

Atlantic Refrigeration Consulting

Annexe 9

Analyse détaillée des risques (ADR) - Arbres d'évènements
génériques

Frédéric LE BRONNEC
27/10/2023

Table des matières

1. Eléments de base	2
2. Evaluation des fréquences des évènements initiateurs	4
3. Evaluation des fréquences des évènements redoutés centraux (ERC).....	5
4. Résumé des fréquences annuelles de défaillances des équipements	7
5. Arbres relatifs à la dispersion toxique	9
5.1. A – Perte de confinement NH3 HP à l'extérieur de la salle des machines	11
5.2. B – Perte de confinement par relâchement d'NH3 par les soupapes en cas d'incendie	12
5.3. C - Perte de confinement MP/BP à l'intérieur de la salle des machines	13
5.4. D - Perte de confinement HP à l'intérieur d'un local (SDM ou annexe)	14
5.5. E - Perte de confinement HP dans l'édicule (zone condensation)	15

Atlantic Refrigeration Consulting	Annexe 9	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
AMR SEAFRIGO Guadeloupe - Aéroport		Indice : v1 – 23/08/2018

Cette annexe présente des arbres d'événements génériques à partir des ERC « fuite d'ammoniac ».

Ces arbres constituent des nœuds-papillons génériques qui doivent être adaptés ensuite à chaque site (équipements présents, localisation à l'intérieur ou à l'extérieur de la salle des machines...).

Les événements directement en amont des ERC ont été représentés ; chaque événement en amont (fuite sur un équipement) est associé à un des arbres des causes présentés en annexe 5. Les équipements identifiés sont ceux potentiellement présents dans une salle des machines. Mais la configuration sur un site donné peut être différente (condenseur en terrasse, évaporateur au niveau des utilisateurs...).

On évaluera le phénomène dangereux à partir du seul événement en amont de l'ERC majorant pour ses effets.

1. Eléments de base

Cette **Analyse Détaillée des Risques (ADR)** fait suite à l'**Analyse Préliminaires des Risques (APR)** effectuée précédemment selon la méthode AMDEC qui a été présentée dans l'annexe 5.

L'APR a permis d'aboutir à l'identification générale des risques pouvant exister sur les installations frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac. Cette première étape a conduit à l'identification des phénomènes dangereux susceptibles de se produire suite à l'occurrence d'événements non désirés, eux-mêmes résultant de la combinaison de dysfonctionnements, dérives ou agressions extérieures sur le système.

Les résultats obtenus à la suite de la première étape ont conduit à la mise en place d'un certain nombre de barrières de prévention et de protection.

Après la mise en place de ces barrières de prévention et de protection, différents scénarii de fuite ont été envisagés afin de vérifier que les cibles extérieures ne soient pas atteintes. Il apparaît que les zones de danger restent bien à l'intérieur de la limite de propriété.

L'analyse détaillée des risques (**ADR**) qui suit, consistera en un examen approfondi des accidents majeurs potentiels identifiés précédemment lors de l'APR, des scénarii (séquences d'événements) susceptibles d'y conduire et des mesures de maîtrise des risques associées.

Relativement à la réduction des risques, il s'agit à ce stade de s'assurer de la **performance et de l'adéquation des barrières de sécurité** envisagées face aux risques.

Tous les phénomènes dangereux identifiés, au sens de l'arrêté du 29 septembre 2005, sont issus d'une perte de confinement des circuits frigorifiques se traduisant par une libération de l'ammoniac dans l'atmosphère. L'ammoniac libéré en grande quantité dans l'atmosphère est une substance toxique pouvant produire des dommages à des cibles vivantes (personnes, animaux ou autres éléments vulnérables) ou matérielles.

Dans sa démarche d'évaluation du risque, l'INERIS propose d'estimer la probabilité à partir de la fréquence d'occurrence des événements initiateurs en prenant en compte le niveau de confiance des barrières de sécurité jugées performantes et adaptées. C'est ce principe qui a été retenu dans ce dossier.

Dans l'approche de chaque ERC, apparaît la probabilité d'occurrence de l'ERC concerné.

Cette perte de confinement pouvant survenir sur l'installation frigorifique correspond donc à l'événement redouté central (E.R.C) défini dans le glossaire établi par l'INERIS.

