

RAPPORT D'ÉTUDE
N° DRA-13-133211-11876C

22/09/2014

**Programme EAT DRA 71 – Opération B1 :
Approche probabiliste**

**Guide pratique pour la validation des
probabilités des phénomènes dangereux des
installations de stockage d'ammoniac**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

**Programme EAT DRA 71 – Opération B1 : Approche
probabiliste**

**Guide pratique pour la validation des probabilités des
phénomènes dangereux des installations de stockage
d'ammoniac**

**Verneuil-en-Halatte
Direction des Risques Accidentels**

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Marion DEMEESTERE,
Clément LENOBLE

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Relecture	Vérification		Approbation
NOM	Marion DEMEESTERE	Valérie DE DIANOUS	Christophe BOLVIN	Guillaume CHANTELAUVE	Sylvain CHAUMETTE
Qualité	Ingénieur Unité Evaluation Quantitative des Risques Direction des Risques Accidentels	Responsable du Programme DRA 71 Unité Evaluation Quantitative des Risques Direction des Risques Accidentels	Responsable de l'Unité Evaluation Quantitative des Risques Direction des Risques Accidentels	Délégué Appui à l'Administration Direction des Risques Accidentels	Responsable du Pôle Analyse et Gestion Intégrée des Risques Direction des Risques Accidentels
Visa					

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION ET OBJECTIFS	9
Généralités	9
Objectifs de ce guide	9
Apports et limites du guide	10
ELEMENTS PREALABLES A L'UTILISATION DU GUIDE	13
1. CHAMP D'APPLICATION DU GUIDE PRATIQUE	13
2. PRESENTATION DU CONTENU DU GUIDE PRATIQUE	15
2.1 Données recensées	15
2.2 Nœuds papillon types.....	16
2.3 Synthèse des fréquences de perte de confinement	18
2.4 Répartitions de causes d'événements redoutés centraux	19
2.5 Liste non-exhaustive des mesures de maîtrise des risques	21
3. UTILISATION DU GUIDE	23
3.1 Etapes 1 et 2 : Justification qualitative de la maîtrise du risque	24
3.2 Etape 3 : La quantification probabiliste des phénomènes dangereux ou accidents majeurs	24
3.2.1 Estimation en groupe de travail	24
3.2.2 Confrontation aux données du guide pratique	26
3.3 Exemple de déroulement de la démarche.....	28
3.4 Limites du guide	30
3.4.1 Sources de données.....	30
3.4.2 Cas particulier des ruptures et fuites d'équipements	31
4. CONTRIBUTIONS DE L'INERIS DANS LE DOMAINE DE L'EVALUATION DE LA PROBABILITE	33
4.1 Sources de données pour les évaluations probabilistes.....	33
4.2 Données d'entrée des évaluations probabilistes	33
4.3 Utilisation du retour d'expérience	34
4.4 Règles de calcul pour les évaluations des probabilités	34
4.5 Confrontation au retour d'expérience	34
4.6 Guides sur la probabilité dans des installations spécifiques.....	34
4.7 Articulation des différents rapports INERIS relatifs à la probabilité	35

5. DESCRIPTION SUCCINCTE DES INSTALLATIONS ET PHENOMENES DANGEREUX ASSOCIES.....	37
5.1 Les configurations de stockage de l'ammoniac	37
5.2 Description des réservoirs cryogéniques.....	38
5.3 Description des réservoirs semi-réfrigérés	39
5.4 Description des réservoirs pressurisés à température ambiante.....	40
5.5 Description des postes de chargement/déchargement.....	41
5.6 Phénomènes dangereux rencontrés.....	42
GUIDE PRATIQUE SUR LES INSTALLATIONS DE STOCKAGE D'AMMONIAC ..	43
1. RESERVOIRS CRYOGENIQUES	43
1.1 Fréquences de perte de confinement de réservoirs cryogéniques	43
1.2 Nœud papillon	43
1.2.1 Commentaires.....	43
1.2.2 Nœud papillon n°1 – Perte de confinement d'un réservoir cryogénique	44
2. RESERVOIRS SEMI-REFRIGERES.....	45
2.1 Fréquences de perte de confinement de réservoirs semi-réfrigérés	45
2.2 Nœud papillon	45
2.2.1 Commentaires.....	45
2.2.2 Nœud papillon n°2 – Perte de confinement d'un réservoir semi-réfrigéré.....	46
3. RESERVOIRS SOUS PRESSION	47
3.1 Fréquences de perte de confinement de réservoirs sous pression	47
3.2 Nœud papillon	47
3.2.1 Commentaires.....	47
3.2.2 Nœud papillon n°3 – Perte de confinement d'un réservoir sous pression.....	48
4. TUYAUTERIES.....	49
4.1 Fréquences de perte de confinement de la tuyauterie.....	49
4.2 Nœud papillon	50
4.2.1 Commentaires.....	50
4.2.2 Nœud papillon n°4 – Perte de confinement au niveau de la tuyauterie	51
5. POMPES ET COMPRESSEURS.....	53
5.1 Fréquences de perte de confinement des pompes et compresseurs	53
5.2 Nœud papillon	53
5.2.1 Commentaires.....	53

5.2.2 Nœud Papillon n°5 - Perte de confinement au niveau des pompes et compresseurs	54
6. FLEXIBLES OU BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT (CITERNE ROUTIERE OU FERROVIAIRE)	55
6.1 Fréquences de perte de confinement sur un flexible ou bras de chargement/déchargement (citerne routière ou ferroviaire)	55
6.2 Nœuds papillon	55
6.2.1 Commentaires	55
6.2.2 Nœud papillon n°6 – Fuite sur un flexible ou bras de chargement/déchargement (citerne routière ou ferroviaire).....	56
6.2.3 Nœud papillon n°7 – Rupture totale sur un flexible ou bras de chargement/déchargement (citerne routière ou ferroviaire).....	57
7. BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT SUR UN BATEAU	59
7.1 Fréquences de perte de confinement d’une opération de chargement/déchargement sur une citerne (maritime).....	59
7.2 Nœuds papillon	59
7.2.1 Commentaires	59
7.2.2 Nœud papillon n°8 – Fuite sur un bras de chargement/déchargement (bateau)	60
7.2.3 Nœud papillon n°9 – Rupture sur un bras de chargement/déchargement (bateau)	61
8. LISTE INDICATIVE DE MESURES DE MAITRISE DES RISQUES	63
8.1 MMR relatives aux réservoirs de stockage.....	63
8.2 MMR relatives aux tuyauteries, pompes et compresseurs	64
8.3 MMR relatives aux postes de chargement / déchargement	65
CONCLUSION	67
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	69
LISTE DES ANNEXES	71

Liste des Figures

Figure 1 : Consommation internationale d'ammoniac (%)	13
Figure 2 : Champ d'application du guide sur les installations de stockage d'ammoniac.....	14
Figure 3 : Données recensées dans le guide pratique	16
Figure 4 : Arbre de défaillances « Agressions externes du système »	18
Figure 5 : Proposition de démarche de quantification probabiliste	23
Figure 6 : Première étape : renseigner les événements qui peuvent être quantitativement estimés par le groupe de travail	25
Figure 7 : Seconde étape : utiliser les données du guide pratique pour comparer/compléter les données de l'arbre de défaillance	27
Figure 8 : Exemple de la perte de confinement d'une tuyauterie – quantification en GT	28
Figure 9 : Extrapolation et simplification des données proposées dans le guide pour le cas d'une tuyauterie de 100 mètres de longueur et 100 mm de diamètre	29
Figure 10 : Approche probabiliste et travaux de l'INERIS.....	36
Figure 11 : Diagramme d'équilibre liquide/vapeur de l'ammoniac	37
Figure 12 : Réservoir cryogénique à double paroi.....	39
Figure 13 : Réservoir semi-réfrigéré.....	40
Figure 14 : Réservoir pressurisé à température ambiante	41

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Echelle de classes de fréquence proposée par l'INERIS	19
Tableau 2 : Typologie retenue pour caractériser les incertitudes associées aux données	20
Tableau 3 : Exemple d'utilisation du guide - Confrontation des résultats GT/Guide	30
Tableau 4 : Exemples de définition de rupture de tuyauterie	32
Tableau 5 : Paramètres relatifs aux différentes configurations de stockage de l'ammoniac	38
Tableau 6 : Liste indicative de mesures de maîtrise des risques liées aux réservoirs de stockage	64
Tableau 7 : Liste indicative de mesures de maîtrise des risques liées aux tuyauteries, pompes et compresseurs.....	65
Tableau 8 : Liste indicative de mesures de maîtrise des risques liées aux postes de chargement/déchargement.....	66

INTRODUCTION ET OBJECTIFS

GENERALITES

Les installations stockant ou manipulant de l'ammoniac peuvent, selon les quantités de ce produit susceptibles d'être présentes, être soumises à un régime d'autorisation au titre des installations classées, ou être de statut Seveso « seuil bas » ou « seuil haut ». Les seuils applicables sont notamment définis par la rubrique 4735 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), relative à l'ammoniac¹. En 2010, il existait en France 15 sites comportant au moins une installation de statut Seveso seuil haut (seuil de 200 tonnes) au titre de la rubrique 4735.

Les installations soumises à autorisation font l'objet d'une étude de dangers (Article L512-1 du Code de l'environnement). Ce document a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par l'exploitant pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques d'une installation ou d'un groupe d'installations.

L'arrêté du 29 septembre 2005² précise que les études de dangers doivent caractériser la probabilité d'occurrence, la cinétique, l'intensité des phénomènes dangereux et la gravité des accidents majeurs susceptibles de se produire.

Les probabilités de phénomènes dangereux et accidents majeurs potentiels sont évaluées selon une échelle de probabilité (définie en annexe 1 de l'arrêté de septembre 2005). Bien que guidés par la réglementation, les exploitants restent libres du choix de la méthode à retenir pour mener cette estimation probabiliste. Ce guide ayant vocation à être opérationnel, les éléments détaillés du cadre réglementaire des évaluations en probabilités et les familles de méthodes d'évaluation sont présentés en Annexe D.

La mise en œuvre d'une telle estimation probabiliste nécessite une méthode et des données d'entrées. Ces dernières peuvent être spécifiques à une installation, spécifiques à un secteur d'activité, ou génériques.

OBJECTIFS DE CE GUIDE

Le présent rapport concerne les installations de stockage et de dépotage / empotage d'ammoniac visées par le groupe de travail national sectoriel ammoniac³ (Seveso seuil haut). Le guide vise à offrir un accompagnement pour la quantification probabiliste des phénomènes dangereux ou accidents majeurs dans le cadre des études de dangers de ces installations.

¹ Nomenclature applicable au 1^{er} juin 2015 suite à la transposition de la Directive Seveso III.

² 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

³ Le groupe de travail ammoniac se réunit depuis 2003 et est composé d'industriels, d'inspecteurs, d'experts et de représentants du ministère.

La première partie de ce document, « Eléments préalables à l'utilisation du guide », vise à fournir les éléments nécessaires à la compréhension des données présentées dans ce guide, tant dans leur utilisation que dans leurs limites. Ces éléments sont les suivants :

- la présentation du champ d'application du guide pratique (chapitre 1) ;
- la présentation des données recensées dans le guide (chapitre 2) ;
- Le mode d'emploi du guide avec un exemple détaillé et les limites du guide (chapitre 3) ;
- Le recensement de l'ensemble des autres contributions de l'INERIS dans le cadre du programme EAT-DRA 71, sur les différents aspects de l'évaluation probabiliste. Ces travaux détaillent certains aspects évoqués dans le présent rapport (chapitre 4) ;
- La présentation succincte des installations et des phénomènes dangereux rencontrés (chapitre 5).

La seconde partie de ce document, « Guide pratique sur les installations de stockage d'ammoniac », présente le guide pratique en lui-même.

APPORTS ET LIMITES DU GUIDE

Le guide présenté en seconde partie de ce document capitalise les données d'entrée relatives à la quantification des risques au sein des installations de stockage d'ammoniac et les met en cohérence avec des nœuds papillon génériques. Ces nœuds papillon sont représentatifs de l'analyse des risques d'un secteur d'activité donné et issus en majeure partie du groupe de travail ammoniac (GT NH₃).

Une synthèse des scénarios d'accidents et des données de probabilités et de fréquences disponibles pour le cas des installations de stockage d'ammoniac est ainsi présentée. Ce travail se base sur des éléments du GT NH₃, qui consistent notamment en :

- des schémas ;
- des nœuds papillon génériques (chapitres 1 à 7) ;
- des barrières de sécurité (chapitre 8).

Les nœuds papillon sont renseignés avec des données d'entrée issues du traitement de sources d'informations diverses émanant du monde du risque accidentel et qui sont aujourd'hui à la disposition de l'INERIS : exploitation de retour d'expérience, exploitation d'avis d'experts, bases de données (cf. Annexe C), etc.⁴.

Ces données d'entrée sont :

- des fréquences d'occurrence d'événements redoutés centraux (ERC) ;
- des répartitions de causes en amont de l'ERC.

⁴ Les travaux sur les sources de données menés dans le cadre du « DRA 71 - Panorama des sources de données utilisées dans les analyses quantitatives des risques » alimentent cette réflexion.

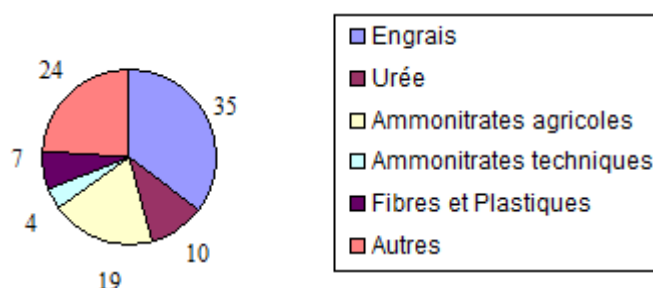
Ces informations ont vocation à être comparées avec celles, plus complètes et spécifiques, déterminées lors de l'analyse des risques de l'installation concernée. Elles sont destinées à alimenter la réflexion du groupe de travail afin de porter un regard critique sur la quantification des scénarios accidentels en probabilité.

Les données présentées dans ce guide sont à considérer avec précaution, pour les raisons explicitées au chapitre 3.4 de la première partie de ce document. Le degré d'incertitude qu'elles présentent et leur applicabilité parfois limitée du fait de leur caractère « générique » constituent les principales limites de leur utilisation. En effet, les éléments proposés dans le guide ont pour vocation d'indiquer un « état standard moyen de la sécurité » qui n'est pas précisément défini. Il appartient donc à l'utilisateur, lorsqu'il utilise ces données pour réaliser une étude de dangers, d'identifier et de tenir compte des spécificités du site étudié.

ELEMENTS PREALABLES A L'UTILISATION DU GUIDE

1. CHAMP D'APPLICATION DU GUIDE PRATIQUE

L'ammoniac (formule brute : NH_3) est fabriqué directement par la combinaison de l'hydrogène et de l'azote sous haute pression et à haute température en présence d'un catalyseur. Les principales matières premières dans la fabrication de l'ammoniac sont le gaz naturel et l'air. L'ammoniac est employé à différentes fins, comme illustré dans la Figure 1 ci-dessous.



Source : IPSN, rapport de Daniel Fulleringer

Figure 1 : Consommation internationale d'ammoniac (%)

L'ammoniac est inflammable et toxique et a une classification harmonisée « gaz inflammable » (H221), « toxique par inhalation » (H331), « provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves » (H314) et « très toxique pour les organismes aquatiques » (H400) selon la réglementation CLP⁵. En France, l'emploi et le stockage de l'ammoniac font l'objet d'une rubrique dans la nomenclature des installations classées (rubrique 4735).

Ce guide a pour objet les installations de stockage et de dépotage / empotage d'ammoniac de statut Seveso seuil haut (installations visées par le GT NH_3). Toute autre installation industrielle où de l'ammoniac est susceptible d'être présent est exclue du champ d'application du guide (ex : installation de réfrigération à l'ammoniac dans une usine agroalimentaire).

Une installation de stockage d'ammoniac comporte typiquement les équipements suivants :

- des réservoirs de stockage ;
- des équipements de transferts : tuyauteries, pompes et compresseurs ;
- des postes de chargement/déchargement : camion-citerne, wagon-citerne, bateau.

⁵ CLP regulation (EC) n°1272/2008 – Regulation on classification, labelling and packaging of substances and mixtures

Ces installations sont concernées par le présent guide et sont décrites brièvement dans le chapitre 5 de la première partie de ce rapport. Le schéma fonctionnel très simplifié ci-après permet de visualiser le champ d'application de ce guide. Les indications de chapitres figurant sur le schéma renvoient aux parties du guide pratique où sont présentées les données pour l'estimation probabiliste par type d'équipement.

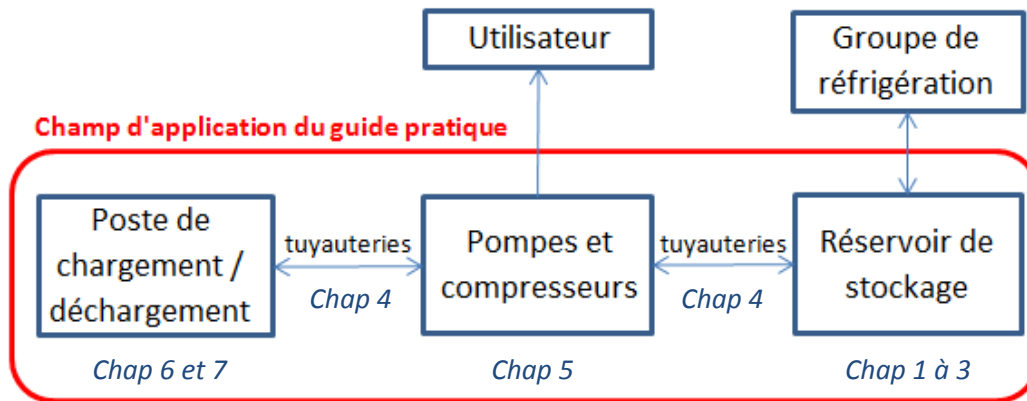


Figure 2 : Champ d'application du guide sur les installations de stockage d'ammoniac

2. PRESENTATION DU CONTENU DU GUIDE PRATIQUE

2.1 DONNEES RECENSEES

Le guide présente des scénarios d'accidents types (cf paragraphe 2.2) pour les installations de stockage d'ammoniac. Il reprend en grande partie les nœuds papillon du GT NH₃. Deux types de valeurs issues de l'exploitation de sources de données accompagnent les nœuds papillon :

- des classes de fréquences ou des intervalles de classes de fréquences au niveau des événements redoutés centraux (cf paragraphe 2.3) ;
- des répartitions de causes d'événements redoutés centraux (cf. paragraphe 2.4).

Les nœuds papillon présentés et la synthèse des données qui les accompagne sont organisés par familles d'installations détaillées en seconde partie de ce document, qui sont :

- les réservoirs de stockage (chapitres 1, 2, 3) ;
- les tuyauteries (chapitre 4) ;
- les pompes et compresseurs (chapitre 5) ;
- les flexibles et bras associés aux postes de chargement/déchargement (chapitres 6 et 7).

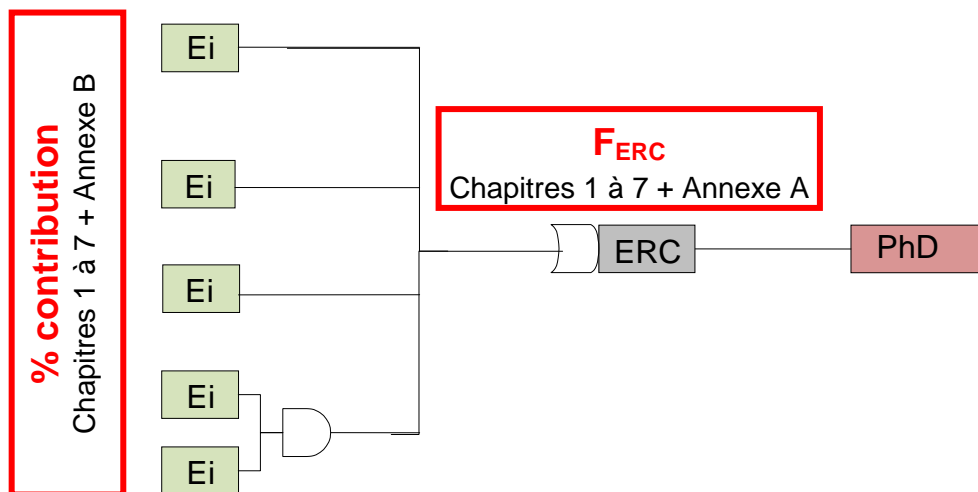
De plus, une liste non exhaustive de mesures de maîtrise des risques associées aux équipements/activités est présentée au chapitre 8. Ces mesures de maîtrise des risques ne sont pas reprises au niveau des nœuds papillon.

Les données recensées dans le présent guide constituent des données d'entrée nécessaires à la quantification de la probabilité des phénomènes dangereux des installations de stockage d'ammoniac (fréquences d'événements redoutés centraux, mesures de maîtrise des risques à considérer). Elles ne fournissent pas directement de valeurs de probabilité des phénomènes dangereux.

L'Annexe A fournit une analyse détaillée des fréquences de pertes de confinement. L'Annexe B fournit des informations relatives aux répartitions de causes conduisant à l'ERC. L'Annexe C fournit des critères de pertinence des sources de données utilisées et évalue les sources de données utilisées dans le guide selon ces critères.

La figure page suivante illustre la nature des données présentées dans le guide.

Un nœud papillon pour chaque famille d'installations:



Une liste des MMR pour chaque famille d'installations:

Liste de MMR types

Chapitre 8




Légende :	
	Symbole de la porte OU
	Symbole de la porte ET
	Données recensées dans le guide pratique

Figure 3 : Données recensées dans le guide pratique

2.2 NŒUDS PAILLON TYPES

Les nœuds papillon présentés dans ce rapport (chapitres 1 à 7 de la seconde partie) sont issus de ceux réalisés par le GT NH₃. Une première version de ces nœuds avait été réalisée en 2005, puis mise à jour en 2010, suite aux évolutions réglementaires. Il s'agit de cette nouvelle version qui est présentée dans le guide.

Les adaptations suivantes ont été faites :

- Il a été choisi de présenter le scénario « fuite sur pompe et compresseur », scénario non étudié par le GT NH₃ et pour lequel les bases de données étudiées fournissent quelques informations ;
- Les barrières de prévention ont été supprimées afin de ne pas créer de lien entre la présence des barrières et les fréquences issues des sources de données. Les barrières de prévention usuelles sont reprises au chapitre 8 ;

- Les barrières de mitigation/protection représentées sur les nœuds papillon du GT NH₃ ont également été supprimées. Les barrières de protection usuelles sont reprises au chapitre 8 ;
- Lorsque les sources de données étudiées (fréquences et/ou accidentologie) ont fait apparaître des causes non explicitées sur les nœuds papillon du GT NH₃, elles ont été ajoutées sur les arbres de défaillances.

Ces exemples de nœuds papillon ont pour objectif principal d'accompagner le travail d'analyse de risques, en présentant des causes types. Ils ne sont pas exhaustifs et ont un caractère générique. Ils seraient donc à adapter et compléter lors de leur utilisation en fonction de la spécificité des installations et des conditions de fonctionnement. Ainsi, certains scénarios identifiés sur les nœuds papillon peuvent ne pas être retenus dans les études comme plausibles, par la démonstration de leur impossibilité physique. Au contraire, des causes spécifiques peuvent compléter les causes génériques.

Notes :

- Les événements redoutés centraux de types pertes de confinement sur les camions, wagons ou bateaux n'ont pas été considérés car il n'existe pas de donnée spécifique aux installations de stockage d'ammoniac dans les différentes sources étudiées. Pour information, les cas des citernes isolées font l'objet d'un traitement spécifique lors de l'analyse de risques, notamment pour étudier leur agression en cas d'effets dominos (cf circulaire du 10 mai 2010) ;
- Les événements redoutés centraux regroupent tous les types de pertes de confinement susceptibles de survenir sur l'équipement : de la petite fuite jusqu'à sa rupture complète. En effet les informations disponibles permettant de corréliser les événements initiateurs à des tailles de fuite se sont révélées insuffisantes. En conséquence, si les fréquences de perte de confinement proposées différencient les « ruptures » des « fuites », la description des scénarios présentés dans les nœuds papillon ne fait pas cette distinction.
- Certains arbres de défaillances présentant des événements redoutés centraux sur les installations (réservoirs, tuyauteries, etc) présentent une cause appelée « agressions externes ». L'arbre de défaillances associé à cet événement, issu du GT NH₃, est présenté dans la Figure 4 page suivante.

