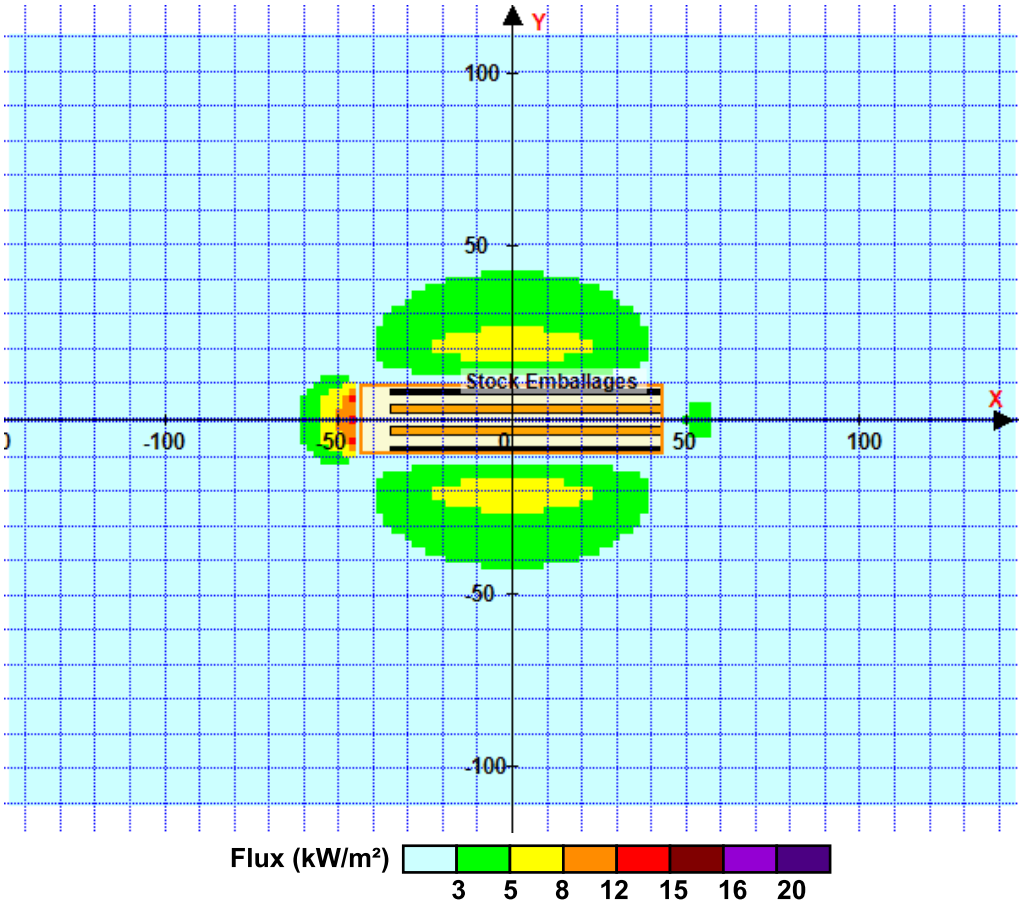
		Coordonnées du premier point		Coordonnées du deuxième point	
Merlon n°	Hauteur (m)	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : Stock Emballages

Durée de l'incendie dans la cellule : Stock Emballages 109,0 min

Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme,le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

FLUMilog

Interface graphique v.5.4.0.5

Outil de calculV5.54_WD

Flux Thermiques
Détermination des distances d'effets

Utilisateur :	**ZB**
Société :	**GES**
Nom du Projet :	**CF1**
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	**27/04/2021 à22:10:42avec l'interface graphique v. 5.4.0.5**
Date de création du fichier de résultats :	**27/4/21**

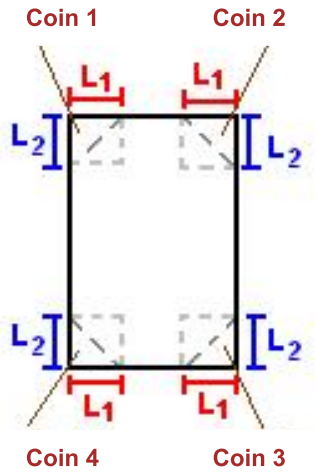
I. DONNEES D'ENTREE :

Donnée Cible

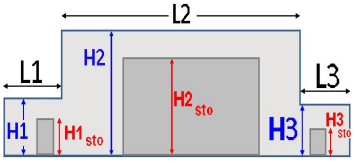
Hauteur de la cible : 1,8 m

Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :CF 1			
Longueur maximum de la cellule (m)	36,0		
Largeur maximum de la cellule (m)	76,3		
Hauteur maximum de la cellule (m)	13,1		
Coin 1	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 2	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 3	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 4	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0



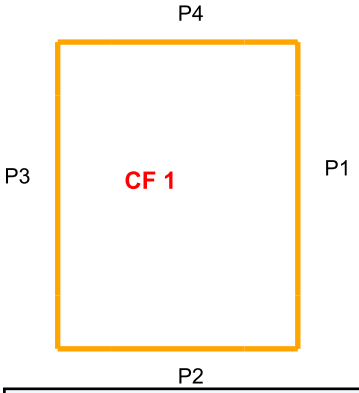
Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0,0	0,0	0,0
H (m)	0,0	0,0	0,0
H sto (m)	0,0	0,0	0,0



Toiture

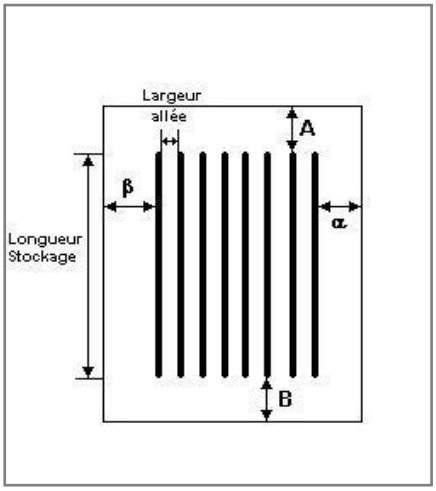
Résistance au feu des poutres (min)	60
Résistance au feu des pannes (min)	60
Matériaux constituant la couverture	metallique multicouches
Nombre d'exutoires	9
Longueur des exutoires (m)	3,0
Largeur des exutoires (m)	2,0

Parois de la cellule : CF 1



	Paroi P1	Paroi P2	Paroi P3	Paroi P4
Composantes de la Paroi	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante	Monocomposante
Structure Support	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton	Poteau beton
Nombre de Portes de quais	0	0	4	0
Largeur des portes (m)	0,0	0,0	2,5	0,0
Hauteur des portes (m)	4,0	4,0	3,0	4,0
	Un seul type de paroi	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*	*Un seul type de paroi*
Matériau	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-laine de roche	Panneaux sandwich-polyurethane	Panneaux sandwich-laine de roche
R(i) : Résistance Structure(min)	60	60	60	60
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	120	15	120
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	120	120	15	120
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	120	120	15	120

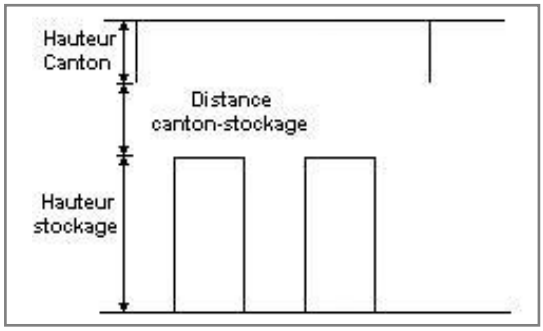
Stockage de la cellule : CF 1



Nombre de niveaux	5	
Mode de stockage	Rack	

Dimensions

Longueur de stockage	31,0	m
Déport latéral α	0,7	m
Déport latéral β	3,8	m
Longueur de préparation A	4,7	m
Longueur de préparation B	0,3	m
Hauteur maximum de stockage	12,0	m
Hauteur du canton	1,1	m
Ecart entre le haut du stockage et le canton	0,0	m



Stockage en rack

Sens du stockage	dans le sens de la paroi 1	
Nombre de double racks	15	
Largeur d'un double rack	2,4	m
Nombre de racks simples	2	
Largeur d'un rack simple	1,2	m
Largeur des allées entre les racks	2,1	m

Palette type de la cellule CF 1

Dimensions Palette

Longueur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Largeur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Hauteur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Volume de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette

Nom de la palette : Palette type 1511 Poids total de la palette : Par défaut

Composition de la Palette (Masse en kg)

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0

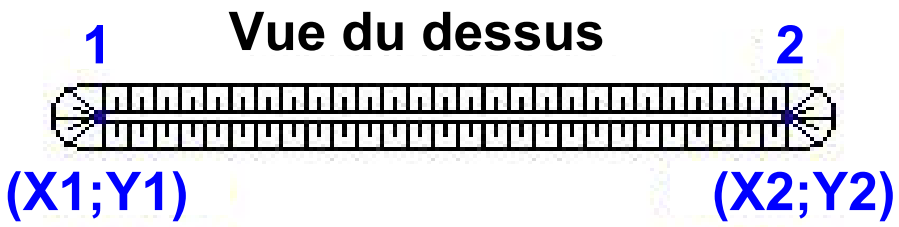
Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette : 45,0 min

Puissance dégagée par la palette : Adaptée aux dimensions de la palette

Rappel : les dimensions standards d'une Palette type 1511 sont de 1,2 m * 0,8 m x 1,5 m, sa puissance est de 1300,0 kW

