

VANDEMOORTELE Reims (51)

Etude de dangers – Installation de réfrigération à l'ammoniac

Atlantic Refrigeration Consulting

Frédéric LE BRONNEC
05/01/2024

Table des matières

Glossaire	4
1. Introduction et contexte de l'étude	5
1.1. Introduction	5
1.2. Contexte	6
2. Description de l'environnement de l'établissement	7
2.1. Contexte climatique	7
3. Description de l'établissement	8
4. Résumé non technique	8
5. Description des installations de réfrigération	9
5.1. Généralités.....	9
5.2. Installations utilisant l'ammoniac	9
5.3. Implantation des installations.....	10
5.4. Equipements constituant l'installation SDM1- Existant	11
5.4.1. Généralités.....	11
5.4.2. Schéma de principe	11
5.4.3. Rôles et caractéristiques des équipements – Circuit n°1 (Existant)	12
5.5. Equipements constituant l'installation SDM2 - Projet	18
5.5.1. Généralités.....	18
5.5.2. Schéma de principe	18
5.5.3. Rôles et caractéristiques des équipements – Circuit n°2 (Projet)	19
5.6. Autres données de fonctionnement.....	25
5.6.1. Rechargement d'ammoniac	25
5.6.2. Débits d'ammoniac dans les circuits	25
5.7. Listes des bonnes pratiques et des mesures de sécurité en prévention	26
5.7.1. Bonnes pratiques de prévention.....	26
5.7.2. Mesures de sécurité en prévention	26
5.7.3. Mesures de protection / limitation vis-à-vis de la fuite toxique.....	30
5.7.4. Mesures de protection / limitation vis-à-vis de l'explosion	32
5.7.5. Mesures de protection / limitation vis-à-vis de la pollution	32
5.7.6. Système de régulation et de contrôle	33
5.7.7. Tableau de synthèse des mesures de prévention	34
5.8. Les locaux et zones d'implantation.....	38
5.8.1. Salle des machines	38
5.8.2. Plateforme de condensation	39
5.8.3. Chambre froide.....	39

Atlantic Refrigeration Consulting EDD VANDEMOORTELE Reims (51)	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024
---	------------------	--

5.8.4.	Galeries et/ou galeries techniques.....	39
6.	Potentiels de dangers.....	40
6.1.	Potentiels de dangers liés aux produits.....	40
6.1.1.	Les risques liés à l'ammoniac.....	40
6.1.2.	Autres produits.....	42
6.2.	Potentiels de dangers liés au procédé.....	42
6.3.	Cartographie des potentiels de dangers.....	43
6.3.1.	Cartographie des zones.....	43
6.3.2.	Profil altimétrique.....	43
6.4.	Justification des potentiels de dangers.....	43
7.	Retour d'expérience.....	44
7.1.	Analyse générale de l'accidentologie.....	44
8.	Analyses préliminaires des risques.....	45
8.1.	Causes externes.....	45
8.1.1.	Causes exclues de l'étude de dangers.....	45
8.1.2.	Causes génériques d'origine naturelle.....	45
8.1.3.	Causes liées à l'activité humaine.....	48
8.1.4.	Causes liées l'environnement industriel.....	48
8.2.	Causes internes liées au procédé.....	49
8.2.1.	Analyse préliminaire des risques.....	49
8.3.	Phénomènes dangereux retenus au terme de l'APR.....	51
9.	Caractérisation de l'intensité des phénomènes dangereux.....	52
9.1.	Sélection des phénomènes dangereux à modéliser.....	52
9.2.	Principales hypothèses de modélisation.....	54
9.3.	Intensité des phénomènes dangereux.....	54
9.3.1.	Seuils d'effets sur l'homme.....	54
9.3.2.	Conditions météorologiques.....	55
9.3.3.	Environnement.....	55
9.3.4.	Présentation des résultats.....	56
10.	Caractérisation de la gravité des accidents potentiels.....	57
10.1.	Grille d'évaluation de la gravité.....	57
10.2.	Comptage des personnes pour évaluation de la gravité.....	57
11.	Caractérisations des probabilités d'occurrence.....	58
11.1.	Classes des probabilités d'occurrence.....	58
11.2.	Détermination des probabilités d'occurrence des PhD de dispersion toxique.....	59
11.2.1.	Point de départ : évaluation des fréquences des ERC.....	59

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

11.2.2.	Evaluation de la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux	59
11.2.3.	Méthodes d'évaluation des barrières de sécurité	61
11.2.4.	Probabilité d'occurrence des PhD de dispersion toxique.....	63
11.3.	Evaluation des probabilités d'occurrence des explosions en zone confinée.....	64
11.4.	Présentation des probabilités des phénomènes dangereux et des accidents majeurs	64
12.	Caractérisation de la cinétique des évènements	65
13.	Effets dominos	65
13.1.	Effets dominos issus de la réfrigération à l'ammoniac.....	65
13.2.	Effets dominos issus d'autres installations.....	65
14.	Bilan des phénomènes dangereux et des accidents majeurs	66
14.1.	Tableau de synthèse des phénomènes dangereux et accidents majeurs	66
14.2.	Positionnement des accidents dans la matrice des risques	71
14.3.	Phénomènes dangereux pour le Porter à Connaissance.....	74
15.	Références.....	75
16.	Liste des annexes	76
	Annexe 1 : Description des installations de réfrigération à l'ammoniac	76
	Annexe 2 : Caractéristiques de l'ammoniac	76
	Annexe 3 : Optimisation de la quantité d'ammoniac	76
	Annexe 4 : Accidentologie des installations de réfrigération : synthèse et exemples d'accidents caractéristiques.....	76
	Annexe 5 : Tableaux d'analyse préliminaire des risques (APR)	76
	Annexe 6 : Bonnes pratiques et mesures de sécurité : Rappel des exigences des textes réglementaires et de la norme NF EN 378.....	76
	Annexe 7 : Evaluation des mesures de maîtrise des risques : Tableau de synthèse des évaluations.....	76
	Annexe 8 : Caractérisation de l'intensité - version PHAST 8.22 (Modèle intégral)	76
	Annexe 9 : Analyse détaillés des risques (ADR) - Arbres d'évènements génériques.....	76
	Annexe 10 : Répartition de charge d'ammoniac	76
	Annexe 11 : Schéma de principe frigorifique	76
	Annexe 12 : Principe de ventilation de la SDM	76
	Annexe 13 : Répartition des zones à risques.....	76
	Annexe 14 : Etude d'implantation de la détection NH3	76

Glossaire

ADR	Analyse Détaillée des Risques (selon méthode nœud papillon)
AFF	Association Française du Froid
AMDEC	Analyse des Modes de Défaillances et de leur Effet et de leur Criticité
APR	Analyse Préliminaire de Risques
ARI	Appareil Respiratoire Isolant
ATEX	Atmosphère Explosive (ex AdF, antidéflagrant)
BARPI	Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels
BP	Basse Pression
DC	Défaillance Critique
DMC	Défaillance Moyennement Critique
EDD	Etude de Dangers
EIPS	Equipement Important pour la Sécurité
EPI	Equipement de Protection Individuelle
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
PAC	Pompe à Chaleur
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 VANDEMOORTELE pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques de son installation de réfrigération située sur la commune de Reims, dans le département du Marne (51), en région Champagne-Ardenne.

Le système n°1 comporte déjà **6 200 kg d'ammoniac et respecte l'arrêté préfectoral en vigueur**, pour les besoins de l'extension un système n°2 comportera **4 500 kg d'ammoniac** de plus, et c'est l'objet de cette étude.

N° de rubrique	Désignation	A, E, D, S, C, SO (*)	Raison
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	Quantité d'ammoniac : Système n°1 (SDM1) = 6 200 kg Système n°2 (SDM2) = 4 500 kg Charge total = 10 700 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.	D	
2921-a	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	
2921-b	Refroidissement évaporatif par dispersion d'eau dans un flux d'air généré par ventilation mécanique ou naturelle (installation de) : La puissance thermique évacuée étant inférieur à 3 000 kW.	E	SDM1 (Circuit n°1) Condenseur n°1 : 2 100 kW Condenseur n°2 : 857 kW SDM2 (Circuit n°2) Condenseur adiabatique (hors rubrique 2921)

- A** Autorisation.
- E** Enregistrement.
- D** 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.

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

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 classées soumises à autorisation.

Aujourd'hui le site de VANDEMOORTELE à Reims fonctionne avec l'ammoniac comme réfrigérant. Dernière mise à jour de l'Arrêté Préfectoral Complémentaire de avril 2016 (n°2013.APC.46.IC). **L'Arrêté Préfectoral en vigueur est de mai 2004 (n°2001.A.86.IC)** pour la distribution du froid négatif (Process surgélation et Stockage).

Système n°1 existant (SDM1)

Une installation de réfrigération fonctionnant avec l'ammoniac comme réfrigérant est déjà en service sur le site de Reims.