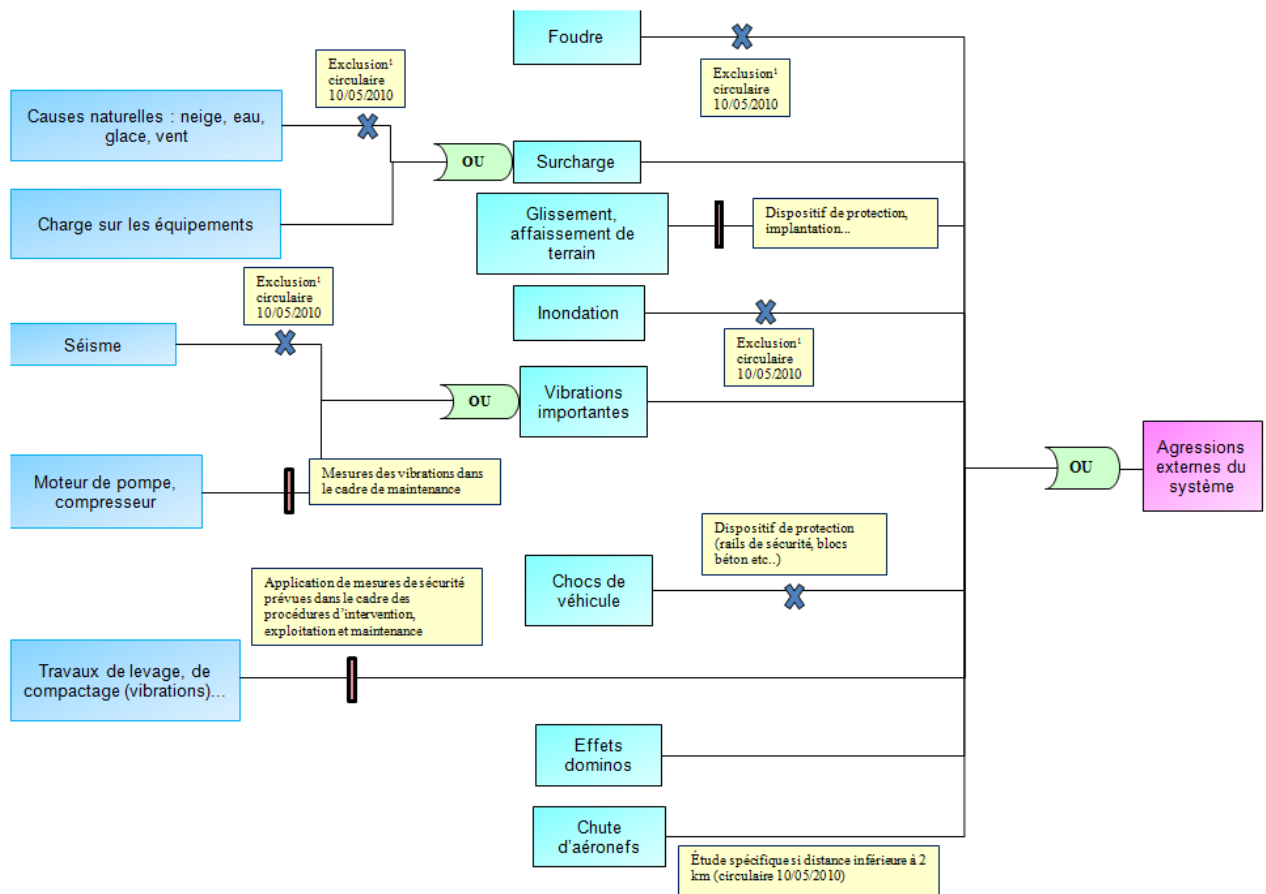


Figure 4 : Arbres de défaillances « Agressions externes du système »

Sur chacun des nœuds papillon présentés figurent les données suivantes :

- des classes de fréquences ou des intervalles de classes de fréquences au niveau des événements redoutés centraux ;
- des répartitions de causes d'événements redoutés centraux.

Ces deux éléments sont traités dans les paragraphes ci-après.

2.3 SYNTHÈSE DES FRÉQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT

Pour chaque équipement considéré, sont présentés des intervalles de classes de fréquences de perte de confinement. Ces intervalles sont issus de l'analyse de huit sources de données différentes. Cette analyse est présentée dans l'annexe A de ce rapport. Les intervalles de classes de fréquence de perte de confinement utilisent l'échelle suivante :

F-2	$10^{+1}/\text{an} \leq \text{Fréquence} < 10^{+2}/\text{an}$.	10 à 100 fois/an
F-1	$1/\text{an} \leq \text{Fréquence} < 10^{+1}/\text{an}$.	1 à 10 fois/an
F0	$10^{-1}/\text{an} \leq \text{Fréquence} < 1/\text{an}$.	1 fois tous les 1 à 10 ans
F1	$10^{-2}/\text{an} \leq \text{Fréquence} < 10^{-1}/\text{an}$.	1 fois tous les 10 à 100 ans
F2	$10^{-3}/\text{an} \leq \text{Fréquence} < 10^{-2}/\text{an}$.	1 fois tous les 100 à 1000 ans
Fx	$10^{-(x+1)}/\text{an} \leq \text{Fréquence} < 10^{-x}/\text{an}$.	

Tableau 1 : Echelle de classes de fréquence proposée par l'INERIS

Source : (Deust, 2012)

Lors de l'analyse des sources de données, une partie des informations a été exclue pour les raisons suivantes :

- des informations inexploitable dans le cadre des études de dangers d'installations de stockage d'ammoniac ;
- des informations spécifiques à d'autres installations que les installations de stockage d'ammoniac.

Les sources de données génériques ont été conservées dans le cadre de cette étude puisqu'elles ont vocation à s'appliquer, entre autres, aux installations de stockage d'ammoniac.

Un tableau récapitulant l'ensemble des sources de données utilisées et leur pertinence au regard des installations de stockage et de dépotage d'ammoniac est présenté au début de l'Annexe A.

Les limites inhérentes à l'utilisation des sources de données génériques sont présentées dans le paragraphe 3.4.

2.4 REPARTITIONS DE CAUSES D'ÉVÉNEMENTS REDOUTES CENTRAUX

Les répartitions de causes se rapportent toujours à « l'événement redouté central » du nœud papillon. Ces répartitions de causes sont issues de l'analyse de plusieurs sources d'informations :

- une analyse des accidents répertoriés dans la base ARIA sur les installations de stockage et de dépotage d'ammoniac, survenus avant le 1^{er} janvier 2006 ;
- une analyse des accidents répertoriés dans la base MHIDAS sur les installations de stockage et de dépotage d'ammoniac de 1961 à 2005 ;
- des répartitions de causes issues de différentes sources dans les bases de données et la littérature spécialisée.

Du fait de la multiplicité des retours d'expériences utilisés, les incertitudes liées à ces répartitions de causes restent importantes : les écarts entre les résultats associés aux différentes sources de données peuvent être grands, les causes qui se rapportent aux valeurs présentées dans les sources de données ne sont pas toujours bien définies. Dans certains retours d'expériences, la part des causes inconnues peut être importante. En outre, ces informations restent « génériques » et comportent des incertitudes inhérentes à cette nature.

Pour rendre compte des incertitudes associées à ces informations, les légendes suivantes ont été adoptées dans les nœuds papillon présentés dans les chapitres 1 à 7 de la seconde partie :


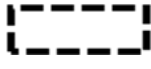
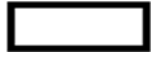
Contour	Type d'agrégation retenu	Incertitude
	Cause identifiée mais pour laquelle aucune information n'est disponible.	/
	Valeur obtenue à l'aide d'un seul retour d'expérience statistiquement peu significatif ou n'étant pas spécifique aux installations de stockage d'ammoniac.	Très forte
	Valeur obtenue à l'aide de plusieurs retours d'expérience n'étant pas spécifiques aux installations de stockage d'ammoniac ou à l'aide d'un seul retour d'expérience spécifique aux installations de stockage d'ammoniac.	Forte
	Valeur obtenue à l'aide d'au moins un retour d'expérience spécifique aux installations de stockage d'ammoniac et d'au moins un autre retour d'expérience.	Moyenne

Tableau 2 : Typologie retenue pour caractériser les incertitudes associées aux données

Ces valeurs ne peuvent pas être utilisées pour calculer des fréquences d'événements initiateurs. Néanmoins elles peuvent fournir une information utile pour connaître l'importance relative des causes d'événements redoutés centraux.

Notes:

- Les répartitions de causes d'événements redoutés centraux s'appliquent à des fréquences d'événements redoutés centraux moyennes. Dans le cas d'une fréquence d'événement redouté central plus élevée ou moins élevée que la moyenne, les répartitions de cause proposées ici ne s'appliquent pas ;
- Pour certains événements initiateurs identifiés dans les nœuds papillon aucune valeur de répartition de causes n'est présentée, aucun événement de ce type n'a donc été relevé lors de l'analyse. Ces événements sont néanmoins à étudier dans l'étude de dangers : ils sont possibles, bien qu'ayant une fréquence probablement plus faible que les autres. S'il est décidé d'écarter ces événements initiateurs de l'évaluation probabiliste, une justification est à apporter ;

- Il est important de souligner que les sources de données utilisées pour déterminer les répartitions de causes d'événements redoutés centraux sont très diverses et n'attribuent pas nécessairement les mêmes significations à des causes libellées de la même manière. De plus, ces sources ne considèrent pas les mêmes arborescences de causes. Deux points de vigilance découlent de cette remarque :
 - La validité de la démarche d'agrégation des valeurs fournies par l'ensemble de ces sources pour obtenir un seul intervalle de répartition de causes est limitée. Les intervalles présentés sont donc à considérer avec prudence.
 - Il convient de considérer les causes individuellement les unes des autres i.e. il est possible que la somme des répartitions de causes ne soit pas égale à 100%, et ce en raison de l'hétérogénéité des arborescences envisagées dans les sources de données.
- Pour une meilleure compréhension et interprétation, l'Annexe B de ce rapport explicite la démarche suivie pour obtenir les répartitions de causes et illustre leur utilisation dans le cadre du présent guide. De plus, elle détaille, pour chaque équipement, les données fournies par chaque source étudiée.

2.5 LISTE NON-EXHAUSTIVE DES MESURES DE MAITRISE DES RISQUES

Dans le chapitre 8 est présentée une liste indicative de mesures de maîtrise des risques pouvant être mises en place dans des installations de stockage d'ammoniac. Cette liste est **non-exhaustive** et ne comprend pas les mesures concourant à une meilleure sécurité non considérées comme « mesure de maîtrise des risques » au sens de l'arrêté du 29 septembre 2005⁶ (exemple des formations, habilitations, système de gestion de la sécurité, etc.).

Pour rappels :

- la présence ou non de ces mesures de maîtrise des risques n'est pas corrélée aux valeurs de fréquences et de répartitions de causes présentées dans les nœuds papillon des chapitres suivants ;
- une barrière de sécurité doit être évaluée selon les critères de l'article 4 de l'arrêté du 29 septembre 2005 : efficacité, cinétique de mise en œuvre, tests et maintenance.

L'INERIS propose un cadre pour ces évaluations dans les Oméga 10 et 20.

⁶ 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

3. UTILISATION DU GUIDE

La démarche de quantification probabiliste des phénomènes dangereux et des accidents majeurs préconisée par l'INERIS est synthétisée dans le diagramme ci-dessous.

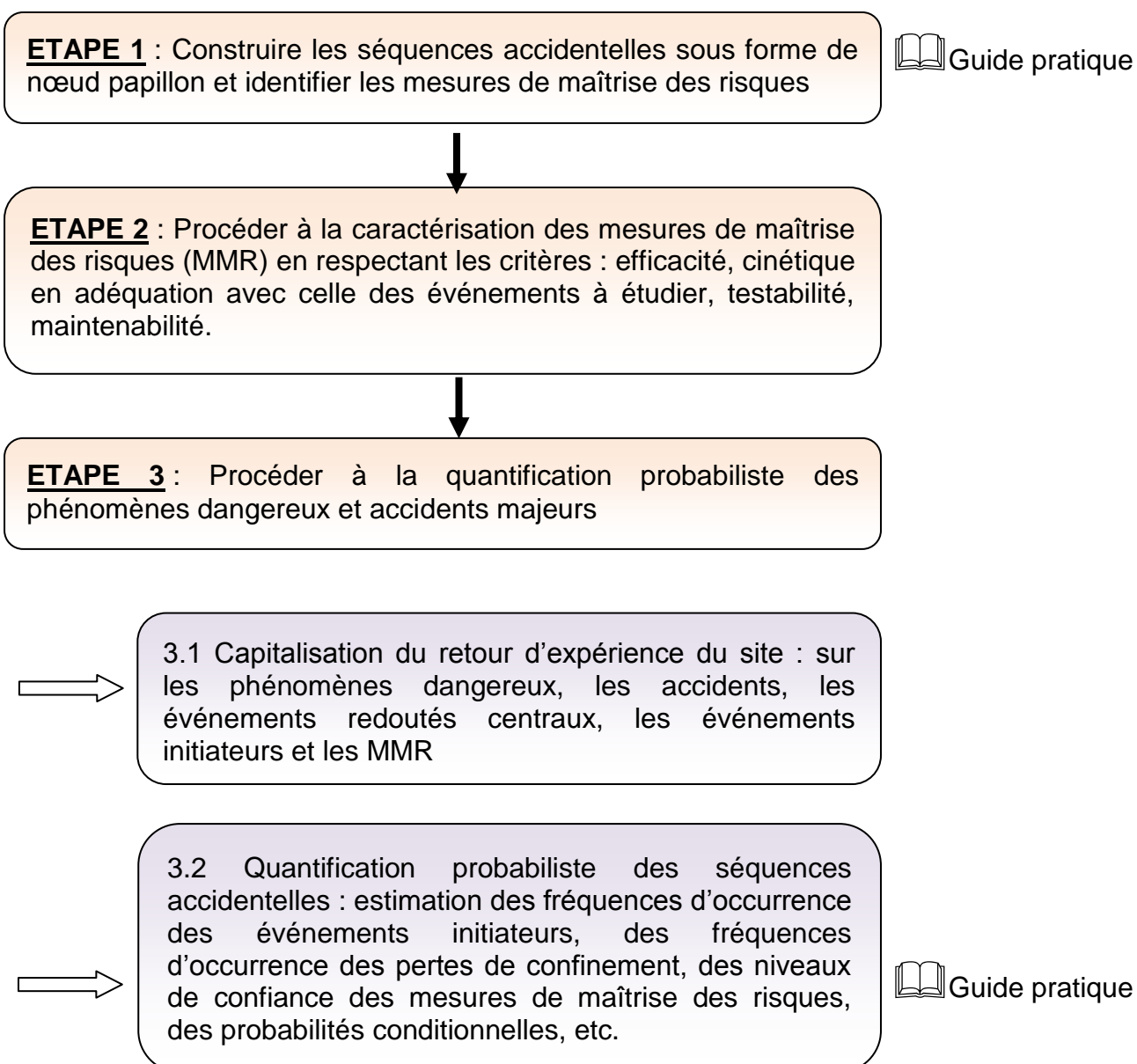


Figure 5 : Proposition de démarche de quantification probabiliste

Ce guide a pour vocation de fournir un support pour les étapes 1 et 3.

3.1 ETAPES 1 ET 2 : JUSTIFICATION QUALITATIVE DE LA MAITRISE DU RISQUE

Une justification qualitative de la maîtrise des risques est à effectuer en amont de toute quantification probabiliste.

Un groupe de travail est amené à effectuer :

- **une description détaillée des séquences accidentelles identifiées à l'issue de l'analyse des risques (ETAPE 1).** Cette description met en exergue l'ensemble des événements initiateurs identifiés pouvant conduire à un accident majeur et les mesures de maîtrise des risques mises en place au sein du site industriel pour prévenir ces accidents ou limiter leurs effets.
- la démonstration des performances des mesures de maîtrise des risques **(ETAPE 2)** : chaque mesure est étudiée au regard des critères suivants : Efficacité, Cinétique en adéquation avec celle des événements à maîtriser, Testabilité, Maintenance.

Ce guide offre un support pour la 1^{ère} étape en proposant pour les installations de stockage d'ammoniac :

- des séquences accidentelles usuelles (nœuds papillon présentés dans les chapitres 1 à 7 de la seconde partie) ;
- des mesures de maîtrise des risques typiques (chapitre 8 de la seconde partie).

Ces éléments ont pour vocation à être comparés avec ceux, plus complets et spécifiques, déterminés par l'analyse de risque.

3.2 ETAPE 3 : LA QUANTIFICATION PROBABILISTE DES PHENOMENES DANGEREUX OU ACCIDENTS MAJEURS

Une fois la justification qualitative de la maîtrise des risques effectuée, l'étape de quantification probabiliste proprement dite peut être réalisée **(ETAPE 3)**.

3.2.1 ESTIMATION EN GROUPE DE TRAVAIL

Une démarche proposée par l'INERIS pour mener la quantification probabiliste des phénomènes dangereux tout en tirant partie des informations disponibles dans ce guide, est la suivante :

- constitution d'un groupe de travail qui sera responsable de l'estimation probabiliste ;
- capitalisation du retour d'expérience du site et du secteur d'activité pour caractériser les séquences accidentelles (retour d'expérience capitalisé par les membres du groupe de travail) ;
- estimation des séquences accidentelles sur la base du retour d'expérience capitalisé précédemment et des informations capitalisées dans les guides pratiques proposés par l'INERIS.

Suite à la capitalisation du retour d'expérience, le groupe de travail peut alors procéder à l'estimation de la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux et des accidents majeurs.

Bien que d'autres formes de représentation des séquences accidentelles existent, pour les besoins de ce paragraphe, nous supposons qu'elles sont représentées sous la forme d'un nœud papillon.

La première étape consiste à renseigner les événements dans le nœud papillon que le groupe de travail est à même de caractériser quantitativement :

- événements initiateurs dont la fréquence d'occurrence a pu être estimée. Cette fréquence f sera estimée à partir du retour d'expérience du site et/ou du secteur d'activité ;
- mesures de maîtrise des risques dont la probabilité de défaillance à la sollicitation (liée au niveau de confiance) a pu être estimée en utilisant les référentiels Oméga 10 et 20 de l'INERIS ou toute autre méthode reconnue d'estimation de la fiabilité des mesures de maîtrise des risques ;
- dans le cas où le groupe de travail disposerait d'un retour d'expérience assez précis pour pouvoir quantifier directement la fréquence de perte de confinement, cette fréquence pourra être retenue comme donnée d'entrée de l'estimation quantitative.

Pour certains événements, les données peuvent être manquantes. Cette étape est illustrée sur le nœud papillon ci-après :

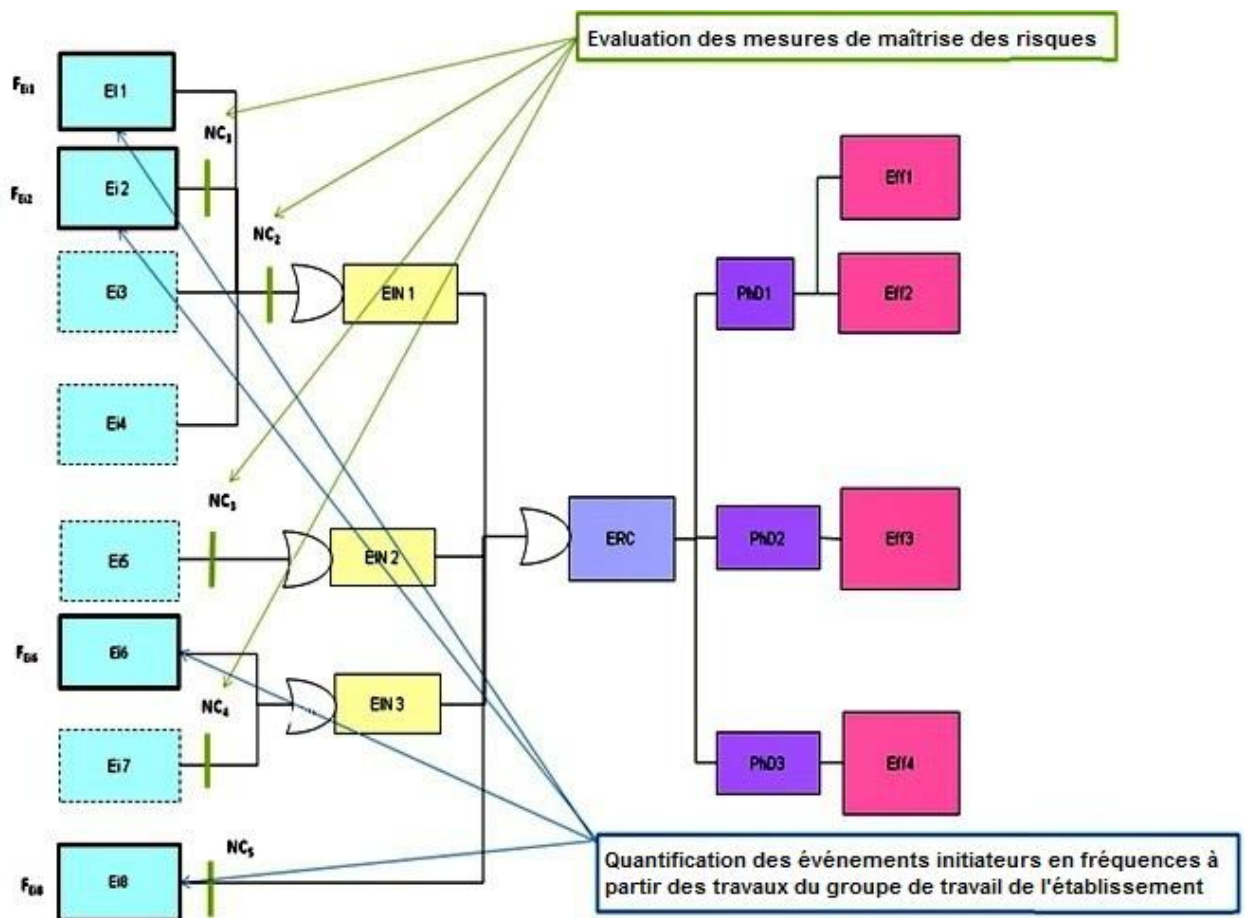


Figure 6 : Première étape : renseigner les événements qui peuvent être quantitativement estimés par le groupe de travail

3.2.2 CONFRONTATION AUX DONNEES DU GUIDE PRATIQUE

Une seconde étape consiste à comparer les données obtenues dans la première étape avec les éléments proposés par ce guide :

- comparaison des fréquences de perte de confinement ;
- comparaison de la répartition des causes.

La confrontation des données du guide pratique et des données d'entrée capitalisées par le groupe de travail (données *a priori* les plus représentatives de la réalité du site) a pour objet de construire les données manquantes de l'arbre des défaillances par hiérarchisation et comparaison des causes en fonction de leur fréquence.

Compte tenu de l'incomplétude des données capitalisées dans le guide pratique, le groupe de travail sera alors amené à faire des choix à partir de critères tels que le niveau d'incertitude des données capitalisées dans le guide pratique, le degré de confiance dans les données d'entrée capitalisées par le groupe de travail, etc. L'objectif principal est de porter un avis critique sur les écarts observés et de proposer des éléments de réponse à tout écart significatif.

L'utilisation des éléments fournis dans le guide pratique pour la consolidation de la quantification probabiliste de la perte de confinement est laissée à l'appréciation du groupe de travail. L'apport du guide est de fournir des éléments comparatifs pour guider le groupe de travail dans ses réflexions et ainsi parvenir à mieux justifier le choix d'une donnée d'entrée.

La confrontation des données du guide pratique avec les données d'entrée capitalisées par le groupe de travail est illustrée sur le nœud papillon ci-après. Les données extraites du guide pratique sont signalées en jaune : répartition des causes amont à l'ERC et fréquence d'occurrence annuelle de l'ERC.

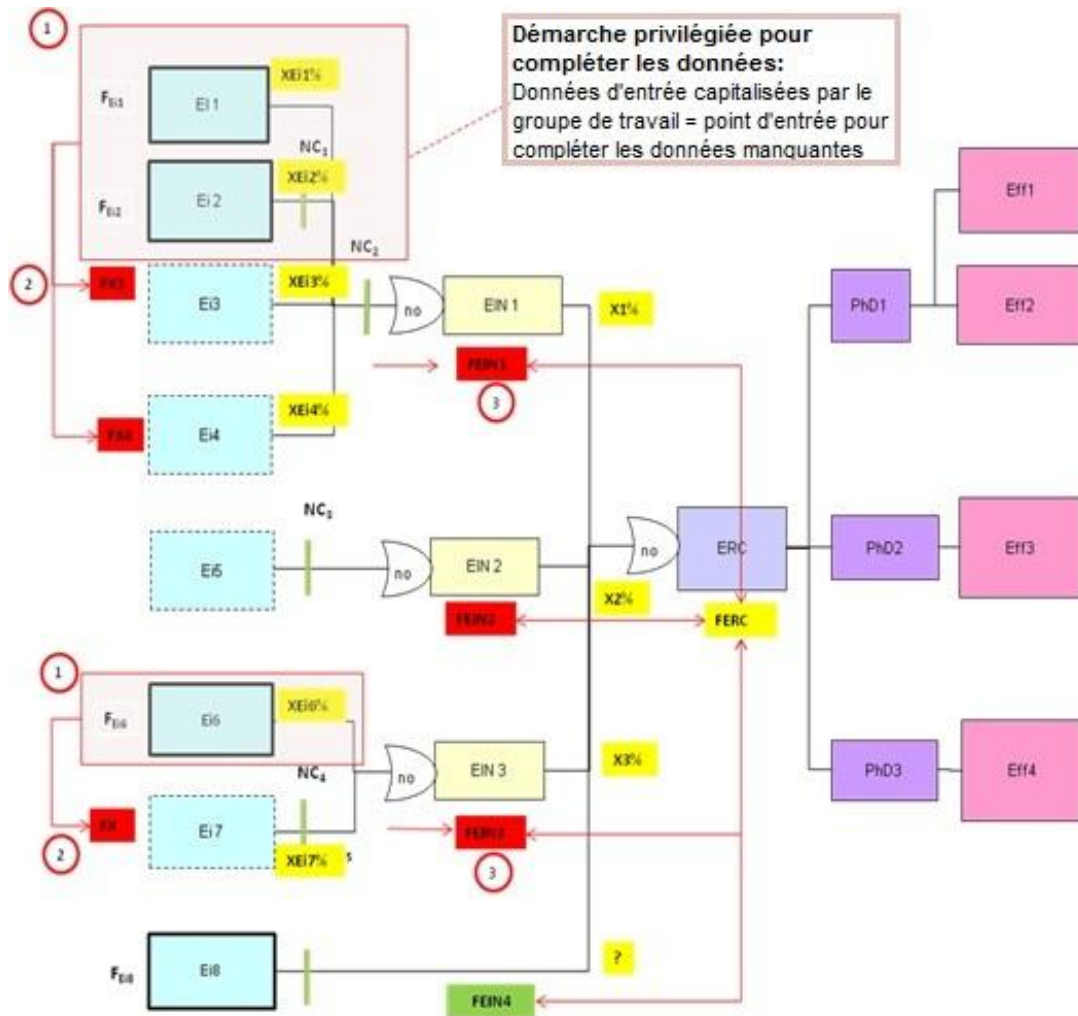


Figure 7 : Seconde étape : utiliser les données du guide pratique pour comparer/compléter les données de l'arbre de défaillance

Les données d'entrée capitalisées par le groupe de travail ¹ permettent d'estimer la fréquence d'occurrence de certains chemins conduisant à l'ERC. Ces estimations confrontées aux répartitions de cause du guide pratique permettent alors d'estimer les fréquences d'occurrence des chemins manquants ², et d'aboutir aux estimations des événements intermédiaires (EIN) ³. Ces estimations sont mentionnées en rouge sur le nœud papillon. L'estimation de l'ERC extraite du guide pratique est alors confrontée à l'estimation de l'ERC obtenue.