Désignation	Signification	Définition	Exemples
E.in.	Evènement indésirable	Dérive ou défaillance sortant du cadre des conditions d'exploitation usuelles définies.	Élévation anormale de la température ambiante ou manque d'eau ou panne ventilateur, agression mécanique.
E.C.	Evènement Courant	Événement admis survenant de façon récurrente dans la vie d'une installation.	Encrassement condenseur ou entartrage.
E.I.	Evènement Initiateur	Cause directe d'une perte de confinement ou d'intégrité physique.	Montée en pression.
E.R.C.	Evènement Redouté Central	Perte de confinement sur un équipement dangereux ou perte d'intégrité physique d'une substance dangereuse.	Rupture, brèche d'une canalisation ou casse d'un compresseur.
E.R.S.	Evènement Redouté Secondaire	Conséquence directe de l'événement redouté central, l'événement secondaire caractérise le terme source de l'accident.	Formation d'un nuage d'ammoniac, d'une flaque, projection de pièces.
Ph.D.	Phénomène Dangereux	Phénomène physique pouvant engendrer des dommages majeurs.	Dispersion du nuage d'ammoniac dans le voisinage, explosion dans SDM, blessures corporelles.
E.M.	Effet Majeur	Dommages occasionnés à des personnes, à l'environnement ou à des biens par les effets d'un phénomène dangereux.	Effets létaux ou irréversibles sur la population et synergies d'accident.
Barrières ou Mesures de Prévention		Barrières ou mesures visant à prévenir la perte d'un confinement ou d'intégrité physique.	Peinture anti corrosion, pressostat HP, contrôle débit eau, etc.
Barrières ou Mesures de Protection		Barrières ou mesures visant à limiter les conséquences de la perte de confinement ou d'intégrité physique.	Vannes de sectionnement automatiques, confinement des bâtiments, moyens intervention, etc.

Tableau : 9.1

2. Evaluation des fréquences des événements initiateurs

Les fréquences des Événements Initiateurs (EI) sont déterminées à partir des bases de données connues et par retour d'expérience.

L'évaluation des fréquences d'occurrence des causes des événements est faite selon une approche semi quantitative selon la grille de fréquence suivante, extraite du rapport DRA 34-opération b et c.

Pour les installations frigorifiques utilisant l'ammoniac (NH₃) comme fluide frigorigène nous pouvons les résumer de la façon suivante.

Classe de fréquence	Traduction qualitative	Traduction quantitative
-2	Événement susceptible de se produire ou se produisant tous les jours ou toutes les semaines.	Environ 100 fois par an
-1	Événement susceptible de se produire ou se produisant tous les mois.	Environ 10 fois par an
0	Événement susceptible de se produire ou se produisant tous les ans. S'est déjà produit sur le site ou de nombreuses fois sur d'autres sites.	Environ 1 fois par an
1	Événement probable dans la vie d'une installation. Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais a été observé de façon récurrente sur d'autres sites.	Environ 10⁻¹ fois par an
2	Événement peu probable dans la vie d'une installation. Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais quelques fois sur d'autres sites.	Environ 10⁻² fois par an
3	Événement improbable dans la vie d'une installation. Ne s'est jamais produit de façon rapprochée sur le site mais très rarement sur d'autres sites.	Environ 10⁻³ fois par an ou < à 10⁻³ fois par an

Tableau : 9.2

REMARQUE : il est important lorsque l'événement se produit plusieurs fois par an, de lui attribuer une classe inférieure à 0 afin de ne pas sous-estimer ensuite la fréquence d'occurrence des phénomènes dangereux liés à des causes fréquentes.

Les barrières de sécurité (EIPS) remplissant les fonctions de sécurité sont indépendantes des organes de régulation. Elles sont déterminées en fonction de leur **efficacité, de leur temps de réponse et de leur niveau de confiance (NC)**. Voir annexe 7.

Efficacité = Aptitude d'une barrière technique de sécurité à remplir la fonction de sécurité pour laquelle elle a été choisie, dans un contexte d'utilisation et pendant une durée donnée. Cette aptitude s'exprime en pourcentage d'accomplissement de la fonction définie, en considérant un fonctionnement normal. Ce pourcentage peut varier pendant la durée de sollicitation de la barrière technique de sécurité.

Temps de réponse : Intervalle de temps entre le moment où une barrière de sécurité, dans son contexte d'utilisation, est sollicitée et le moment où la fonction de sécurité assurée par cette barrière de sécurité est réalisée dans son intégralité. Il s'exprime en seconde.