Phase Extension – Système n°2 (SDM2)

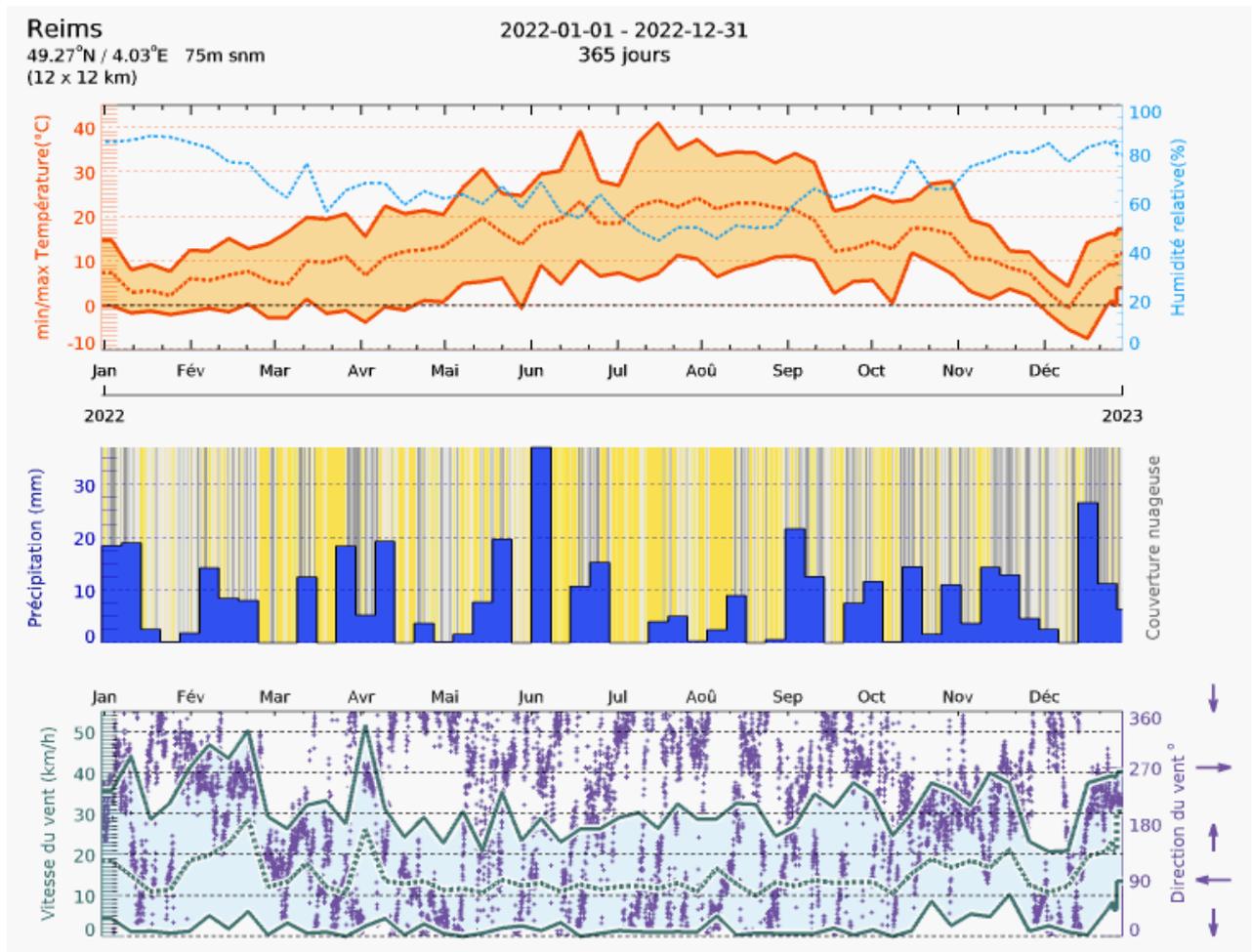
Pour les besoins de l'extension, le site doit augmenter sa capacité frigorifique. Pour se faire, VANDEMOORTELE souhaite conserver la technologie de réfrigération à l'ammoniac avec une nouvelle SDM2. Ce nouveau système sera dédié à la partie stockage négatif du site ainsi qu'à l'augmentation de production de capacité pour le froid positif.

L'étude ci-présente reprends l'ensemble des installations du site (existante et future).

2. Description de l'environnement de l'établissement

Ce chapitre est présenté dans le dossier ICPE global.

2.1. Contexte climatique



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.

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

3. Description de l'établissement

Ce chapitre est présenté dans le dossier ICPE global.

4. Résumé non technique

Voir résumé non technique en pièce annexe.

Atlantic Refrigeration Consulting EDD VANDEMOORTELE Reims (51)	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024
---	------------------	--

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, 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'installations sera répartie en une production centralisée avec une distribution d'ammoniac directe pour les postes de stockage < 0°C (Répartition sur deux installations).

Le système n°1 contient **6 200 kg d'NH3 dans la situation actuelle**.

Le système n°2 contiendra **4 500 kg d'NH3 dans la situation future**.

Implantation des équipements principaux des circuits :

Zones SDM	INTERIEUR				EXTERIEUR			
	SDM1 Système 1	SDM2 Système 2	Edicule Système 1	Edicule Système 2	Combles SDM1 techniques	Combles SDM2 techniques	Terrasse SDM1	Terrasse SDM2
Condenseur évaporatif							2	
Condenseur adiabatique								2
Condenseur à plaques		1						
Désurchauffeur à plaques	1	1						
Sous-refroidisseur à plaques	1							
Groupe moto-Compresseur MP	1	3						
Groupe moto-Compresseur BP (Eco)	3							
Groupe moto-Compresseur BP		2						
Réservoir de liquide HP								
Séparateur de liquide MP		1						
Séparateur de liquide Economiseur	1							
Echangeur MPG froid positif	1	2						
Séparateur de liquide BP	1	1						
Station de pompe NH3	2	2						
Bouteillon de récupération d'huile	2	1						
Tuyauteries	HP/MP/B P	HP/MP/B P	HP/MP	HP/MP	HP/BP	HP/BP		
Vannes et accessoires	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui		
Armoires électriques	Oui	Oui						

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

☒ L'**annexe 11** – Voir schéma de principe (fluide frigorigère).

☒ L'**annexe 13** - Répartition des zones à risques liés à l'ammoniac VANDEMOORTELE PRODUCTIONS

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.

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

5.4. Equipements constituant l'installation SDM1- Existant

5.4.1. Généralités

Ce système contient au total **6 200 kg d'NH3**, et destiné :

- Pour la production d'eau glycolée MPG froid pour le refroidissement des postes utilisateurs en indirecte.
- Pour le refroidissement postes négatifs via une distribution d'ammoniac en direct (par pompes).

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

- 1 x **compresseur à vis SABROE** en MP -10°C avec séparateurs d'huile,
- 3 x **compresseurs à vis SABROE** en BP -35°C avec séparateurs d'huile,
- 1 x **désurchauffeur à plaques** utilisé en mode récupération d'énergie ECS,
- 1 x **séparateur de NH3 liquide MP (Economiseur) -11°C** moyenne température,
- 1 x **Echangeurs à plaques sous la MP** utilisé la production de MPG froid,
- 1 x **séparateur de NH3 liquide BP -35°C** basse température,
- 2 x **pompes de recirculation NH3 sous la BP** dont 1 en secours,
- 2 x pots de soutirage d'huile sous la bouteille BP et MP,
- Un système de détection de fuite d'ammoniac + un extracteur de sécurité.

A l'extérieur de la salle des machines se trouvent :

- 2 x **condenseurs évaporatifs**, dont les connexions NH3 sont abritées dans l'édicule.
- 1 x **ensemble d'évaporateur** pour les postes négatifs fonctionnant sur la BP -35°C.
- L'ensemble des canalisations ammoniac abritées en combles ou rack technique fermé.
- Les **armoires électriques** de puissance et régulation.
- Un système de détection de fuite d'ammoniac + des extracteurs de sécurité.

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 frigorigène).

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 équipements – Circuit n°1 (Existant)

5.4.3.1. Compresseurs MP

Rôle : Assurer la production frigorifique nécessaire au refroidissement de l'eau glycolée MPG30%.

Fonctionnement : L'étage BP de chaque compresseur (à vis) aspire, dans une bouteille BASSE PRESSION et refoule dans les condenseurs. Dans la bouteille BP reviennent les vapeurs surchauffées provenant de l'évaporation de l' NH_3 dans les différents évaporateurs (échangeurs à plaques $\text{NH}_3/\text{MPG}33\%$) pour la production d'eau glycolée froide.

Chaque compresseur est isolable individuellement (HP/BP).