Attention : Il n'existe pas de processus unique pour « reconstruire » les données de l'arbre de défaillance. Le processus à privilégier dépendra des informations capitalisées par le groupe de travail et des données à disposition dans le guide pratique du secteur d'activité étudié. Un exemple de l'utilisation du guide pratique est fourni au paragraphe 3.3.

Note 1 : Dans le cas où le groupe de travail disposerait d'un retour d'expérience assez précis pour pouvoir quantifier directement la fréquence de perte de confinement, cette fréquence pourra être retenue comme point d'entrée de l'estimation quantitative. Le groupe de travail pourra cependant porter un regard critique sur la valeur obtenue en la confrontant à la répartition des causes et à la fréquence de pertes de confinement proposée dans le guide pratique.

Note 2 : La méthode d'estimation de la fréquence de perte de confinement à partir des fréquences des événements initiateurs et des probabilités de défaillance à la sollicitation des mesures de maîtrise des risques n'est pas détaillée ici. Pour plus d'information, se référer au rapport de l'INERIS «*Programme EAT- DRA 71 – Opération C2.1 (2007) – Estimation des aspects probabilistes – Guide pratique pour l'intégration de la probabilité dans les études de dangers – Version 1*».

3.3 EXEMPLE DE DEROULEMENT DE LA DEMARCHE

Le cas étudié ici est la quantification en fréquence annuelle d'une perte d'intégrité d'une tuyauterie de 100 mètres et d'un diamètre de 100 millimètres. Un exemple de quantification par un groupe de travail en analyse des risques est présenté dans le nœud papillon suivant :

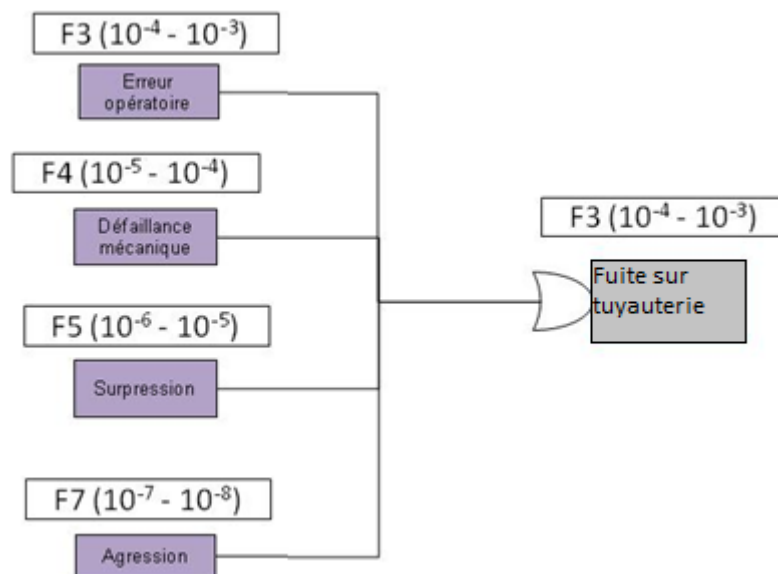


Figure 8 : Exemple de la perte de confinement d'une tuyauterie – quantification en GT

Ici, les classes de probabilités sont exprimées **après** la prise en compte des probabilités de défaillance à la sollicitation (liées aux niveaux de confiance) des mesures de prévention.

Les fréquences « guides » pour une perte d'intégrité (fuite) d'une tuyauterie de longueur 100 m et de diamètre 100 mm peuvent être extrapolées à partir des valeurs proposées dans le présent guide (qui sont exprimées en fréquences par mètre et par an, cf chapitre 4 de la seconde partie). Le raisonnement suivi pour obtenir les répartitions de causes présentées dans l'arbre de défaillances page suivante est détaillé dans l'Annexe B.

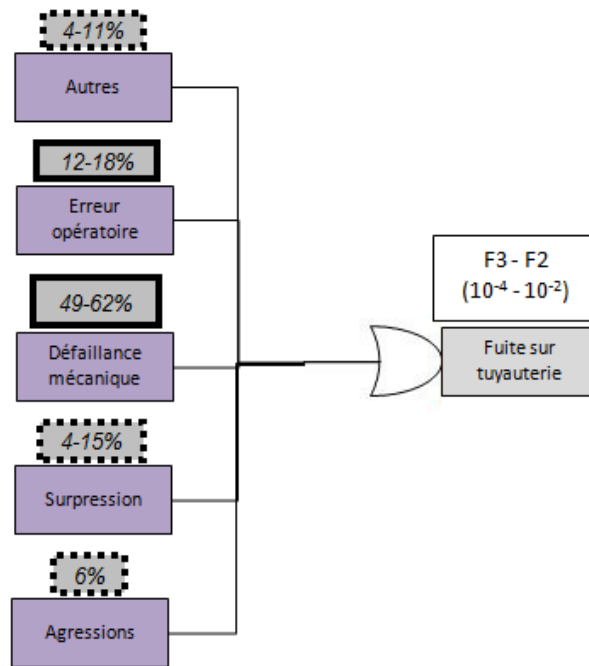


Figure 9 : Extrapolation et simplification des données proposées dans le guide pour le cas d'une tuyauterie de 100 mètres de longueur et 100 mm de diamètre

La confrontation des répartitions proposées dans le guide avec les valeurs retenues par le groupe de travail donne les résultats suivants :

EI	Quantification en GT	Données du guide	Observations
Autres	-	F4 – F3	Le GT n'a pas identifié d'autres causes de fuite, contrairement au guide. Le GT devra étudier si ces causes sont à retenir.
Erreur opératoire	F3	F4 – F3	Niveau de sécurité moyen. Si des spécificités du site (permettant de baisser ou d'augmenter la fréquence) ne sont pas relevées, l'estimation du GT est confortée par le guide et la valeur F3 peut être retenue.
Défaillance mécanique	F4	F3 – F2	Niveau de sécurité proposé par le GT plus élevé par rapport à la moyenne devant être justifié par la présence de mesures de sécurité supplémentaires. S'il n'existe pas de mesures de maîtrise des risques traduisant un état de l'art de la sécurité élevée sur le site étudié, la classe de fréquence de « défaillance mécanique » pourrait être ramenée à 10 ⁻⁴ – 10 ⁻³ /an.

EI	Quantification en GT	Données du guide	Observations
Supression	F5	F4 – F3	Niveau de sécurité proposé par le GT plus élevé par rapport à la moyenne devant être justifié par la présence de mesures de sécurité supplémentaires. S'il n'existe pas de mesures de maîtrise des risques traduisant un état de l'art de la sécurité élevée sur le site étudié, la classe de fréquence de « surpression » pourrait être ramenée à $10^{-5} - 10^{-4}$ /an.
Agressions	F7	F4 – F3	Niveau de sécurité proposé par le GT significativement plus élevé par rapport à la moyenne devant être justifié par la présence de mesures de sécurité supplémentaires.
ERC : Fuite sur tuyauterie	F3	F3 – F2	Niveau de sécurité moyen.

Tableau 3 : Exemple d'utilisation du guide - Confrontation des résultats GT/Guide

3.4 LIMITES DU GUIDE

3.4.1 SOURCES DE DONNEES

Les données publiques fiables et statistiquement représentatives pour quantifier la fréquence/probabilité des phénomènes dangereux sont rares. Cette rareté des données est tout d'abord due à la nature des événements étudiés qui sont par définition rares et difficilement observables. Elle s'explique également par la variété et la complexité des systèmes étudiés qui génèrent un grand nombre de situations différentes, et donc, potentiellement, une variabilité importante des probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux.

Ainsi, les données présentées dans ce guide (fréquences de perte de confinement, répartition des causes, fréquences d'événements initiateurs, nœuds papillon, etc.) comportent des **incertitudes importantes**. Elles sont à considérer comme des ordres de grandeur et non pas comme des valeurs prescriptives. Le groupe de travail pourra être amené à faire des choix sur la base par exemple du niveau d'incertitude des données présentées dans le guide, du degré de confiance accordé aux données capitalisées par le groupe de travail, etc. L'objectif étant de porter un avis critique sur les écarts observés et de proposer des éléments de réponse à tout écart significatif.

Elles souffrent également d'une limite liée à leur **domaine d'applicabilité** : ces données, par manque d'informations relatives aux particularités des sites industriels, sont prises comme représentatives d'un « état de l'art moyen de la sécurité ». Cet état de l'art moyen reste, encore une fois par manque de données

précises, mal défini (évolution des normes de conception, prise en compte de mesures de maîtrise des risques et aspects organisationnels). Il appartient donc à l'utilisateur, lorsqu'il utilise ces données pour réaliser une étude de dangers, d'identifier et de tenir compte des spécificités du site étudié, comme cela est évoqué dans la colonne « Observations » du Tableau 3 page précédente.

Enfin, des travaux complémentaires⁷ ont permis de mettre en évidence une **indépendance limitée** des sources de données entre elles : les travaux publiés dans la littérature spécialisée citent souvent les mêmes sources de données initiales. Cet état de fait limite fortement la valeur des comparaisons des valeurs de fréquence entre elles.

Dans ce contexte, les valeurs proposées dans ce guide sont à utiliser avec précaution en tant que valeur indicative permettant d'alimenter une analyse critique constructive de valeurs obtenues à partir d'un retour d'expérience, d'avis d'experts, de groupes de travail et d'analyses qualitatives.

Ce manque de robustesse des données mène parfois dans les nœuds papillon à des fourchettes de fréquences de perte de confinement et des répartitions de causes larges. Ces cas se présentent lorsque plusieurs sources de données contradictoires ont été intégrées sans pour autant qu'il soit possible de déterminer objectivement quelle source de données est la plus pertinente.

Des travaux sont en cours dans le cadre du DRA 71 pour définir une méthodologie de sélection des sources de données en fonction de critères tels que la représentativité des données, leur crédibilité et leur niveau de corrélation avec les cas étudiés. Cette méthodologie permettra à terme de réduire les fourchettes proposées dans ce type de guide pour des fréquences de perte de confinement et pour les répartitions de cause. L'Annexe C de ce guide évalue chaque source de données exploitée dans le cadre du guide au regard des critères précédemment cités.

3.4.2 CAS PARTICULIER DES RUPTURES ET FUITES D'EQUIPEMENTS

Dans le cadre de ce guide, il a été choisi de distinguer les fréquences relatives aux « fuites » et « ruptures ». Ce choix a deux raisons :

- les travaux permettant de déterminer les fréquences de rupture des équipements peuvent être distinctes des travaux permettant de déterminer les fréquences de fuite ;
- les ruptures des équipements peuvent être traitées de manière particulière dans les études de dangers françaises.

Ce choix pose néanmoins un problème d'interprétation dans la mesure où les définitions d'une « fuite » ou d'une « rupture » ne sont pas homogènes dans les sources de données. Les ruptures en particulier sont souvent définies comme tous les événements non couverts par les fuites et dont les conséquences sont

⁷ « DRA 71 - Panorama des sources de données utilisées dans les analyses quantitatives des risques » rapport DRA-12-124789-07543A, INERIS, 2012.

potentiellement plus critiques.

Ces événements particuliers sont modélisés de manière majorante, par exemple, en tant qu'un effacement complet de l'enveloppe sur l'ensemble de la structure pour un réservoir (ruine = rejet instantané) ou en un endroit d'une tuyauterie (rupture guillotine).

Le tableau ci-après rassemble quelques exemples de définitions de rupture de tuyauterie :

Source de données	Définition de la rupture
FRED ([8])	Brèche > 1/3 diamètre de la tuyauterie
Reldat II ([11])	Brèche > 100 mm
HFF ([10])	Brèche > 36% du diamètre de la tuyauterie
BEVI ([9])	Brèche > 10% du diamètre nominal de la tuyauterie

Tableau 4 : Exemples de définition de rupture de tuyauterie

Cet exemple illustre la difficulté de comparer les fréquences de rupture associées aux équipements et de déterminer une définition de la rupture ou de la fuite la plus importante.

4. CONTRIBUTIONS DE L'INERIS DANS LE DOMAINE DE L'EVALUATION DE LA PROBABILITE

L'INERIS a réalisé des travaux, notamment dans le cadre du programme EAT-DRA 71, sur les différents aspects de l'évaluation probabiliste, pour répondre aux besoins techniques liés à la mise en œuvre d'une estimation des probabilités d'accidents.

Les étapes de la mise en œuvre des méthodes d'évaluation des probabilités dans le cadre des études de dangers couvertes sont les suivantes :

- les sources de données disponibles ;
- les données d'entrée ;
- l'utilisation du retour d'expérience ;
- les règles de calculs pour les évaluations de probabilités ;
- la confrontation au retour d'expérience ;
- le traitement d'installations spécifiques.

Ces différents volets sont détaillés dans les paragraphes suivants.

4.1 SOURCES DE DONNEES POUR LES EVALUATIONS PROBABILISTES

Une part des données d'entrée peut être fournie par des sources de données publiées. Celles-ci sont nombreuses, de nature et pertinence variables. Le rapport DRA-12-124789-07543A « *DRA 71 - Panorama des sources de données utilisées dans les analyses quantitatives des risques* » [6] identifie les sources de données existantes, leur moyen d'accès ainsi que les informations contextuelles et des critères de sélection pour guider le choix d'une source de données. Ce rapport ne vise pas en revanche à fournir les valeurs de fréquences ou des probabilités d'occurrence d'événement.

4.2 DONNEES D'ENTREE DES EVALUATIONS PROBABILISTES

Pour alimenter directement les études de dangers en données d'entrée, l'INERIS développe des rapports spécifiques permettant de fournir des données sur les probabilités d'inflammation et les taux de défaillance/niveaux de confiance des MMR :

- rapport DRA-11-117406-03282A « *DRA 71 - Opération B.2 - Revue des valeurs génériques pour les probabilités d'inflammation présentes dans la littérature* » du 12/09/2012 ;
- rapport DRA-08-95403-01561B « *Evaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité (DCE DRA-73) - Evaluation des Barrières Techniques de Sécurité - Ω 10* » du 01/09/2008 ([19]) ;
- rapport DRA-09-103041-06026B « *Démarche d'évaluation des Barrières Humaines de Sécurité - Ω 20 - Programme 181 - DRA 77 : Maîtrise des risques accidentels par les dispositions technologiques et organisationnelles* » du 21/09/2009 ([20]).

Les mesures de maîtrise des risques humaines de sécurité peuvent également être évaluées en suivant les orientations données dans la fiche n°7 de la circulaire du 10 décembre 2010.

4.3 UTILISATION DU RETOUR D'EXPERIENCE

Le retour d'expérience du site ou de la profession peut être utilisé pour alimenter les données de fréquence d'évènements ou de défaillance des mesures de maîtrise des risques.

Une méthode d'évaluation des fréquences d'occurrence à partir du retour d'expérience est formalisée dans la note DRA-11-117406-02149B « *DRA 71 - Opération B.2 - Note sur l'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience* » du 14/11/2011.

4.4 REGLES DE CALCUL POUR LES EVALUATIONS DES PROBABILITES

Les calculs des probabilités et des fréquences au sein des représentations arborescentes des scénarios s'appuient sur des règles de calcul découlant de l'algèbre de Boole. Ces règles de calcul et leur application pratique dans le cas de l'évaluation probabiliste de scénarios d'accident sont rappelées dans les rapports suivants :

- rapport DRA-12-117407-07005A « *DRA 71-Opération B1 - Estimation des aspects probabilistes - Intégration de la probabilité dans les études de dangers : Guide pratique* » du 30/09/2012 : le rapport présente des fiches pratiques pour évaluer la probabilité de manière quantitative, semi-quantitative avec historique ou semi-quantitative ; la méthodologie de prise en compte des MMR, les règles de calculs des portes ET et OU sont rappelées.
- rapport DRA-12-124789-09121A « *DRA 71 – opération B3 - Agrégation dans les études de dangers* » du 30/08/2012 : ce rapport explicite comment traiter l'agrégation dans les études de dangers.

4.5 CONFRONTATION AU RETOUR D'EXPERIENCE

L'étape d'évaluation des probabilités achevée, une confrontation avec le retour d'expérience est recommandée par la réglementation. Celle-ci est typiquement réalisée à partir de la base de données d'accidentologie ARIA gérée par le BARPI⁸.

Cette dernière base de données est recensée avec d'autres bases de données d'accidentologie dans le rapport DRA-12-124789-07543A « *DRA 71 - Panorama des sources de données utilisées dans les analyses quantitatives des risques* » [6].

4.6 GUIDES SUR LA PROBABILITE DANS DES INSTALLATIONS SPECIFIQUES

Des guides sur la probabilité dans des secteurs spécifiques d'activité sont disponibles. Ils fournissent des intervalles de fréquences ou des fréquences d'ERC et des données relatives aux causes d'accident. Elles sont basées sur l'analyse des sources de données identifiées dans le cadre des travaux « *DRA 71 - Panorama des sources de données utilisées dans les analyses quantitatives des risques* » [6].

⁸ Base de données « Analyse, Recherche et Information sur les Accidents » gérée par le Bureau des Analyses des Risques et des Pollutions Industrielles

Ils permettent, en fin d'évaluation probabiliste sur une installation, une analyse critique des probabilités obtenues et des causes envisagées.

Le présent rapport DRA-13-133211-11876C « *DRA 71 – Opération B1 : Guide pratique pour la validation des probabilités des phénomènes dangereux des installations de stockage d'ammoniac* » s'inscrit dans cette collection. Deux autres guides ont été développés :

- rapport DRA-13-133211-08941B « *DRA 71 – Opération B1 : Guide pratique pour la validation des probabilités des phénomènes dangereux des dépôts de Gaz de Pétrole Liquéfiés (GPL)* » du 12/08/2014 ;
- rapport DRA-09-102965-04675C « *DRA 71 – Opération B2 : Approche probabiliste - Quantification des phénomènes dangereux en probabilité – Guide pratique pour les dépôts pétroliers de liquides inflammables (DLI)* » du 15/06/2011.

Les éléments de ce rapport peuvent être utilement complétés par les travaux réalisés par l'INERIS sur la comparaison des normes internationales sur la conception et l'exploitation des installations de stockage d'ammoniac, rassemblés dans le rapport DRA-10-102957-01613B « *DRA 71 – Opération A.1 – Référentiels, normes et guides de bonnes pratiques pour le stockage, le chargement et le déchargement de l'ammoniac* » du 22/06/2010 (<http://www.ineris.fr/centredoc/benchmark-ammoniac-web.pdf>).

4.7 ARTICULATION DES DIFFERENTS RAPPORTS INERIS RELATIFS A LA PROBABILITE

La Figure 10 illustre les contributions des travaux de l'INERIS dans le domaine de l'évaluation de la probabilité des accidents.

Ces travaux seront complétés ultérieurement par d'autres contributions du programme EAT-DRA 71 en cours d'élaboration (relatifs par exemple aux incertitudes).

5. DESCRIPTION SUCCINCTE DES INSTALLATIONS ET PHENOMENES DANGEREUX ASSOCIES

5.1 LES CONFIGURATIONS DE STOCKAGE DE L'AMMONIAC

Dans les conditions normales de température et de pression, l'ammoniac est présent en phase gazeuse. Pour des raisons d'encombrement, ce composé est stocké sous forme liquide, à l'équilibre avec la phase gaz, dans trois configurations possibles :

- soit à - 33 °C à la pression atmosphérique (stockage cryogénique) ;
- soit à des températures et pressions intermédiaires (stockage semi-réfrigéré) ;
- soit à la température ambiante sous pression (stockage sous pression).

Ces trois configurations sont reportées sur le diagramme d'équilibre liquide/vapeur de l'ammoniac ci-dessous pour permettre une meilleure compréhension physique.

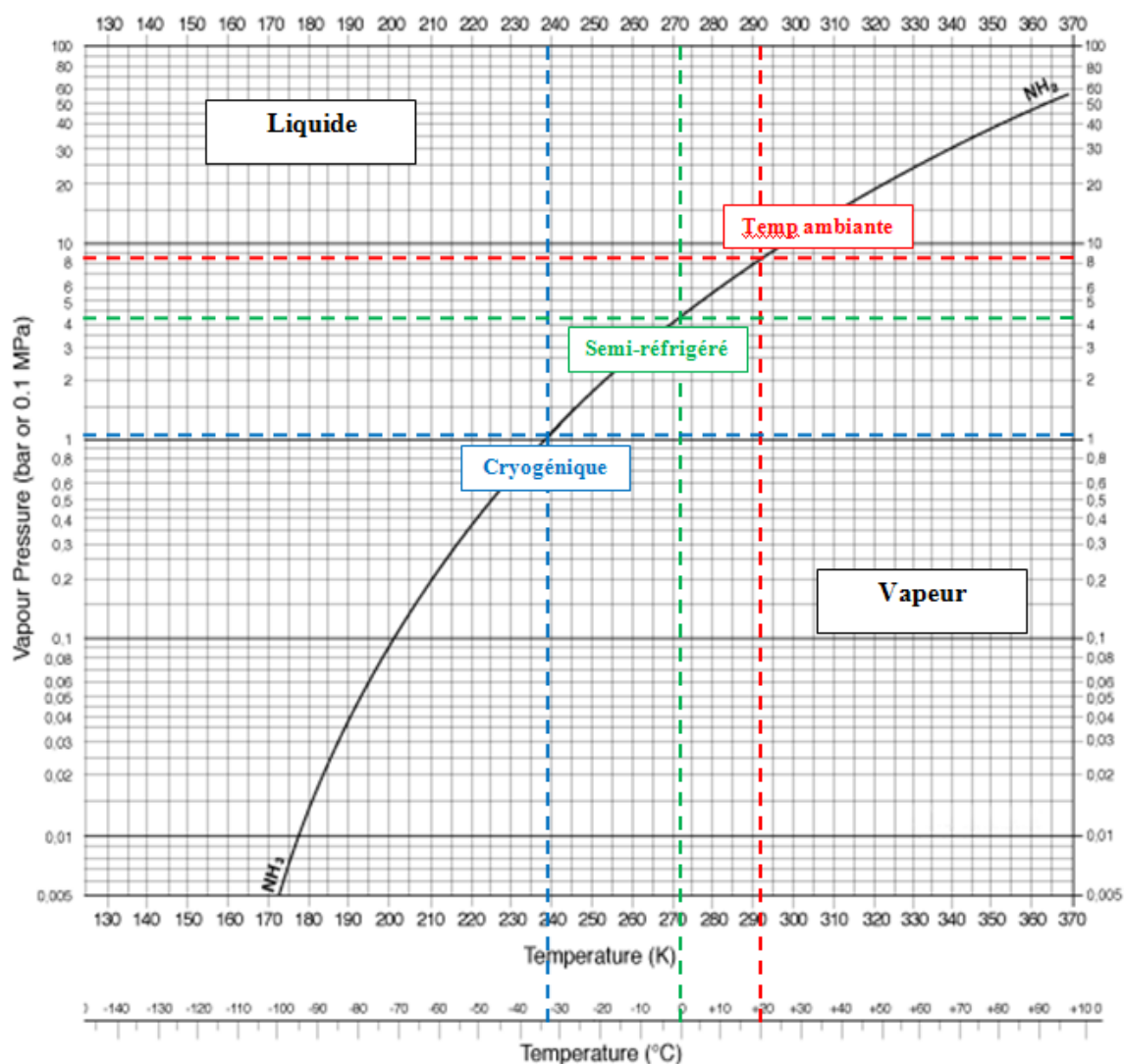


Figure 11 : Diagramme d'équilibre liquide/vapeur de l'ammoniac

Le groupe de réfrigération (cas des stockages semi-réfrigérés et cryogéniques) est exclu du champ de l'étude car il n'existe pas de donnée spécifique à ces installations dans les différentes sources étudiées. De plus, ces groupes ont été considérés comme barrières et traités comme tels dans le chapitre 8.

Le tableau ci-dessous reprend les trois types de stockage et donne des éléments supplémentaires sur les volumes des capacités rencontrées dans l'industrie :

Type de stockage	P _{absolue} (bar)	T (°C)	Quantité (tonnes)	Volume associé (m ³) ¹
Cryogénique	~ 1	-33	> 5 000	> 5 00
Semi-réfrigéré	~ 4	0	200 < < 3 000	~ 300 < < ~ 5 000
A température ambiante	~ 9	20	< 800	< ~ 1 300

¹ : Masse volumique de l'ammoniac liquide :

- à -33°C : 679 kg/m³ ;
- à 0°C : 634 kg/m³ ;
- à 20°C : 607 kg/m³.

Tableau 5 : Paramètres relatifs aux différentes configurations de stockage de l'ammoniac

5.2 DESCRIPTION DES RESERVOIRS CRYOGENIQUES

En Europe, les réservoirs cryogéniques sont de grands réservoirs cylindriques à axe vertical d'une capacité de 5 000 à 60 000 m³. Ils sont le plus souvent isolés à l'aide de mousse Polyuréthane de façon à limiter le réchauffement de l'ammoniac. La basse température est maintenue par aspiration des vapeurs puis compression, condensation et réinjection du liquide froid dans le réservoir de stockage, l'ensemble formant un groupe frigorifique où le réservoir serait l'évaporateur.