Niveau de confiance (NC) : Adaptation des exigences des normes NF-EN 61508 et CEI 61511 Etude de l'architecture des systèmes suivant les tableaux donnés dans la norme.	Proportion de défaillance en sécurité	Tolérances aux anomalies matérielles (redondance ou non)		
		0	1	2
< 60%	NC1 (10 ⁻¹)	NC2 (10 ⁻²)	NC3 (10 ⁻³)	NC3 (10 ⁻³)
60% à < 90%	NC2 (10 ⁻²)	NC3 (10 ⁻³)	NC4 (10 ⁻⁴)	NC4 (10 ⁻⁴)
90% à < 99%	NC3 (10 ⁻³)	NC4 (10 ⁻⁴)	NC4 (10 ⁻⁴)	NC4 (10 ⁻⁴)
> 99%	NC3 (10 ⁻³)	NC4 (10 ⁻⁴)	NC4 (10 ⁻⁴)	NC4 (10 ⁻⁴)

Tableau : 9.3

3. Evaluation des fréquences des événements redoutés centraux (ERC)

L'évaluation des fréquences des **Evénements Redoutés Centraux** est faite selon une approche semi quantitative à partir des classes de fréquence d'occurrence des causes et des **probabilités de défaillance des barrières techniques ou organisationnelles qui interviennent en prévention**.

On peut choisir :

- D'évaluer la probabilité d'occurrence de l'ERC pour **une seule cause**.
- D'évaluer la probabilité d'occurrence de l'ERC en tenant compte de **l'ensemble des causes**. Il y a alors agrégation des scénarios (des causes) pour évaluer la fréquence de l'ERC.

Etant donné le nombre relativement varié de matériel installé sur les installations frigorifiques, nous choisirons de faire une approche de l'évaluation en tenant compte de **l'ensemble des causes**.

Il faut dans un premier temps évaluer les fréquences d'occurrence de l'ERC dues à **chaque cause** de la façon suivante.

Les évaluations résultent des fréquences des causes précédemment évaluées et des probabilités de défaillance des barrières.

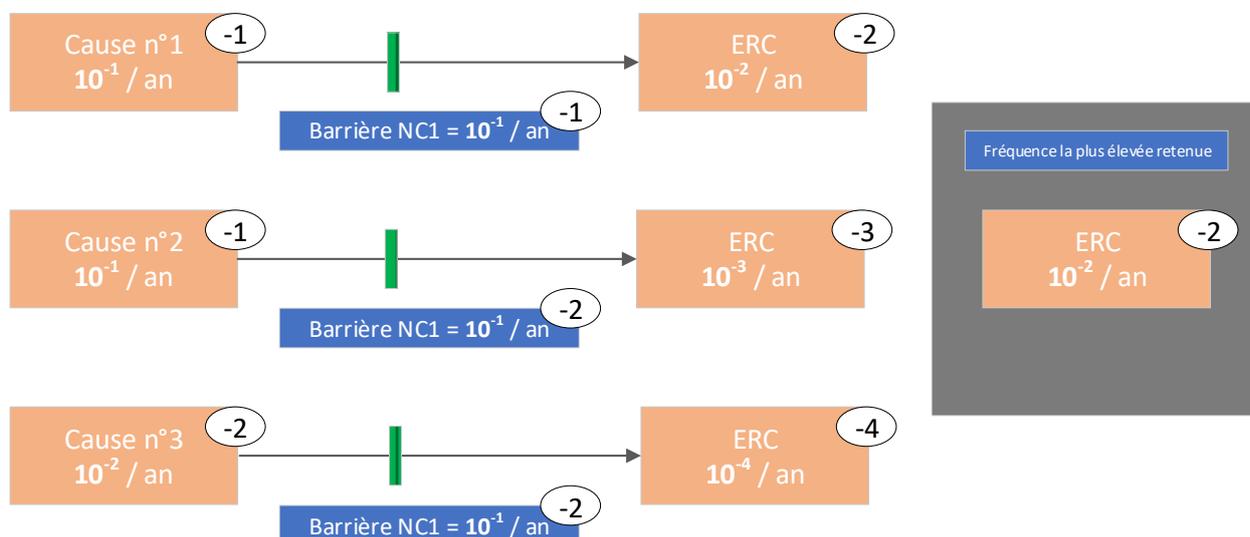
Une méthode d'évaluation, telle que décrite dans le rapport DRA34 – opérations b et c [7] est présentée ci-dessous.

Pour une cause donnée, la fréquence d'occurrence a été estimée à **F_n**, correspondant approximativement à une fréquence d'occurrence de l'ordre de **10⁻ⁿ /an**.

Les barrières en prévention réduisent la probabilité d'occurrence d'avoir un événement redouté central : si le niveau de confiance de la barrière est de **x**, correspondant approximativement à une probabilité de défaillance à la sollicitation de **10^{-x}**, la fréquence d'occurrence de l'ERC est alors égale à **10^{-(n + x)}**, correspondant à une classe de fréquence ne **n + x**.