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

N° du compresseur	CV4	
Etage (Régime)	MP (Eco)	
Marque	SABROE	
Type	A vis	
Modèle	SAB 233 LR	
Régime de service (°C)	-11/+35	
Puissance frigorifique unitaire Q_0 (kW)	1 135	
Puissance absorbée sur l'arbre Q_a (kW)	314	
Refroidissement de culasses	Non	
Refroidissement d'huile	Oui	
Moteur électrique (kW)	355 kW	
Soupapes de sécurité (bars)	20	
Équipements annexes (Organes de sécurité)	<ul style="list-style-type: none"> Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration, vannes d'isolement aspiration et refoulement. EIPS : Pressostats de sécurité HP, BP, pressostat différentiel d'huile. Thermostats d'huile et surchauffe. Protections électriques du moteur du compresseur + Arrêt d'urgence. 	

5.4.3.2. Compresseurs BP

Rôle : Assurer la production frigorifique nécessaire au fonctionnement des postes à température négative (Les chambres froides, tunnels, congélateurs à plaques).

Fonctionnement : L'étage BP de chaque compresseur (à vis) aspire les gaz (formés par l'évaporation du liquide dans les évaporateurs) dans la bouteille BASSE PRESSION et refoule dans le système de condensation HP. Les compresseurs sont équipés d'un aspiration économiseur qui permet une optimisation des performances des compresseurs.

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.

Compresseur	CV1	CV2	CV3
Étage	BP (-35°C)	BP (-35°C)	BP (-35°C)
Marque	SABROE	SABROE	SABROE
Type	A vis	A vis	A vis
Modèle	SAB 233 LR	SAB 202 LF	SAB 233 LR
Régime de service (°C)	-35/-11/+35	-35/+35	-35/-11/+35
Puissance frigorifique unitaire Q_o (kW)	446	457	446
Puissance absorbée sur l'arbre Q_a (kW)	246	300	246
Refroidissement d'huile (kW)	158	187	158
Refroidissement de culasses	/	/	/
Moteur électrique (kW)	355	355	400
Soupapes de sécurité (bars)	20	20	20
Équipements annexes (Organes de sécurité)	<ul style="list-style-type: none"> • Séparateur d'huile, circuit d'huile, filtre à huile, filtre d'aspiration, vannes d'isolement aspiration et refoulement. • EIPS : Pressostats de sécurité HP, BP, pressostat différentiel d'huile. Thermostats d'huile et surchauffe. • Protections électriques du moteur du compresseur + Arrêt d'urgence. 		

5.4.3.3. Condenseurs évaporatifs

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

Caractéristiques unitaires :

Condenseur	N°1	N°2	<u>Équipements</u> : <ul style="list-style-type: none"> • 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. • Vannes d'isolement E/S
Marque	BAC	BAC	
Modèle	CXVE 439	CXVE 176	
Régime (T° condensation)	+35°C	+35°C	
T° bulbe humide (°C)	+22°C	+22°C	
Puissance de réjection Qk (kW)	2 100	857	
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal (kg)	136	50	
PS (tarage soupapes de sécurité en bars)	20	20	

5.4.3.4. Désurchauffeur – récupération de chaleur n°1

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

Caractéristiques unitaires :

Désurchauffeur	DES1	<u>Équipements</u> : <ul style="list-style-type: none"> - Vannes d'isolement E/S. - Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.
Constructeur	KELVION	
Modèle	LWC 100T CDL-16	
Température d'entrée	+80°C	
Température de condensation	+48°C	
Régime d'eau	+43+53 °C	
Puissance Réjection	170 kW	
Quantité d'ammoniac	3 kg	
PS (tarage soupapes de sécurité)	20 bars	

5.4.3.5. Séparateur de liquide MP (ou bouteille Economiseur)

Rôle : Assurer le sous-refroidissement du liquide injecté depuis le condenseur, avant d'être injecté dans la bouteille BP, assure également la séparation entre la phase liquide et la phase vapeur de l'ammoniac à l'intérieur de la capacité MP, afin de permettre aux compresseurs de n'aspirer que des vapeurs sèches par la prise économiseur du compresseur.

Caractéristiques	Unités	MP (Eco)	
Diamètre de virole	mm	1 200	<u>Equipements :</u> <ul style="list-style-type: none"> • 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. • Vannes d'isolement E/S • Niveau visible. • Régulation de la pression par transmetteur de pression AKS33. • Protection contre les basses pressions par pressostat de sécurité MP (au niveau de chaque compresseurs).
Longueur de virole	mm	2 000	
Volume à vide	litres	2 714	
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	kg	650	
Pression de tarage soupapes	bars	12	
Pression d'épreuve	bars	24	

5.4.3.6. Echangeur à plaques – production MPG 35% froid

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 :

Condenseur	Echangeur
Constructeur	KELVION
Type	A plaques
Modèle	LWC 150S B-16
Température d'évaporation	-11°C
Régime MPG 35%	-8/-3 °C
Puissance frigorifique	1 200 kW
Quantité d'ammoniac	100 kg
PS design pressure	16 bars

Équipements :

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

5.4.3.7. Séparateur de liquide BP -40°C (ou bouteille BP -40°C)

Rôle : Assurer le refroidissement de l'ALCALI froid. Cette bouteille assure également la séparation entre la phase liquide et la phase vapeur de l'ammoniac à l'intérieur de la capacité MP, afin de permettre aux compresseurs de n'aspirer que des vapeurs sèches par la BP.

Caractéristiques	BP	
Diamètre de virole (mm)	1 900	<u>Equipements</u> : <ul style="list-style-type: none"> 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. Vannes d'isolement E/S Niveau visible. Régulation de la pression par transmetteur de pression AKS33. Protection contre les basses pressions par pressostat de sécurité MP (au niveau de chaque compresseurs).
Longueur de virole (mm)	6 000	
Volume à vide (litres)	18 808	
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal (kg)	1 400	
Pression de tarage soupapes (bars)	11	
Pression d'épreuve (bars)	22	
Station de pompe (NH3)	HERMETIC PUMPEN X 3	

5.4.3.8. Bouteillon de récupération et de purge d'huile

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	BP	MP (Eco)
Diamètre de virole	mm	323.8	323.8
Longueur de virole	mm	500	1 100
Volume à vide	litres	50	100
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	kg	34	68
PS (tarage soupapes de sécurité)	bars	20	24

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.

5.4.3.9. Evaporateurs / Utilisateurs

Rôle : Assurer la capacité frigorifique nécessaire pour maintenir ou abaisser la température (en retirant la chaleur par évaporation du liquide), la vapeur produite sera réaspirée vers la SDM.

Désignation utilisateur	Equipement	Volume (Litres)	Qte (NH3) (kg/unit)	Qte (NH3) totale
	Nb			
Surgélateur Ligne C (T9)	2 x SF	720	345	690
Surgélateur Ligne D (T7)	2 x SF	940	450	900
Surgélateur Ligne (T6)	2 x SF	620	297	600
CF négative 22A	2 x SF	250	118	240
CF négative 22B	2 x SF	250	118	240

SF : Evaporateur simple flux

DF : Evaporateur double flux

CTA : Centrale de traitement d'air

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

Atlantic Refrigeration Consulting EDD VANDEMOORTELE Reims (51)	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024
---	------------------	--

5.5. Equipements constituant l'installation SDM2 - Projet

5.5.1. Généralités

Ce système contiendra au total après l'extension **4 500 kg d'NH3**, et destiné :

- Pour la production d'eau glycolée MPG froid pour le refroidissement des postes utilisateurs en indirecte.
- Pour le refroidissement postes négatifs via une distribution d'ammoniac en direct (par pompes).

A l'intérieur de la salle des machines SDM2 se trouve la centrale frigorifique assurant la production de froid avec entre autres comme matériel confinant l'ammoniac :

- 3 x **compresseurs à pistons SABROE** en MP -10°C avec séparateurs d'huile,
- 2 x **compresseurs à pistons SABROE** en BP -30°C avec séparateurs d'huile,
- 1 x **désurchauffeur à plaques** utilisé en mode récupération d'énergie ECS,
- 1 x **condenseurs à plaques** utilisé en mode récupération d'énergie MPG chaud,
- 1 x **séparateur de NH3 liquide MP -10°C** moyenne température,
- 2 x **Echangeurs à plaques sous la MP** utilisé la production de MPG froid,
- 1 x **séparateur de NH3 liquide BP -30°C** basse température,
- 2 x **pompes de recirculation NH3 sous la BP** dont 1 en secours,
- 1 x pots de soutirage d'huile sous la bouteille BP,
- Un système de détection de fuite d'ammoniac + un extracteur de sécurité.

A l'extérieur de la salle des machines se trouvent :

- 2 x **condenseurs adiabatiques**, dont les connexions NH3 sont abritées dans l'édicule.
- 1 x **ensemble d'évaporateur** pour les postes négatifs fonctionnant sur la BP -30°C.
- L'ensemble des canalisations ammoniac abritées en combles ou rack technique fermé.
- Les **armoires électriques** de puissance et régulation.
- Un système de détection de fuite d'ammoniac + des extracteurs de sécurité.

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 frigorigère).

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 équipements – Circuit n°2 (Projet)

5.5.3.1. Compresseurs MP

Rôle : Assurer la production frigorifique nécessaire au fonctionnement des aéroréfrigérants des postes à température positive.