La pression du réservoir est légèrement supérieure à la pression atmosphérique afin d'éviter les rentrées d'air. Contrairement aux deux autres catégories de stockage, ces réservoirs ne sont pas soumis à la réglementation Equipements Sous Pression.

Il existe deux grands types de réservoir de stockage cryogénique d'ammoniac :

- Les réservoirs à simple paroi qui comportent un fond et une paroi en acier : la capacité interne contient le produit sous forme liquide et vapeur dans les conditions normales d'exploitation, et est isolé sur sa surface extérieure. Une cuvette de rétention de faible hauteur est prévue pour retenir le liquide qui se serait écoulé suite à une fuite ou rupture du réservoir. Un système de mousse est prévu pour réduire les éventuelles émissions de vapeurs dans l'atmosphère.
- Les réservoirs à double paroi qui comportent un double fond et une double paroi en acier : le réservoir intérieur contient le produit sous forme liquide et vapeur dans les conditions normales d'exploitation. En cas de fuite, le réservoir extérieur, placé entre 1 et 2 mètres du réservoir intérieur, est conçu pour contenir liquide et vapeurs qui se seraient échappés. La présence d'une cuvette est possible mais n'est pas obligatoire.

La norme NF EN 14620 présente entre autres ces deux grands types de réservoirs de stockage, qui se distinguent par leur « intégrité » :

- Le réservoir à simple intégrité se compose d'une seule cuve de stockage en acier et de forme cylindrique. Le réservoir doit être entouré d'un mur de rétention.
- Le réservoir à intégrité totale se compose d'une cuve primaire et d'une cuve secondaire qui constituent conjointement un réservoir de stockage intégré. La cuve secondaire est en acier ou en béton et doit permettre de contenir la totalité du produit liquide en cas de fuite de la cuve primaire. Elle doit être située à moins de 2 mètres de la cuve primaire.

Un schéma d'un réservoir cryogénique à double paroi est donné ci-dessous.

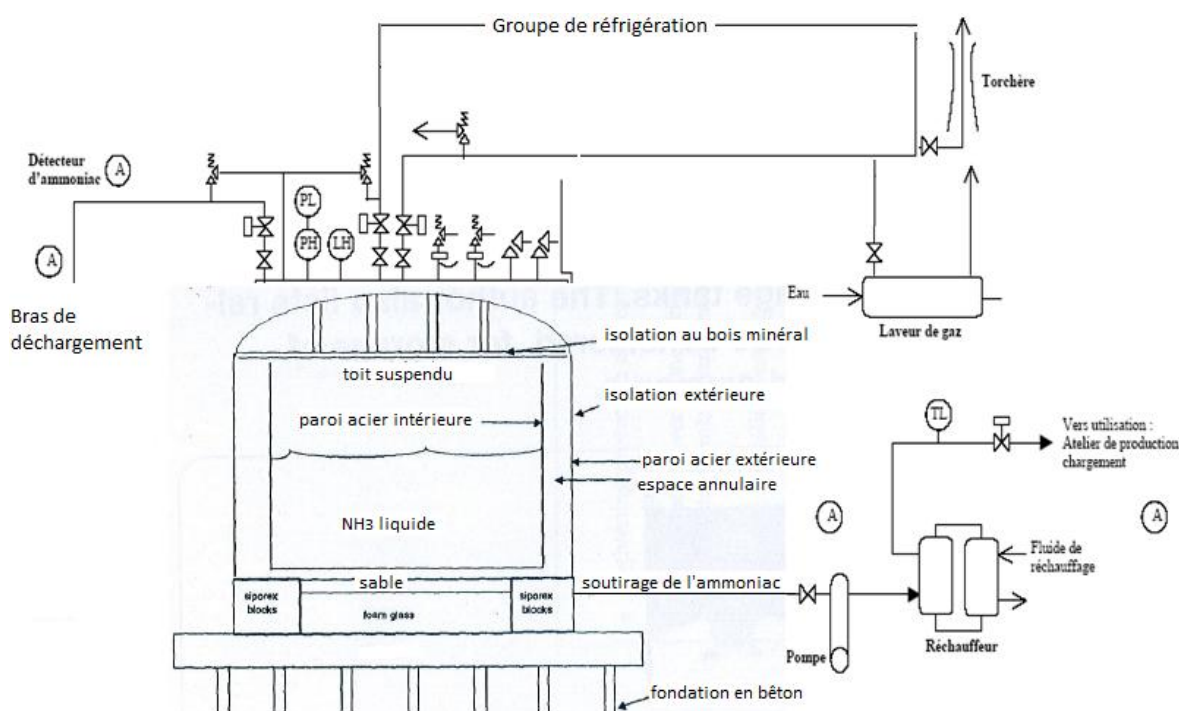


Figure 12 : Réservoir cryogénique à double paroi

Sources : (Lele, 2008), (UIC, 2012)

5.3 DESCRIPTION DES RESERVOIRS SEMI-REFRIGERES

En général, l'ammoniac est maintenu à une température proche de 0°C sous une pression voisine de 4 bars (abs), par des groupes frigorifiques (principe analogue au stockage cryogénique). Les réservoirs de stockage sont principalement de type sphérique, car cette forme géométrique permet de minimiser les contraintes mécaniques.

Un schéma d'un réservoir semi-réfrigéré est donné ci-dessous.

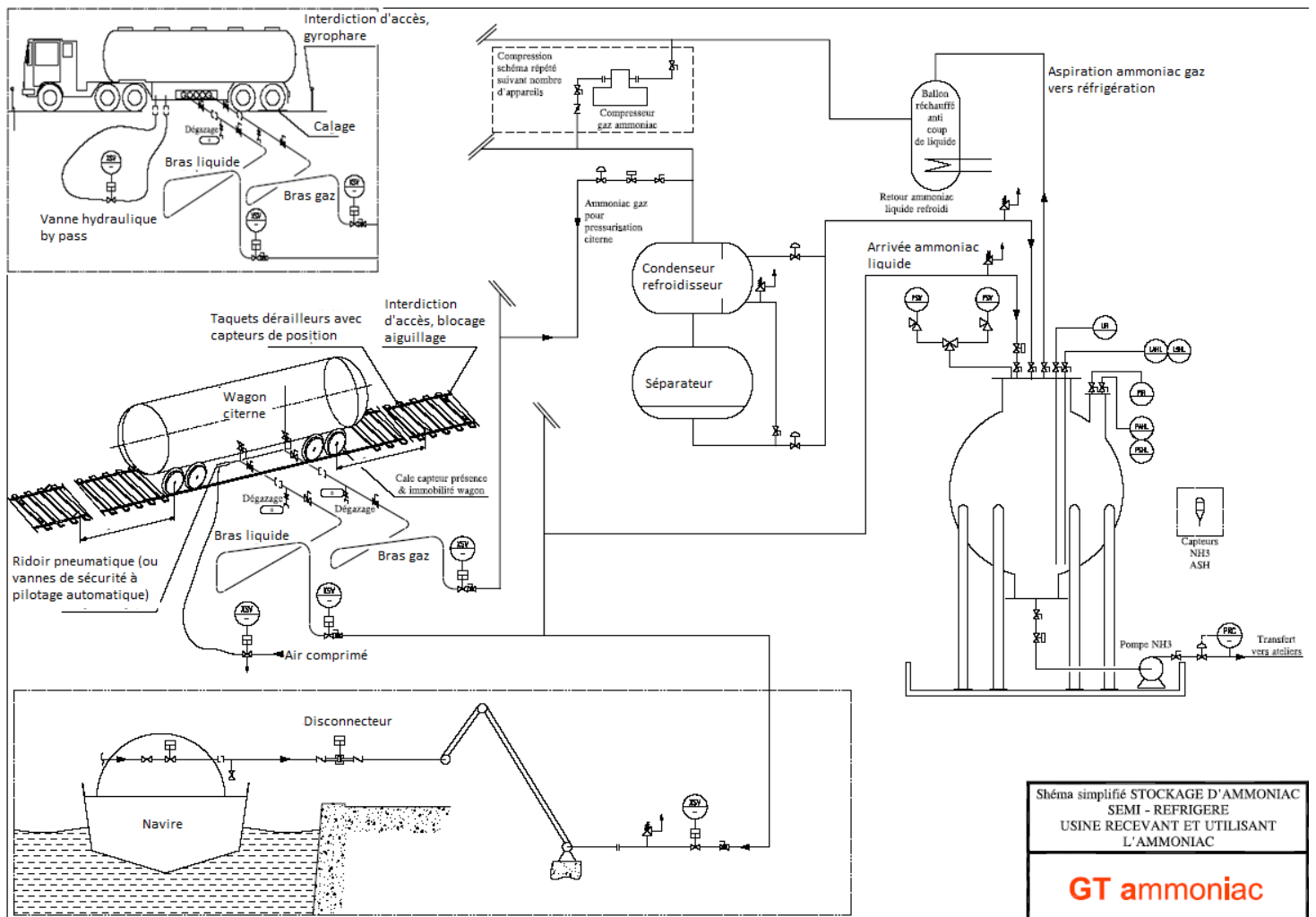


Figure 13 : Réservoir semi-réfrigéré

Source : GT NH₃

5.4 DESCRIPTION DES RESERVOIRS PRESSURISES A TEMPERATURE AMBIANTE

Dans ce type de stockage, l'ammoniac est stocké à température ambiante et à la tension de vapeur saturante correspondante, soit environ 9 bars (abs) à 20°C. Les stockages d'ammoniac sous pression à température ambiante sont identiques aux autres types de stockage de gaz liquéfiés. Les réservoirs de stockage sont généralement cylindriques, comme schématisé ci-dessous.

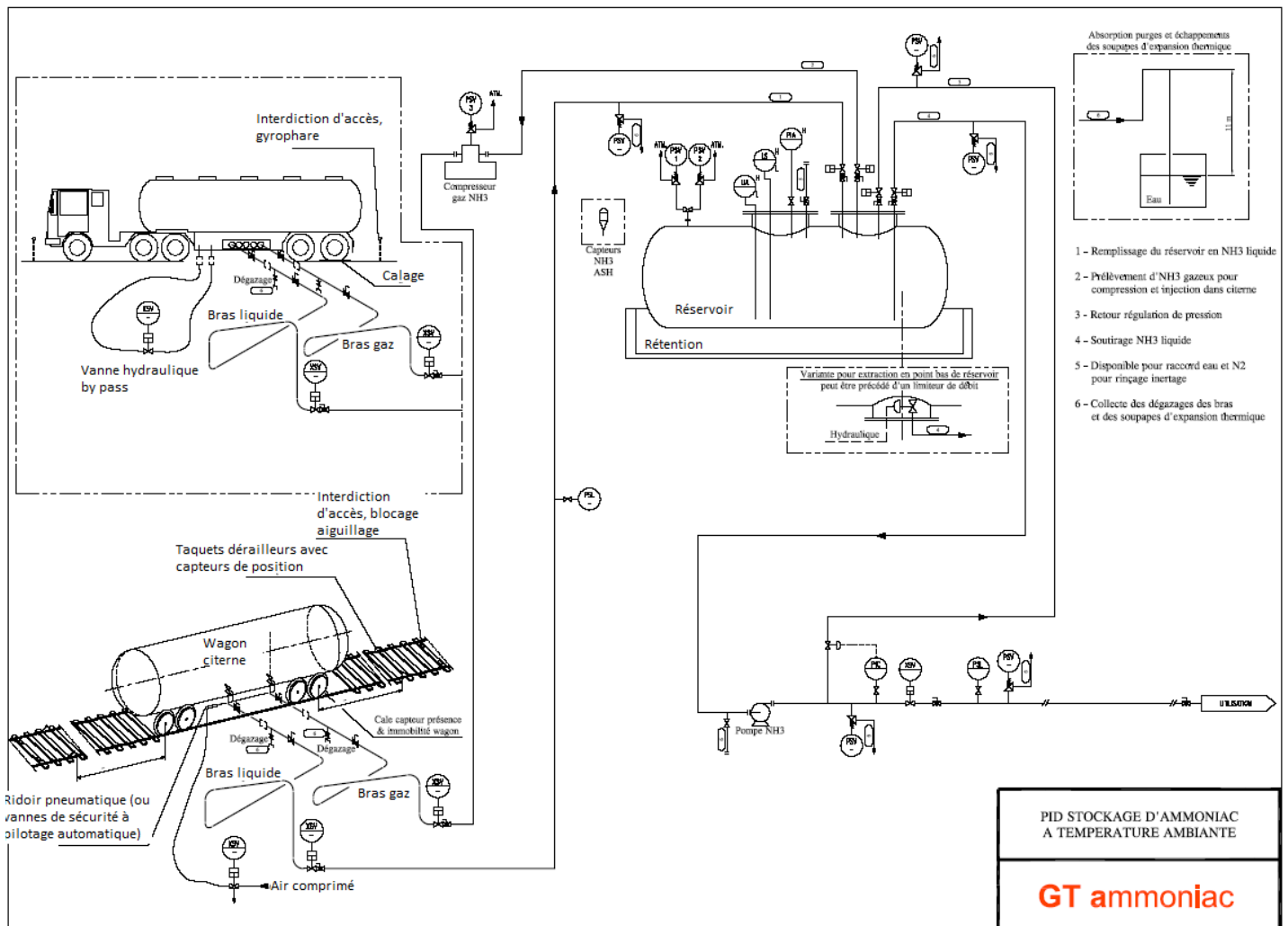


Figure 14 : Réservoir pressurisé à température ambiante

Source : GT NH₃

5.5 DESCRIPTION DES POSTES DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT

Un site de stockage d'ammoniac, quel que soit le type de stockage retenu, peut comporter des postes de chargement/déchargement (aussi appelés postes d'emportage/dépotage) qui permettent de vidanger/remplir le réservoir de stockage vers/depuis les équipements de transport. L'ammoniac peut être transporté par :

- camion-citerne (capacité de 9 à 22 tonnes) ;
- wagon-citerne (capacité de 20 à 50 tonnes) ;
- bateau : péniche (capacité de l'ordre de 300 tonnes, température ambiante) ou navire (capacité de l'ordre de plusieurs milliers de tonnes sous forme cryogénique). Ce dernier type de transport n'est cependant pas utilisé dans le cas d'un stockage d'ammoniac à température ambiante.

Les stockages sont reliés aux unités et aux postes d'emportage/dépotage par des tuyauteries. Le transfert est assuré par des pompes et des compresseurs.

5.6 PHENOMENES DANGEREUX RENCONTRES

L'Annexe A (paragraphe 2.2) présente les typologies de phénomènes dangereux rencontrés dans les installations de stockage et de dépotage d'ammoniac. La construction des graphiques présentés s'appuie sur l'exploitation des bases de données d'accidentologie ARIA et MHIDAS⁹.

Dans le contexte de l'étude des accidents majeurs, le principal phénomène dangereux considéré lors d'une fuite d'ammoniac est la dispersion d'un nuage toxique. Il s'agit de cet événement qui figure dans les nœuds papillon présentés dans le guide pratique.

Il est intéressant de souligner que l'ammoniac, malgré son caractère peu inflammable, peut former des mélanges explosifs avec l'air (cf. graphiques présentés dans l'Annexe A). Cependant, l'étude des phénomènes dangereux d'incendie et d'explosion est à faire au cas par cas dans les études de dangers impliquant de l'ammoniac, en raison de la rareté de ces phénomènes. Les nœuds papillon présentés dans le guide pratique ne font pas figurer ces événements.

⁹ MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service) est une base de données d'accidentologie exploitée par le HSE. Elle rassemble des informations sur les accidents impliquant le transport, le stockage ou l'utilisation dans les procédés de substances dangereuses qui ont, ou qui pourraient avoir entraîné des dommages sur les hommes, les propriétés ou l'environnement, en dehors des limites d'un site industriel. MHIDAS n'a pas de couverture géographique prédéfinie, mais les informations concernent plus particulièrement les accidents qui ont eu lieu aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne.

GUIDE PRATIQUE SUR LES INSTALLATIONS DE STOCKAGE D'AMMONIAC

1. RESERVOIRS CRYOGENIQUES

1.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE RESERVOIRS CRYOGENIQUES

Les fréquences issues de la littérature conduisent aux fourchettes de valeurs suivantes :

	Rupture	Fuite	Unité
Réservoir cryogénique simple paroi	F4	F3-F2	par réservoir par an
Réservoir cryogénique double paroi	F7-F5	F4-F2	

Voir Annexe A, Tableau 1 et Chapitre 4

Note :

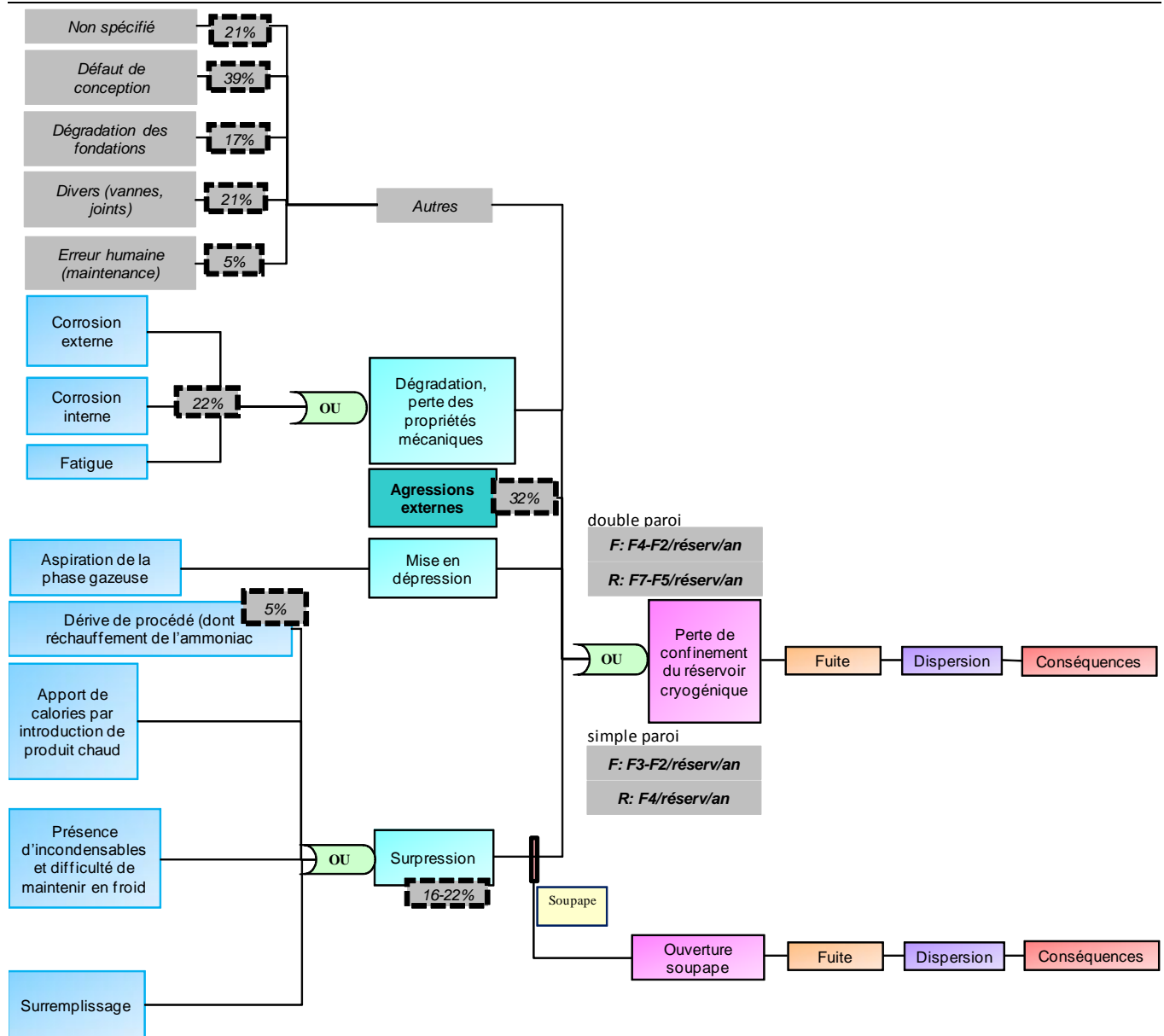
Les fréquences d'occurrence de perte de confinement d'un réservoir cryogénique dépendent fortement de la technologie de réservoir considérée : réservoir à simple ou double paroi.

1.2 NŒUD PAPILLON

1.2.1 COMMENTAIRES

Parmi les accidents qui se sont produits sur les réservoirs cryogéniques (indépendamment de leur technologie), les causes les plus courantes sont, par ordre décroissant, les agressions externes, les fuites de vannes, joints et la surpression.

1.2.2 Nœud papillon n°1 – Perte de confinement d'un réservoir cryogénique



12% Contribution de l'événement initiateur à l'occurrence de l'ERC - Pour une bonne interprétation, se référer à l'Annexe B
 Autres Autres causes identifiées dans la littérature/les bases de données

Incertain Incertitude moyenne **F5-F4** Classe de fréquence de l'occurrence de l'ERC
Incertain Incertitude forte F: Fuite - R: Rupture
Incertain Incertitude très forte Pour plus de détails, se référer à l'Annexe A

La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

2. RESERVOIRS SEMI-REFRIGERES

2.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE RESERVOIRS SEMI-REFRIGERES

Les fréquences issues de la littérature conduisent aux fourchettes de valeurs suivantes :

	Rupture	Fuite	Unité
Réservoir semi-réfrigéré	F6-F4	F4	par réservoir par an

Voir Annexe A, Tableau 1 et Chapitre 4

Note :

La base de données Reldat II fournit des fréquences de fuite de réservoirs sous pression spécifiques à l'ammoniac. Ces fréquences sont 1000 fois supérieures ou plus aux données génériques fournies par cette même base de données ou par d'autres sources (elles se situent donc dans la classe F1). Les fréquences de fuite de réservoirs sous pression spécifiques à l'ammoniac données par Reldat II sont notées en rouge dans le tableau de l'Annexe A. Elles ne sont pas retenues dans la synthèse ci-dessus.

Il est important de souligner que la plupart des bases de données ne différencient pas réservoir semi-réfrigéré (sphérique, sous une pression de 4 bars) de réservoir à température ambiante (cylindrique, sous une pression de 9 bars). Les fréquences détaillées dans l'Annexe A concernent donc les réservoirs sous pression, qu'ils soient semi-réfrigérés ou à température ambiante. Pour les réservoirs semi-réfrigérés, elles ont néanmoins été complétées par des données provenant de la littérature spécialisée.

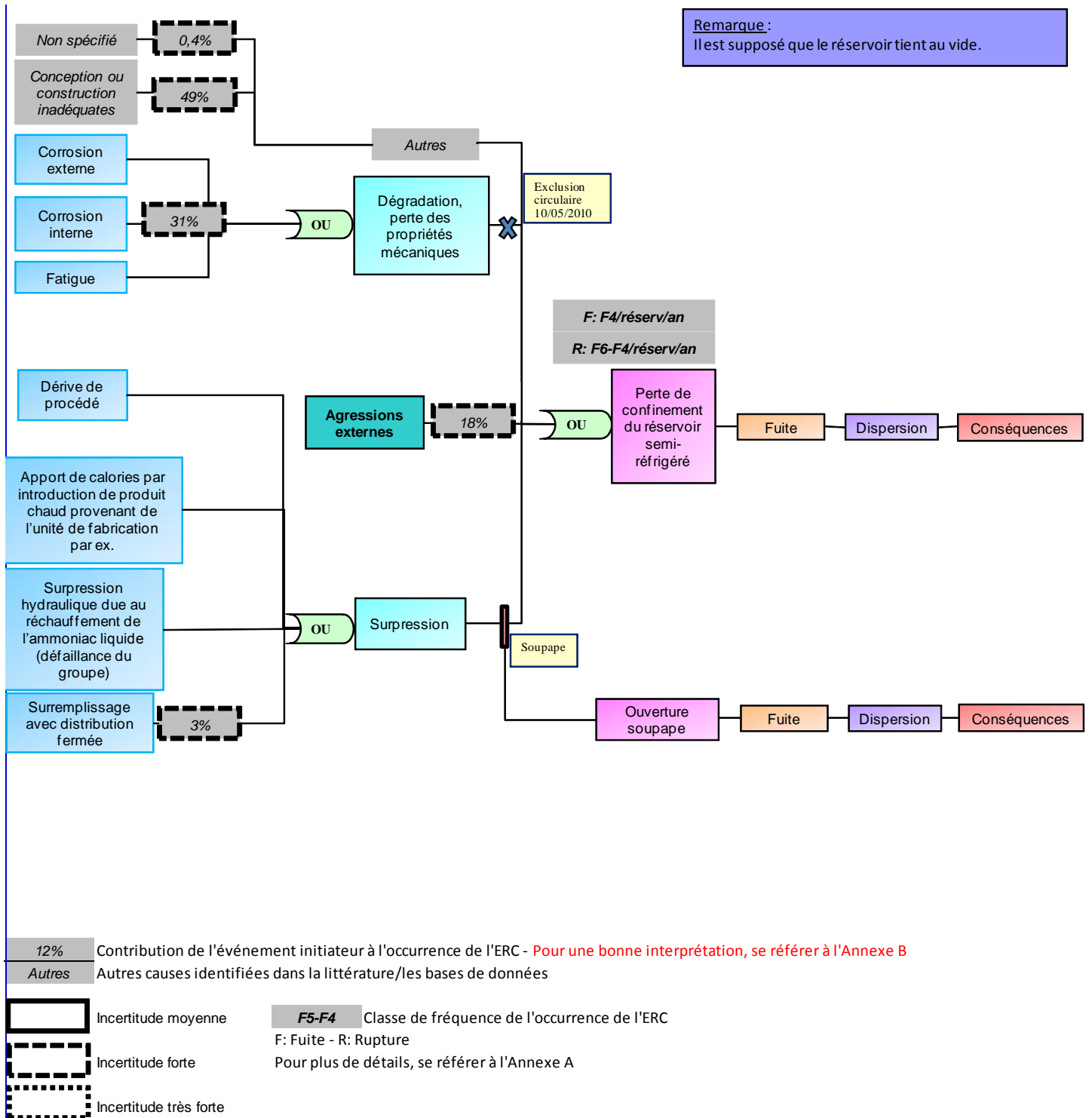
2.2 NŒUD PAPILLON

2.2.1 COMMENTAIRES

Les données concernant les répartitions de causes de perte de confinement d'un réservoir semi-réfrigéré proviennent du rapport Rijnmond [15], dans lequel une installation de stockage d'ammoniac a été étudiée.