Si plusieurs barrières indépendantes agissent en prévention, le niveau de confiance global (somme des niveaux de confiance des différentes barrières) sera pris en compte.

Puis on agrège les différentes causes, **en retenant la fréquence la plus élevée** quel que soit le nombre de scénarii.



4. Résumé des fréquences annuelles de défaillances des équipements

Résumé des fréquences annuelles de défaillance des équipements (Issu des différentes littératures reprises par l'INERIS).

Matériel	Qté matériel semblable	Fréquence unitaire	Fréquence globale
Défaillance d'un joint ou vanne	1	0,001	0,001
Défaillance d'un flexible de charge	1	0,01	0,01
Défaillance d'une boucle de régulation	1	0,01	0,01
Défaillance d'un régulateur	1	0,01	0,01
Défaillance d'un capteur de niveau	1	0,01	0,01
Défaillance d'un capteur de débit	1	0,01	0,01
Défaillance d'une électrovanne	1	0,01	0,01
Défaillance relais électrique	1	0,01	0,01
Capteur de pression / Pressostat simple	1	0,01	0,01
Transmetteur de pression	1	0,01	0,01
Ouverture intempestive d'une soupape	1	0,001	0,001
Défaillance d'une vanne de décharge de pression	1	0,01	0,01
Défaillance de fermeture d'une vanne de sécurité	1	0,01	0,01
Capteur de pression / Pressostat homologué	1	0,001	0,001

Tableau : 9.4

Nombre d'heures de fonctionnement annuel	8 800	Nombre d'opération / an	Durée de l'opération en heures	Fréquence unitaire	Fréquence globale
Opération, évènement naturel ou incontrôlé					
Tremblement de terre pouvant entraîner rupture de tuyaux		1	1	0,000 001	0,000 001
Inondation		1	1	1E-07	1E-07
Chute d'objets volants		1	1	0,000 010	0,000 010
Défaillance d'un réservoir nu non calorifugé		1	1	0,000 001	0,000 001
Rupture guillotine sur tuyauterie diam<49mm, par m/an		1	1	0,000 001	0,000 001
Rupture guillotine sur tuyauterie 149<diam<49mm, par m/an		1	1	5E-07	5E-07
Rupture guillotine sur tuyauterie 299<diam<149mm, par m/an		1	1	2E-07	2E-07
Pour une canalisation calorifugée appliquer un coef de		1	1	10	10
Fuite moyenne sur tuyauterie diam<49mm, par m/an		1	1	0,000 005	0,000 005
Fuite moyenne sur tuyauterie 149<diam<49mm, par m/an		1	1	0,000 001	0,000 001
Fuite moyenne sur tuya. 299<diam<149mm, par m/an		1	1	7E-07	7E-07
Intervention d'un tiers (impact véhicule)		1	1	0,001	0,001
Feu externe de grande ampleur		1	1	0,010	0,010
Erreur opérateur sur manœuvre de vannes		12	1	0,01	1,36E-05
Erreur opérateur sur soutirage d'huile des bouteilles BP		12	1	0,1	0,000 136
Erreur opérateur sur vidange huile compresseur		1	1	0,1	1,14E-05
Erreur opérateur sur appoint huile compresseur		12	2	0,1	0,000 273

Tableau : 9.5

Atlantic Refrigeration Consulting	Annexe 9	Rédacteur : Frédéric LE BRONNEC
AMR SEAFRIGO Guadeloupe - Aéroport		Indice : v1 – 23/08/2018

5. Arbres relatifs à la dispersion toxique

Les arbres correspondent aux ERC suivants classés dans un ordre décroissant (du plus important au moins important), repérés sur ces installations de réfrigération pourraient provenir essentiellement de :

- Fuite liquide HP dans la salle des machines ;
- Fuite gaz HP dans la salle des machines ;
- Fuite liquide BP dans la salle des machines ;
- Fuite gaz BP dans la salle des machines.

Les rejets d'ammoniac peuvent s'effectuer en trois zones :

- Extérieur (terrasse ou au sol) ;
- Salle des machines ;
- Utilisateurs et/ou gaines techniques entre la salle des machines et les utilisateurs.

Les mesures de maîtrise des risques possibles sur la dispersion toxique ont été identifiées sur le nœud-papillon (sous forme de fonction de sécurité). Celles-ci se retrouvent dans les tableaux d'APR présentés en annexe 5 :

- Réduction du temps de fuite : détection humaine et/ou détection ammoniac conduisant à l'arrêt de l'installation et/ou à la fermeture de vannes via un système de traitement ;
- Réduction des effets : détection humaine et/ou détection ammoniac conduisant à la mise en route de l'extraction forcée via un système de traitement.