Merlons



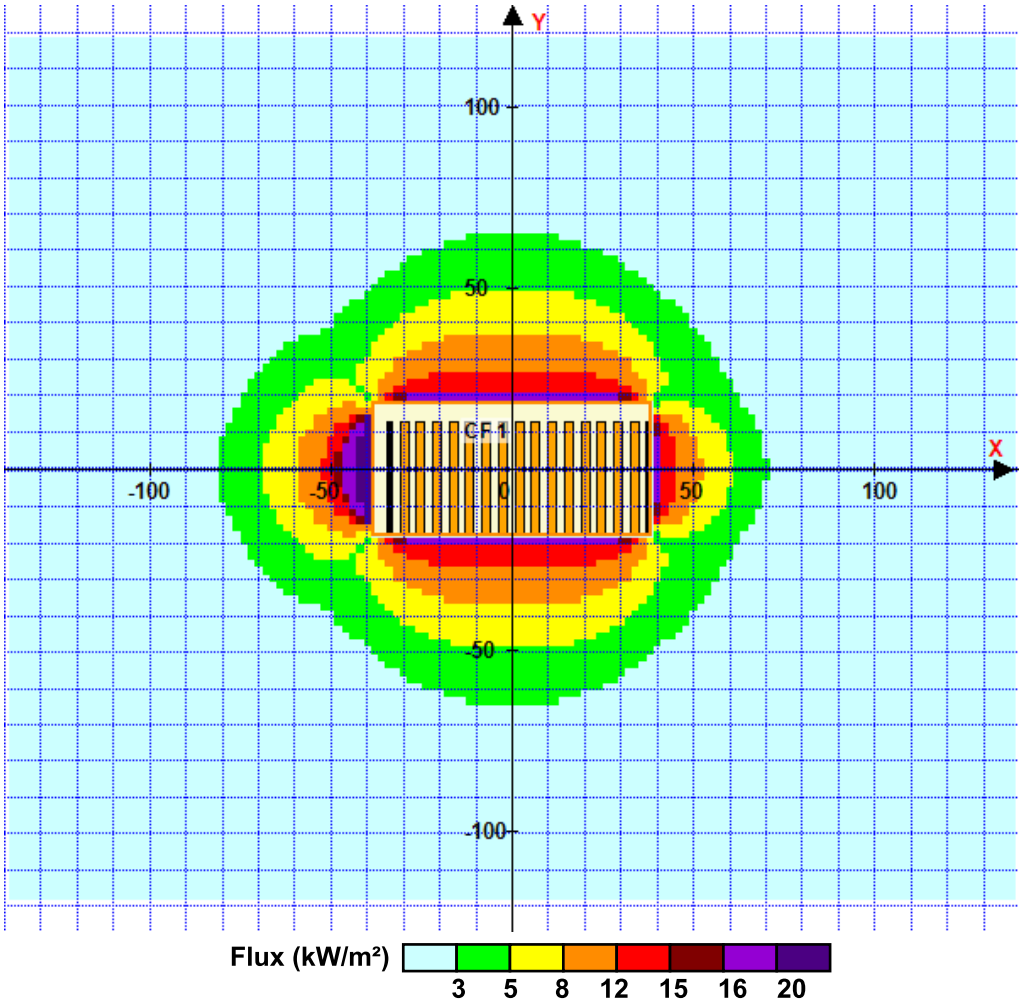
		Coordonnées du premier point		Coordonnées du deuxième point	
Merlon n°	Hauteur (m)	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : CF 1

Durée de l'incendie dans la cellule : CF 1 109,0 min

Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme,le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

FLUMilog

Interface graphique v.5.4.0.5

Outil de calculV5.54_WD

Flux Thermiques
Détermination des distances d'effets

Utilisateur :	**ZB**
Société :	**GES**
Nom du Projet :	**MP1-2**
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	**01/05/2021 à18:14:44avec l'interface graphique v. 5.4.0.5**
Date de création du fichier de résultats :	**1/5/21**

FLUMilog

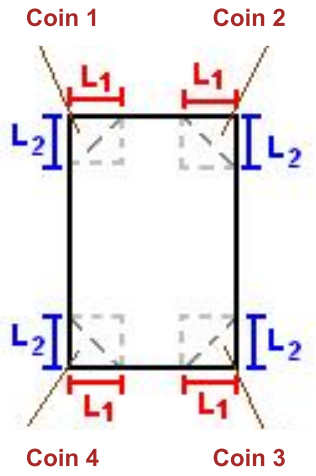
I. DONNEES D'ENTREE :

Donnée Cible

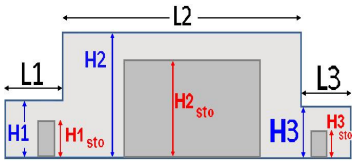
Hauteur de la cible : 1,8 m

Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :Stock MP			
Longueur maximum de la cellule (m)	93,0		
Largeur maximum de la cellule (m)	40,5		
Hauteur maximum de la cellule (m)	9,0		
Coin 1	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 2	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 3	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 4	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0



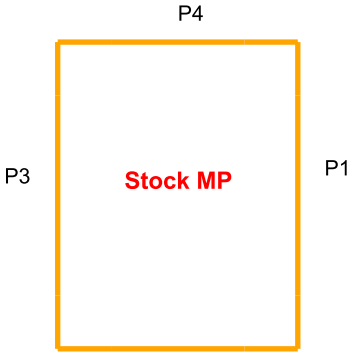
Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0,0	0,0	0,0
H (m)	0,0	0,0	0,0
H sto (m)	0,0	0,0	0,0



Toiture

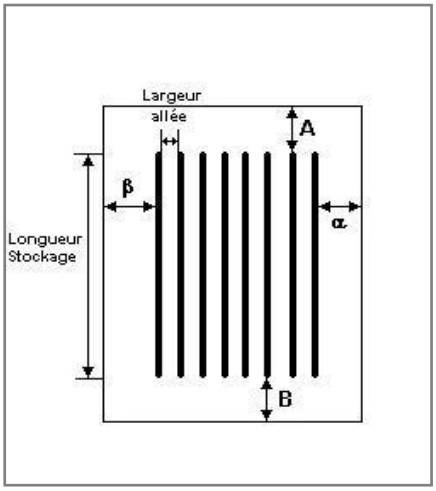
Résistance au feu des poutres (min)	15
Résistance au feu des pannes (min)	15
Matériaux constituant la couverture	metallique multicouches
Nombre d'exutoires	13
Longueur des exutoires (m)	3,0
Largeur des exutoires (m)	2,0

Parois de la cellule : Stock MP



	Paroi P1	Paroi P2	Paroi P3	Paroi P4
Composantes de la Paroi	Monocomposante	Monocomposante	Multicomposante	Monocomposante
Structure Support	Poteau beton	Poteau beton	Poteau Acier	Poteau Acier
Nombre de Portes de quais	0	0	0	0
Largeur des portes (m)	0,0	0,0	2,5	0,0
Hauteur des portes (m)	4,0	0,0	4,0	4,0
	Un seul type de paroi	*Un seul type de paroi*	*Partie en haut à gauche*	*Un seul type de paroi*
Matériau	Beton Arme/Cellulaire	Beton Arme/Cellulaire	bardage double peau	bardage double peau
R(i) : Résistance Structure(min)	120	120	15	15
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	120	15	15
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	120	120	15	15
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	120	120	15	15
Largeur (m)			40,0	
Hauteur (m)			4,5	
			Partie en haut à droite	
Matériau			Panneaux sandwich-laine de roche	
R(i) : Résistance Structure(min)			120	
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)			120	
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)			120	
Y(i) : Résistance des Fixations (min)			120	
Largeur (m)			53,0	
Hauteur (m)			4,5	
			Partie en bas à gauche	
Matériau			bardage double peau	
R(i) : Résistance Structure(min)			15	
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)			15	
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)			15	
Y(i) : Résistance des Fixations (min)			15	
Largeur (m)			40,0	
Hauteur (m)			4,5	
			Partie en bas à droite	
Matériau			Beton Arme/Cellulaire	
R(i) : Résistance Structure(min)			120	
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)			120	
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)			120	
Y(i) : Résistance des Fixations (min)			120	
Largeur (m)			53,0	
Hauteur (m)			4,5	

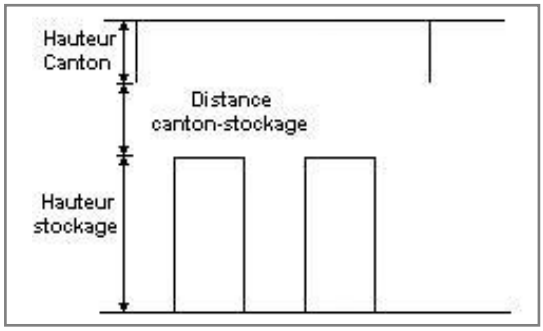
Stockage de la cellule : Stock MP



Nombre de niveaux	4	
Mode de stockage	Rack	

Dimensions

Longueur de stockage	80,0	m
Déport latéral α	5,3	m
Déport latéral β	0,5	m
Longueur de préparation A	6,5	m
Longueur de préparation B	6,5	m
Hauteur maximum de stockage	8,0	m
Hauteur du canton	1,0	m
Ecart entre le haut du stockage et le canton	0,0	m



Stockage en rack

Sens du stockage	dans le sens de la paroi 1	
Nombre de double racks	2	
Largeur d'un double rack	2,4	m
Nombre de racks simples	2	
Largeur d'un rack simple	1,2	m
Largeur des allées entre les racks	9,2	m

Palette type de la cellule Stock MP

Dimensions Palette

Longueur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Largeur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Hauteur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Volume de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette

Nom de la palette : Palette type 1510 Poids total de la palette : Par défaut

Composition de la Palette (Masse en kg)

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0

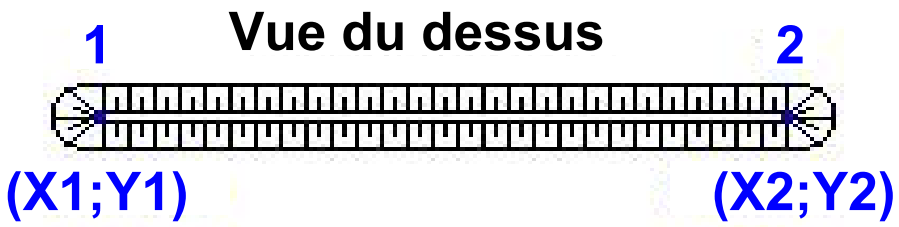
Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette : 45,0 min