Les causes les plus fréquentes d'occurrence de perte de confinement sur un réservoir semi-réfrigéré retenues dans le rapport sont, par ordre décroissant, l'inadéquation de la conception ou de la construction, la corrosion (interne et externe) et les agressions externes.

2.2.2 Nœud papillon n°2 – Perte de confinement d'un réservoir semi-réfrigéré



La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

3. RESERVOIRS SOUS PRESSION

3.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE RESERVOIRS SOUS PRESSION

Les fréquences issues de la littérature conduisent aux fourchettes de valeurs suivantes :

	Rupture	Fuite	Unité
Réservoir à température ambiante	F6-F5	F4	par réservoir par an

Voir Annexe A, Tableau 1 et Chapitre 4

Note :

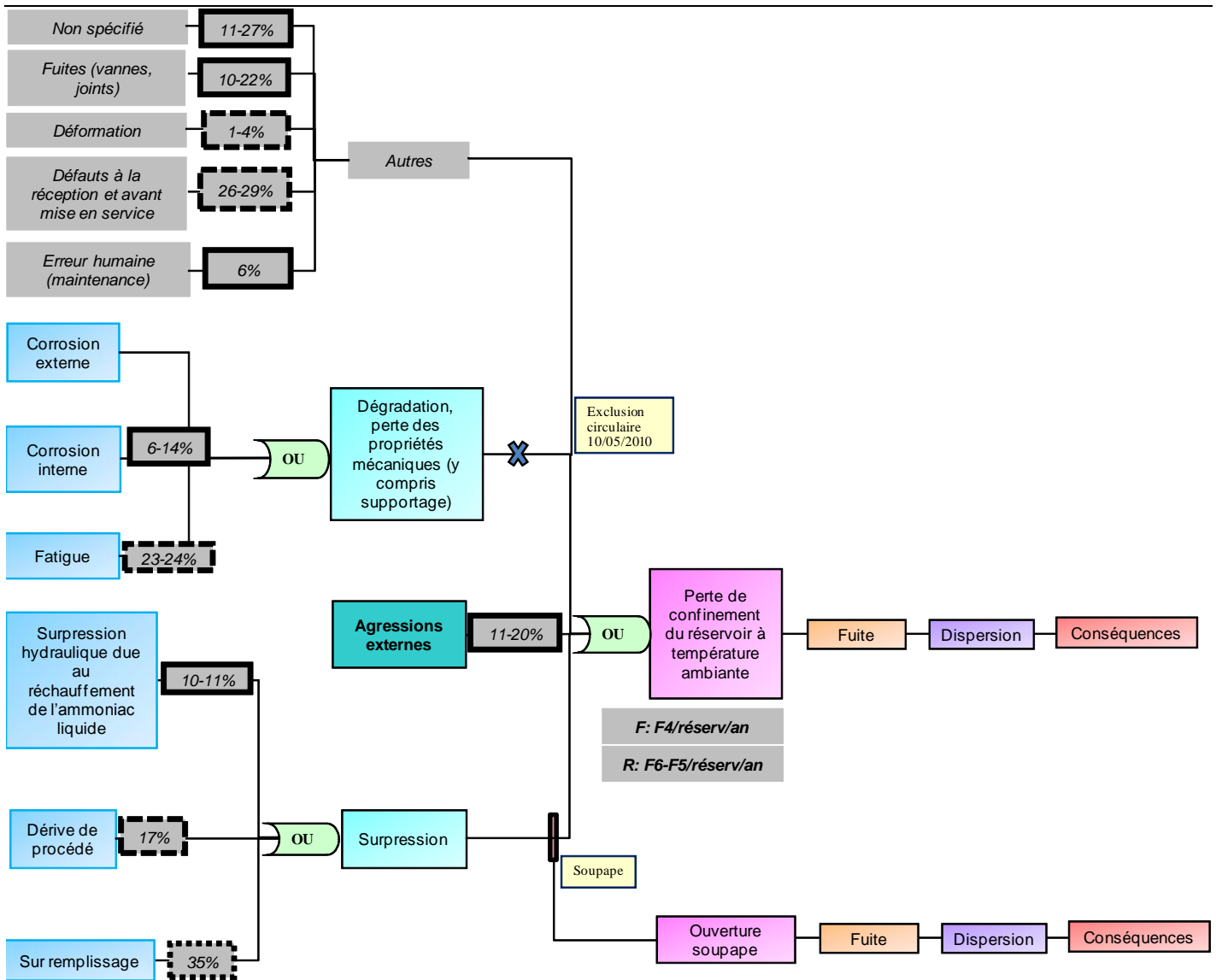
La base de données Reldat II fournit des fréquences de fuite de réservoirs sous pression spécifiques à l'ammoniac. Ces fréquences sont 1000 fois supérieures ou plus aux données génériques fournies par cette même base de données ou par d'autres sources (elles se situent donc dans la classe F1). Les fréquences de fuite de réservoirs sous pression spécifiques à l'ammoniac données par Reldat II sont notées en rouge dans le tableau de l'Annexe A. Elles ne sont pas retenues dans la synthèse ci-dessus.

3.2 NŒUD PAPILLON

3.2.1 COMMENTAIRES

Les causes les plus fréquentes d'occurrence de perte de confinement sur un réservoir sous pression sont, par ordre décroissant, le sur remplissage, des défauts à la réception et avant la mise en service et la fatigue.

3.2.2 Nœud papillon n°3 – Perte de confinement d'un réservoir sous pression



12% Contribution de l'événement initiateur à l'occurrence de l'ERC - Pour une bonne interprétation, se référer à l'Annexe B
 Autres Autres causes identifiées dans la littérature/les bases de données

12% Incertitude moyenne **F5-F4** Classe de fréquence de l'occurrence de l'ERC
Autres Incertitude forte F: Fuite - R: Rupture
 Pour plus de détails, se référer à l'Annexe A
17% Incertitude très forte

La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

4. TUYAUTERIES

4.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE LA TUYAUTERIE

Les tuyauteries enterrées ne sont pas considérées ici. Ces équipements pourraient faire l'objet d'investigations supplémentaires.

Les fréquences issues de la littérature conduisent aux fourchettes de valeurs suivantes :

- Sources intégrant les fuites sur accessoires :

Diamètre	Rupture	Fuite	Unité
0-49 mm	F5	F5-F4	par m de tuyauterie par an
50-149 mm	F6	F5	
150-299 mm	F6	F6-F5	
300-499 mm	F7-F6	F6-F5	
500-1000 mm	F7-F6	F6	

- Sources distinguant les fuites sur accessoires et les fuites sur tuyauteries :

		Rupture	Fuite	Unité
Accessoires		F5-F4	F5-F3	par accessoire par an
Tuyauteries (Diamètre)	0-49 mm	F5	F5-F3	par m de tuyauterie par an
	50-149 mm	F6-F5	F5-F4	
	150-299 mm	F6-F5	F6-F4	
	300-499 mm	F7-F5	F6-F4	
	500-1000 mm	F7-F5	F6-F4	

Voir Annexe A, Tableau 1 et Chapitre 5

Notes:

- Certaines bases de données (Failure rate and event data 2012, Reldat II) fournissent des données spécifiques aux accessoires de tuyauteries (brides, joints et soudures). Ces sources n'intègrent donc pas les données concernant les accessoires aux données concernant les tuyauteries, alors que d'autres les intègrent.
 - Les données présentées dans le premier tableau proviennent des bases de données qui ne distinguent pas « accessoires » et « tuyauteries » (BEVI, HFF). Les données relatives aux accessoires sont donc intégrées ;
 - Les données présentées dans le second tableau proviennent des bases de données qui distinguent « accessoires » et « tuyauteries » (Failure rate and event data 2012, Reldat II) ;
 - Le tableau présenté dans le nœud papillon synthétise l'ensemble des données, qu'elles proviennent de sources qui intègrent les données relatives aux accessoires aux données relatives aux tuyauteries ou non. Une approche conservatrice peut être d'utiliser les données présentées dans le nœud papillon pour caractériser uniquement la fréquence de perte d'intégrité de la tuyauterie.

- La fréquence de fuite proposée pour chaque diamètre de tuyau est égale à la somme des fréquences de fuite pour chaque diamètre de trou et de la fréquence du phénomène de « spray release » quand elle est disponible (exemple - Failure rate and event data 2012 : fuite de tuyauterie d'un diamètre compris entre 0 et 49 mm = fréquence de brèche 3 mm + fréquence de brèche de 25 mm + fréquence de spray release). Les fréquences de rupture sont dissociées des fréquences de fuite.

4.2 NŒUD PAPILLON

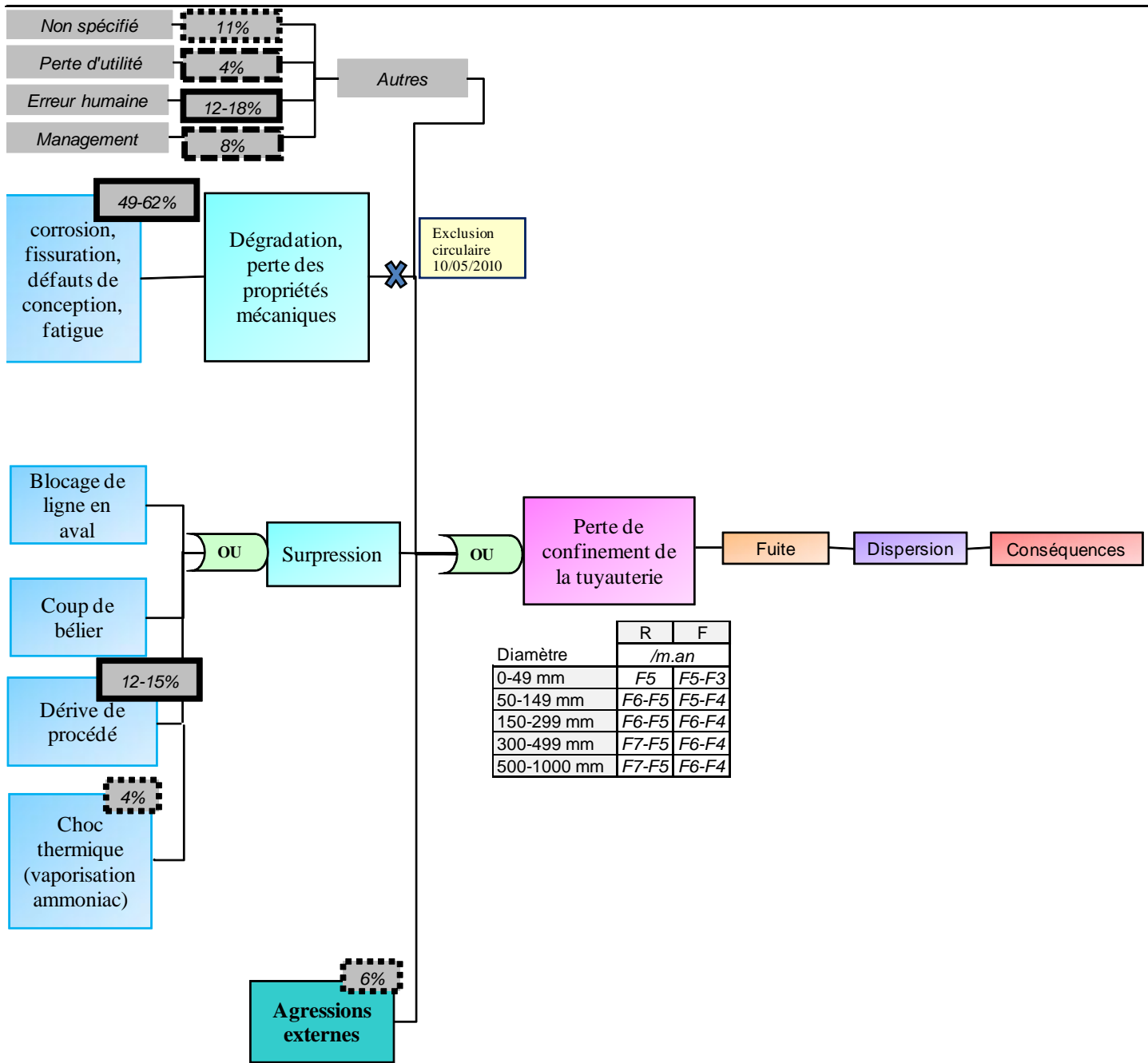
4.2.1 COMMENTAIRES

Comme souligné dans la première note ci-dessus, certaines bases de données étudiées intègrent les accessoires liés aux tuyauteries dans les données concernant les tuyauteries, d'autres ne le font pas. Certaines répartitions de causes présentées ci-dessous et détaillées dans l'Annexe B intègrent donc les accessoires des tuyauteries, d'autres non.

Les causes les plus communes d'accident semblent être, par ordre décroissant de leur occurrence, la corrosion (aussi fissuration, défauts de conception, fatigue), les erreurs opératoires et les dérives de procédé.

Peu d'informations sont disponibles sur les causes de fuite de vannes et de brides associées aux tuyauteries.

4.2.2 Nœud papillon n°4 – Perte de confinement au niveau de la tuyauterie



12% Contribution de l'événement initiateur à l'occurrence de l'ERC - Pour une bonne interprétation, se référer à l'Annexe B

Autres Autres causes identifiées dans la littérature/les bases de données

Incertitude moyenne **F5-F4** Classe de fréquence de l'occurrence de l'ERC

Incertitude forte F: Fuite - R: Rupture

Incertitude très forte Pour plus de détails, se référer à l'Annexe A

La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

5. POMPES ET COMPRESSEURS

5.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DES POMPES ET COMPRESSEURS

Les fréquences issues de la littérature conduisent aux fourchettes de valeurs suivantes :

	Rupture	Fuite	Unité
Pompes	F4-F2	F4-F1	par équipement par an
Compresseurs	F5-F2	F4-F1	

Voir Annexe A, Tableau 1 et Chapitre 6

Notes :

- De fortes différences de fréquences de perte de confinement sont relevées en fonction des technologies employées (exemple du type de garniture). L'Annexe A fournit le détail des fréquences relevées dans la littérature.
- La fréquence de fuite proposée est égale à la somme des fréquences de fuite pour chaque diamètre de trou et de la fréquence du phénomène de « spray release » quand elle est disponible.

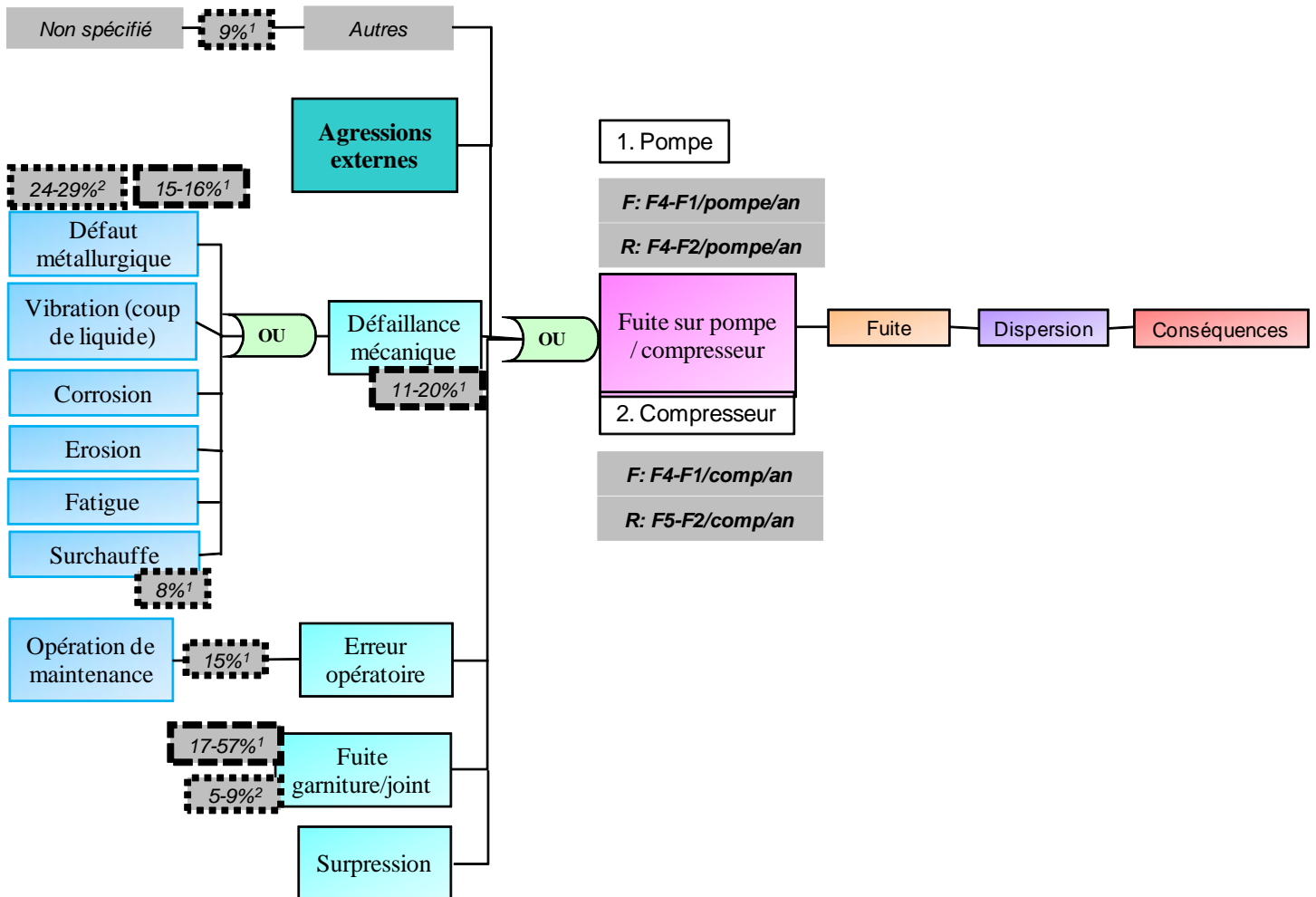
5.2 NŒUD PAPILLON

5.2.1 COMMENTAIRES

La cause principale de fuite sur pompe semble être une fuite de garniture/joint.

La cause principale de fuite de compresseur est le défaut métallurgique.

5.2.2 Nœud Papillon n°5 - Perte de confinement au niveau des pompes et compresseurs



¹ : Données concernant les pompes

² : Données concernant les compresseurs

12% Contribution de l'événement initiateur à l'occurrence de l'ERC - Pour une bonne interprétation, se référer à l'Annexe B

Autres Autres causes identifiées dans la littérature/les bases de données

 Incertitude moyenne
 F5-F4 Classe de fréquence de l'occurrence de l'ERC
 F: Fuite - R: Rupture
 Pour plus de détails, se référer à l'Annexe A
 Incertitude forte
 Incertitude très forte

La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

6. FLEXIBLES OU BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT (CITERNE ROUTIERE OU FERROVIAIRE)

6.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT SUR UN FLEXIBLE OU BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT (CITERNE ROUTIERE OU FERROVIAIRE)

Les fréquences issues de la littérature conduisent aux fourchettes de valeurs suivantes :

		Rupture	Fuite	Unité
Route	Bras	F7-F6	F6	par heure de fonctionnement
	Flexible	F5-F4	F5-F4	
Rail	Bras	F7-F6	F6	

Voir Annexe A, Tableau 1 et Chapitre 7

Notes :

- La majorité des bases de données fournit des données exprimées par heure de fonctionnement des flexibles ou bras de transfert. Certaines cependant expriment les fréquences de perte de confinement par opération de transfert, d'autres par an. Afin d'exprimer celles-ci par heure de fonctionnement, les hypothèses suivantes ont été formulées (hypothèses INERIS) :
 - Une opération de transfert dure 4 heures ;
 - 60 opérations de transfert ont lieu au cours d'une année.
- La fréquence de fuite proposée est égale à la somme des fréquences de fuite pour chaque diamètre de trou et de la fréquence du phénomène de « spray release » quand elle est disponible.

Rappel :

Les données relatives aux pertes de confinement sur les citernes ne sont pas présentées dans le présent guide.

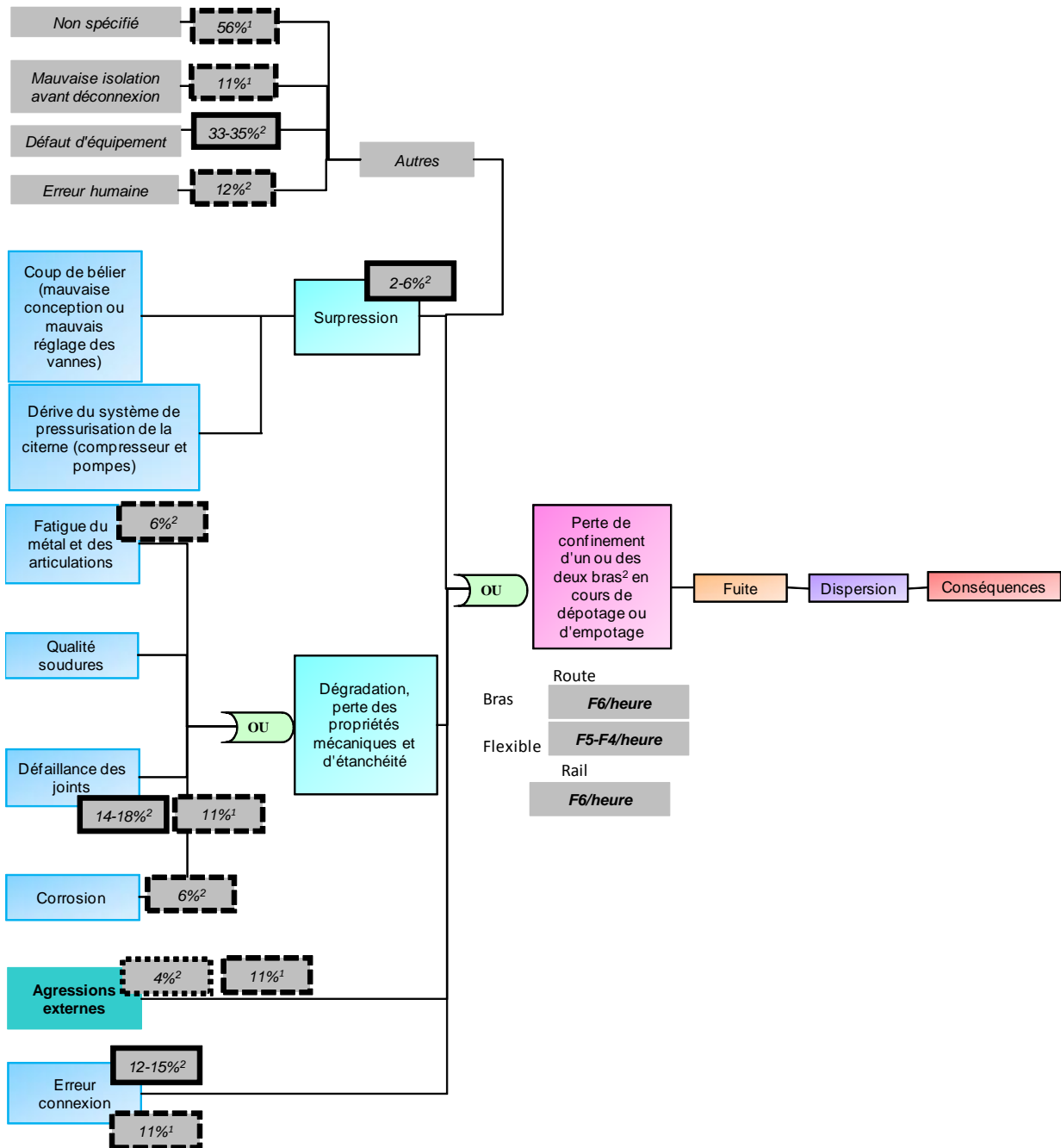
6.2 NŒUDS PAPILLON

6.2.1 COMMENTAIRES

Les premières causes de perte de confinement d'un ou plusieurs flexibles au poste de chargement/déchargement par camion sont un défaut d'équipement et une défaillance des joints.

Les premières causes de perte de confinement d'un ou plusieurs bras au poste de chargement/déchargement (par camion, wagon ou bateau) sont une erreur de connexion, des agressions externes, une défaillance des joints et une mauvaise isolation avant déconnexion.