Les arbres présentés correspondent à des pertes de confinement dans la salle des machines.

Les arbres associés à des fuites hors de la salle des machines (en extérieur ou au niveau des utilisateurs et/ou des gaines techniques) seront simplifiés dans la mesure où :

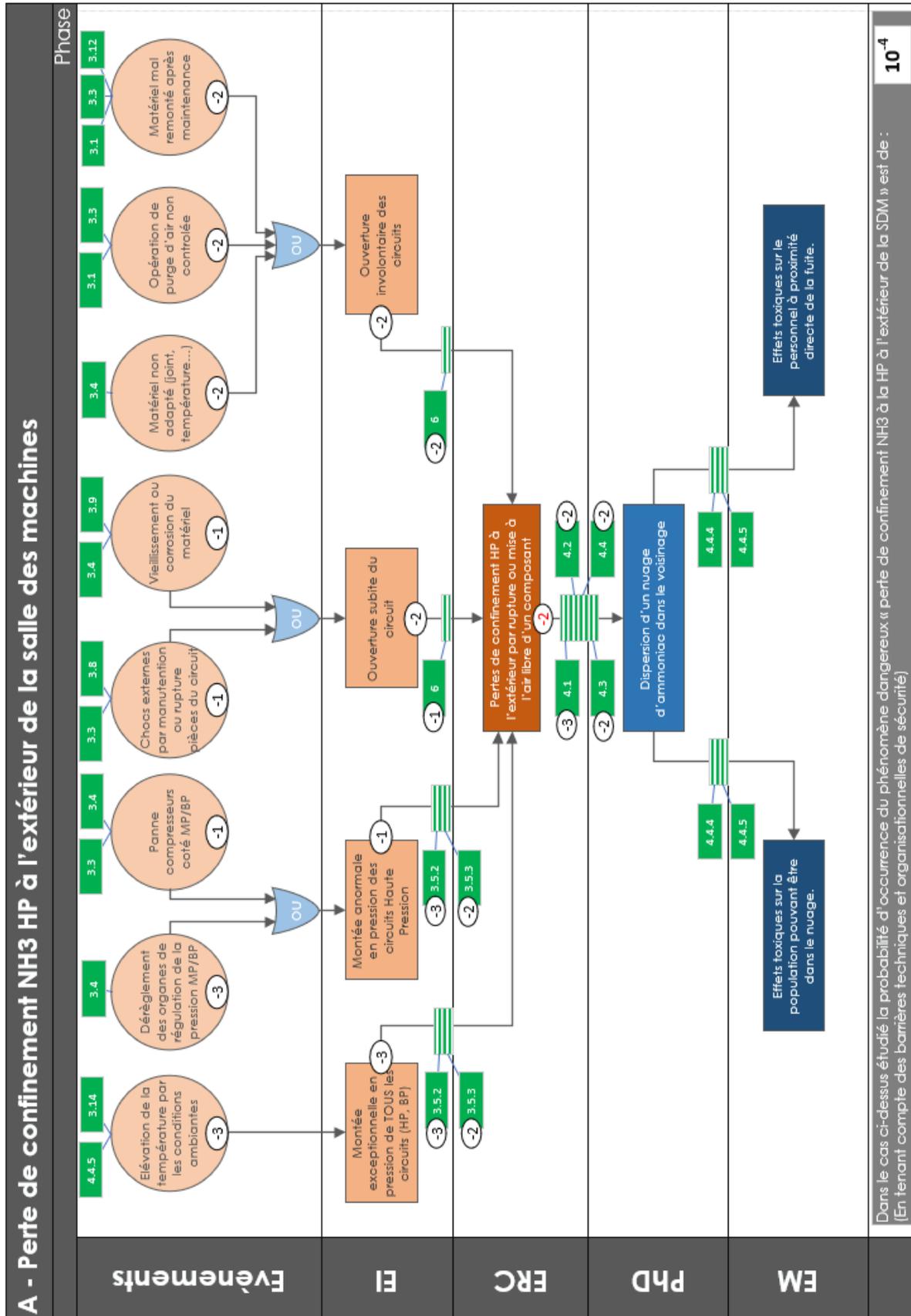
- La MMR « réduction des effets par mise en route de l'extraction » n'existe pas (sauf cas particulier éventuel des fuites en combles techniques ventilés) ;
- Certains équipements indiqués dans les arbres d'événements en salle des machines ne sont pas implantés à l'extérieur (compresseur...).