Puissance dégagée par la palette : Adaptée aux dimensions de la palette

Rappel : les dimensions standards d'une Palette type 1510 sont de 1,2 m * 0,8 m x 1,5 m, sa puissance est de 1525,0 kW

Merlons



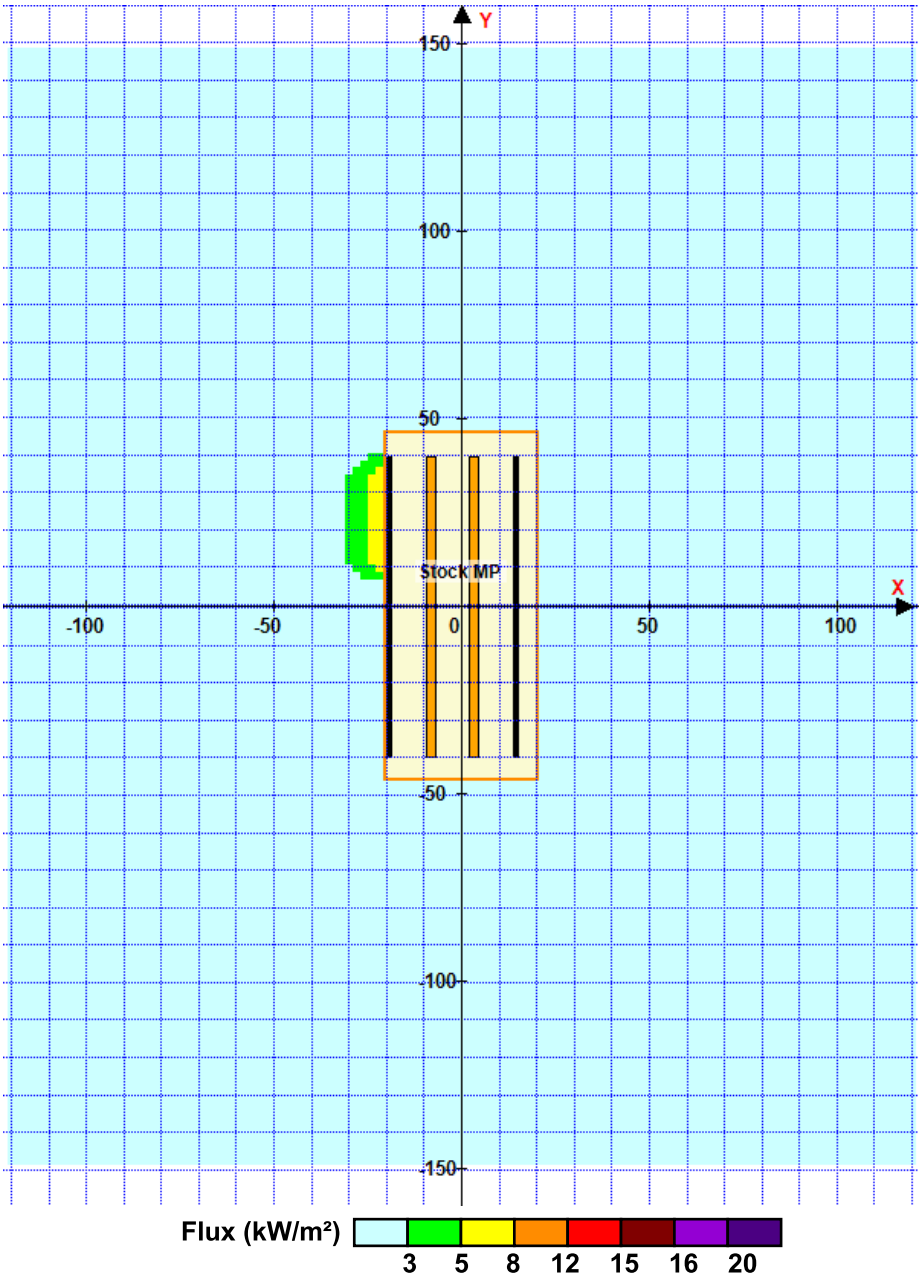
		Coordonnées du premier point		Coordonnées du deuxième point	
Merlon n°	Hauteur (m)	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : Stock MP

Durée de l'incendie dans la cellule : Stock MP 97,0 min

Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme,le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

FLUMilog

Interface graphique v.5.4.0.5

Outil de calculV5.54_WD

Flux Thermiques
Détermination des distances d'effets

Utilisateur :	**ZB**
Société :	**GES**
Nom du Projet :	**MP3-4**
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	**01/05/2021 à18:15:06avec l'interface graphique v. 5.4.0.5**
Date de création du fichier de résultats :	**1/5/21**

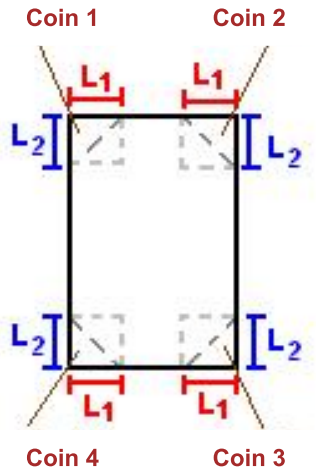
I. DONNEES D'ENTREE :

Donnée Cible

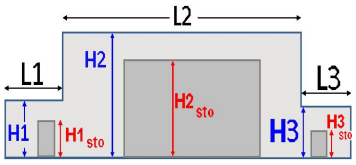
Hauteur de la cible : 1,8 m

Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :Stock MP 3-4			
Longueur maximum de la cellule (m)	98,3		
Largeur maximum de la cellule (m)	40,5		
Hauteur maximum de la cellule (m)	9,0		
Coin 1	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 2	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 3	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0
Coin 4	non tronqué	L1 (m)	0,0
		L2 (m)	0,0



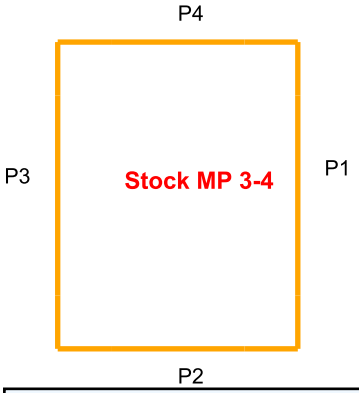
Hauteur complexe			
	1	2	3
L (m)	0,0	0,0	0,0
H (m)	0,0	0,0	0,0
H sto (m)	0,0	0,0	0,0



Toiture

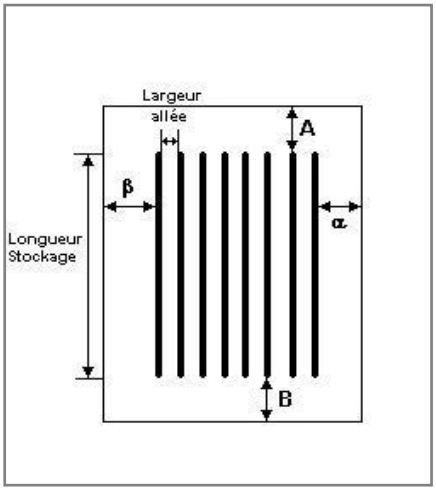
Résistance au feu des poutres (min)	15
Résistance au feu des pannes (min)	15
Matériaux constituant la couverture	metallique multicouches
Nombre d'exutoires	13
Longueur des exutoires (m)	3,0
Largeur des exutoires (m)	2,0

Parois de la cellule : Stock MP 3-4



	Paroi P1	Paroi P2	Paroi P3	Paroi P4
Composantes de la Paroi	Monocomposante	Monocomposante	Multicomposante	Monocomposante
Structure Support	Poteau beton	Poteau beton	Poteau Acier	Poteau beton
Nombre de Portes de quais	0	0	0	0
Largeur des portes (m)	0,0	0,0	2,5	0,0
Hauteur des portes (m)	4,0	0,0	4,0	4,0
	Un seul type de paroi	*Un seul type de paroi*	*Partie en haut à gauche*	*Un seul type de paroi*
Matériau	Beton Arme/Cellulaire	Panneaux sandwich-laine de roche	Beton Arme/Cellulaire	Beton Arme/Cellulaire
R(i) : Résistance Structure(min)	120	15	120	120
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)	120	15	120	120
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)	120	15	120	120
Y(i) : Résistance des Fixations (min)	120	15	120	120
Largeur (m)			39,0	
Hauteur (m)			4,5	
			Partie en haut à droite	
Matériau			bardage double peau	
R(i) : Résistance Structure(min)			15	
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)			15	
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)			15	
Y(i) : Résistance des Fixations (min)			15	
Largeur (m)			59,3	
Hauteur (m)			4,5	
			Partie en bas à gauche	
Matériau			Beton Arme/Cellulaire	
R(i) : Résistance Structure(min)			120	
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)			120	
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)			120	
Y(i) : Résistance des Fixations (min)			120	
Largeur (m)			39,0	
Hauteur (m)			4,5	
			Partie en bas à droite	
Matériau			bardage double peau	
R(i) : Résistance Structure(min)			15	
E(i) : Etanchéité aux gaz (min)			15	
I(i) : Critère d'isolation de paroi (min)			15	
Y(i) : Résistance des Fixations (min)			15	
Largeur (m)			59,3	
Hauteur (m)			4,5	