6.2.2 NŒUD PAPILLON N°6 – FUITE SUR UN FLEXIBLE OU BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT (CITERNE ROUTIERE OU FERROVIAIRE)



¹ : données concernant les bras

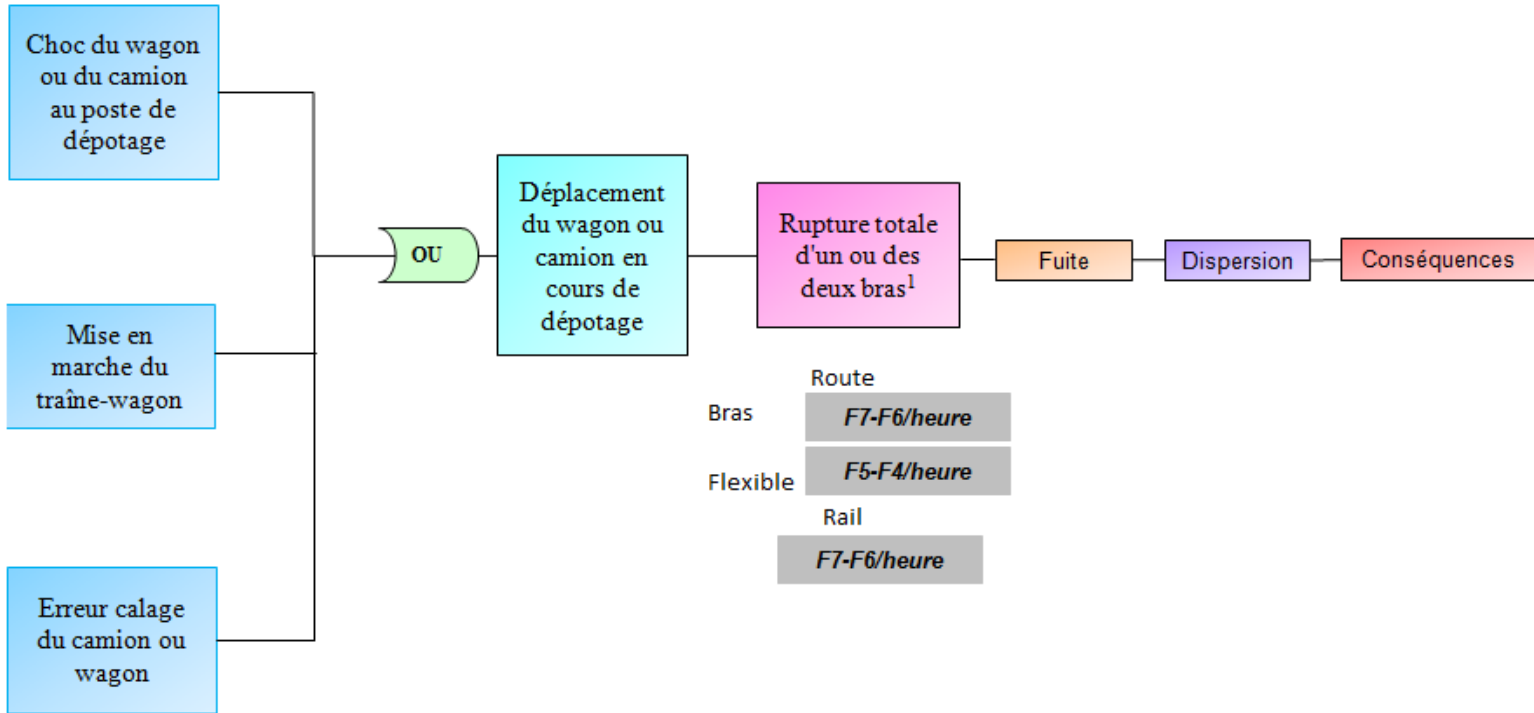
² : pour une citerne routière (i.e. camion), l'ERC peut être également la fuite du flexible de dépotage ou d'empotage
Données concernant les flexibles

12% Contribution de l'événement initiateur à l'occurrence de l'ERC - Pour une bonne interprétation, se référer à l'Annexe B
Autres Autres causes identifiées dans la littérature/les bases de données

 Incertitude moyenne F5-F4 Classe de fréquence de l'occurrence de l'ERC
 Incertitude forte Pour plus de détails, se référer à l'Annexe A
 Incertitude très forte

La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

6.2.3 NŒUD PAPILLON N°7 – RUPTURE TOTALE SUR UN FLEXIBLE OU BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT (CITERNE ROUTIERE OU FERROVIAIRE)



¹ : pour une citerne routière (i.e. camion), l'ERC peut être également la fuite du flexible de dépotage ou d'empotage

F5-F4 Classe de fréquence de l'occurrence de l'ERC

Pour plus de détails, se référer à l'Annexe A

7. BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT SUR UN BATEAU

7.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT D'UNE OPERATION DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT SUR UNE CITERNE (MARITIME)

Les fréquences issues de la littérature conduisent aux fourchettes de valeurs suivantes :

		Rupture	Fuite	Unité
Bateau	Bras	F7-F6	F6	par heure de fonctionnement

Voir Annexe A, Tableau 1 et Chapitre 7

Note :

La majorité des bases de données fournit des données exprimées par heure de fonctionnement des bras de transfert. Certaines cependant expriment les fréquences de perte de confinement par opération de transfert, d'autres par an. Afin d'exprimer celles-ci par heure de fonctionnement, les hypothèses suivantes ont été formulées (hypothèses INERIS) :

- Une opération de transfert dure 4 heures ;
- 60 opérations de transfert ont lieu au cours d'une année.

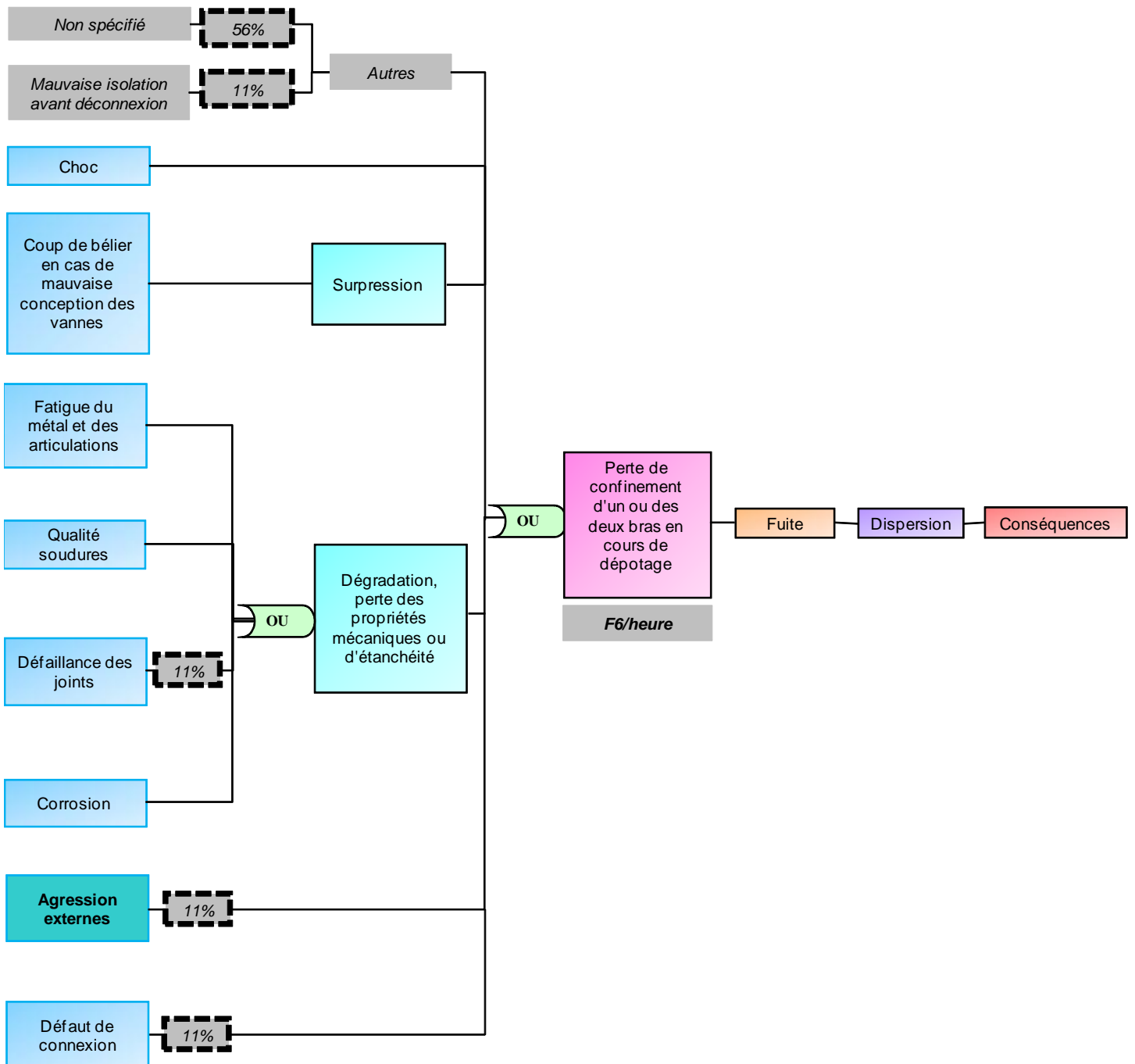
7.2 NŒUDS PAPILLON

7.2.1 COMMENTAIRES

Dans les bases de données étudiées, les répartitions de causes de perte de confinement de bras de transfert dans le cas d'un chargement/déchargement par bateau ne sont pas différenciées de celles d'un transfert par camion ou wagon.

Ainsi, les premières causes de perte de confinement d'un ou plusieurs bras au poste de chargement/déchargement par bateau sont un défaut de connexion, des agressions externes, une défaillance des joints et une mauvaise isolation avant déconnexion.

7.2.2 NŒUD PAPILLON N°8 – FUITE SUR UN BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT (BATEAU)

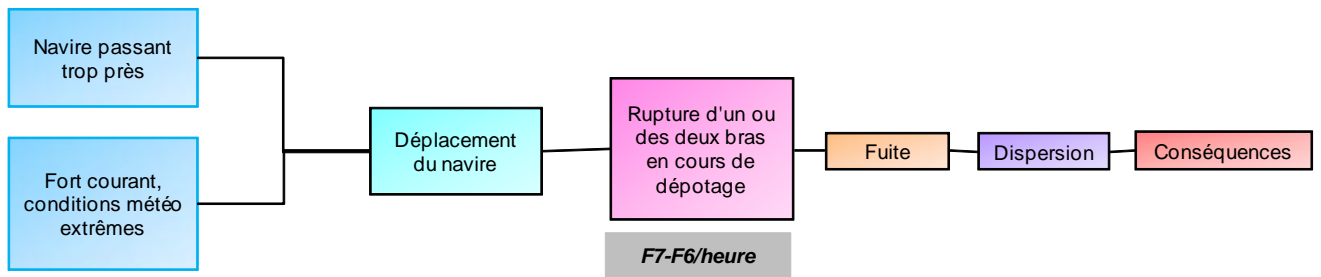


12% Contribution de l'événement initiateur à l'occurrence de l'ERC - Pour une bonne interprétation, se référer à l'Annexe B
 Autres Autres causes identifiées dans la littérature/les bases de données

Incertain Incertitude moyenne **F5-F4** Classe de fréquence de l'occurrence de l'ERC
Incertain Incertitude forte Pour plus de détails, se référer à l'Annexe A
Incertain Incertitude très forte

La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

7.2.3 NŒUD PAPILLON N°9 – RUPTURE SUR UN BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT (BATEAU)



F5-F4 Classe de fréquence de l'occurrence de l'ERC
Pour plus de détails, se référer à l'Annexe A

8. LISTE INDICATIVE DE MESURES DE MAITRISE DES RISQUES

Les tableaux ci-dessous, introduits dans le paragraphe 2.5 de la première partie de ce document, présentent une liste **non-exhaustive et indicative** des mesures de maîtrise des risques pouvant être mises en place dans les installations de stockage d'ammoniac. Elles ont été proposées par le groupe sectoriel ammoniac.

Pour des descriptifs plus précis des mesures de maîtrise des risques et de leur fonctionnement, ainsi que des informations sur l'évaluation de leur fiabilité et leurs principaux fournisseurs, le site <http://www.ineris.fr/badoris/> propose des fiches de synthèse par mesure de sécurité. De plus, une comparaison des prescriptions concernant les stockages d'ammoniac fournies par différents guides, normes, et autres documents de référence est réalisée dans le rapport DRA-10-102957-01613B « *DRA 71 – Opération A.1 – Référentiels, normes et guides de bonnes pratiques pour le stockage, le chargement et le déchargement de l'ammoniac* » du 22 / 06 / 2010.

Pour rappels :

- la présence ou non de ces mesures de maîtrise des risques n'est pas corrélée aux valeurs de fréquences et de répartitions de causes présentés dans les nœuds papillons des chapitres précédents ;
- un dispositif de sécurité doit être évalué au regard de son niveau d'indépendance vis-à-vis des autres dispositifs de sécurité et des séquences accidentelles ainsi que vis-à-vis des critères de l'article 4 de l'arrêté du 29 Septembre 2005 : efficacité, cinétique de mise en œuvre, tests et maintenance.

L'INERIS propose un cadre pour ces évaluations dans les Oméga 10 ([19]) et 20 ([20]).

8.1 MMR RELATIVES AUX RESERVOIRS DE STOCKAGE

N°	Fonctions de sécurité	Mesures de maîtrise des risques	Installations concernées	NP concernés
Prévention				
1	Prévenir la corrosion et la fatigue du réservoir	<ul style="list-style-type: none">• Contrôle intégré au plan d'inspection et action corrective• Procédure « commissioning » (absence d'oxygène)• Peinture anticorrosion	C, SR, TA	1, 2, 3
2	Prévenir la mise en dépression du réservoir	Soupape casse-vide	C	1
3	Prévenir le sur remplissage du réservoir	<ul style="list-style-type: none">• Action de contrôle du niveau avant le remplissage• Détection + alarme et sécurité de niveau / fermeture des alimentations	C, SR, TA	1, 2, 3

N°	Fonctions de sécurité	Mesures de maîtrise des risques	Installations concernées	NP concernés
4	Prévenir/limiter la surpression du réservoir	<ul style="list-style-type: none"> Alarme et sécurité de pression/fermeture des alimentations Soupape de sécurité Pour les réservoirs C et SR : groupe frigorifique, sécurités et asservissements 	C, SR, TA	1, 2, 3
Protection				
5	Limiter la fuite	Détection et intervention	C, SR, CA	1, 2, 3
6	Limiter la dispersion	<ul style="list-style-type: none"> Rideau d'eau Dispositif de recondensation 	C, SR, CA	1, 2, 3
7		Dispositif de limitation de l'évaporation	SR	2

Tableau 6 : Liste indicative de mesures de maîtrise des risques liées aux réservoirs de stockage

Légende :

C : cryogénique

SR : semi-réfrigéré

TA : température ambiante

8.2 MMR RELATIVES AUX TUYAUTERIES, POMPES ET COMPRESSEURS

N°	Fonctions de sécurité	Mesures de maîtrise des risques	Installations concernées	NP concernés
Prévention				
1	Prévenir les chocs thermiques	Procédure de mise en froid et contrôle	T	4
2	Prévenir la perte des propriétés mécaniques	Réception, surveillance, inspections et requalifications périodiques	T	4
3	Prévenir les vibrations	<ul style="list-style-type: none"> Ballon séparateur (compresseurs) Inspection et action corrective 	PC	5
4	Prévenir la corrosion et l'érosion	Inspection et action corrective	PC	5
5	Prévenir les fuites de joints/garnitures	Maintenance préventive	PC	5
6	Prévenir la surpression	Soupape de décharge	PC	5

N°	Fonctions de sécurité	Mesures de maîtrise des risques	Installations concernées	NP concernés
Protection				
7	limiter la fuite	Détection et mise en sécurité par fermeture des vannes encadrant le circuit	T, PC	4, 5

Tableau 7 : Liste indicative de mesures de maîtrise des risques liées aux tuyauteries, pompes et compresseurs

Légende :

T : tuyauteries

PC : pompes et compresseurs

8.3 MMR RELATIVES AUX POSTES DE CHARGEMENT / DECHARGEMENT

N°	Fonctions de sécurité	Mesures de maîtrise des risques	Installations concernées	NP concernés
Prévention				
1	Prévenir les chocs thermiques	Procédure de mise en froid et contrôle	CDM	8
2	Assurer la qualité des soudures des bras de transfert	Contrôle intégré au plan d'inspection et action corrective	CD	6, 8
3	Prévenir les erreurs de connexion des bras de transfert	<ul style="list-style-type: none"> • Test d'étanchéité pour la connexion (camions, wagons) • Test au gaz chaud (bateaux) 	CD	6
4	Prévenir les chocs au poste de dépotage	<ul style="list-style-type: none"> • Verrouillage de l'aiguillage d'accès aux voies de dépotage (wagon) ou barrière empêchant l'accès au poste de dépotage (camion) • Taquet dérailleur (pour wagon) 	CDT	7
5	Prévenir la mise en marche du traîne-wagon	Désactivation (condamnation électrique) du traîne-wagons	CDT	7
6	Prévenir les risques de déplacement du wagon ou du camion	<ul style="list-style-type: none"> • Procédure de manœuvre de raccordement d'un wagon ou camion et procédure de dépotage (vigilance et surveillance) • Freins serrés, cales, taquets d'arrêt 	CDT	7
7	Empêcher un navire de passer trop près du bateau en cours de chargement/déchargement	Règles de navigation, d'accostage et d'amarrage	CDM	9
8	Anticiper les conditions météorologiques extrêmes	Amarrage renforcé, Duc d'Albe	CDM	9

N°	Fonctions de sécurité	Mesures de maîtrise des risques	Installations concernées	NP concernés
9	Prévenir le déplacement du navire en cours de chargement/déchargement	PERC (Powered Emergency Release Coupling)	CDM	9
Protection				
10	limiter la fuite	Mise en sécurité par fermeture du clapet de fond du wagon sur détection gaz/ ridoir et fermeture des vannes des lignes (le ridoir est spécifique aux postes de dépotage de wagons)	CDT	6, 7
11		Actionnement du double clapet de rupture	CD	7, 9
12		Mise en sécurité par fermeture du système d'alimentation sur détection gaz et fermeture des vannes des lignes	CDM	8, 9
13	limiter la dispersion	Dispositif de semi-confinement	CDT	6, 7
14		<ul style="list-style-type: none"> • Rideau d'eau • Dispositif de recondensation 	CDT	6, 7

Tableau 8 : Liste indicative de mesures de maîtrise des risques liées aux postes de chargement/déchargement

Légende :

CD : chargement/déchargement

CDT : chargement/déchargement terre

CDM : chargement/déchargement mer

Les barrières de sécurité relatives aux agressions externes ainsi que les exclusions au sens de la circulaire du 10 mai 2010 sont présentées sur l'arbre de défaillances « Agressions externes du système » (Figure 4).

CONCLUSION

Deux principales méthodes de quantification sont utilisées par les industriels français pour caractériser la probabilité des phénomènes dangereux dans les études de dangers : l'approche quantitative ou semi-quantitative « par les événements redoutés centraux » et l'approche quantitative ou semi-quantitative « par les événements initiateurs ».

Aucune de ces deux méthodes se révèle être « idéale » pour aboutir à une estimation des probabilités de phénomènes dangereux robuste et justifiée. Chacune d'entre elles comporte des avantages et des inconvénients. Ces derniers sont liés principalement à la pauvreté du retour d'expérience disponible.

Les travaux nécessaires pour combler ce manque d'informations s'inscrivent dans le long terme. Dans le but de compenser en partie ce manque à court et à moyen terme, l'INERIS propose de mettre à disposition un guide pratique dans lequel sont capitalisées des données d'entrées nécessaires à la quantification. En complément une méthode de quantification des événements permettant d'exploiter au mieux ces données est proposée.

Ce guide pratique s'intéresse aux installations de stockage d'ammoniac. Il fournit des informations sur :

- les séquences accidentelles « types » ;
- les fréquences d'événements redoutés centraux ;
- les répartitions de causes des événements redoutés centraux ;
- une liste de mesures de maîtrise des risques possibles.

Dans le cadre de séances d'analyse de risques en groupe de travail, ce guide pratique fournit des éléments qui permettent d'alimenter la réflexion et de porter un regard critique sur la quantification des scénarios accidentels en probabilité :

- des éléments qualitatifs sur les événements initiateurs ;
- des répartitions de causes d'événements redoutés centraux qui permettent d'étudier le « poids » relatif des causes dans la fréquence d'occurrence des événements redoutés centraux. Bien que les incertitudes associées à ces valeurs soient trop importantes pour qu'elles soient utilisées à des fins de quantification en fréquence des causes, elles demeurent un outil pertinent pour distinguer, en moyenne et relativement, les causes qui sont les plus fréquentes de celles qui sont les moins fréquentes ;
- des éléments quantitatifs sur les fréquences moyennes d'événements redoutés centraux.

Les données de ce rapport proviennent de l'exploitation de sources d'informations diverses émanant du monde du risque accidentel et qui sont aujourd'hui à la disposition de l'INERIS : exploitation de retour d'expérience, exploitation d'avis d'experts, bases de données etc.

Elles sont à considérer avec précaution, pour les raisons explicitées au paragraphe 3.4, au sujet notamment de leurs incertitudes et leur applicabilité. Les travaux sur les sources de données menés dans le cadre du « *DRA 71 - Panorama des sources de données utilisées dans les analyses quantitatives des risques* » [6] viennent alimenter cette réflexion. De plus, des travaux sont en cours dans le cadre du DRA 71 pour définir une méthodologie de sélection des sources de données en fonction de critères tels que la représentativité des données, leur crédibilité et leur niveau de corrélation avec les cas étudiés.

Les données recensées dans le présent guide nécessitent d'être complétées dans le cadre d'un processus d'amélioration et de réactualisation périodique :

- au niveau des séquences accidentelles traitées dans ce rapport : celles-ci pourraient être complétées par d'autres nœuds papillon ;
- au niveau des fréquences d'événements initiateurs, par l'analyse et l'exploitation de sources de données complémentaires non-identifiées lors de la réalisation de ce document ;
- au niveau des facteurs d'influence des fréquences d'événements initiateurs ;
- au niveau des fréquences d'événement redoutés centraux, notamment par l'analyse de sources de données complémentaires encore non-identifiées lors de la réalisation de ce document.
- au niveau des fréquences recensées (événements initiateurs ou redoutés centraux) en réduisant les fourchettes de valeurs. Un cadre pour hiérarchiser la pertinence des sources de données utilisées est nécessaire pour cela. Ce cadre fait actuellement l'objet de travaux.

Les données fournies dans le cadre de ce guide sont des données « génériques », c'est-à-dire qu'elles ne tiennent pas compte de la spécificité du site. Elles supposent que les installations sont conçues et exploitées selon un « état de l'art moyen » qui reste mal défini. De même, les répartitions de cause et les fréquences de perte de confinement ne prennent pas en compte les mesures de prévention particulières qui peuvent être mises en place sur certains sites industriels.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]	ARIA, http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr
[2]	BARPI, Accidentologie des installations de stockage et de dépotage d'ammoniac, 2006 http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/uploads/2013/08/Accidentologie-2006-stockage-depotag-Nh3.pdf
[3]	Bolvin C., Accidentologie des installations de stockage et de dépotage d'ammoniac, Rapport d'étude INERIS, 2006 http://fr.scribd.com/doc/148887313/Benchmark-Stockage-d-Ammoniac
[4]	Bolvin C., Référentiels, normes et guides de bonnes pratiques pour le stockage, le chargement et le déchargement de l'ammoniac, Rapport d'étude INERIS, 2010
[5]	Deust C., Flauw Y., Intégration de la probabilité dans les études de dangers: Guide pratique, Rapport d'étude INERIS, 2012
[6]	Lenoble C., Panorama des sources de données utilisées dans le domaine des analyses quantitatives des risques – Mise à jour 2011 et 2012, Rapport d'étude INERIS, 2012 http://www.ineris.fr/centredoc/dra-12-124789-07543a-panorama-des-bases-de-donn%C3%A9es-v4vweb-1-1393947572.pdf
[7]	Lenoble C., Quantification des phénomènes dangereux en probabilité – Guide pratique pour les dépôts de gaz de pétrole liquéfié (GPL), Rapport d'étude INERIS, 2012
[8]	HSE, Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments, 2012
[9]	RIVM, Reference Manual BEVI Risk Assessments v3.2, 2009
[10]	Flemish Government, LNE department, Handbook failure frequencies for drawing up a safety report, 2009 (HFF)
[11]	Taylor J.R., Hazardous materials release and accident frequencies for process plant, Volume II, Process Unit Release Frequencies, Version 1 Issue 7, August 2006 (Reidat II)
[12]	Haddad J. et al, Major Hazard Risk Assessment on Ammonia Storage at Jordan Phosphate Mines Company in Aqaba, Jordan, 2010
[13]	Aneziris O.N. et al, Dynamic safety analysis of process systems with an application to a cryogenic ammonia storage tank, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 13 (2000) 153–165
[14]	Papazoglou I.A., On the quantification of the effects of organizational and management factors in chemical installations, Reliability Engineering and Systems Safety 63 (1999) 33–45
[15]	COVO Commission, Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, A Pilot Study. A Report to the Rijnmond Public Authority, Central Environmental Control Agency, Schiedam, The Netherlands, 1981

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[16]	MHIDAS
[17]	Baldock P.J., Accidental Releases of Ammonia: An Analysis of Reported Incidents, 1980
[18]	Lees F.P., Loss Prevention in the Process Industries, second ed., Butterworth-Heinemann, 1996
[19]	INERIS, Evaluation des barrières techniques de sécurité - Ω 10, Rapport d'étude INERIS, 2008 http://www.ineris.fr/centredoc/Omega_10_Evaluation_BTS_v2_0908_web.pdf
[20]	INERIS, Démarche d'évaluation des barrières humaines - Ω 20, Rapport d'étude INERIS, 2009 http://www.ineris.fr/centredoc/omega-20-barrieres-humaines-v2-2009-web.pdf
[21]	INRS, Ammoniac et solutions aqueuses - Fiche toxicologique FT 16, Edition 2007
[22]	Lele G.S., Ammonia Storage : Selection and Safety Issues, Chemical Industry Digest., May 2008
[23]	UIC, Guide d'inspection et de maintenance des réservoirs cryogéniques, DT 97, 2012

LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb pages
A	Fréquences de perte de confinement	23
B	Informations relatives aux répartitions de causes de l'occurrence de l'ERC	13
C	Information sur les sources de données	5
D	Evaluation des probabilités dans le cadre des études de dangers	8

Annexe A :
Fréquences de perte de confinement

ANNEXE A – FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT

1. INTRODUCTION	3
1.1 Démarche suivie.....	3
1.2 Limites dans l'utilisation des données	6
2. ACCIDENTOLOGIE	7
2.1 Activités concernées.....	7
2.2 Phénomènes dangereux rencontrés.....	8
3. TABLEAU DE SYNTHESE	13
4. RESERVOIRS	15
5. TUYAUTERIE	17
6. POMPES ET COMPRESSEURS	19
7. OPERATION DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT	21
8. REFERENCES	23

Figure 1 : Répartition des accidents impliquant de l'ammoniac selon le type d'activité concerné 7

Figure 2 : Répartition des installations impliquées dans les accidents - Activités de stockage 8

Figure 3 : Répartition des installations impliquées dans les accidents - Activités de chargement/déchargement 8

Figure 4 : Typologies de phénomènes dangereux rencontrés dans les installations de stockage et de dépotage d'ammoniac (ARIA)..... 9

Figure 5 : Typologies de phénomènes dangereux rencontrés dans les installations de stockage et de dépotage d'ammoniac (MHIDAS) 10

Tableau 1 : Applicabilité des données issues des bases de données aux installations de stockage d'ammoniac 4

Tableau 2 : Tableau de synthèse des fréquences de perte de confinement dans les installations de stockage d'ammoniac..... 13

1. INTRODUCTION

1.1 DEMARCHE SUIVIE

Cette annexe présente les données sur les fréquences de perte de confinement des différents équipements que l'on retrouve sur une installation de stockage d'ammoniac. Elles sont issues de l'exploitation de différentes sources de données et d'éléments de la littérature.