Rep.	ERC (Installation de réfrigération)	Scénario	Remarques
	Perte de la charge d'ammoniac HP (Liquide ou vapeur) EN EXTERIEUR au niveau des condenseurs évaporatifs (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).		Non retenu, car les tuyauteries des condenseurs sont dans l'édicule.
E	Perte de la charge d'ammoniac à l'état liquide au niveau du réservoir HP dans local ANNEXE (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).	11	
A	Perte de la charge d'ammoniac à l'état liquide ou vapeur HP à l'intérieur d'un condenseur évaporatif (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).	14	
B	Perte de la charge d'ammoniac par les soupapes de sécurité des installations, en cas d'incendie.	15	
C	Perte de la charge d'ammoniac à l'état liquide au niveau d'une bouteille BP ou MP dans la salle des machines (à l'arrêt et minoré en fonctionnement).	12 et 13	
D	Perte de la charge d'ammoniac au niveau d'une station de vannes (liquide ou vapeur) dans les combles (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).	16 et 17	
E	Perte de la charge d'ammoniac à l'état liquide HP au niveau des connexions d'un condenseur dans l'édicule fermé ou dans la SDM (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).	11	
E	Perte de la charge d'ammoniac à l'état vapeur HP au niveau des connexions d'un condenseur dans l'édicule fermé ou dans la SDM (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).	10	
	Perte de la charge d'ammoniac à l'état liquide HP au niveau du condenseur de la PAC dans la SDM (en fonctionnement et minoré à l'arrêt).		Non retenu, car pas de PAC sur l'installation