Fonctionnement : L'étage MP de chaque compresseur aspire, dans la bouteille MOYENNE PRESSION et refoule dans les condenseurs adiabatiques et condenseur à plaques.

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.

Compresseur	CP1	CP2	CP3
Compresseur	MP	MP	MP
Marque	SABROE	SABROE	SABROE
Type	A pistons	A pistons	A pistons
Modèle	SMC 116 LV	SMC 116 LV	SMC 116 LV
Régime de service (°C)	-10/+35	-10/+35	-10/+35
Puissance frigorifique unitaire Q _o	591	591	591
Puissance absorbée sur l'arbre Q _a	165	165	165
Refroidissement d'huile	Non	Non	Non
Moteur électrique	280 kW	280 kW	280 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.

5.5.3.2. Compresseurs BP

Rôle : Assurer la production frigorifique nécessaire au fonctionnement des évaporateurs des postes à température négative (Stockages et surgélateurs).

Fonctionnement : L'étage BP de chaque compresseur aspire, dans la bouteille BASSE PRESSION et refoule dans la bouteille MOYENNE PRESSION.

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.

Compresseur	CP4	CP5
Compresseur	BP	BP
Marque	SABROE	SABROE
Type	A pistons	A pistons
Modèle	SMC 116 LV	SMC 116 LV
Régime de service (°C)	-30/-10	-30/-10
Puissance frigorifique unitaire Qo	308	308
Puissance absorbée sur l'arbre Qa	48	48
Refroidissement d'huile	Non	Non
Moteur électrique	90 kW	90 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.

5.5.3.3. Condenseurs adiabatiques

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

Caractéristiques unitaires :

Condenseur	COND1 et 2	Équipements :
Constructeur	JACIR	<ul style="list-style-type: none"> - 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. Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.
Modèle	ONYX M10 E09 D3	
Température Condensation	+35°C	
Bulbe humide	+22°C	
Puissance Réjection NH3	1 250 kW	
Puissance réjection huile	-	
Quantité d'ammoniac	113,5 kg	
PS (tarage soupapes de sécurité)	20 bars	

5.5.3.4. Désurchauffeur – récupération de chaleur n°1

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

Caractéristiques unitaires :

Désurchauffeur	DES1	Équipements :
Constructeur	THERMOWAVE	<ul style="list-style-type: none"> - Vannes d'isolement E/S. - Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.
Modèle	TL0850 KDIL	
Température d'entrée	+80°C	
Température de condensation	+35°C	
Régime d'eau	+35/+45 °C	
Puissance Réjection	250 kW	
Quantité d'ammoniac	2 kg	
PS (tarage soupapes de sécurité)	19,5 bars	

5.5.3.5. Condenseurs à plaques – récupération de chaleur

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

Caractéristiques unitaires :

Condenseur	COND3	<u>Équipements</u> : - Vannes d'isolement E/S. - Régulateur à flotteur WITT en sortie. - Protection contre les surpressions par soupapes de sécurité montées sur vanne inverseuse.
Constructeur	THERMOWAVE	
Type	A plaques	
Modèle	TL0500 TDGL-1000	
Température Condensation	+35°C	
Régime d'eau	+20/+30 °C	
Puissance Réjection	1 270 kW	
Quantité d'ammoniac	8 kg	

5.5.3.6. Séparateur de liquide MP (ou bouteille MP)

Rôle : Assurer le refroidissement de l'eau glycolée (production de MEG froid). 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 la MP.

Caractéristiques	Unités		<u>Equipements</u> : - 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). - Pompe HERMETIC PUMPEN
Diamètre de virole	mm	1 500	
Longueur de virole	mm	5 000	
Volume à vide	litres	9 720	
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	kg	969	
Pression de tarage soupapes	bars	12	
Pression d'épreuve	bars	24	

5.5.3.7. Echangeur à plaques – production MPG 35% froid

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 :

Condenseur	Echangeur 1 et 2
Constructeur	THERMOWAVE
Type	A plaques
Modèle	TL0850 KCIL
Température d'évaporation	-10°C
Régime MPG 35%	-7/-3 °C
Puissance frigorifique	800 kW
Quantité d'ammoniac	106 kg
PS design pressure	16 bars

Équipements :

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

5.5.3.8. Séparateur de liquide Basse Pression (ou bouteille BP)

Rôle : Assurer la séparation entre la phase liquide et la phase vapeur de l'ammoniac, revenant des postes négatifs, à l'intérieur de la capacité formée par la bouteille BP, afin de permettre aux compresseurs de n'aspirer que des vapeurs sèches. Assurer une réserve de liquide NH3 nécessaire à l'alimentation des pompes NH3.

Caractéristiques	Unités	
Diamètre de virole	mm	1 600
Longueur de virole	mm	5 000
Volume à vide	litres	11 125
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	kg	998
Pression de service	bars	12
Pression d'épreuve	bars	24
Pompes de distribution ammoniac		CAM 2-5 11 m³/h

Équipements :

- 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.
- Contrôle visuel du niveau de liquide NH3 par tube givrant.
- Protection contre les basses pressions d'évaporation par un pressostat de sécurité BP (au niveau de chaque compresseurs).
- Contrôle de la pression d'évaporation à partir d'un transmetteur de pression ASK33 qui agit sur les étages de puissance des compresseurs via l'automate.
- La bouteille BP est également équipée de vannes manuelles d'isolement.

5.5.3.9. Bouteillon de récupération et de purge d'huile

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	323
Longueur de virole	mm	1 500
Volume à vide	litres	131
Capacité d'ammoniac en fonctionnement normal	kg	91
Pression de service	bars	20
Pression d'épreuve	bars	40

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.
- 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.

5.5.3.10. Evaporateurs / Utilisateurs

Rôle : Assurer la capacité frigorifique nécessaire pour maintenir ou abaisser la température (en retirant la chaleur par évaporation du liquide), la vapeur produite sera réaspirée vers la SDM.

Désignation utilisateur	Equipement	Qte (NH3)
		(kg)
CF stockage n°1	2 x SF	2 x 389
CF stockage n°2	1 x SF	1 x 78
Quai Process	3 x SF	3 x 65

SF : Evaporateur simple flux

DF : Evaporateur double flux

CTA : Centrale de traitement d'air

☒ 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 incondensables³, nettoyage des filtres à huile des compresseurs...) conduisent à des opérations de rechargement d'ammoniac sur les installations.

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 les circuits

Le débit dans la partie HP du système est déterminé par la somme du débit des compresseurs par système. Le débit de la partie BP est déterminé par la puissance frigorifique de cet étage (Débit du thermosiphon dans le cas d'un échangeur à plaques).

	Unités	Système n°1	Système n°2	
Débit masse HP	Kg/s	2,33	2,29	
Débit masse BP	Kg/s	1,07	0,49	
Débit masse BP en recirculation	Kg/s	4,90	1,36	

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

Atlantic Refrigeration Consulting EDD VANDEMOORTELE Reims (51)	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024
---	------------------	--

5.7. Listes des bonnes pratiques et des mesures de sécurité en prévention

☒ 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. Il est rappelé que la norme NF EN 378 n'est pas obligatoire dans sa totalité. 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 seront mises en œuvre sur le site qui agiront en prévention des accidents :

- 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 sera créé, 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 seront 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 seront mises en œuvre agissant en prévention ou limitation des effets d'un accident :

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

- 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. 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 contrôles.
- 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 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.
- 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 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.

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

- Prévention des fuites sur des organes ou des tuyauteries (mesure F) :
 - ✓ Obturation des sorties directes de vannes à l'atmosphère, 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 ;
 - ✓ 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 seront 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 sera 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-évalués 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 protégées 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 ;

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

- 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 seront 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) seront 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 : des exutoires de fumées à commandes automatique et manuelle sont 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'ensemble de ces mesures font l'objet de vérifications périodiques (entretiens et tests par un technicien qualifié).

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

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 seront mises en œuvre sur l'installation :

- **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.
 - Vannes de sécurité :
 - Sur la bouteille BP (à l'aspiration des pompes)
 - Sur le départ gaz chaud (En SDM)
 - ✓ 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 et s'arrêtera automatiquement sur son point de consigne ;
 - 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) ;
 - Isolement par fermeture de vannes automatiques entre la salle des machines et les galeries pour le circuit gaz chaud (départ dégivrage) ;
 - Isolement par fermeture de vannes automatiques en fonction de la zone en combles ;
- **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 14** précise l'implantation et le nombre des détecteurs gazeux suivant l'étude préalable d'implantation des capteurs.