Les différents équipements étudiés sont les suivants :

- Les réservoirs (chapitre 4) ;
- Les tuyauteries (chapitre 5) ;
- Les pompes et compresseurs (chapitre 6) ;
- Les flexibles et bras de chargement/déchargement (chapitre 7).

Les fréquences de perte de confinement ont été sélectionnées en fonction de leur applicabilité au cas des installations de stockage d'ammoniac. Le Tableau 1 récapitule pour chaque source de données étudiée son applicabilité dans le cadre de l'ammoniac en fonction des équipements concernés. Des informations concernant la mention d'autres ERC ou de mesures de sécurité sont également fournies.

Le lecteur est invité à se reporter à l'Annexe C du présent rapport qui fournit des informations sur les sources de données exploitées dans le cadre de cette étude.

Tableau 1: Applicabilité des données issues des bases de données aux installations de stockage d'ammoniac (1/2)

			FRED [1]	BEVI [2]	HFF [3]	Reidat II [4]
		Pays source	Grande-Bretagne	Pays-Bas	Belgique flamande	Compilation de plusieurs pays
Activités de stockage		ERC				
Réservoirs	cryogénique	Perte de confinement	xx	xx	x	φ
	semi-réfrigéré		x	xx	xx	x (rupture) xx (fuites)
	température ambiante		x	xx	xx	x (rupture) xx (fuites)
Equipements	soupape	Perte de confinement	φ	xx	φ	φ
	tuyauterie	Fuite/Rupture	x	xx	x	xx
	Pompes et compresseurs	Fuite/Rupture	x	xx	x	xxx (pompes) x (compresseurs)
Activités de chargement/déchargement		ERC				
Route	Bras	Fuite/Rupture	φ	xx	xx	xx
	Flexible		xx	xx	xx	xxx
Rail	Bras		φ	xx	xx	xx
Maritime	Bras		x	xx	xx	xx
Causes et répartition			-	-	Détaillé (annexe)	Détaillé
Autres ERC mentionnés			Rupture cana gaz enterrées/aériennes Perte de confinement camion/train	Perte de confinement camion/train/bateau	Rupture cana enterrées (gaz, liquides)	-
Mesures de sécurité mentionnées			Non	Oui, avec probabilités de défaillance à la demande pour barrières de protection	Oui, avec probabilités de défaillance à la demande pour barrières de protection	Oui

Tableau 1: Applicabilité des données issues des bases de données aux installations de stockage d'ammoniac (2/2)

			Haddad J, 2010 [5]	Aneziris O.N., 2000 [6]	Papazoglou I.A, 1999 [7]	Rijnmond report, 1981 [8]
		Pays source	Jordanie	Grèce	Grèce	Pays-Bas
Activités de stockage		ERC				
Réservoirs	cryogénique	Perte de confinement	xxx	φ	φ	φ
	semi-réfrigéré		φ	φ	xx	xxx
	température ambiante		φ	φ	xx	φ
Equipements	soupape	Perte de confinement	xxx	φ	φ	φ
	tuyauterie	Fuite/Rupture	φ	φ	xx	xxx
	Pompes et compresseurs	Fuite/Rupture	φ	xxx (pompes)	φ	φ
Activités de chargement/déchargement		ERC				
Route	Bras	Fuite/Rupture	φ	φ	φ	xxx
	Flexible		φ	φ	φ	φ
Rail	Bras		φ	φ	φ	xxx
Maritime	Bras		xxx	φ	xx	xxx

- xxx Données spécifiques aux installations de stockage d'ammoniac
- xx Données applicables aux installations de stockage d'ammoniac
- x Données génériques
- φ Pas de données

1.2 LIMITES DANS L'UTILISATION DES DONNEES

Les données recensées dans les tableaux ci-après souffrent d'une limite liée à leur **domaine d'applicabilité**, et ce à deux niveaux :

- La similarité des équipements étudiés (par exemple réservoir sous pression, tuyauteries, etc répondant à certains standards) est difficile à vérifier ;
- La similarité des types d'installations étudiés (par exemple, dépôt de liquides inflammables, stockage de chlore, etc) n'est pas toujours assurée.

Les données, par manque d'informations relatives aux particularités des sites industriels, sont prises comme représentatives d'un « état de l'art moyen de la sécurité ». Cet état de l'art moyen reste mal défini (quelles normes de conception, quelles mesures de maîtrise des risques et aspects organisationnels). A cela s'ajoute le fait que les fréquences recensées dans les bases de données sont majoritairement issues de retours d'expérience anciens, alors que les normes de conception et pratique utilisées aujourd'hui ont beaucoup évolué. Ce décalage dans le temps génère des interrogations sur l'adaptation des données compte tenu des changements de standards. Pour limiter ces interrogations, il convient d'utiliser de préférence les données les plus récentes possibles.

De plus, des travaux complémentaires¹ ont permis de mettre en évidence une **indépendance limitée** des sources de données entre elles : les travaux publiés dans la littérature spécialisée citent souvent les mêmes sources de données initiales. Cet état de fait limite fortement la valeur des comparaisons des valeurs de fréquence entre elles.

Dans ce contexte, les valeurs recensées dans cette annexe sont à utiliser avec précaution en tant que valeur indicative permettant d'alimenter une analyse critique constructive de valeurs obtenues à partir d'un retour d'expérience, d'avis d'experts, de groupes de travail et d'analyses qualitatives.

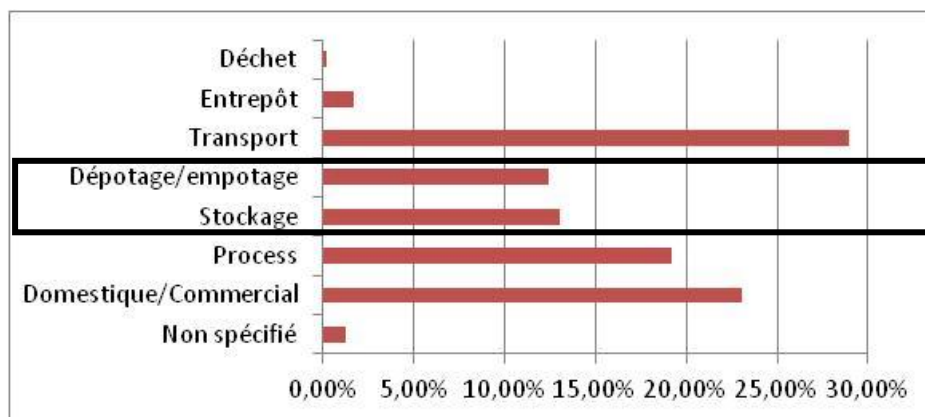
Des travaux sont en cours dans le cadre du DRA 71 pour définir une méthodologie de sélection des sources de données en fonction de critères tels que la représentativité des données, leur crédibilité et leur niveau de corrélation avec les cas étudiés. Cette méthodologie permettra à terme de réduire les fourchettes proposées dans ce type de guide pour des fréquences de perte de confinement et pour les répartitions de causes.

¹ « DRA 71 - Panorama des sources de données utilisées dans les analyses quantitatives des risques » rapport DRA-12-124789-07543A, INERIS, 2012.

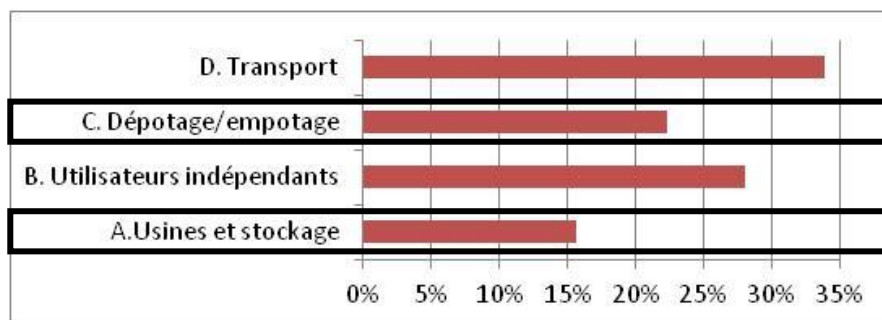
2. ACCIDENTOLOGIE

2.1 ACTIVITES CONCERNEES

Les deux graphiques ci-dessous ont été obtenus suite à l'exploitation de la base de données MHIDAS qui recense les accidents de 1961 à 2005 et de la littérature (Baldock, 1980). Ils présentent la répartition des accidents impliquant de l'ammoniac selon le type d'activité concerné.



Source : MHIDAS



Source : (Baldock, 1980)

Figure 1 : Répartition des accidents impliquant de l'ammoniac selon le type d'activité concerné

Le champ d'application du guide comprend les activités de stockage d'ammoniac et de chargement/déchargement.

Les graphiques ci-après ont été obtenus suite à l'exploitation de la base de données MHIDAS. Ils présentent la répartition des installations impliquées dans les accidents selon le type d'activité considéré.

Activités de stockage

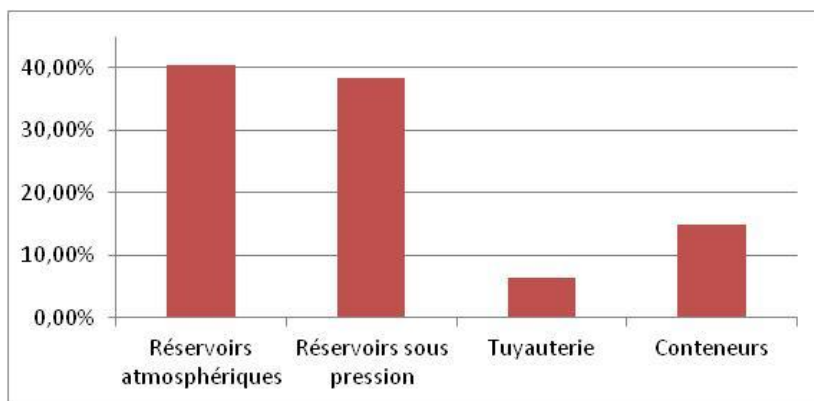


Figure 2 : Répartition des installations impliquées dans les accidents - Activités de stockage

Source : MHIDAS

Activités de chargement/déchargement

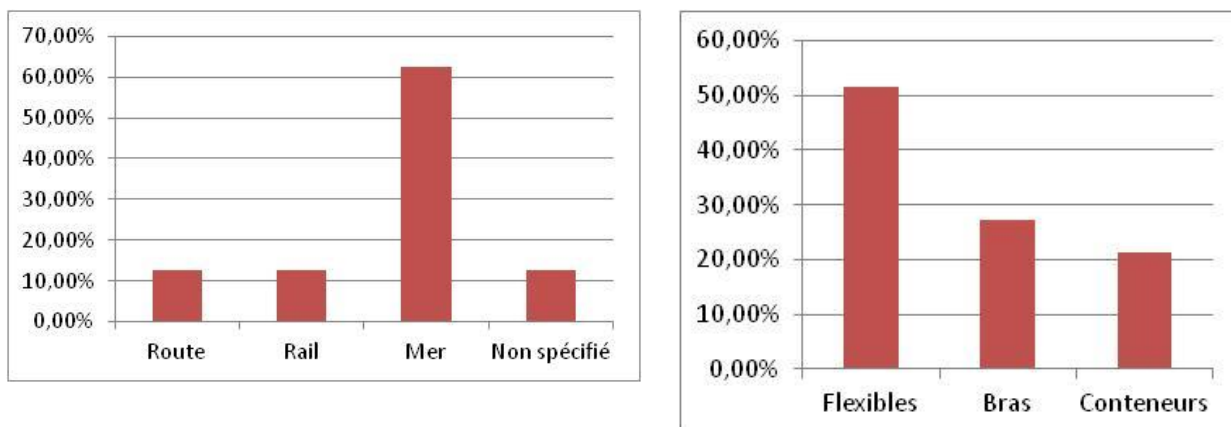


Figure 3 : Répartition des installations impliquées dans les accidents - Activités de chargement/déchargement

Source : MHIDAS

2.2 PHENOMENES DANGEREUX RENCONTRES

Les graphiques présentés dans ce paragraphe mettent en avant les typologies de phénomènes dangereux rencontrés dans les installations de stockage et de dépotage d'ammoniac.

Leur construction se base sur l'exploitation des données des bases d'accidentologie suivantes :

- ARIA, qui recense 101 incidents ou accidents français et étrangers survenus avant le 1^{er} janvier 2006 pour ces installations de stockage et de dépotage d'ammoniac. Parmi ces événements, 52 sont liés uniquement au stockage de l'ammoniac et 49 concernent les installations ou opérations de dépotage. Ici, un seul niveau de phénomène dangereux est présenté. Le graphique prend en compte le fait qu'un événement puisse donner lieu à plusieurs phénomènes dangereux ;
- MHIDAS², qui recense 117 événements dans les installations de stockage et de dépotage d'ammoniac, entre 1961 et 2006. Chaque événement est classé selon un type de phénomène dangereux (en abscisse, ligne du bas), donnant lieu parfois à un deuxième type de phénomène dangereux (en abscisse, ligne du haut). Lorsque le libellé du phénomène dangereux associé à l'événement est vide, c'est que le champ n'a pas été rempli dans la base MHIDAS.

ARIA

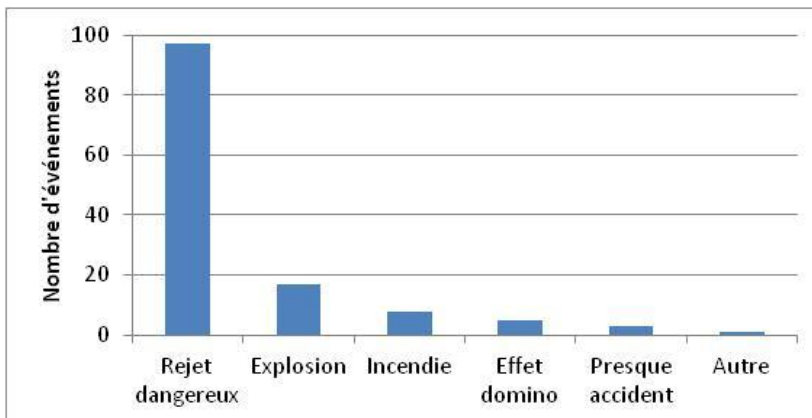
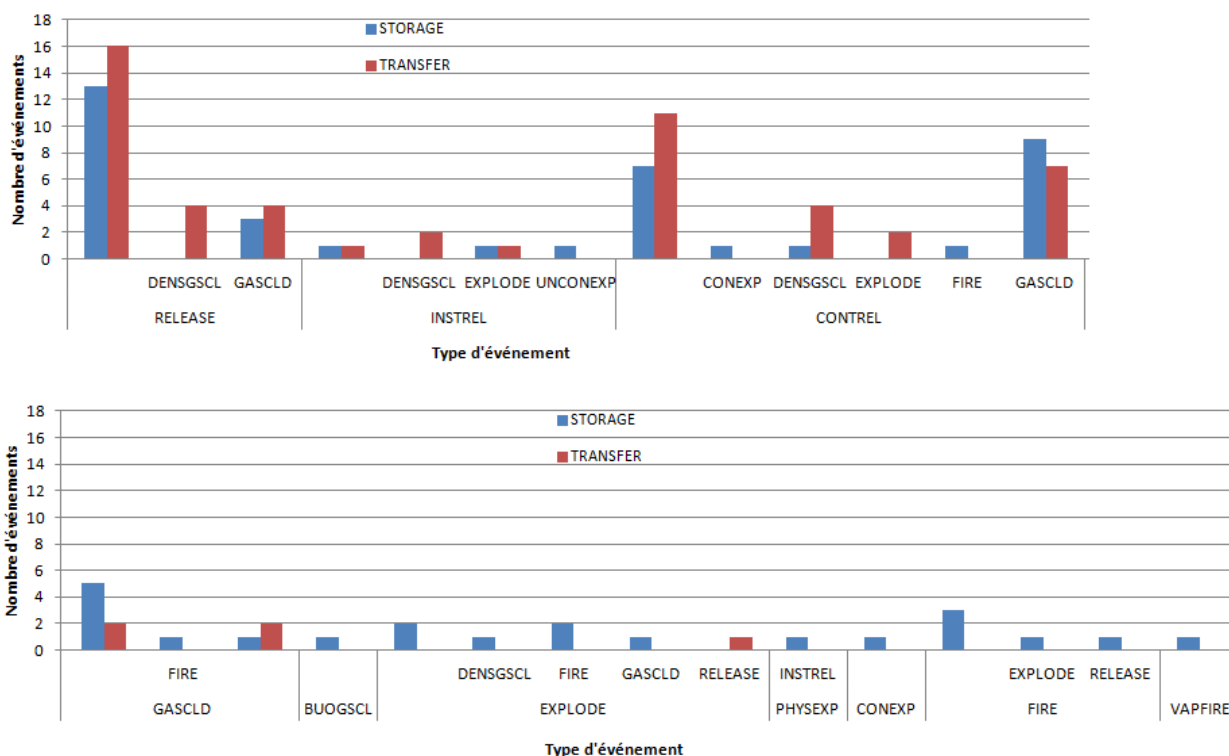


Figure 4 : Typologies de phénomènes dangereux rencontrés dans les installations de stockage et de dépotage d'ammoniac (ARIA)

² MHIDAS (Major Hazard Incident Data Service) est une base de données d'accidentologie exploitée par le HSE. Elle rassemble des informations sur les accidents impliquant le transport, le stockage ou l'utilisation dans les procédés de substances dangereuses qui ont, ou qui pourraient avoir entraîné des dommages sur les hommes, les propriétés ou l'environnement, en dehors des limites d'un site industriel. MHIDAS n'a pas de couverture géographique prédéfinie, mais les informations concernent plus particulièrement les accidents qui ont eu lieu aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne.

MHIDAS



(cf légende ci-dessous)

Figure 5 : Typologies de phénomènes dangereux rencontrés dans les installations de stockage et de dépôtage d'ammoniac (MHIDAS)

Phénomènes identifiés dans la base de données MHIDAS :

Typologie des rejets :

RELEASE	Release	Rejet	Fuite de substance dangereuse, sans information sur son caractère instantané ou continu (voir définitions ci-dessous)
INSTREL	Instantaneous Release	Rejet instantané	Fuite de substance dangereuse sur une courte période de temps, typiquement quelques secondes.
CONTREL	Continuous Release	Rejet continu	Fuite de substance dangereuse sur une période prolongée i.e. plus longue que quelques secondes.

Typologie des nuages de gaz :

GASCLD	Gas Cloud	Nuage de gaz	Mélange gaz/air, sans information sur sa concentration et densité.
DENSGSCL	Dense Gas Cloud	Nuage dense	Nuage de gaz plus lourd que l'air environnant juste après le rejet.
BUOGSCL	Buoyant Gas Cloud	Nuage léger	Nuage de gaz plus léger que l'air environnant.

Typologie des explosions :

EXPLODE	Explosion	Explosion	Explosion impliquant une substance dangereuse, sans information sur un type spécifique.
PHYSEXP	Physical Explosion	Explosion physique	Explosion, impliquant une substance dangereuse, d'une nature physique n'impliquant pas nécessairement une inflammation.
UNCONEXP	Unconfined Explosion	Explosion dans un milieu non confiné	Explosion, impliquant une substance dangereuse, à l'air libre d'un nuage constitué de gaz inflammable et d'air.
CONEXP	Confined Explosion	Explosion dans un milieu confiné	Explosion, impliquant une substance dangereuse et l'air, dans un système clos.

Typologie des feux :

FIRE	Fire	Feu	Feu impliquant une substance dangereuse, sans information sur un type spécifique.
VAPFIRE	Vapour/Flash Fire	Feu éclair	Feu, impliquant une substance dangereuse, généré suite à la combustion d'un mélange inflammable de gaz et d'air et générant une surpression négligeable.

Notes :

- Une étude approfondie sur les causes d'accidents dans les installations de stockage et de dépotage d'ammoniac a été rédigée en 2006 par le BARPI. Cette étude est consultable sur : <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/wp-content/uploads/2013/08/Accidentologie-2006-stockage-depotag-Nh3.pdf>.
- Dans la base MHIDAS, l'incendie, quand il est présenté en premier type de phénomène dangereux, est à considérer en tant qu'effet domino : un incendie sur un site de stockage d'ammoniac peut causer une rupture ou une explosion de réservoir. Lorsque l'incendie est présenté en second type de phénomène dangereux, alors cela signifie que le nuage d'ammoniac rejeté (premier type de phénomène dangereux) s'enflamme suite à une exposition à une source d'inflammation. Néanmoins, la plage d'inflammabilité de l'ammoniac³ étant restreinte, l'étude des phénomènes dangereux d'incendie et d'explosion est à faire au cas par cas dans les études de dangers impliquant de l'ammoniac, en raison de la rareté de ces phénomènes.

³ L'ammoniac, gaz relativement peu inflammable, peut former des mélanges explosifs avec l'air dans les limites de 15 à 28% en volume. Le contact de l'ammoniac avec certains produits tels que le mercure, les halogènes, le calcium, l'oxyde d'argent etc est source d'incendies et d'explosions (INRS, 2007).

3. TABLEAU DE SYNTHÈSE

Le tableau ci-dessous présente une synthèse des classes de fréquences des événements redoutés centraux pour chaque équipement étudié dans l'installation de stockage d'ammoniac. Le détail des fréquences associées à chaque équipement est donné dans les paragraphes 4 à 7.