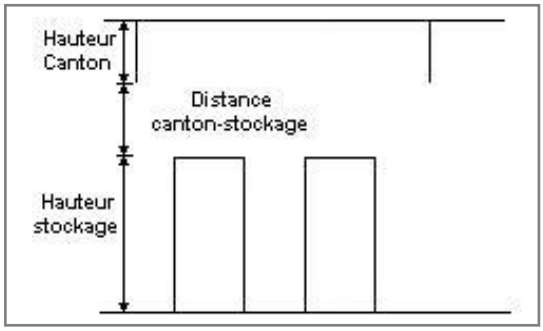
Stockage de la cellule : Stock MP 3-4



Nombre de niveaux	4	
Mode de stockage	Rack	

Dimensions

Longueur de stockage	90,0	m
Déport latéral α	0,5	m
Déport latéral β	0,7	m
Longueur de préparation A	0,7	m
Longueur de préparation B	7,6	m
Hauteur maximum de stockage	8,0	m
Hauteur du canton	1,0	m
Ecart entre le haut du stockage et le canton	0,0	m



Stockage en rack

Sens du stockage	dans le sens de la paroi 1	
Nombre de double racks	2	
Largeur d'un double rack	2,4	m
Nombre de racks simples	2	
Largeur d'un rack simple	1,2	m
Largeur des allées entre les racks	10,7	m

Palette type de la cellule Stock MP 3-4

Dimensions Palette

Longueur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Largeur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Hauteur de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette
Volume de la palette :	Adaptée aux dimensions de la palette

Nom de la palette : Palette type 1510 Poids total de la palette : Par défaut

Composition de la Palette (Masse en kg)

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0

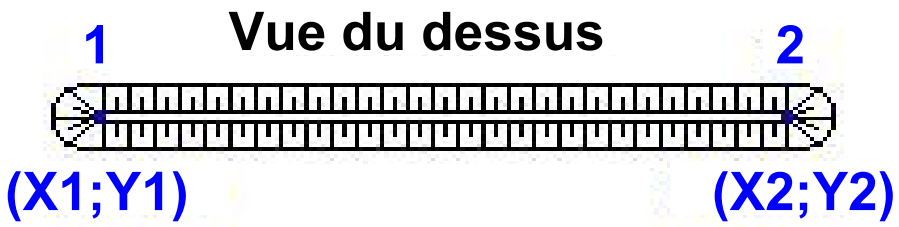
Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette : 45,0 min

Puissance dégagée par la palette : Adaptée aux dimensions de la palette

Rappel : les dimensions standards d'une Palette type 1510 sont de 1,2 m * 0,8 m x 1,5 m, sa puissance est de 1525,0 kW

Merlons



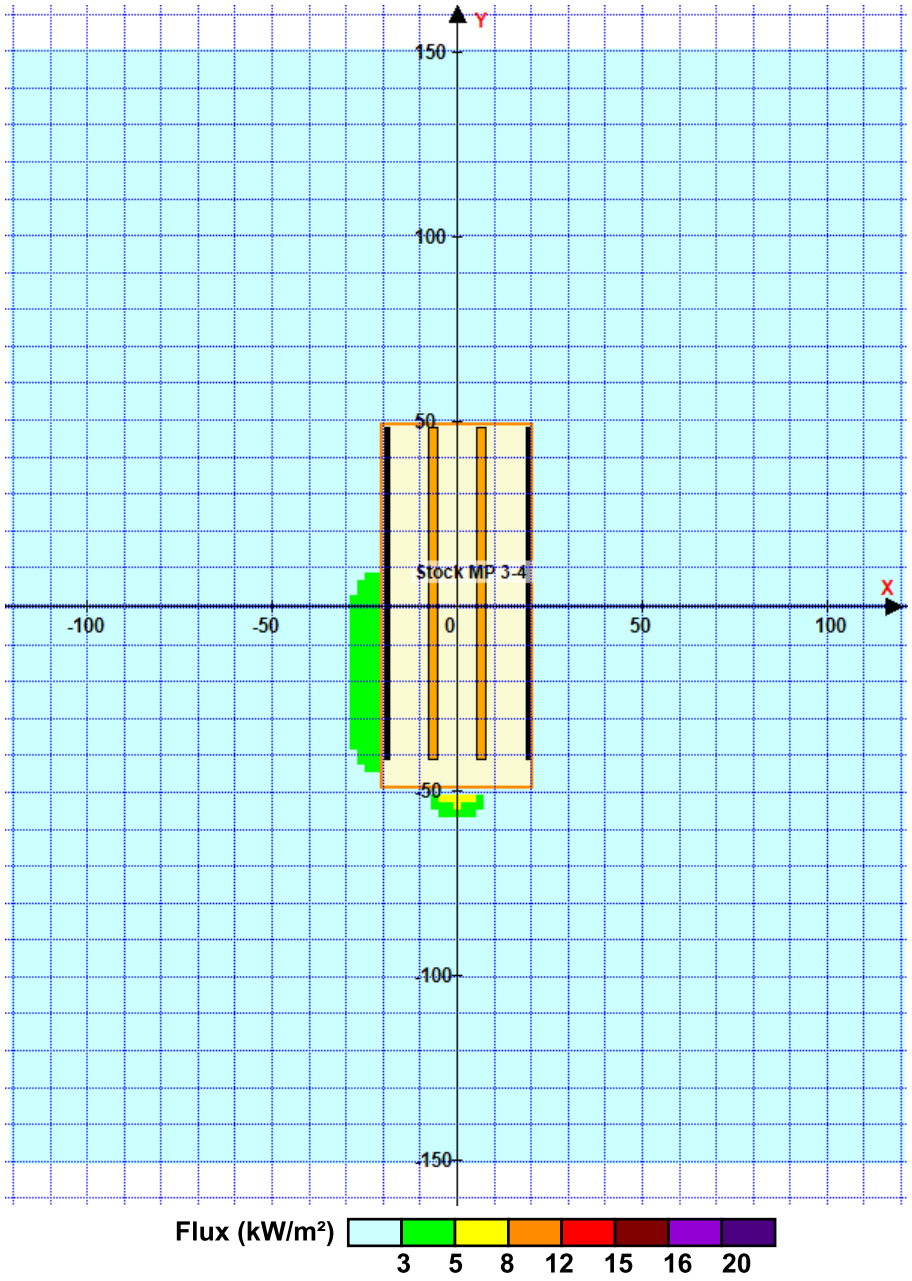
		Coordonnées du premier point		Coordonnées du deuxième point	
Merlon n°	Hauteur (m)	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : Stock MP 3-4

Durée de l'incendie dans la cellule : Stock MP 3-4 97,0 min

Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme,le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

ANNEXE 5

Etude des effets toxiques des fumées

CONSEIL INDEPENDANT
EN ENVIRONNEMENT

Réseau PRODUIT EN BRETAGNE



à Liffré (35 340)

Création d'une unité de transformation de pains et viennoiseries

Demande d'autorisation environnementale

ANNEXE 5 Modélisation des effets toxiques des fumées

GES n° 192871 Novembre 2020

AGENCE OUEST
Z.I des Basses Forges
35530 NOYAL-SUR-VILAINE
Tél. 02 99 04 10 20
Fax 02 99 04 10 25
e-mail : ges-sa@ges-sa.fr

AGENCE NORD
80 rue Pierre-Gilles de Gennes
02000 BARENTON BUGNY
Tél. 03 23 23 32 68
Fax 09 72 19 35 51
e-mail : ges-laon@ges-sa.fr

AGENCE EST
870 avenue Denis Papin
54715 LUDRES
Tél. 03 83 26 02 63
Fax 03 26 29 75 76
e-mail : ges-est@ges-sa.fr

AGENCE SUD-EST-CENTRE
La Chapelle - 42155
ST-JEAN ST-MAURICE/LOIRE
Tél. 04 77 63 30 30
Fax 04 77 63 39 80
e-mail : ges-se@ges-sa.fr

AGENCE SUD-OUEST
Forge
79410 ECHIRÉ
Tél. 05 49 79 20 20
Fax 09 72 11 13 90
e-mail : ges-so@ges-sa.fr

Sommaire

1. CONTEXTE 3
2. METHODOLOGIE 3
2.1. EVALUATION DE LA NATURE DES FUMEES 4
2.2. CARACTERISATION THERMOCINETIQUE DE L'INCENDIE 4
2.2.1. DEBITS 4
2.2.2. HAUTEUR D'EMISSION DES FUMEES 4
2.2.3. TEMPERATURE 5
2.2.4. VITESSE DU PANACHE 5
2.3. MODELISATION DE LA DISPERSION DES FUMEES 6
2.3.1. CONDITIONS METEOROLOGIQUES 6
2.3.2. CONDITIONS OROGRAPHIQUES 7
2.3.3. DUREE DE MOYENNAGE 7
2.4. ANALYSE DES EFFETS TOXIQUES 7
3. MODELISATION DES EFFETS TOXIQUES DES FUMEES EN CAS D'INCENDIE DE L'ENTREPOT GRANDE HAUTEUR 9
3.1. DONNEES – HYPOTHESES DE CALCUL 9
3.2. GAZ TOXIQUES DE COMBUSTION PRODUITS 12
3.2.1. Données issues de la littérature 12
3.2.2. Détermination des taux de production des gaz toxiques de combustion 14
3.3. CARACTERISTIQUES DES FUMEES EMISES 15
3.3.1. DEBIT DES FUMEES 15
3.3.2. COMPOSITION DES FUMEES 15
3.3.3. HAUTEUR, VITESSE ET TEMPERATURE DES FUMEES 15
3.3.4. TOXICITE DES FUMEES 16
3.4. ETUDE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES FUMEES 17
3.5. INTERPRETATION DES RESULTATS 18

1. CONTEXTE

Il s'agit de modéliser la dispersion des fumées toxiques en cas d'incendie de l'entrepôt.

L'étude EFECTIS sur l'incendie des cellules MGH a conclu en l'absence de propagation entre les cellules. Nous retenons pour la modélisation des effets toxiques des fumées la situation suivante : incendie d'une cellule du MGH.