- o **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 ammoniacé.**

Désignation	Débit	Hauteur de rejet
	<i>m³/h</i>	<i>m</i>
Salle des machines (Compresseurs et bouteilles MP et BP)		
SDM1 (Circuit n°1)	36 000*	18
SDM2 (Circuit n°2)	13 700	12
Combles techniques (Circuit n°1)		
Extracteur Ligne E (T6)	1 620	14
Extracteur Ligne D (T7)	1 620	14
Extracteur Ligne T8	1 620	14
Extracteur Ligne C (T9)	1 620	14
Extracteur CF22A.1	1 620	14
Extracteur CF22A.2	1 620	14
Extracteur CF22B.1	1 620	14
Extracteur CF22B.2	1 620	14
Combles techniques (Circuit n°2)		
Stations de vannes (CF stockage n°1)	1 300	31
Stations de vannes (CF stockage n°2 et Quai process)	5 000	11

(*) Débit précisé dans l'arrêté de 2004.

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 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.

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

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 sera 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 sera 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.

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

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 associé 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.

Ces mesures sont reprises ensuite dans les tableaux d'analyse de risques (cf. § 7.2.1.2).

☒ Il est rappelé que **l'annexe 6** précise pour chacune des mesures indiquées les exigences réglementaires (textes et articles associés) et les mesures indicatives ou obligatoires issues des normes. Il est rappelé que la **norme NF EN 378** n'est pas obligatoire dans sa totalité. **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
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	Annexe 6	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	Annexe 6	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 la EN 378-3 rendu obligatoire par l'arrêté du 16 juillet 1997
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	Annexe 6	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 (revoir la position du rejet, il doit se faire sans entrainer des conséquences notables sur l'environnement et les personnes).
P5	3.5.3	Indication de l'ouverture des soupapes

MV	Annexe 6	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	Annexe 6	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	Annexe 6	Mesure de prévention des chocs et bris mécaniques
B	3.8	Prévention des chocs et bris mécaniques

MC	Annexe 6	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	Annexe 6	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	Annexe 6	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 – Mettre en place des procédures de consignations (notamment pour les zones désaffectées).
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	Annexe 6	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 galeries
I6	3.14	Mise en place de système adéquat de lutte contre l'incendie
I7	3.14	Système de désenfumage à commande manuelle en SDM avec un extracteur 400°C.

MT	Annexe 6	Mesures de protection / limitation vis-à-vis de la fuite toxique
T1	4.1	Utilisation d'un système de détection de fuite
T2	4.2	Etude préalable de l'implantation des détecteurs (voir annexe 14).
T3	4.2	Arrêt impératif des pompes ammoniac en cas de fuite ammoniac en galeries techniques et utilisation d'un pressostat sur le départ liquide de la SDM (Annexe A EN 378 pour charge d'ammoniac > 3 000 kg) + vannes de sécurité à l'aspiration des pompes NH3 de la bouteille BP et le départ gaz chaud
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 et en galeries
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
T17		Protection en toiture pour créer un écran en cas de fuite d'ammoniac avec un détecteur pour arrêter la SDM.

MX	Annexe 6	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 avec signalisation (visuel et sonore) différente du 1 ^{er} et 2 ^{ème} seuils

MP	Annexe 6	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 galeries
P3	6	Vanne motorisée sur les rejets commandé par la détection ammoniac – cuve de 5 m ³ en cas de détection dans les eaux de rejets (Eaux de dégivrage + cuvettes stations de vannes)
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. Salle des machines

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

La salle des machines répond aux exigences de conception définies dans les normes relatives aux systèmes de réfrigération et pompes à chaleur (chapitre 5 de la norme NF EN 378-3).

Les dimensions de la salle des machines sont :

	Dimensions SDM1	Dimensions SDM2
Surface	356 (m ²)	232 (m ²)
Hauteur	6,7 (m)	7,0 (m)
Volume	2 392 (m ³)	1 624 (m ³) + 108 (m ³) pour l'édicule

Tableau 2 : Dimensions de la salle des machines

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.

La salle des machines est conforme aux exigences du chapitre 5 de la **norme NF EN 378-3** concernant notamment 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.

Les caractéristiques sont les suivantes :

Désignation	Débit	Hauteur de rejet
	m ³ /h	m
Salle des machines (Compresseurs et bouteilles MP et BP)		
SDM1 (Circuit n°1)	36 000*	18
SDM2 (Circuit n°2)	13 700	12

Tableau 3 : Caractéristiques de la ventilation SDM

5.8.2. Plateforme de condensation

Les condenseurs sont implantés à l'extérieur de la salle des machines en terrasse, ce qui les met à l'abri des chocs éventuels. De plus il sera réalisé un édicule entre les condenseurs servant de barrière passive.

La localisation par rapport à la salle des machines permet de minimiser les longueurs de tuyauteries. Et les régulateurs à flotteurs seront positionnés en sortie de condenseur dans l'édicule, ce qui réduit considérablement les longueurs et donc volume du liquide haute pression, et donc réduction des risques liés à cette partie du circuit.

5.8.3. Chambre froide

Les utilisateurs seront situés dans des locaux à l'extérieur de la salle des machines. Le système est direct pour la partie négative, l'ammoniac sera présent dans les évaporateurs au niveau des CF négatives.

Pour réduire le risque de fuite, les stations de vannes seront situées dans les galeries ou galeries techniques situées à côté des utilisateurs, des détecteurs de type toximétrique seront présents.

5.8.4. Galeries et/ou galeries techniques

Les tuyauteries assurant la liaison entre la salle des machines et les utilisateurs cheminent en toiture. Dans le cas de systèmes directs, l'ammoniac est alors présent dans ces tuyauteries.

Les locaux stations de vannes seront usuellement ventilés pour éviter l'accumulation d'ammoniac et disposent de détecteurs d'ammoniac à proximité des stations de vannes.

Les caractéristiques sont les suivantes :

Désignation	Débit	Hauteur de rejet
	m^3/h	m
Combles techniques (Circuit n°1)		
Extracteur Ligne E (T6)	1 620	14
Extracteur Ligne D (T7)	1 620	14
Extracteur Ligne T8	1 620	14
Extracteur Ligne C (T9)	1 620	14
Extracteur CF22A.1	1 620	14
Extracteur CF22A.2	1 620	14
Extracteur CF22B.1	1 620	14
Extracteur CF22B.2	1 620	14
Combles techniques (Circuit n°2)		
Stations de vannes (CF stockage n°1)	1 300	31
Stations de vannes (CF stockage n°2 et Quai process)	5 000	11

Tableau 4 : Caractéristiques de la ventilation galeries

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/m ³ à 0 °C 0.610 kg/m ³ à 20 °C
Masse volumique en phase liquide	634 kg/m ³ à 0 °C 607 kg/m ³ à 20 °C
Classification ATEX	
Groupe de gaz	IIA
Classement température	T1

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

Tableau 6 : 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 entraîner 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/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.

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 obtenus 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

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

6.3. Cartographie des potentiels de dangers

6.3.1. Cartographie des zones

- ☒ L'**annexe 8** Caractérisation de l'intensité - Résultats scénarii PHAST 8.22.
- ☒ L'**annexe 12** apporte des détails sur le principe de ventilation de la SDM.
- ☒ L'**annexe 13** apporte une carte localisant les potentiels de dangers (utilisateurs, salle des machines, points de rejet, cheminement des tuyauteries vers les utilisateurs...).

6.3.2. Profil altimétrique

Les résultats sont vérifiés avec le profil altimétrique, notamment au sud-ouest du site avec un dénivelé positif. ☒ L'**annexe 13** apporte les détails illustrés sur les profils altimétriques.

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.

Les stations de vannes et collecteurs de tuyauteries seront en toiture, (aucuns éléments en extérieur), toutes les vannes seront dans des locaux fermés. Les box stations de vannes seront équipés de ventilateurs d'extraction forcée reliés à un système de détection ammoniac.

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

Les régulateurs à flotteurs seront directement en sortie de condenseurs, ainsi on réduit au minimum la longueur de la tuyauterie liquide haute pression, et ainsi réduire au minimum le risque de fuite sur cette partie.

L'installation sera équipée d'un arrêt impératif des pompes SDM pour arrêter l'envoi d'ammoniac sur les utilisateurs en cas de fuite d'ammoniac.

- ☒ 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.

Atlantic Refrigeration Consulting EDD VANDEMOORTELE Reims (51)	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024
---	------------------	--

7. Retour d'expérience

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

☒ L'**annexe 4** Accidentologie – Synthèse et exemples (Base ARIA).

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 à la suite d'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 scénarios 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, galeries, 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.