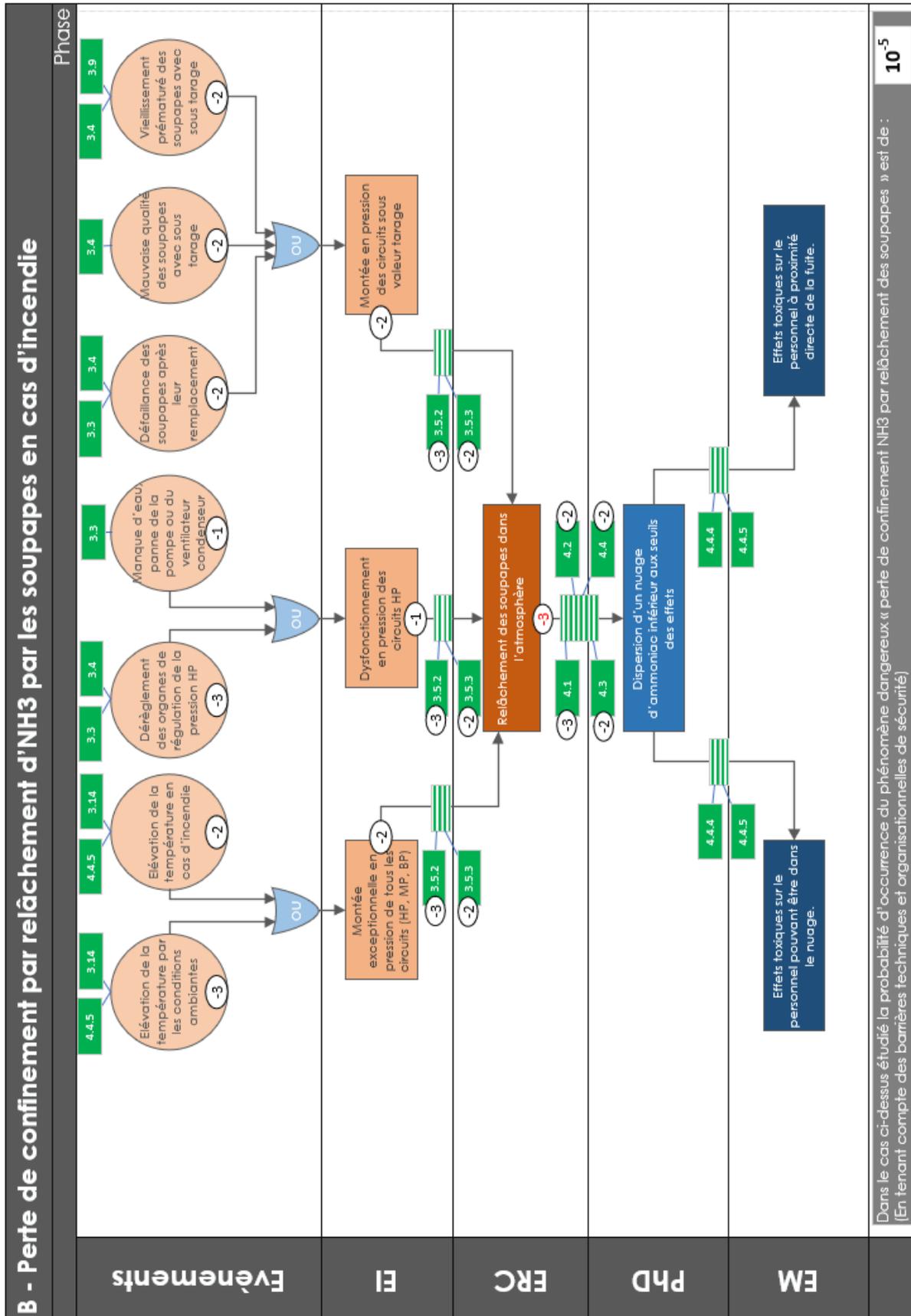
Tableau : 9.6

Rappel : Scénario XY ; X n° du système (des installations peuvent être constitués de plusieurs systèmes) ; Y correspond au scénarii et ERC ci-dessus.

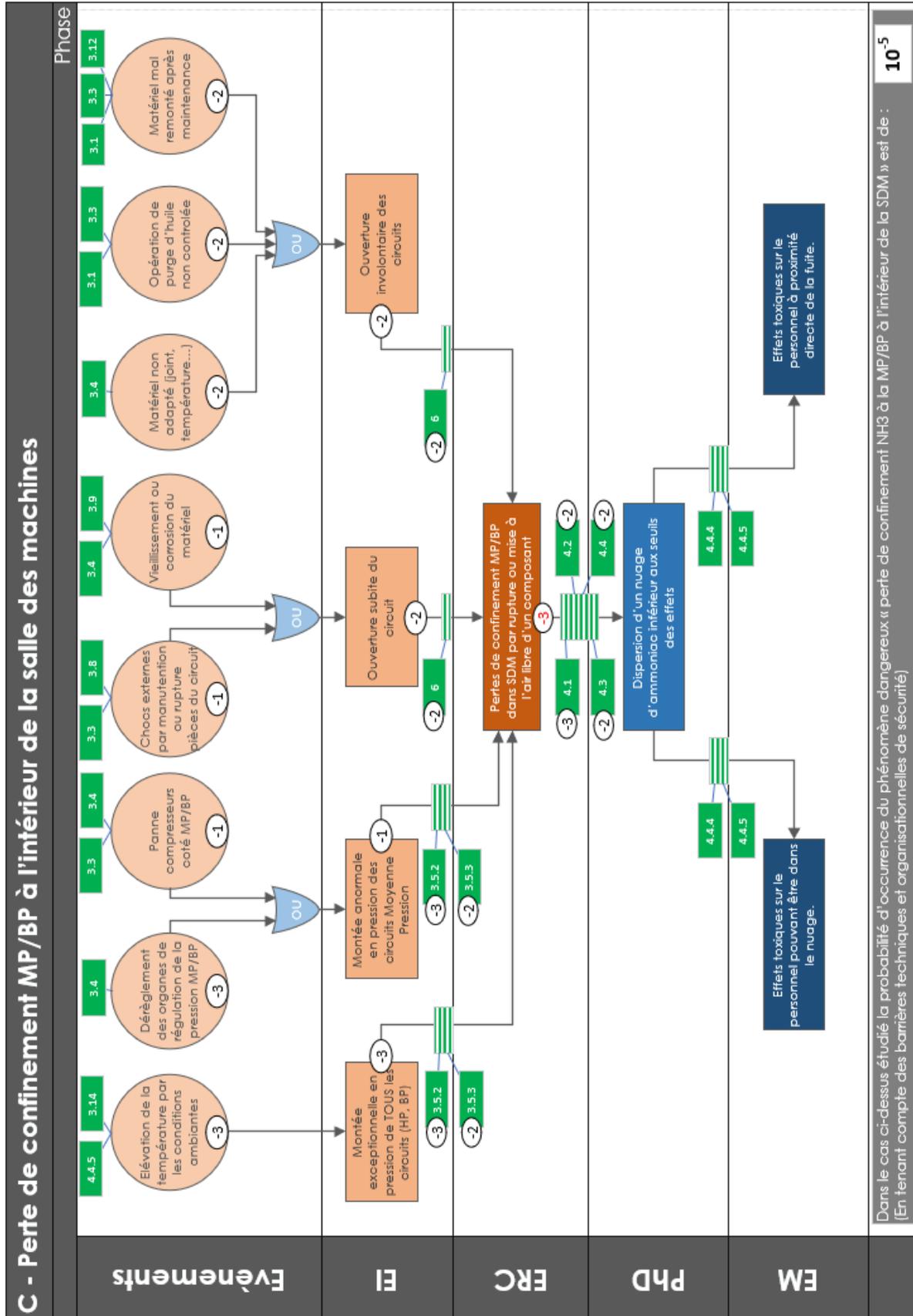
5.1. A – Perte de confinement NH3 HP à l'extérieur de la salle des machines