Les hypothèses retenues sont les suivantes pour les calculs :

- stockage de produits 1511 (pains et viennoiseries) ;
- entrepôt de grande hauteur (40 m) ;
- parois isolantes constituées de panneaux sandwich PIR (polyisocyanurate).

La toiture est fixée sur une structure béton REI 120, ces éléments se détacheront de la structure dès le début de l'incendie. Dans ces conditions il n'est pas tenu compte de la sous oxygénation.

2. METHODOLOGIE

La méthodologie d'évaluation du terme source et de la dispersion des fumées de l'incendie est basée sur le rapport INERIS Ω-16 *« Toxicité et dispersion des fumées d'incendie – Phénoménologie et modélisation des effets »*.

Sous l'effet d'une augmentation de température, les produits sont susceptibles de conduire à la formation de substances toxiques telles que CO (monoxyde de carbone), CO2 (dioxyde de carbone), HCN (cyanure d'hydrogène), NO2 (dioxyde d'azote), HCl (chlorure d'hydrogène). Ces émissions s'accompagnent d'émissions de suies et de fumées.

La méthodologie utilisée pour modéliser la dispersion atmosphérique des fumées se déroule selon les étapes suivantes :

1. Caractérisation du terme source :

- Produits susceptibles d'être pris dans l'incendie,
- Estimation de la production des fumées toxiques en fonction des produits précédemment identifiés. Détermination de la composition des fumées toxiques produites,
- Détermination des caractéristiques thermocinétiques du feu : débit, hauteur et température des fumées émises.

2. Modélisation de la dispersion atmosphérique des fumées.

La modélisation a été réalisée grâce au logiciel Phast. Prise en compte des conditions météorologiques et orographiques, et détermination des concentrations des fumées au sol et en hauteur.

3. Analyse des effets toxiques. Cette analyse est effectuée en comparant la dispersion des concentrations des fumées avec les seuils de toxicité définis.

2.1. EVALUATION DE LA NATURE DES FUMEES

La composition chimique des éléments impliqués dans l'incendie va être étudiée afin de déterminer la nature chimique des émissions : par combustion des matières combustibles ou décomposition thermique pour les matières incombustibles.

Les substances émises dans les fumées peuvent se retrouver sous forme : gazeuse, liquide : dissoutes dans des gouttelettes d'eau ou sous forme d'aérosols, ou absorbée dans les particules de suies.

La première étape consiste à décomposer les produits inventoriés dans l'incendie en éléments simples : C, H, O, N, S… à partir de données issues de la composition des palettes et des fiches techniques des panneaux lorsque cela est possible ou de recherches dans la littérature.

La quantification des différents gaz toxiques émis dépend de conditions externes : température et taux d'oxygène. Ils sont évalués sur la base d'hypothèses fondées sur des résultats d'essais (INERIS, CNPP).

Limites de la méthode
Les gaz ou vapeurs toxiques principaux sont retenus pour les modélisations. Les produits de combustion secondaires (imbrûlés, suies, aérosols...) ne sont pas retenus car ils ne constituent pas le principal facteur de risque. Les principaux facteurs de risques de blessure d'un incendie sont la chaleur et les principaux gaz composants les fumées : CO, HCl…
De plus, aucune étude expérimentale n'a permis de quantifier les produits secondaires de combustion et leurs effets sur la santé.
Les éventuelles réactions chimiques entre les substances émises, qui pourraient potentiellement générer d'autres gaz ou vapeurs par recombinaison des éléments chimiques ne sont pas prises en compte dans cette étude par manque de connaissance sur ces réactions.

2.2. CARACTERISATION THERMOCINETIQUE DE L'INCENDIE

2.2.1. DEBITS

Le débit de fumées est estimé en appliquant le modèle de Heskestad (1984). Selon cette corrélation, le débit des fumées (mélange des gaz toxiques et de l'air) est proportionnel à la puissance de l'incendie, en tenant compte d'un rendement de 95 %.
La formule est la suivante :

Qfum (kg/s) = 3,24 x P x 95%

La puissance P est calculée selon l'équation suivante :

P (MW) = m' x s x PCI

m'	:	taux massique surfacique de combustion (kg/m².s)
s	:	surface du foyer (m²)
PCI	:	pouvoir calorifique inférieur (MJ/kg)

2.2.2. HAUTEUR D'EMISSION DES FUMEES

Les fumées sont émises en partie supérieure du volume formé par les flammes.

Dans cette étude, la hauteur de flammes est prise, de façon forfaitaire, égale à la demi-hauteur du bâtiment. Cette hypothèse est conservatrice car moins la hauteur d'émission des fumées est élevée et plus il y a de risque pour les personnes au sol.

2.2.3. TEMPERATURE

L'écart de température entre le centre du panache et la température ambiante s'exprime comme suit :

$$\Delta T_0 = 25\ Q_c^{2/3}(z-z_0)^{-5/3}$$

avec :

- ΔT_0 : écart de température entre le centre et l'ambiante (K) (Ta = 288 K)
- Q_c : puissance totale convectée (kW)
- z : hauteur du rejet
- z_0 : origine virtuelle (m) avec $z_0 = -2{,}4\ Deq + 0{,}095\ Q_{2/5}$

et Deq = racine(4 x aire du foyer/PI)

2.2.4. VITESSE DU PANACHE

La vitesse du panache de l'incendie :

$$u_0 = 1{,}03\ Q_c^{1/3}(z-z_0)^{-1/3}$$

avec

- u_0 : vitesse du panache de l'incendie (m/s)
- Q_c : puissance totale convectée (kW)
- z : hauteur du rejet
- z_0 : origine virtuelle (m)

2.3. MODELISATION DE LA DISPERSION DES FUMEES

La dispersion atmosphérique est modélisée grâce logiciel PHAST version 6.53. Ce logiciel, commercialisé par DNV Software, est largement utilisé dans l'industrie pour l'estimation des conséquences d'accidents. Il permet de modéliser différents types de termes sources (débits à la brèche, débits d'évaporation, …), ainsi que la dispersion atmosphérique de rejets.
La présente modélisation est paramétrée fait conformément au « Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation du logiciel PHAST à l'usage des industriels de l'industrie chimique » – Septembre 2012.

Les trois paramètres importants pour la phase de dispersion qu'intègre le logiciel PHAST sont :

- les conditions météorologiques ;
- Les particularités de la topographie du site, par l'intermédiaire d'un paramètre de rugosité
- un facteur correctif de dispersion du nuage (durée de moyennage).

2.3.1. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Les conditions météorologiques retenues seront celles définies pour les rejets verticaux et/ou en hauteur dans la fiche n°2 (sur la dispersion toxique) de la partie 1 de la circulaire du 10 mai 2010 *récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.*

Les conditions météorologiques régissent la cinétique de la phase gaz après la phase de rejet. Une classification de la stabilité atmosphérique peut être effectuée au travers des classes de Pasquill qui varient de A à F, de l'atmosphère la plus instable à la plus stable.
Les classes de stabilité peuvent être associées à des conditions météorologiques données (voir le tableau ci-après).
Elles sont définies par une classe de stabilité (classe de Pasquill), la vitesse de vent à 10 mètres de hauteur et la température ambiante.

Tableau 1 : Classes de stabilité de Pasquill-Turner

Vitesse du vent à 10 m	**JOUR**			**NUIT**	
	Rayonnement solaire incident			**Nébulosité**	
[m/s]	Fort	Modéré	Faible	Entre 4/8 et 7/8	<3/8
<2	A	A-B	B	F	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Quelles que soient les conditions atmosphériques, l'humidité relative de l'air est considérée égale à 70%.

2.3.2. CONDITIONS OROGRAPHIQUES

Les conditions orographiques traduisent essentiellement l'état de « rugosité » du sol, influant sur la turbulence atmosphérique et donc sur la dispersion.
La rugosité peut être interprétée comme un coefficient de frottement du nuage sur le sol, et produit deux types d'effets antagonistes :

- elle augmente la turbulence, ce qui favorise la dilution ;
- elle freine le nuage, ce qui favorise l'effet d'accumulation et la concentration.

La rugosité a une influence sur la dispersion des nuages de gaz lourds, se diffusant plus facilement au sol, du fait de leur densité plus élevée que celle de l'air. Dans le cas de la dispersion des fumées d'incendie, ce paramètre est peu influent, car le panache de fumée a une densité proche de celle de l'air : les fumées sont principalement composées de l'air entraîné, et sont émises au niveau de la hauteur des flammes.
Nous avons considéré l'hypothèse majorante dans le logiciel PHAST 6.53 avec une rugosité de surface de 1 m qui correspond à une zone imperméabilisée.

Toutefois, il convient de préciser que le relief ne peut pas être pris en compte dans le modèle.

2.3.3. DUREE DE MOYENNAGE

Selon le document de l'INERIS N° DRA-10-109949-12423A, dans le cas d'un rejet continu ou semi continu, il conviendrait d'adapter la durée de moyennage (« averaging time ») à la durée de passage d'un nuage. De façon prudente, l'INERIS préconise d'utiliser **600 s** comme valeur limite maximale de durée de moyennage.

2.4. ANALYSE DES EFFETS TOXIQUES

Le mode d'exposition aux fumées est aigu, par opposition aux expositions chroniques ou subchroniques pour lesquelles sont définis d'autres seuils de référence.

La seule voie d'exposition retenue est l'inhalation aigüe.

Les seuils d'effets toxiques sont définis par 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.

Ces seuils sont définis, correspondant à trois types d'effets :

- le seuil des effets létaux significatif (SELS) : concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle on peut observer une mortalité de 5 % au sein de la population exposée ;
- le seuil des premiers effets létaux (SPEL) : concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle on peut observer une mortalité de 1 % au sein de la population exposée ;
- le seuil des effets irréversibles (SEI) : concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle des effets irréversibles peuvent apparaître au sein de la population exposée.

Les seuils de toxicité aiguë considérés sont ceux définis par l'ANSES, puis l'INERIS.