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

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 :

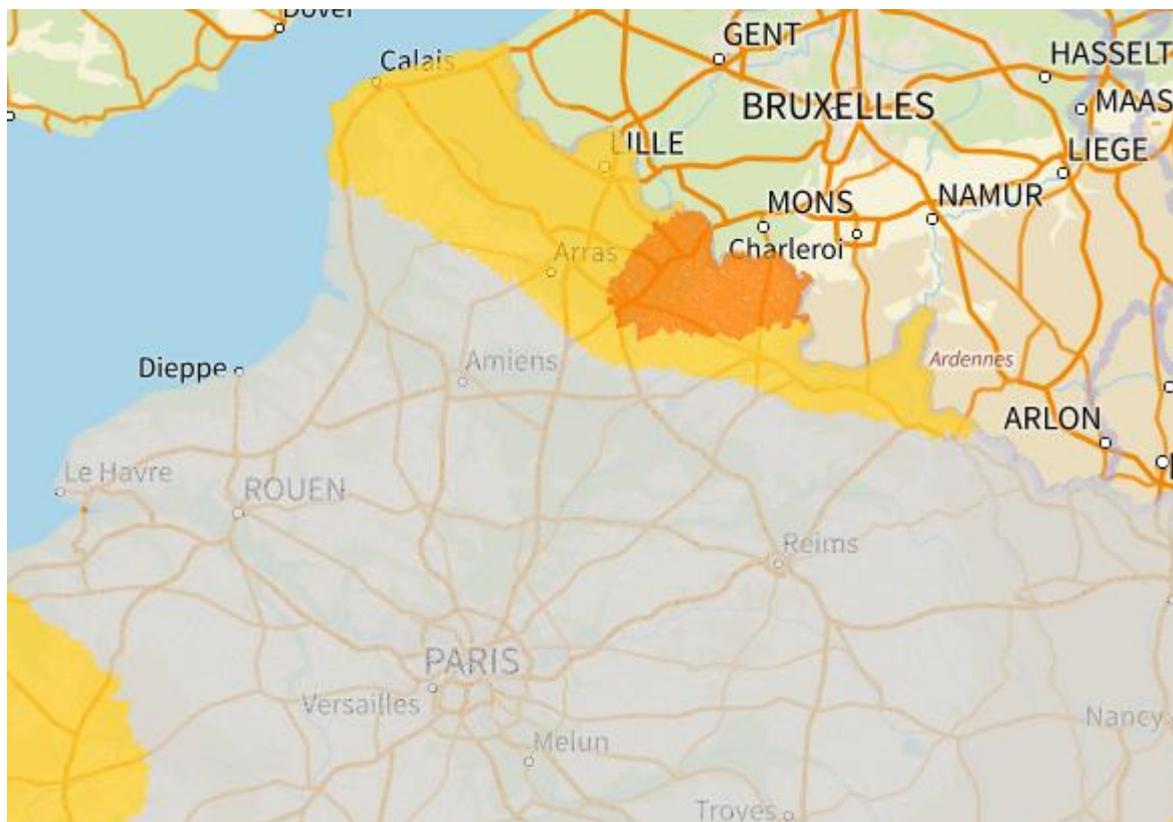
- Chute de météorite ;
- Séisme d'amplitude supérieure aux séismes maximums de référence éventuellement corrigés de facteurs, tels que définis par la réglementation applicable aux installations classées considérées ;
- Crues d'amplitude supérieure à la crue de référence, selon les règles en vigueur ;
- 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 VANDEMOORTELE à Reims se trouve en zone de sismicité très 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.

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

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 VANDEMOORTELE Reims n'est pas en zone inondable. Le canal de La Marne à L'Aisne se trouve à 1 km de la nouvelle SDM2.

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

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

8.1.3. Causes liées à l'activité humaine

8.1.3.1. Risque routier

Les voies de communication de proximité immédiate sont la départementale D944 à 65 m au Nord de la SDM, ensuite les voies d'accès au site. Les véhicules sont astreints aux règles de circulation internes, 10km/h maxi. De plus la zone où 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 Reims est l'Aéroport de Reims-Prunay, situé à 5,7 km au Sud-Est de la salle des machines (hors axe de la piste).

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 VANDEMOORTELE 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 VANDEMOORTELE Reims 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).

Atlantic Refrigeration Consulting EDD VANDEMOORTELE Reims (51)	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024
---	------------------	--

8.2. Causes internes liées au procédé

8.2.1. Analyse préliminaire des risques

L'identification des scénarios d'accidents liés au procédé est réalisée au travers d'une analyse préliminaire des risques (APR). 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 pour l'APR

Intensité		
Hors Site	4	Forte intensité (ex : Seuil d'Effet Létal) du phénomène à l'extérieur du site – Pollution lourde
	3	Phénomène qui 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 (réservoir HP, condenseur) ;
- Perte de confinement sur circuit BP et MP (séparateur de liquide, bouteillon d'huile, pompe de recirculation NH3) ;
- Perte de confinement poste utilisateur (évaporateur, station de vannes) ;
- 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.](#)

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

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)**, 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, 16, 17, 24, 26, 27)** (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)** ; deux situations sont retenues :
 - ✓ 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)** : 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)** ; 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 ERC retenus, les phénomènes dangereux retenus sont :

- La dispersion toxique ;

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 8.3).

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 ;
- Utilisateurs (chambre froide, surgélateurs...) et/ou gaines techniques entre la salle des machines et les utilisateurs.

❖ 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 minimales

❖ 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 précédent, 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).
Utilisateurs Galeries techniques Toiture	Rupture guillotine de la tuyauterie liquide BP	Le cheminement des tuyauteries BP est étudié pour identifier les caractéristiques des locaux et zones traversées (galeries...).
	Rupture guillotine de la tuyauterie dégivrage gaz chaud HP	On retient la rupture guillotine sur la tuyauterie de départ gaz chaud HP vers les utilisateurs, cette tuyauterie est utilisée pour le dégivrage.

Atlantic Refrigeration Consulting EDD VANDEMOORTELE Reims (51)	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024
---	------------------	--

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.
- Si elles sont prévues pour cela, les vanelles d'air se ferment en cas de surpression dans le local ; des effets au sol par les interstices du local et/ou les vanelles 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 et pompes) 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 fermeture des vannes automatiques s'effectue avec le même temps de réponse ; la fermeture des vannes manuelles, qui nécessiterait de s'équiper, n'est pas retenue dans l'étude.
- La durée d'exposition aux nuages toxiques correspond aux durées de persistance des nuages toxiques, qui dépendent du scénario 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 (Annexe 2 de l'Arrêté du 25 septembre 2005) :

- 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 »

Complément sur la détermination de la valeur seuil pour un effet donné en fonction du temps d'exposition (suivant le document de l'INERIS DRC-07-82347-07520A) :

« N.B. D'un point de vue toxicologique, **il n'est pas pertinent de déterminer de valeur seuil** pour un effet donné (létaux, irréversible ou réversible) **pour des durées d'exposition inférieures à 10 minutes**. Ceci s'explique en raison de la physiologie respiratoire et les apnées réflexes mis en jeu en cas d'exposition à des substances irritantes par inhalation.

Ainsi, la valeur du seuil de toxicité aiguë pour une exposition d'une minute est purement une donnée mathématique calculée sans réelle valeur toxicologique. Il est donc illusoire de vouloir déterminer des valeurs pour des durées d'exposition inférieures à une minute. »

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.

9.3.2. 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/m ²)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0

Tableau 7 : Conditions météorologiques génériques

9.3.3. 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.

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

9.3.4. Présentation des résultats

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'écartier 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 maîtrises 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).

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	Semi-quantitative	Quantitative (par unité 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	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	

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

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 PCIG (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) :
 - ✓ Tuyauterie HP / MP : DN 150 / DN 125 ;
 - ✓ Tuyauterie BP : DN 250 ;
- Pompes : type centrifuge sans garniture ;
- Compresseurs : type volumétrique ;
- Condenseurs : adiabatiques ;
- Evaporateurs : à plaques et tubes/ailettes.

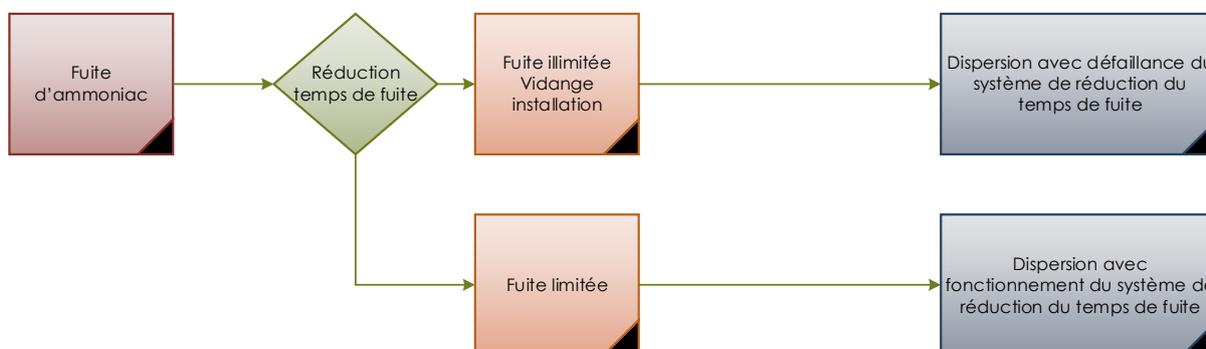
11.2.2. Evaluation de la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux