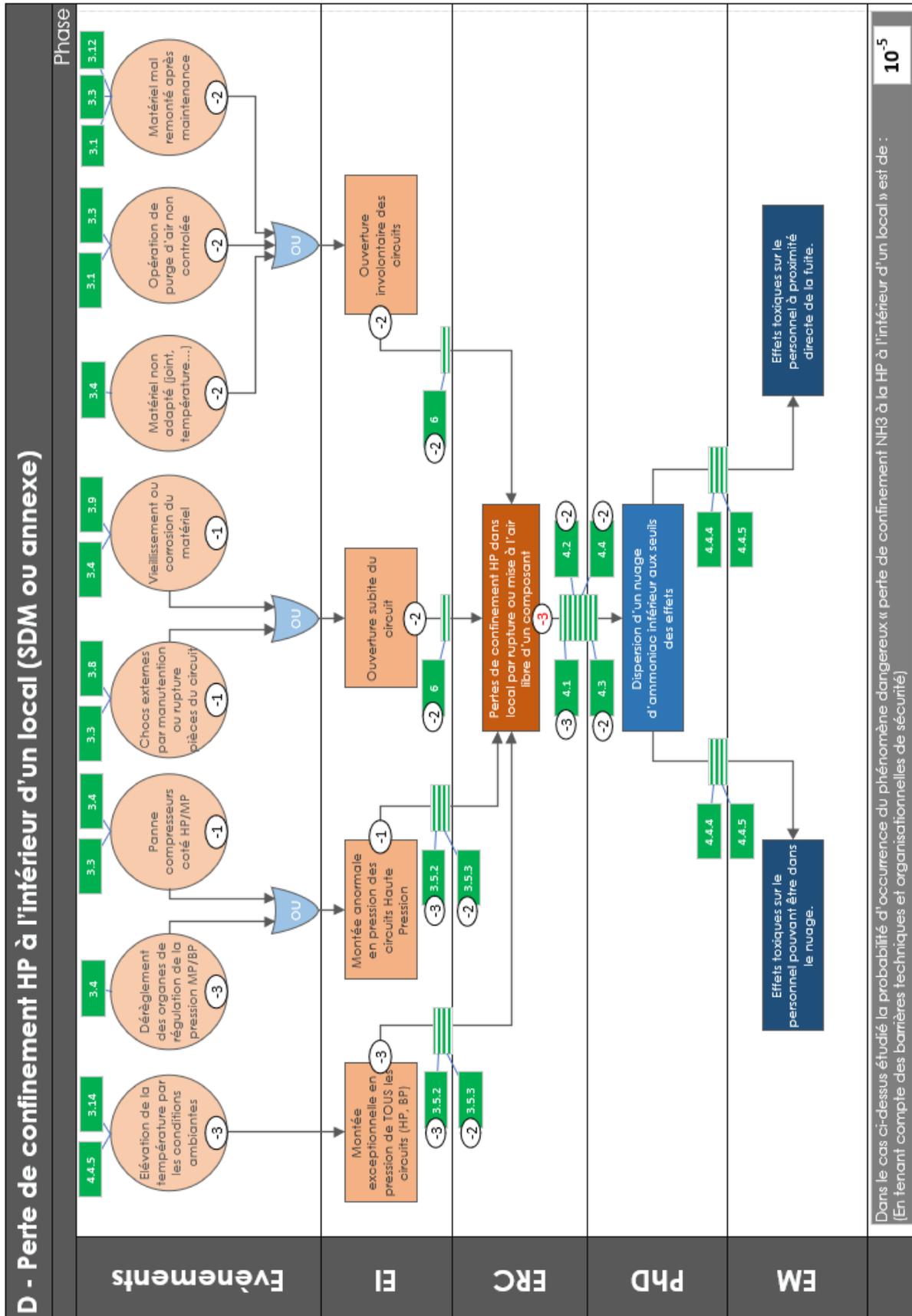
5.2. B – Perte de confinement par relâchement d’NH3 par les soupapes en cas d’incendie



5.3. C - Perte de confinement MP/BP à l'intérieur de la salle des machines



5.4. D - Perte de confinement HP à l'intérieur d'un local (SDM ou annexe)



5.5. E - Perte de confinement HP dans l'édicule (zone condensation)