A défaut, il est possible d'utiliser les seuils suivants par ordre de priorité :

- les seuils AEGLs (Acute Exposure Guideline Levels) de l'US EPA,

- les seuils ERPG (Emergency Response Planning Guidelines) de l'AIHA,
- les seuils IDLH (Immediately Dangerous to Life ou Health concentrations),
- et les seuils TEEL (Temporary Exposure Emergency Limits) définis par le ministère des transports aux Etats-Unis.

On définit les seuils de toxicité équivalents des fumées selon la loi d'additivité[1]:

$$SELS_{équivalent} = \frac{1}{\sum \frac{p_i}{SELS_i}} \qquad SPEL_{équivalent} = \frac{1}{\sum \frac{p_i}{SPEL_i}} \qquad SEI_{équivalent} = \frac{1}{\sum \frac{p_i}{SEI_i}}$$

avec :

pi	:	proportion de la substance dans les fumées (% massique)
SELSi ; SPELi, SEIi	:	seuil d'effets de la substance i (mg/m3 ou ppm)

L'application de cette loi permet la prise en compte les différents gaz composants les fumées (CO, HCl …) dilués par une grande quantité d'air.
Cette approche ne permet cependant pas d'étudier les mécanismes inconnus entre les différents gaz composants les fumées : effets de synergies ou d'antagonismes.
La voie d'exposition étant la même pour toutes les substances, la toxicité spécifique de chaque gaz est étudiée.

La zone de dangers identifiée correspond à la distance maximale au-delà de laquelle la concentration en fumées est inférieure au seuil toxique équivalent considéré.

Ces distances sont le résultat de la modélisation de la dispersion atmosphérique. Elles sont déterminées pour une cible supposée verticale, placée à 1,8 m de hauteur correspondant à la hauteur d'homme.
Les effets en altitude, dans le panache, sont également indiqués à titre informatif. Une hauteur de 30 m maximum est considérée (valeur courante pour la hauteur maximale d'un bâtiment (immeuble de grande hauteur)).

[1] INERIS-DRA-10-109949-12423A

3. MODELISATION DES EFFETS TOXIQUES DES FUMEES EN CAS D'INCENDIE DE L'ENTREPOT GRANDE HAUTEUR

3.1. DONNEES – HYPOTHESES DE CALCUL

Surface du foyer	Surface = 100 X 34 = 3 400 m²
Entrepôt	Hauteur sous faîtage : 36 m Hauteur à l'acrotère : 40 m Hauteur de stockage : 35 m
Produits impliqués dans l'incendie	Les produits impliqués dans l'incendie et pris en compte dans les calculs sont (voir détail en dessous du tableau) : Les palettes types composées : - Farine/glucose (38%) - Beurre/lipides (37%) - Farine/protide (13%) - Plastique (6%) - Carton (6%) - Bois (7%) Les parois en panneaux isothermes polyisocyanurate
Taux massique surfacique de combustion	24,5 g/m2/s
Hauteur et position de la cible	La cible est supposée verticale, placée à 1,8 m de hauteur = stature (valeur haute, majorante) d'un homme. Les effets en hauteur, dans le panache, sont également indiqués à titre informatif. Une hauteur de 40 m maximum est considérée (valeur courante pour la hauteur maximale d'un bâtiment).
PCI moyen	10,6 MJ/kg issus de la valeur expérimentale de l'essai palette produits finis
Durée d'exposition des cibles	3 600 secondes Valeur usuellement retenue pour la modélisation des effets des fumées d'incendie, car il s'agit d'un phénomène dangereux de longue durée (conforme aux recommandations de la circulaire du 10 mai 2010)
Logiciel de calcul	PHAST 6.53

Les produits combustibles stockés identfiés dans le MGH sont :

- Panneaux parois : panneaux PIR polyisocyanate
- Toiture et couverture : Multicouche Complexe bac acier, isolant laine de verre 130 mm
- Palette type produits finis BRIDOR composée par :
  - Palette bois,
  - Emballages plastique et carton
  - Farine,
  - Beurre,
  - Eau

- Matériaux des panneaux des parois et toitures :

Les toitures sont constituées de panneaux avec isolant en laine de roche incombustible.

Les parois sont constituées :
- De panneaux intérieurs isothermes en polyisocyanurate Bs2d0
- De panneaux extérieurs incombustible en laine de roche (A2S1d0).

Produit	Surface (m^2)	Epaisseur (mm)	Volume (m^3)	Densité (kg/m^3)	Poids total (t)
Parois intérieures Polyisocyanurate	(L + l) x h x 2 (98 + 31) x 39 x 2 9984 m^2	200	≈ 2000	40	80
Total polyisocyanurate					80

L'épaisseur des panneaux a été fournie par les données constructeur. La densité du panneau est issue du document Technique d'Application n° 2.3/18-1796_V2.

- Palette produit finis

La palette type a été caractérisée lors de l'essai palette réalisé par Efectis.

La palette type produits finis BRIDOR était composée :
- De 48 cartons répartis sur 8 niveaux dont :
  - 24 cartons de mini-pains au chocolat ;
  - 10 cartons de croissants ;
  - 14 cartons de pains surgelés bio.
- De plastique d'emballage ;
- Et d'une palette en bois de dimensions 80 cm x 120 cm.

La palette totale est composée de 24 cartons de 7,30 kg de mini-pains au chocolat, 10 cartons de 10,8 kg de croissants et 14 cartons de 7,40 kg de pains surgelés bio.

La masse totale mesurée de la palette testée est d'environ 459 kg. Les masses totales de plastique composant l'emballage, de carton, et des viennoiseries et pains surgelés sont déterminées sur la base des informations fournies dans la fiche de palettisation et sur des décompositions forfaitaires des pains et viennoiseries en eau, farine et beurre. Sur cette base, la chaleur de combustion moyenne théorique, déterminée à partir des chaleurs de combustion issues de la littérature serait de 22,9 MJ/kg.

Tableau 2 : Composition d'une palette type de produits finis

Description	Masse (kg)	Chaleur combustion (MJ/kg)	Énergie (MJ)
Palette bois	25	18	450
Plastique (emballages)	24,15	40	966
Carton (emballages)	24,15	18	435
Farine	193	17	3 281
Beurre	141	38	5 372
Eau	51,7	0	0
Total	**459**	**22,9**	**10 504**

Les films plastiques sont en polyéthylène (PE) ou polypropylène (PP).

La farine est composée essentiellement d'amidon (70%), d'eau (16%) et de gluten (12%). La composition retenue est :

- ¾ : glucides (glucose, fructose)
- ¼ : protéines (gluten)

Le beurre est composé principalement de matières grasses (82%) et d'eau (16%). La composition retenue pour le beurre sera de 100% de lipides (acides myristique : acide gras saturé présent dans le lait).

Cette approche est majorante car il n'est pas tenu compte de l'eau dans les produits.

Tableau 3 : Proportions de la palette type produits finis

Composant	Poids (kg)	%
Farine/glucose	144,75	38%
Beurre/lipides	141	37%
Farine/protide	48,25	13%
Plastique	24,15	6%
Carton	24,15	6%
Bois	25	7%
TOTAL	**382,3**	

Synthèse :

Tableau 4 : Inventaire des produits combustible dans un cellule MGH (17 000 palettes)

Composants de la palette	Masse totale dans l'entrepôt (tonnes)	% massique
Palette bois	425	6,1%
Carton	411	5,9%
Plastiques (films) en polyéthylène (PE) ou polypropylène (PP)	411	5,9%
Farine - dont glucides (glucose, fructose) - dont lipides (leucine, phénylalanine)	 2461 820	 35,1% 11,7%
Beurre dont lipides (acide myristique)	2397	34,2%
Panneaux isolants en polyisocyanurate (PIR)	80	1,1%
TOTAL	7 005	100%

3.2. GAZ TOXIQUES DE COMBUSTION PRODUITS

3.2.1. Données issues de la littérature

- Bois :

La combustion du bois dégage essentiellement des oxydes de carbone (CO et CO2).
D'autres substances peuvent être générées à la marge en fonction des traitements appliqués sur le bois (peintures, vernis). Il convient toutefois de rappeler que les palettes utilisées par BRIDOR sont approuvées pour être au contact de produits alimentaires.

Les gaz de combustion toxiques retenus pour le bois sont donc :
- le monoxyde de carbone (CO) ;
- le dioxyde de carbone (CO_2).

- Carton :

Le carton peut être assimilé à de la cellulose. De par sa composition (carbone, hydrogène, oxygène), la cellulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ produit en brûlant, essentiellement du monoxyde de carbone (CO) et du dioxyde de carbone (CO_2).
Les gaz de combustion toxiques retenus pour le carton sont :
- le monoxyde de carbone (CO) ;
- le dioxyde de carbone (CO_2).

- Plastiques : Polyéthylène (PE/PEHD), polypropylène (PP) :

Formule chimique du polyéthylène : $(CH_2 = CH_2)_n$
Formule chimique du polypropylène $(CH_2=CH-CH_3)_n$

Ces plastiques génèrent des gaz de combustion identiques. En l'absence d'oxygène, les principaux produits de décomposition thermiques sont des hydrocarbures tels que le propylène, l'isobutylène et le 2-butène. Des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) tels que le benzo(a)pyrène sont également détectés en très faible teneur.
En présence d'oxygène, avec ou sans flammes, les principaux produits de décomposition thermique du polyéthylène sont le dioxyde de carbone (CO_2) et le monoxyde de carbone (CO). Des hydrocarbures aliphatiques (méthane) et aromatiques polycycliques (HAP) tels que le benzo(a)pyrène sont également détectés en très faible teneur. Parmi l'ensemble des produits générés, le CO apparaît comme le composé toxique prédominant.
Les gaz de combustion toxiques retenus pour le polyéthylène et le polypropylène sont :
- le monoxyde de carbone (CO) ;
- le dioxyde de carbone (CO_2).