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

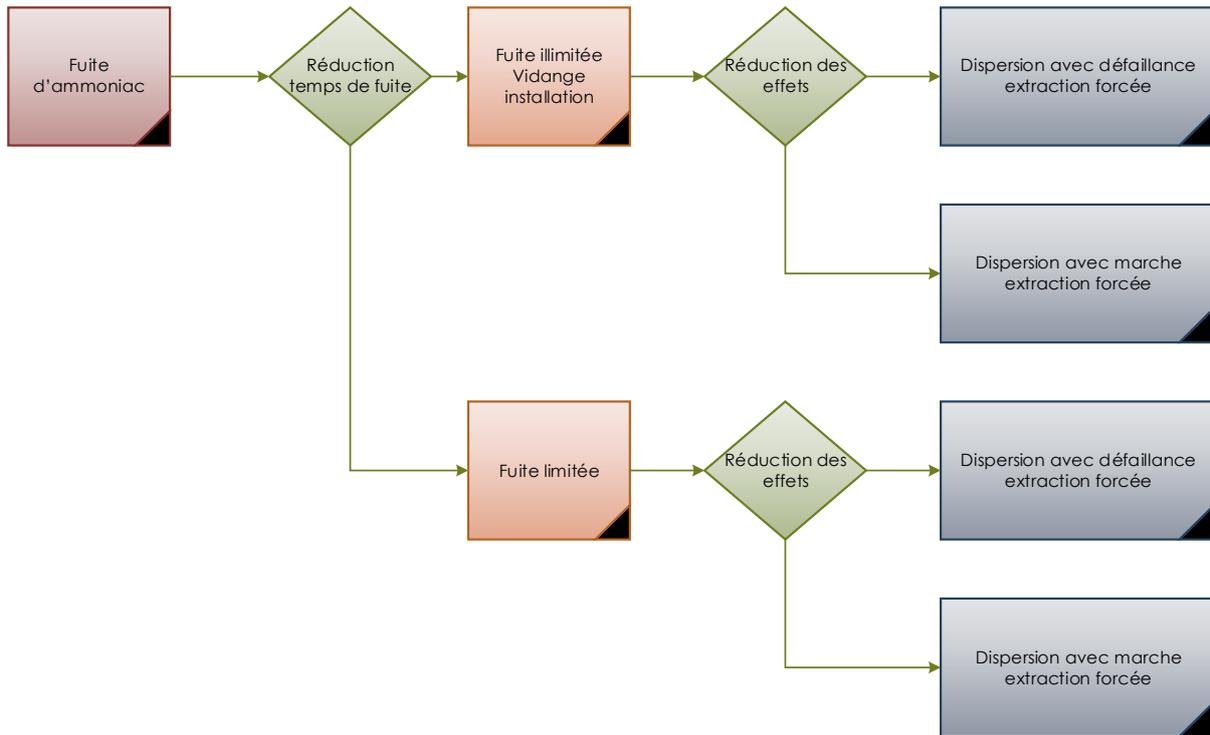
- De la fréquence de l'ERC (voir § 11.2.1)
- De la probabilité de défaillance des mesures de maîtrise des risques de limitation des effets (cf. § 11.2.3).

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

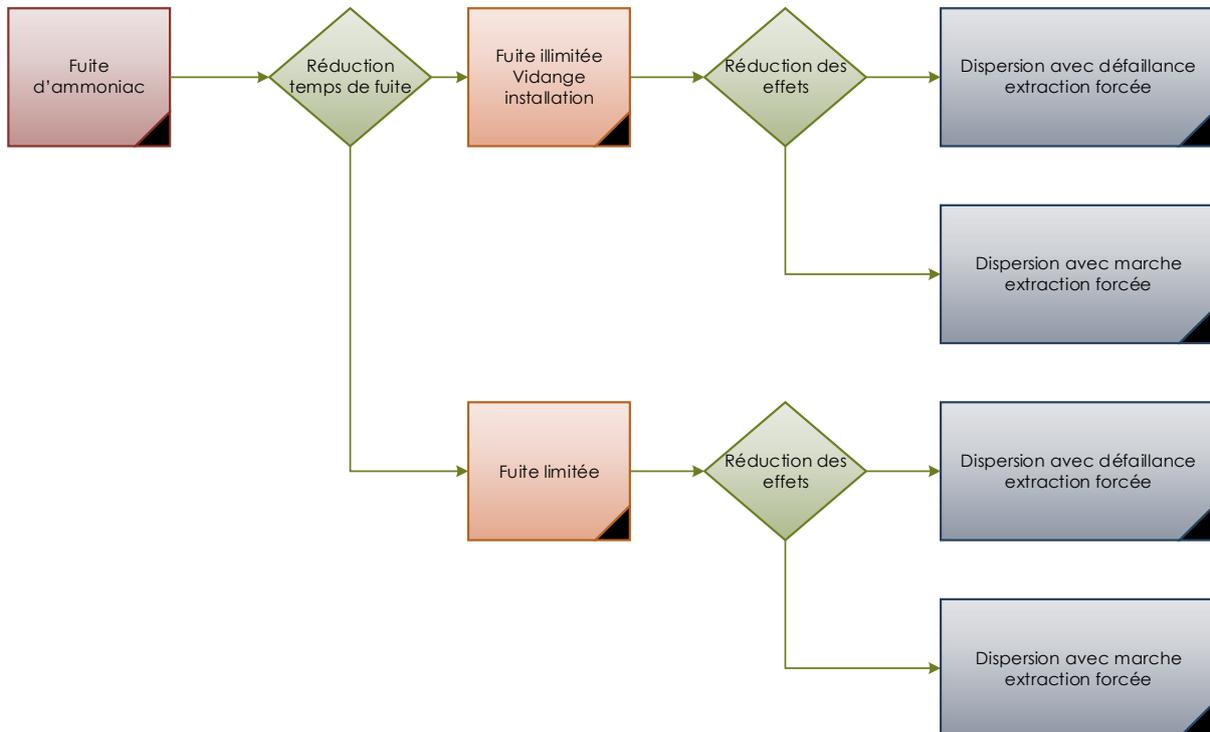
- **Fuite d'ammoniac à l'extérieur :**



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



o **Fuite d'ammoniac en chambre froide ou dans les gaines techniques / galeries :**



Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

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 10⁷ pour les barrières techniques de sécurité :
- Oméga 20⁸ 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	3
Fermeture automatique des portes	X		Sans objet		1	2
Cuvette de rétention dans locaux	X		Sans objet		1	3
Cheminée d'extraction air ammoniacé	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 ammoniacé dans cheminée		X	Sans objet		30	2
Pressostat de sécurité type double soufflet		X	Sans objet		1	2
Soupape de sécurité		X	Sans objet		1	2
Vannes de décharge en décompression		X	Sans objet		1	1
Clapet anti-retour		X	Sans objet		1	2
Bouton arrêt d'urgence		X	Sans objet		1	2
Niveau électrique de sécurité		X	Sans objet		1	1
Détecteur incendie avec capteurs		X	Oui		30	2
Détecteur NH3		X	Sans objet		15	2
Capteur NH3		X	Sans objet		1	2
Détecteur NH3 + capteurs		X	Oui		16	2
Ventilateur d'extraction d'air ammoniacé 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 :

Zone géographique	ERC	PhD retenus
Extérieur	Rupture guillotine de la tuyauterie HP	Scénario 14, 24 : Rupture guillotine d'un tube interne au condenseur.
	Relâchement des soupapes de sécurités	Scénario 15, 25 : Ouverture des soupapes de sécurité avec échappement via le collecteur en extérieur.
Salle des machines	Rupture guillotine de la tuyauterie HP en aval du condenseur	Scénario 10, 20 : Rupture guillotine de la tuyauterie HP vapeur en amont du condenseur. Scénario 11, 21 : Rupture guillotine de la tuyauterie HP liquide en aval du condenseur.
	Perte de confinement sur la bouteille MP/BP	Scénario 12, 22 : Rupture guillotine de la tuyauterie liquide BP en aval des pompes ammoniac. Scénario 13, 23 : Rupture guillotine de la tuyauterie liquide BP en amont des pompes ammoniac ou échangeur s'il n'y a pas de pompes.
Utilisateurs Gaines techniques	Rupture guillotine de la tuyauterie BP liquide	Scénario 16, 26 : Rupture guillotine de la tuyauterie liquide BP à l'entrée d'une station de vannes.
	Rupture guillotine de la tuyauterie Gaz chaud HP	Scénario 17, 27 : Rupture guillotine de la tuyauterie gaz chaud à l'entrée d'une station de vannes.

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

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 confinée (salle des machines, galeries, 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.

Disfonctionnement de l'extracteur d'air ammoniacqué (Perte d'utilité) :

En cas de disfonctionnement de l'extracteur d'air ammoniacqué (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.

On mettra en place deux capteur d'ammoniac ATEX 0/100% LIE avec un seuil d'avertissement prévenant du seuil d'explosivité (15 et 20%).

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.

Atlantic Refrigeration Consulting	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
EDD VANDEMOORTELE Reims (51)		Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024

12. Caractérisation de la cinétique des événements

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 (vanelles, 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.