- Panneaux isolants en polyisocyanurate (PIR) :

Formule chimique du polyisocyanurate : $C_{10}H_{10,13}O_{2,05}N_{0,97}$

Les normes européennes relatives aux panneaux isolants concernent leur résistance au feu ; la toxicité des fumées n'est pas visée par les normes. Aussi, nous ne disposons pas de données quantifiées quant à la nature et la production des gaz de combustion émis.
Cependant, comme le polyuréthane, le polyisocyanurate est susceptible de générer, lors de sa combustion ou pyrolyse, essentiellement des oxydes de carbone (CO, CO_2), mais

également du cyanure d'hydrogène (HCN) et des oxydes d'azote (NOx) et de l'ammoniac (NH_3) moins toxique que HCN et les NOx.
Les gaz de combustion toxiques retenus pour le polyisocyanurate sont :

- le monoxyde de carbone (CO) ;
- le dioxyde de carbone (CO_2) ;
- le cyanure d'hydrogène (HCN) ;
- le dioxyde d'azote (NO_2) représentatif des NOx car le plus toxique des NOx.

➢ Les protéines/acides aminés sont des molécules de type R + groupe NH_2 (+ éventuellement autres groupes).

Dans la présente étude, ils seront représentés, de façon forfaitaire, par :

- la leucine $C_6H_{13}NO_2$
- la phénylalanine Tyrosine $C_{18}H_{20}N_2O_4$

que l'on retrouve dans la farine de blé et qui font partie des 9 acides aminés essentiels.
La combustion des protéines génère des oxydes de carbone. L'azote peut se retrouver, pour partie, sous forme d'oxydes d'azote (NO_2) et de cyanure d'hydrogène (HCN).
Les gaz de combustion toxiques retenus sont donc :

- le monoxyde de carbone (CO) ;
- le dioxyde de carbone (CO_2).
- le cyanure d'hydrogène (HCN) ;
- le dioxyde d'azote (NO_2).

➢ Les glucides sont représentés par le glucose $C_6H_{12}O_6$.

La combustion des glucides génère majoritairement des oxydes de carbone.
Les gaz de combustion toxiques retenus sont donc :

- le monoxyde de carbone (CO) ;
- le dioxyde de carbone (CO2).

➢ Lipides contenus dans le beurre (acide myristique) :

Formule chimique de l'acide myristique : $C_{14}H_{28}O_2$
La combustion des lipides génèrent majoritairement des oxydes de carbone. Les gaz de combustion toxiques retenus sont donc :

- le monoxyde de carbone (CO) ;
- le dioxyde de carbone (CO_2).

3.2.2. Détermination des taux de production des gaz toxiques de combustion

Pour définir les taux de production des gaz nocifs ou toxiques émis, les produits impliqués dans l'incendie sont décomposés en éléments simples (C, H, O, N…). Puis, à partir d'hypothèses, sont calculés les débits des gaz toxiques produits (CO, CO2, HCN, NO2…).

Tableau 5 : Décomposition des produits impliqués dans l'incendie en éléments simples

	% C	% H	% O	% N	% S
Bois (assimilé à de la cellulose)	44,5 %	6,2 %	49,4 %	-	-
Carton (assimilé à de la cellulose)	44,5 %	6,2 %	49,4 %	-	-
Plastiques en polyéthylène (PE et PP)	85,7 %	14,3 %	-	-	-
Panneaux isolants en polyuréthane (PIR)	68,0%	5,7%	18,6%	7,7%	
Glucides (glucose)	40,0 %	6,7 %	53,3 %	-	-
Acides aminés (leucine)	55,0 %	9,9 %	24,4 %	10,7 %	-
Acides aminés (Phénylalanine-tyrosine)	40,3 %	7,4 %	21,5 %	9,4 %	21,5 %
Lipides (acide myristique)	76,6 %	12,1 %	11,3 %	-	-

Les taux de production en chacun de ces gaz de combustion sont estimés à partir des hypothèses suivantes :

Tableau 6 : Taux de production en gaz de décomposition thermique

	Taux de production en gaz de combustion ou de décomposition thermique
CO, CO2	100 % C => CO + CO2 [CO] [CO]2 = 10 mol/mol [2]
HCN, NO2	100 % N => 50 % N2 + 50 % (HCN + NO2) [HCN]/[NO2 = 1 mol/mol
SO2	100% S => SO2

Tableau 7 : Taux de production en gaz toxiques

	g/kg de produit brûlé
CO	122
CO2	1 901
HCN	0,83
NO2	1,4

[2] *Toxicité et dispersion des fumées d'incendie – Phénoménologie et modélisation des effets* – INERIS – rapport Ω16

3.3. CARACTERISTIQUES DES FUMEES EMISES

3.3.1. DEBIT DES FUMEES

Le débit de fumées est estimé en appliquant la formule de Heskestad (1984) qui tient compte de la dilution des flammes par l'air. Selon cette corrélation, le débit des fumées est proportionnel à la puissance du foyer.

Selon le PCI calculé dans l'étude palette est de l'ordre de 10,5 MJ/kg.

Le débit des fumées calculé est de 2 722kg/s.

3.3.2. COMPOSITION DES FUMEES

Compte tenu des taux de production en gaz toxiques et du débit des fumées calculés ci-avant, on en déduit la composition des fumées suivante :

	% dans les fumées
CO	0,373%
CO2	5,822%
HCN	0,0026%
NO2	0,0044%

Le complément est constitué par l'air entrainé avec les fumées par les effets thermo-convectifs.

3.3.3. HAUTEUR, VITESSE ET TEMPERATURE DES FUMEES

Selon les formules présentées au §1.3 :

- La hauteur d'émission des fumées est égale à 20 m.
- La vitesse d'émission des fumées est égale à 13 m/s
- La température est égale à 265 °C.

3.3.4. TOXICITE DES FUMEES

Les seuils de toxicité aiguë pour une durée d'exposition de 60 minutes des gaz toxiques considérés dans la présente étude sont donnés dans le tableau suivant.

		Valeurs toxicologiques de références Seuils de toxicité aiguë par inhalation (mg/m3 et ppm)			
		CO[3]	CO2[4]	HCN[5]	NO2[6]
SELS	mg/m3	ND	ND	69	138
	ppm	ND	ND	63	73
SPEL	mg/m3	3 680	73 300	45	132
	ppm	3 200	40 000	41	70
SEI	mg/m3	920	73 300	7,8	75
	ppm	800	40 000	7,1	40

N. B. Le SPEL est pris par défaut égal au SEI (approche dimensionnante).

Les seuils de toxicité équivalents des fumées sont calculés comme suit :

$$SELS_{équivalent} = \frac{1}{\sum \frac{p_i}{SELS_i}} \qquad SPEL_{équivalent} = \frac{1}{\sum \frac{p_i}{SPEL_i}} \qquad SEI_{équivalent} = \frac{1}{\sum \frac{p_i}{SEI_i}}$$

avec :

pi : proportion de la substance i dans les fumées (% massique ou % volumique)

SELSi ; SPELi, SEIi : seuil d'effets de la substance i (mg/m3 ou ppm)

		Seuil éq. fumées
SELS	mg/m3	ND
	ppm	ND
SPEL	mg/m3	369 478
	ppm	258 561
SEI	mg/m3	114 818
	ppm	92 503

[3] Fiche seuils CO INERIS DRC-09-103128-05616A.

[4] Pas de données disponibles sauf l'IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) (http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html - Revised IDLH values) qui est retenue par défaut pour le SEI et le SEL. Ce choix n'est pas impactant étant donné que le CO2 n'est pas dimensionnant, car beaucoup moins toxique que les autres gaz de combustion.

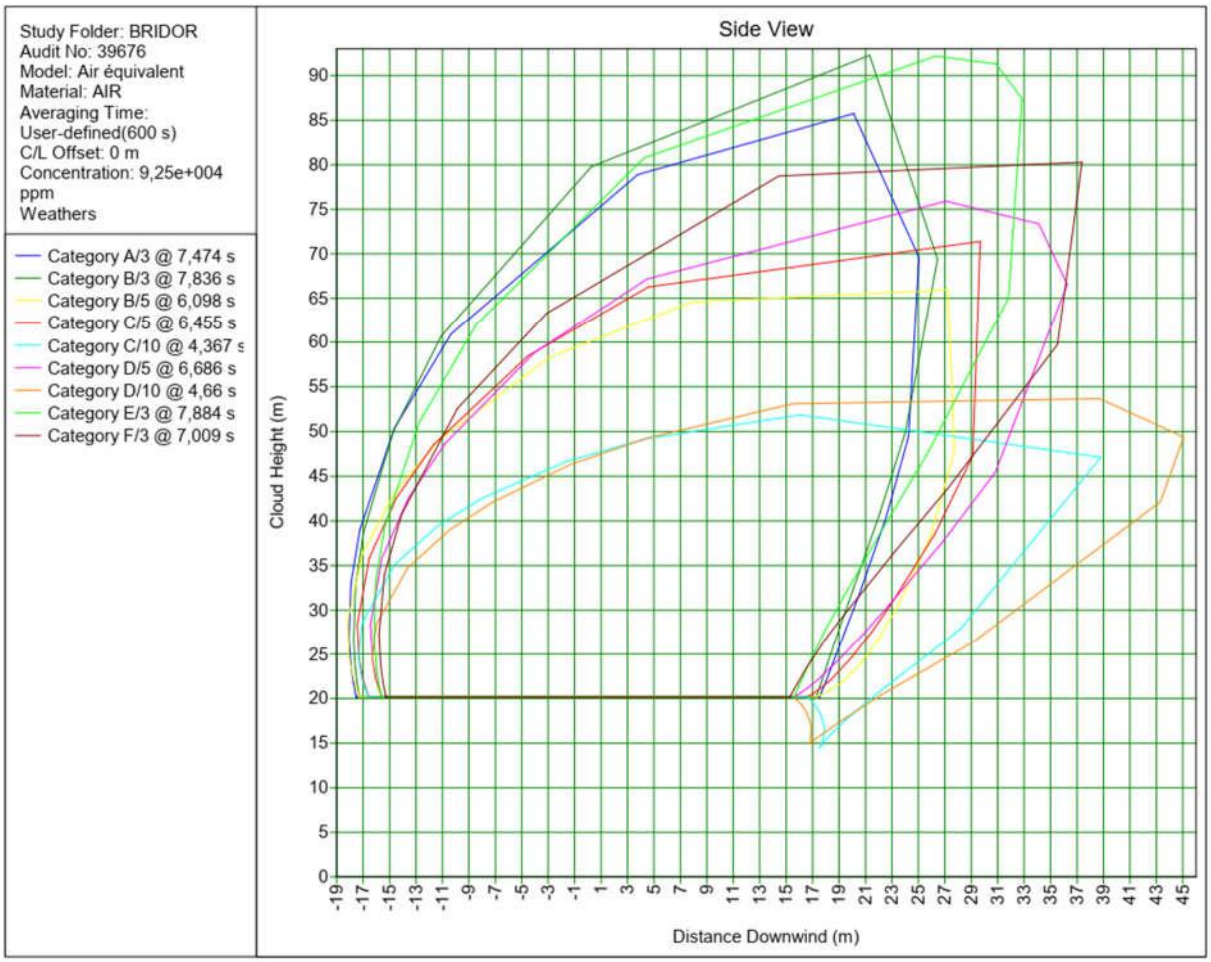
[5] Fiche seuils de toxicité aiguë de l'acide cyanhydrique – INERIS–DRC-08-94398-12727A.

[6] Fiche seuils de toxicité aiguë du dioxyde d'azote – INERIS–DRC-08-94398-13333A.

3.4. ETUDE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES FUMEES

Le graphique issu de la modélisation Phast est présenté ci-après.

Figure 1 : Coupe du panache en concentration correspondant au SEI équivalent des fumées pour une hauteur d'émission des fumées de 20 m



L'effet de palier à 20 m de hauteur n'est pas la représentation de la zone en feu. Le logiciel Phast calcule une surface d'émission à partir de données imposées : le débit et la vitesse de rejet. Dans le scénario modélisé, cette surface est assez importante. L'abscisse en 0 correspond au centre de la zone d'émission. Le centre de l'émission peut être considérée en tout point de la zone en feu.

Dans cette étude, prendrons le centre de l'émission en limite de la surface en feu.

3.5. INTERPRETATION DES RESULTATS

Tableau 8 : Impact des fumées en termes de toxicité

	SEI
Hauteur d'émission des fumées = 10 m (hauteur du bâtiment)	
Cible à hauteur d'homme	Non atteint
Cible à 10 m de hauteur/altitude du site (hauteur d'une maison individuelle)	Non atteint
Cible à 20 m de hauteur/altitude du site (hauteur d'un petit immeuble d'habitation collective)	15 m
Cible à 30 m de hauteur/altitude du site (hauteur d'un immeuble d'habitation collective)	19 m

Les distances d'effets obtenues sont à considérer comme des ordres de grandeur car elles reposent sur un ensemble d'hypothèses jugées conservatives (notamment tous les éléments simples sont supposés se retrouver sous forme de gaz toxiques dans les fumées) et ont été déterminées à l'aide de modèles semi-empiriques ou théoriques.

À hauteur 20m, les distances d'effet sont au maximum de 15 m à compter de la façade en feu. À hauteur 30m, les distances d'effet sont au maximum de 19 m à compter de la façade en feu. En l'absence d'immeuble occupé à ces distances, il n'y a pas de risque toxique associé.

A hauteur d'homme, les seuils des effets irréversibles et létaux équivalents des fumées ne sont pas atteints. Il n'y a donc pas de risque toxique.

ANNEXE 6

Feuilles de calcul surpression silos

BRIDOR à Liffré

Explosion du silo de farine (70 tonnes)

Nature du produit explosible	Farine Blé
KST	100
Pmax	8

Caractéristiques des silos

Disposition contructive

Nature du tube	Métallique
Nature du toit	Métallique

Dimension du silo

Hauteur du silo	15,5 m
Hauteur du toit par rapport au sol	15,5 m
Diamètre du silo	3,82 m
Volume du silo	123 m3

Caractéristiques de l'installation vis-à-vis de l'explosion

Pression de rupture du toit	500 mbars
Pression de rupture du tube	500 mbars

Event (O/N)	O
Surface d'évents	0,84 m²
Predmax	500 mbars
Pression d'éclatement de l'évent	100 mbars

Détermination de l'énergie de l'explosion de poussière - Formule de Brode

E = 3*V*(Pex-Patmosphérique)

E : Energie en Joule
V : volume de la cellule de stockage en m³
Pex : Pression absolue de l'explosion
Pex-Patmosphérique : Pression relative de l'explosion en Pa

Dans une approche dimensionnante, on retiendra comme pression relative Pex – Patm de l'explosion :
· dans le cas d'une explosion **primaire** :
Si le volume est correctement éventé : Pex - Patm = Predmax (la pression d'explosion réduite) utilisée pour calculer la surface d'évent).
Si le volume est non éventé : Pex - Patm = 2 * Prupture (où Prupture est la pression statique de rupture de l'enceinte).

E=	18450000	J
E1/3=	264,2401396	

Détermination des zones d'effets d'une explosion primaire (en m)

	Toit	**Distance paroi au sol**	**Distance centre au sol**
Distance d'effet 300 mbar	7,4	Non Atteint	Non Atteint
Distance d'effet 200 mbar	8,5	Non Atteint	Non Atteint
Distance d'effet 140 mbar	13,2	Non Atteint	Non Atteint
Distance d'effet 50 mbar	**29,1**	**24,6**	26,5
Distance d'effet 20 mbar	**58,1**	**56,0**	57,9

BRIDOR à Liffré

Explosion du silo de farine (60 tonnes)

Nature du produit explosible	Farine Blé
KST	100
Pmax	8

Caractéristiques des silos

Disposition contructive

Nature du tube	Métallique
Nature du toit	Métallique

Dimension du silo

Hauteur du silo	15,5 m
Hauteur du toit par rapport au sol	15,5 m
Diamètre du silo	3,34 m
Volume du silo	115 m3

Caractéristiques de l'installation vis-à-vis de l'explosion

Pression de rupture du toit	500 mbars
Pression de rupture du tube	500 mbars

Event (O/N)	O
Surface d'évents	0,84 m²
Predmax	350 mbars
Pression d'éclatement de l'évent	100 mbars

Détermination de l'énergie de l'explosion de poussière - Formule de Brode

E = 3*V*(Pex-Patmosphérique)

E : Energie en Joule
V : volume de la cellule de stockage en m³
Pex : Pression absolue de l'explosion
Pex-Patmosphérique : Pression relative de l'explosion en Pa

Dans une approche dimensionnante, on retiendra comme pression relative Pex – Patm de l'explosion :
· dans le cas d'une explosion **primaire** :
Si le volume est correctement éventé : Pex - Patm = Predmax (la pression d'explosion réduite) utilisée pour calculer la surface d'évent).
Si le volume est non éventé : Pex - Patm = 2 * Prupture (où Prupture est la pression statique de rupture de l'enceinte).

E=	12022500	J
E1/3=	229,0858485	

Détermination des zones d'effets d'une explosion primaire (en m)

	Toit	**Distance paroi au sol**	**Distance centre au sol**
Distance d'effet 300 mbar	6,4	Non Atteint	Non Atteint
Distance d'effet 200 mbar	7,3	Non Atteint	Non Atteint
Distance d'effet 140 mbar	11,5	Non Atteint	Non Atteint
Distance d'effet 50 mbar	**25,2**	**19,9**	21,5
Distance d'effet 20 mbar	**50,4**	**48,0**	49,6

BRIDOR à Liffré

Explosion du silo de sucre

Nature du produit explosible	Sucre cristal
KST	140
Pmax	9

Caractéristiques des silos

Disposition contructive

Nature du tube	Métallique
Nature du toit	Métallique

Dimension du silo

Hauteur du silo	14 m
Hauteur du toit par rapport au sol	14 m
Diamètre du silo	3,3 m
Volume du silo	92 m3

Caractéristiques de l'installation vis-à-vis de l'explosion

Pression de rupture du toit	500 mbars
Pression de rupture du tube	500 mbars

Event (O/N)	O
Surface d'évents	2,0 m²
Predmax	600 mbars
Pression d'éclatement de l'évent	100 mbars

Détermination de l'énergie de l'explosion de poussière - Formule de Brode

E = 3*V*(Pex-Patmosphérique)

E : Energie en Joule
V : volume de la cellule de stockage en m³
Pex : Pression absolue de l'explosion
Pex-Patmosphérique : Pression relative de l'explosion en Pa

Dans une approche dimensionnante, on retiendra comme pression relative Pex – Patm de l'explosion :
· dans le cas d'une explosion **primaire** :
Si le volume est correctement éventé : Pex - Patm = Predmax (la pression d'explosion réduite) utilisée pour calculer la surface d'évent).
Si le volume est non éventé : Pex - Patm = 2 * Prupture (où Prupture est la pression statique de rupture de l'enceinte).

E=	16596000	J
E1/3=	255,0749491	

Détermination des zones d'effets d'une explosion primaire

	Toit	Distance paroi au sol	Distance centre au sol
Distance d'effet 300 mbar	7,1	Non Atteint	Non Atteint
Distance d'effet 200 mbar	8,2	Non Atteint	Non Atteint
Distance d'effet 140 mbar	12,8	Non Atteint	Non Atteint
Distance d'effet 50 mbar	28,1	24,60	26,27
Distance d'effet 20 mbar	56,1	54,47	56,14