- **Rappel des résultats du système n°1 (SDM1)** suivant les scénarii étudiés après mise en œuvre des mesures de prévention et de maîtrise des risques (MMR) :

N°	PhD	Classe proba	Distances d'effet à hauteur des enjeux			Cinétique	Gravité
			SELS	SEL	SEI		
10	Rejet d'un nuage toxique par l'extraction de sécurité. Dispersion du nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détection d'ammoniac = arrêt immédiat au 2 ^{ème} seuil du fonctionnement de tous les circuits de la SDM + coupure des énergies et maintenir en l'extracteur de sécurité en service. Hauteur de rejet = 18 m	Modéré
11	Rejet d'un nuage toxique par l'extraction de sécurité. Dispersion du nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détection d'ammoniac = arrêt immédiat au 2 ^{ème} seuil du fonctionnement de tous les circuits de la SDM + coupure des énergies et maintenir en l'extracteur de sécurité en service. Hauteur de rejet = 18 m	Modéré

12	Rejet d'un nuage toxique par l'extraction de sécurité. Dispersion du nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détection d'ammoniac = arrêt immédiat au 2 ^{ème} seuil du fonctionnement de tous les circuits de la SDM + coupure des énergies et maintenir en l'extracteur de sécurité en service. Hauteur de rejet = 18 m Fermeture des vannes de sectionnement à sécurité positive	Modéré
13	Rejet d'un nuage toxique par l'extraction de sécurité. Dispersion du nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détection d'ammoniac = arrêt immédiat au 2 ^{ème} seuil du fonctionnement de tous les circuits de la SDM + coupure des énergies et maintenir en l'extracteur de sécurité en service. Hauteur de rejet = 18 m Fermeture des vannes de sectionnement à sécurité positive	Modéré
14	Rejet d'ammoniac par un tube. Dispersion d'un nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détection d'ammoniac = arrêt immédiat au 2 ^{ème} seuil du fonctionnement de tous les circuits de la SDM + Avertissement fuite extérieure. Isolation du condenseur.	Modéré
15	Rejet d'ammoniac par le collecteur des soupapes. Dispersion d'un nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Rejet à l'atmosphère via un collecteur Détection d'ammoniac avec le capteur rejet soupapes. Un périmètre de sécurité incendie serait également mis en place. Intervention des secours.	Modéré

16.1 16.2	Rejet d'ammoniac par une canalisation de liquide BP en intérieur (Surgélateur)	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac au niveau des stations de vannes pour arrêter immédiatement au 2 ^{ème} seuil le fonctionnement des stations de vannes et maintenir en service le ventilateur de l'extraction. Arrêt des pompes ammoniac + vannes de sécurité	Modéré
17	Rejet d'ammoniac par une canalisation de gaz chaud HP en extérieur (CF1)	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac au niveau des stations de vannes pour arrêter immédiatement au 2 ^{ème} seuil le fonctionnement des stations de vannes et maintenir en service le ventilateur de l'extraction. Arrêt des dégivrages en cours + fermeture vanne de sécurité départ gaz chaud	Modéré

- o **Rappel des résultats du système n°2 (SDM2)** suivant les scénarii étudiés après mise en œuvre des mesures de prévention et de maîtrise des risques (MMR) :

N°	PhD	Classe proba	Distances d'effet à hauteur des enjeux			Cinétique	Gravité
			SELS	SEL	SEI		
20	Rejet d'un nuage toxique par l'extraction de sécurité. Dispersion du nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détection d'ammoniac = arrêt immédiat au 2 ^{ème} seuil du fonctionnement de tous les circuits de la SDM + coupure des énergies et maintenir en l'extracteur de sécurité en service. Hauteur de rejet = 14 m	Modéré
21	Rejet d'un nuage toxique par l'extraction de sécurité. Dispersion du nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détection d'ammoniac = arrêt immédiat au 2 ^{ème} seuil du fonctionnement de tous les circuits de la SDM + coupure des énergies et maintenir en l'extracteur de sécurité en service. Hauteur de rejet = 14 m	Modéré
22	Rejet d'un nuage toxique par l'extraction de sécurité. Dispersion du nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détection d'ammoniac = arrêt immédiat au 2 ^{ème} seuil du fonctionnement de tous les circuits de la SDM + coupure des énergies et maintenir en l'extracteur de sécurité en service. Hauteur de rejet = 14 m Fermeture des vannes de sectionnement à sécurité positive	Modéré
23	Rejet d'un nuage toxique par l'extraction de sécurité. Dispersion du nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détection d'ammoniac = arrêt immédiat au 2 ^{ème} seuil du fonctionnement de tous les circuits de la SDM + coupure des énergies et maintenir en l'extracteur de sécurité en service. Hauteur de rejet = 14 m Fermeture des vannes de sectionnement à sécurité positive	Modéré

24	Rejet d'ammoniac par un tube. Dispersion d'un nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détection d'ammoniac = arrêt immédiat au 2 ^{ème} seuil du fonctionnement de tous les circuits de la SDM + Avertissement fuite extérieure. Isolation du condenseur.	Modéré
25	Rejet d'ammoniac par le collecteur des soupapes. Dispersion d'un nuage toxique à l'extérieur.	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Rejet à l'atmosphère via un collecteur Détection d'ammoniac avec le capteur rejet soupapes. Un périmètre de sécurité incendie serait également mis en place. Intervention des secours.	Modéré
26.1 26.2	Rejet d'ammoniac par une canalisation de liquide BP en intérieur (Surgélateur)	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac au niveau des stations de vannes pour arrêter immédiatement au 2 ^{ème} seuil le fonctionnement des stations de vannes et maintenir en service le ventilateur de l'extraction. Arrêt des pompes ammoniac + vannes de sécurité	Modéré
27	Rejet d'ammoniac par une canalisation de gaz chaud HP en extérieur (CF1)	D	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Détecteurs d'ammoniac au niveau des stations de vannes pour arrêter immédiatement au 2 ^{ème} seuil le fonctionnement des stations de vannes et maintenir en service le ventilateur de l'extraction. Arrêt des dégivrages en cours + fermeture vanne de sécurité départ gaz chaud	Modéré

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	8 33	0 34	0 35
Sérieux (2)	1 21	5 22	5 23	9 24	0 25
Modéré (1)	1 11	8 12	13 13	26 14	9 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	78 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 (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)	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 21 24 11	Scénarii 21 22 23 24 25 26 27 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 maîtrisés dans cette EDD maintenus pour le Porter à Connaissance sont les suivants :

N°	Désignations ERC
10 20	Rupture d'un tube entre compresseurs et les condenseurs dans l'édicule (au niveau d'une vanne ou accessoire) = Perte de confinement vapeur HP à l'intérieur. Voir scénario 11 similaire et majorant avec liquide HP
11 21	Rupture d'un tube à la sortie du condenseur dans l'édicule (au niveau d'une vanne ou accessoire) = Perte de confinement liquide HP à l'intérieur. Scénario Majorant, voir résultat avec PHAST version 8.22 en Annexe 8
12 22	Rupture d'un tube en dessous de la bouteille BP – Installation en fonctionnement = Perte de confinement liquide BP à l'intérieur. Voir scénario 13 similaire et majorant avec pression plus importante
13 23	Rupture d'une canalisation en dessous de la bouteille BP – Installation à l'arrêt (à l'arrêt avec une <u>élévation de la pression</u>) <u>avec limitation du rejet par la mise en place de vannes de sécurité</u> = Perte de confinement liquide BP à l'intérieur. Scénario Majorant, voir résultat avec PHAST version 8.22 en Annexe 8
14 24	Rupture d'un tube à l'intérieur du condenseur en extérieur = Perte de confinement liquide HP en extérieur. Scénario tube extérieur voir résultat avec PHAST version 8.22 en Annexe 8
15 25	<u>Effet domino</u> : Cas d'un incendie en SDM. Relâchement des soupapes de sécurité = Décharge des soupapes vapeur HP (collecteur) à l'atmosphère. Scénario cas incendie, voir résultat avec PHAST version 8.22 en Annexe 8
16 26	Rupture d'une canalisation sur la station de vannes la plus importante (Surgélateur) en comble usine = Perte de confinement liquide BP à l'intérieur. Scénario Majorant dans les combles, voir résultat avec PHAST version 8.22 en Annexe 8
17 27	Rupture d'une canalisation sur une station de vannes de la CF1 en toiture = Perte de confinement vapeur HP en extérieur = Perte de confinement vapeur HP en extérieur. Scénario Majorant en extérieur, voir résultat avec PHAST version 8.22 en Annexe 8

Atlantic Refrigeration Consulting EDD VANDEMOORTELE Reims (51)	Etude de dangers	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC Réf. : ED22-0356v3 – 05/01/2024
---	------------------	--

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 liquéfiés*, 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 maîtrise des risques : Tableau de synthèse des évaluations

Annexe 8 : Caractérisation de l'intensité - version PHAST 8.22 (Modèle intégral)

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 : Etude d'implantation de la détection NH3