Tableau 2 : Tableau de synthèse des fréquences de perte de confinement dans les installations de stockage d'ammoniac

		Rupture	Fuite	Unité
Réservoir cryogénique simple paroi		F4	F3-F2	par réservoir par an
Réservoir cryogénique double paroi		F7-F6	F4-F2	
		Rupture	Fuite	Unité
Réservoir semi-réfrigéré		F6-F4	F4	par réservoir par an
		Rupture	Fuite	Unité
Réservoir à température ambiante		F6-F5	F4	par réservoir par an
		Rupture	Fuite	Unité
0-49 mm		F5	F5-F4	par m de tuyauterie par an
50-149 mm		F6	F5	
150-299 mm		F6	F6-F5	
300-499 mm		F7-F6	F6-F5	
500-1000 mm		F7-F6	F6	
		Rupture	Fuite	Unité
Accessoires		F5-F4	F5-F3	par accessoire par an
Tuyauteries	0-49 mm	F5	F5-F3	par m de tuyauterie par an
	50-149 mm	F6-F5	F5-F4	
	150-299 mm	F6-F5	F6-F4	
	300-499 mm	F7-F5	F6-F4	
	500-1000 mm	F7-F5	F6-F4	
		Rupture	Fuite	Unité
Pompes		F4-F2	F4-F1	par équipement par an
Compresseurs		F5-F2	F4-F1	
		Rupture	Fuite	Unité
Route	Bras	F7-F6	F6	par heure de fonctionnement
	Flexible	F5-F4	F5-F4	
Rail	Bras	F7-F6	F6	
		Rupture	Fuite	Unité
Bateau	Bras	F7-F6	F6	par heure de fonctionnement

4. RESERVOIRS

	Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (28/06/2012) [1]			BEVI (01/01/2009) [2]			Handbook on Failure Frequencies (05/05/2009) [3]		
Activité de stockage									
Réservoir cryogénique (Pamb, T=-33°C, cylindrique vertical)	1.1.2 Refrigerated Ambient Pressure Vessels			Module C. 3.6 Atmospheric storage tanks			Chapter 4: Atmospheric tanks		
		Simple paroi	Double paroi (full containment)		Single containment	Full containment		Single containment	Full containment
Perte de confinement (/réservoir.an)	Catastrophique	4,00E-05	5,00E-07	Perte instantanée de la totalité du contenu	5,00E-06	1,00E-08	Rupture	5,00E-06	1,00E-08
	Majeure ¹	1,00E-04	1,00E-05	Perte totalité contenu en 10 min (flux continu et constant)	5,00E-06		Perte totalité contenu en 10 min	5,00E-06	1,00E-08
	Mineure ²	8,00E-05	3,00E-05	Perte continue du contenu par trou ϕ 10 mm	1,00E-04		Fuite importante ($\phi > 50$ mm)	2,20E-04	2,20E-04
	Vapeurs seulement	2,00E-04	0,00E+00				Fuite moyenne ($10 < \phi \leq 50$ mm)	2,20E-04	2,20E-04
							Petite fuite ($0,1 < \phi \leq 10$ mm)	2,40E-03	2,40E-03
Catégorie	Rupture	4,00E-05	5,00E-07	Rupture	1,00E-05	1,00E-08	Rupture	1,00E-05	2,00E-08
	Fuite	3,80E-04	4,00E-05	Fuite	1,00E-04	-	Fuite	2,84E-03	2,84E-03
Catégorie		F3	F4		F3	-		F2	F2
Réservoir semi-réfrigéré (P=4b, T=0°C, sphérique)	1.1.3 Pressure Vessels Spherical Vessels			Module C. 3.4 Pressurised storage tanks, aboveground			Chapter 2: Pressure tanks		
Perte de confinement (/réservoir.an)	Catastrophique	4,00E-06		Perte instantanée de la totalité du contenu	5,00E-07		Rupture	3,20E-07	
	ϕ 50 ou 25 mm	5,00E-06		Perte totalité contenu en 10 min (flux continu et constant)	5,00E-07		Perte totalité contenu en 10 min	3,20E-07	
	ϕ 13 mm	1,00E-05		Perte continue du contenu par trou ϕ 10 mm	1,00E-05		Fuite importante ($\phi > 50$ mm)	1,10E-06	
	ϕ 6 mm	4,00E-05					Fuite moyenne ($10 < \phi \leq 50$ mm)	1,10E-06	
							Petite fuite ($0,1 < \phi \leq 10$ mm)	1,20E-05	
Catégorie	Rupture	4,00E-06		Rupture	1,00E-06		Rupture	6,40E-07	
	Fuite	5,50E-05		Fuite	1,00E-05		Fuite	1,42E-05	
Catégorie		F5			F4			F4	
Réservoir sous pression (P=9b, Tamb, cylindrique horizontal)	1.1.3 Pressure Vessels			Module C. 3.4 Pressurised storage tanks, aboveground			Chapter 2: Pressure tanks		
Perte de confinement (/réservoir.an)	Catastrophique	4,00E-06		Perte instantanée de la totalité du contenu	5,00E-07		Rupture	3,20E-07	
	ϕ 50 ou 25 mm	5,00E-06		Perte totalité contenu en 10 min (flux continu et constant)	5,00E-07		Perte totalité contenu en 10 min	3,20E-07	
	ϕ 13 mm	1,00E-05		Perte continue du contenu par trou ϕ 10 mm	1,00E-05		Fuite importante ($\phi > 50$ mm)	1,10E-06	
	ϕ 6 mm	4,00E-05					Fuite moyenne ($10 < \phi \leq 50$ mm)	1,10E-06	
							Petite fuite ($0,1 < \phi \leq 10$ mm)	1,20E-05	
Catégorie	Rupture	4,00E-06		Rupture	1,00E-06		Rupture	6,40E-07	
	Fuite	5,50E-05		Fuite	1,00E-05		Fuite	1,42E-05	
Catégorie		F5			F4			F4	

	Reldat II (Août 2006) [4]	Littérature				
Activité de stockage						
Réservoir cryogénique (Pamb, T=-33°C, cylindrique vertical)						
Perte de confinement (/réservoir.an)	Pas de données	Catastrophique (rupture totale) [5] 6,00E-06 Fuite sérieuse [5] 1,00E-04 <i>La source [5] ne précise pas s'il s'agit d'un réservoir simple ou double paroi. Ces données ne sont donc pas réutilisées dans le cadre de ce guide</i>				
Catégorie						
Catégorie						
Réservoir semi-réfrigéré (P=4b, T=0°C, sphérique)						
8.4 Typical frequency for pressure vessel failure						
Perte de confinement (/réservoir.an)	Catastrophic failure	3,00E-06	Générique	Rupture [7]	5,40E-05	
	Small leak or small break	3,00E-05		Rupture [8]	2,30E-06	
	φ fuite > 100 mm	7,08E-03		(spec NH3)	Fuite φ 50 mm [8]	1,00E-05
	25 < φ fuite < 100 mm	1,06E-02				
	10 < φ fuite < 25 mm	1,59E-02				
10 mm < φ fuite	8,85E-03					
Catégorie	Rupture	3,00E-06		Rupture	2,3E-06 - 5,4E-05	
Catégorie	F5			F5-F4		
	Fuite	3,00E-05	4,24E-02	Fuite	1,00E-05	
	F4		F1 (spec NH3)	F4		
Réservoir sous pression (P=9b, Tamb, cylindrique horizontal)						
8.4 Typical frequency for pressure vessel failure						
Perte de confinement (/réservoir.an)	Catastrophic failure	3,00E-06	Générique			
	Small leak or small break	3,00E-05				
	φ fuite > 100 mm	7,08E-03		(spec NH3)		
	25 < φ fuite < 100 mm	1,06E-02				
	10 < φ fuite < 25 mm	1,59E-02				
10 mm < φ fuite	8,85E-03					
Catégorie	Rupture	3,00E-06				
	F5					
	Fuite	3,00E-05	4,24E-02			
	F4		F1 (spec NH3)			

Notes:

¹: Pour réservoir > 12 000 m³: φ trou ≥ 1000 mm et pour réservoir 4 000 < . ≤ 12 000 m³: φ trou ≥ 750 mm

²: Pour réservoir > 12 000 m³: φ trou ≥ 300 mm et pour réservoir 4 000 < . ≤ 12 000 m³: φ trou ≥ 225 mm

	Reidat II (Août 2006) [4]		Littérature		
Activité de stockage					
TOUS RESERVOIRS					
Tuyauterie de transfert	Accessoires	7. Piping Release Rates 7.5 Welds			
		Fuite (moins de 10% de la section de la soudure)	2,60E-04	/soudure.an	
		Rupture	2,60E-05		
		7. Piping Release Rates 7.6 Flanges			
		Non applicable (vapeur, condensat, offshore)			
		Rupture	2,60E-05	/accessoire.an	
Catégorie			F4		
		Fuite	2,60E-04		
Catégorie			F3		
	Tube	7. Piping Release Rates 7.4 Typical release frequencies			
	/m.an	φ tuyau ≤ 75 mm	φ tuyau > 75 mm	Rupture [7] 4,40E-04 /an	
	Petit trou (< 10 mm)	5,50E-05	1,80E-05	Rupture [8] 2,20E-02	
	Trou moyen (10 < < 25 mm)	5,20E-05	1,70E-05		
	Gros trou (25 < < 100 mm)	2,20E-05	6,30E-06		
	Très gros trou (> 100 mm) - rupture	-	7,30E-06		
	Les correspondances entre les catégories de diamètres ci-dessus et celles utilisées pour présenter les données sont les suivantes: ≤ 75 --- 0-49 mm > 75 --- 50-1000 mm				
		Fuite (/m.an)	Rupture (/m.an)		
	0-49 mm	1,29E-04	-		
Catégorie		F3	-		
Catégorie	50-149 mm				
Catégorie	150-299 mm				
	300-499 mm	4,13E-05	7,30E-06		
Catégorie					
Catégorie	500-1000 mm				
		F4	F5		

6. POMPES ET COMPRESSEURS

	Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (28/06/2012) [1]			BEVI (01/01/2009) [2]			Handbook on Failure Frequencies (05/05/2009) [3]																																																																																																																																																																																						
Activité de stockage																																																																																																																																																																																													
TOUS RESERVOIRS																																																																																																																																																																																													
pompes et compresseurs																																																																																																																																																																																													
<table border="0" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%; text-align: center;"><i>3.1.3 Compressors</i></td> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%; text-align: center;"><i>3.11 Pumps and compressors</i></td> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%; text-align: center;"><i>Chapter 6: Pumps and compressors</i></td> <td style="width:15%;"></td> <td style="width:15%;"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>/compresseur.an</td> <td>Centrifuge</td> <td>Alternatif</td> <td>(Pompes et compresseurs) centrifuges</td> <td>Avec garniture</td> <td>Sans garniture</td> <td>Pompes centrifuges</td> <td>Avec garniture</td> <td>Sans garniture</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Rupture ($\phi > 110$ mm)</td> <td>2,90E-06</td> <td>1,40E-05</td> <td>Catastrophique</td> <td>1,00E-05</td> <td>1,00E-04</td> <td>Rupture</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Gros trou ($75 < \phi \leq 110$ mm)</td> <td>2,90E-06</td> <td>1,40E-05</td> <td>Fuite (10% diam)</td> <td>5,00E-05</td> <td>4,40E-03</td> <td>Fuite (10% diam)</td> <td>4,40E-03</td> <td>1,00E-04</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Petit trou ($25 < \phi \leq 75$ mm)</td> <td>2,70E-04</td> <td>3,30E-03</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Très petit trou ($\phi \leq 25$ mm)</td> <td>1,20E-02</td> <td>8,60E-02</td> <td>(Pompes et compresseurs) alternatifs</td> <td></td> <td></td> <td>Pompes à pistons et compresseurs</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Somme (fuites)</td> <td>1,23E-02</td> <td>8,93E-02</td> <td>/équipement.an</td> <td></td> <td>1,00E-04</td> <td>/équipement.an</td> <td></td> <td>1,00E-04</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><i>1.2.2 Pumps</i></td> <td></td> <td>Catastrophique</td> <td></td> <td>4,40E-03</td> <td>Rupture</td> <td></td> <td>4,40E-03</td> </tr> <tr> <td></td> <td>/pompe.an</td> <td></td> <td></td> <td>Fuite (10% diam)</td> <td></td> <td></td> <td>Fuite (10% diam)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Rupture</td> <td>3,00E-05</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>A garniture simple</td> <td>A garniture double</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Spray release</td> <td>5,00E-04</td> <td>5,00E-05</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>/équipement.an</td> <td>Pompes</td> <td>Compresseurs</td> <td>/équipement.an</td> <td>Pompes et compresseurs</td> <td></td> <td>/équipement.an</td> <td>Pompes</td> <td>Compresseurs</td> </tr> <tr> <td>Catégorie</td> <td>Rupture</td> <td>3,00E-05</td> <td>2,90E-06 - 1,40E-05</td> <td>Rupture</td> <td>1E-05 - 1E-04</td> <td></td> <td>Rupture</td> <td>1,00E-04</td> <td>1,00E-04</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>F4</td> <td>F5-F4</td> <td></td> <td>F4-F3</td> <td></td> <td></td> <td>F3</td> <td>F3</td> </tr> <tr> <td>Catégorie</td> <td>Fuite</td> <td>5E-05 - 5E-04</td> <td>1,23E-02 - 8,93E-02</td> <td>Fuite</td> <td>5E-05 - 4,40E-03</td> <td></td> <td>Fuite</td> <td>1E-04 - 4,40E-3</td> <td>4,40E-03</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>F4-F3</td> <td>F1</td> <td></td> <td>F4-F2</td> <td></td> <td></td> <td>F3-F2</td> <td>F2</td> </tr> </table>											<i>3.1.3 Compressors</i>			<i>3.11 Pumps and compressors</i>			<i>Chapter 6: Pumps and compressors</i>				/compresseur.an	Centrifuge	Alternatif	(Pompes et compresseurs) centrifuges	Avec garniture	Sans garniture	Pompes centrifuges	Avec garniture	Sans garniture		Rupture ($\phi > 110$ mm)	2,90E-06	1,40E-05	Catastrophique	1,00E-05	1,00E-04	Rupture	-	-		Gros trou ($75 < \phi \leq 110$ mm)	2,90E-06	1,40E-05	Fuite (10% diam)	5,00E-05	4,40E-03	Fuite (10% diam)	4,40E-03	1,00E-04		Petit trou ($25 < \phi \leq 75$ mm)	2,70E-04	3,30E-03								Très petit trou ($\phi \leq 25$ mm)	1,20E-02	8,60E-02	(Pompes et compresseurs) alternatifs			Pompes à pistons et compresseurs				Somme (fuites)	1,23E-02	8,93E-02	/équipement.an		1,00E-04	/équipement.an		1,00E-04			<i>1.2.2 Pumps</i>		Catastrophique		4,40E-03	Rupture		4,40E-03		/pompe.an			Fuite (10% diam)			Fuite (10% diam)				Rupture	3,00E-05										A garniture simple	A garniture double								Spray release	5,00E-04	5,00E-05																		/équipement.an	Pompes	Compresseurs	/équipement.an	Pompes et compresseurs		/équipement.an	Pompes	Compresseurs	Catégorie	Rupture	3,00E-05	2,90E-06 - 1,40E-05	Rupture	1E-05 - 1E-04		Rupture	1,00E-04	1,00E-04			F4	F5-F4		F4-F3			F3	F3	Catégorie	Fuite	5E-05 - 5E-04	1,23E-02 - 8,93E-02	Fuite	5E-05 - 4,40E-03		Fuite	1E-04 - 4,40E-3	4,40E-03			F4-F3	F1		F4-F2			F3-F2	F2
	<i>3.1.3 Compressors</i>			<i>3.11 Pumps and compressors</i>			<i>Chapter 6: Pumps and compressors</i>																																																																																																																																																																																						
	/compresseur.an	Centrifuge	Alternatif	(Pompes et compresseurs) centrifuges	Avec garniture	Sans garniture	Pompes centrifuges	Avec garniture	Sans garniture																																																																																																																																																																																				
	Rupture ($\phi > 110$ mm)	2,90E-06	1,40E-05	Catastrophique	1,00E-05	1,00E-04	Rupture	-	-																																																																																																																																																																																				
	Gros trou ($75 < \phi \leq 110$ mm)	2,90E-06	1,40E-05	Fuite (10% diam)	5,00E-05	4,40E-03	Fuite (10% diam)	4,40E-03	1,00E-04																																																																																																																																																																																				
	Petit trou ($25 < \phi \leq 75$ mm)	2,70E-04	3,30E-03																																																																																																																																																																																										
	Très petit trou ($\phi \leq 25$ mm)	1,20E-02	8,60E-02	(Pompes et compresseurs) alternatifs			Pompes à pistons et compresseurs																																																																																																																																																																																						
	Somme (fuites)	1,23E-02	8,93E-02	/équipement.an		1,00E-04	/équipement.an		1,00E-04																																																																																																																																																																																				
		<i>1.2.2 Pumps</i>		Catastrophique		4,40E-03	Rupture		4,40E-03																																																																																																																																																																																				
	/pompe.an			Fuite (10% diam)			Fuite (10% diam)																																																																																																																																																																																						
	Rupture	3,00E-05																																																																																																																																																																																											
		A garniture simple	A garniture double																																																																																																																																																																																										
	Spray release	5,00E-04	5,00E-05																																																																																																																																																																																										
	/équipement.an	Pompes	Compresseurs	/équipement.an	Pompes et compresseurs		/équipement.an	Pompes	Compresseurs																																																																																																																																																																																				
Catégorie	Rupture	3,00E-05	2,90E-06 - 1,40E-05	Rupture	1E-05 - 1E-04		Rupture	1,00E-04	1,00E-04																																																																																																																																																																																				
		F4	F5-F4		F4-F3			F3	F3																																																																																																																																																																																				
Catégorie	Fuite	5E-05 - 5E-04	1,23E-02 - 8,93E-02	Fuite	5E-05 - 4,40E-03		Fuite	1E-04 - 4,40E-3	4,40E-03																																																																																																																																																																																				
		F4-F3	F1		F4-F2			F3-F2	F2																																																																																																																																																																																				

	Reldat II (Août 2006) [4]	Littérature																																				
Activité de stockage																																						
TOUS RESERVOIRS																																						
pompes et compresseurs	<p>13. Centrifugal and Axial Compressors 14. Reciprocating Compressors</p> <table border="1"> <tr> <td>/compresseur.an</td> <td>Centrifuge</td> <td>Alternatif</td> </tr> <tr> <td>Rupture</td> <td>8,30E-04</td> <td>9,30E-03</td> </tr> <tr> <td>25 < ϕ < 50 mm</td> <td>4,60E-04</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>10 < ϕ < 25 mm</td> <td>1,30E-03</td> <td>1,20E-02</td> </tr> <tr> <td>ϕ < 10 mm</td> <td>6,70E-03</td> <td>5,30E-02</td> </tr> <tr> <td>Somme (fuites)</td> <td>8,46E-03</td> <td>6,50E-02</td> </tr> </table> <p>12.4 Frequency of releases from pumps</p> <p>"release" 3,03E-02 /pompe.an (spec stockage NH3)</p> <p>12.6 Typical frequency for pump releases</p> <table border="1"> <tr> <td>Pompe centrifuge à garniture mécanique simple</td> <td colspan="2">/pompe.an</td> </tr> <tr> <td>Rupture</td> <td>1,50E-03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>25 < ϕ fuite < 50 mm</td> <td>4,00E-04</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10 < ϕ fuite < 25 mm</td> <td>8,00E-04</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10 mm < ϕ fuite</td> <td>8,80E-03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Somme (fuites)</td> <td>1,00E-02</td> <td></td> </tr> </table>	/compresseur.an	Centrifuge	Alternatif	Rupture	8,30E-04	9,30E-03	25 < ϕ < 50 mm	4,60E-04	-	10 < ϕ < 25 mm	1,30E-03	1,20E-02	ϕ < 10 mm	6,70E-03	5,30E-02	Somme (fuites)	8,46E-03	6,50E-02	Pompe centrifuge à garniture mécanique simple	/pompe.an		Rupture	1,50E-03		25 < ϕ fuite < 50 mm	4,00E-04		10 < ϕ fuite < 25 mm	8,00E-04		10 mm < ϕ fuite	8,80E-03		Somme (fuites)	1,00E-02		Taux de défaillance d'une pompe [6] 1,00E-05 /heure
/compresseur.an	Centrifuge	Alternatif																																				
Rupture	8,30E-04	9,30E-03																																				
25 < ϕ < 50 mm	4,60E-04	-																																				
10 < ϕ < 25 mm	1,30E-03	1,20E-02																																				
ϕ < 10 mm	6,70E-03	5,30E-02																																				
Somme (fuites)	8,46E-03	6,50E-02																																				
Pompe centrifuge à garniture mécanique simple	/pompe.an																																					
Rupture	1,50E-03																																					
25 < ϕ fuite < 50 mm	4,00E-04																																					
10 < ϕ fuite < 25 mm	8,00E-04																																					
10 mm < ϕ fuite	8,80E-03																																					
Somme (fuites)	1,00E-02																																					
	/équipement.an	Pompes Compresseurs																																				
Catégorie	Rupture	1,50E-03 8,30E-04 - 9,30E-03 F2 F3-F2																																				
Catégorie	Fuite	1E-02 - 3,03E-02 8,46E-03 - 6,50E-02 F1 F2-F1																																				

7. OPERATION DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT

	Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (28/06/2012) [1]			BEVI (01/01/2009) [2]		Handbook on Failure Frequencies (05/05/2009) [3]			
Activité de chargement/déchargement				3.15 Loading activities		Chapter 8: Loading and unloading activities			
Route									
Bras citerne	Fuite	Pas de données		φ trou = 10% φ bras jusqu'à 50 mm max	3,00E-07	/heure	φ trou = 10% φ bras jusqu'à 50 mm max	3,00E-07	/heure
	Rupture				3,00E-08			3,00E-08	
Flexible	1.2.3 Hoses and couplings ³								
	Fuite	φ 15 mm	1,00E-06	φ trou = 10% φ flexible jusqu'à 50 mm max	4,00E-05	/heure	φ trou = 10% φ flexible jusqu'à 50 mm max	4,00E-05	/heure
		φ 5 mm	1,30E-05						
		Spray release	1,20E-07						
	Rupture		4,00E-05		4,00E-06	/heure		4,00E-06	/heure
		Fuite flexible	3,53E-06	Fuite flexible	4,00E-05	/heure	Fuite flexible	4,00E-05	/heure
	Catégorie		F5		F4			F4	
		Rupture flexible	1,00E-05	Rupture flexible	4,00E-06		Rupture flexible	4,00E-06	
	Catégorie		F4		F5			F5	
	Catégorie			Fuite bras	3,00E-07		Fuite bras	3,00E-07	
	Catégorie			Rupture bras	3,00E-08		Rupture bras	3,00E-08	
					F7			F7	
Rail									
Bras citerne	Fuite	Pas de données		φ trou = 10% φ bras jusqu'à 50 mm max	3,00E-07	/heure	φ trou = 10% φ bras jusqu'à 50 mm max	3,00E-07	/heure
	Rupture				3,00E-08			3,00E-08	
	Catégorie			Fuite	3,00E-07	/heure	Fuite	3,00E-07	/heure
	Catégorie			Rupture	3,00E-08		Rupture	3,00E-08	
					F6			F6	
					F7			F7	
Maritime	3.3.1 Ship Hardarms								
		/opération de transfert							
			/heure ⁴						
Bras chgt/décht	1 bras	8,00E-06	2,00E-06	φ trou = 10% φ bras jusqu'à 50 mm max	3,00E-07	/heure	φ trou = 10% φ bras jusqu'à 50 mm max	3,00E-07	/heure
	Fuite	2 bras	1,60E-05						
		3 bras	2,40E-05						
	Rupture	1 bras	7,00E-06		3,00E-08	/heure		3,00E-08	/heure
		2 bras	1,30E-05						
		3 bras	1,90E-05						
	Fuite	2E-06 - 6E-06		Fuite	3,00E-07	/heure	Fuite	3,00E-07	/heure
	Catégorie	F5			F6			F6	
	Rupture	1,75E-06 - 4,75E-06		Rupture	3,00E-08		Rupture	3,00E-08	
	Catégorie	F5			F7			F7	

		Reidat II (Août 2006) [4]		Littérature				
Activité de chargement/dé								
Route								
<i>11.6 Typical Frequencies</i>								
Bras citerne	Fuite	jusqu'à 25 mm	8,60E-07	/transfert				
	Rupture		2,10E-06					
Flexible	Fuite	jusqu'à 25 mm	8,00E-06	/transfert				
			6,00E-03	/an (spec stockage NH3)				
	Rupture		5,00E-06	/transfert				
	Fuite flexible		2,00E-06	/heure ⁴				
	Catégorie		F5					
	Rupture flexible		1,25E-06					
	Catégorie		F5					
	Fuite bras		2,15E-07					
	Catégorie		F6					
	Rupture bras		5,25E-07					
	Catégorie		F6					
Rail								
<i>11.6 Typical Frequencies</i>								
Bras citerne	Fuite	jusqu'à 25 mm	8,60E-07	/transfert				
	Rupture		2,10E-06					
	Fuite		2,15E-07	/heure ⁴				
	Catégorie		F6					
	Rupture		5,25E-07					
	Catégorie		F6					
Maritime								
<i>11.6 Typical Frequencies</i>								
Bras chgt/décht	Fuite	jusqu'à 25 mm	8,60E-07	/transfert		Fuite significative bras φ > 150 mm [5]	1,38E-04	/an
	Rupture		2,10E-06	/transfert		[5] bras φ > 150 mm [7]	4,60E-06 1,40E-03	/an
	Fuite		2,15E-07	/heure ⁴	Fuite	5,75E-07	/heure ⁴	
	Catégorie		F6		F6			
	Rupture		5,25E-07		Rupture	1,92E-08	5,83E-06	
	Catégorie		F6		F5-F7			

Note :

³ : Les données présentées ici concernent ce que la base de données appelle les "basic facilities". Il existe des données relatives à des installations appelées "average" et "multi safety system". Le lecteur est invité à se reporter directement à la base de données.

⁴ : hypothèses : 60 opérations de transfert ont lieu dans l'année et 1 opération de transfert dure 4 heures

8. REFERENCES

Baldock PJ, 1980, Accidental Releases of Ammonia: An Analysis of Reported Incidents. Imperial Chemical Industries.

Lenoble C., Panorama des sources de données utilisées dans le domaine des analyses quantitatives des risques – Mise à jour 2011 et 2012, Rapport d'étude INERIS, 2012. Disponible sur internet : <http://www.ineris.fr/centredoc/dra-12-124789-07543a-panorama-des-bases-de-donn%C3%A9es-v4vweb-1-1393947572.pdf>

- [1] HSE, Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments, 2012
- [2] RIVM, Reference Manual BEVI Risk Assessments v3.2, 2009
- [3] Flemish Government, LNE department, Handbook failure frequencies for drawing up a safety report, 2009
- [4] Reldat II
J.R. Taylor, Hazardous materials release and accident frequencies for process plant, Volume II, Process Unit Release Frequencies, Version 1 Issue 7, August 2006
- [5] Haddad J. et al, Major Hazard Risk Assessment on Ammonia Storage at Jordan Phosphate Mines Company in Aqaba, Jordan, 2010
- [6] Aneziris O.N. et al, Dynamic safety analysis of process systems with an application to a cryogenic ammonia storage tank, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 13 (2000) 153–165
- [7] Papazoglou I.A., On the quantification of the effects of organizational and management factors in chemical installations, Reliability Engineering and Systems Safety 63 (1999) 33–45
- [8] COVO Commission, Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, A Pilot Study. A Report to the Rijnmond Public Authority, Central Environmental Control Agency, Schiedam, The Netherlands, 1981
- [9] MHIDAS

Annexe B :
Informations relatives aux répartitions
de causes

ANNEXE B – REPARTITIONS DE CAUSES

1. INTRODUCTION.....	3
1.1 Démarche suivie et utilisation des valeurs.....	3
1.2 Limites dans l'utilisation des données	4
2. RESERVOIR CRYOGENIQUE	7
3. RESERVOIR SEMI-REFRIGERE	8
4. RESERVOIR SOUS PRESSION	9
5. TUYAUTERIE	10
6. POMPES ET COMPRESSEURS.....	11
7. CHARGEMENT/DECHARGEMENT	12
7.1 Perte de confinement lors d'une opération de chargement / déchargement sur une citerne (routière ou ferroviaire)	12
8. REFERENCES.....	13

<i>Tableau 1 : Extrait de "données brutes" illustrant le raisonnement suivi.....</i>	<i>3</i>
--	----------

1. INTRODUCTION

1.1 DEMARCHE SUIVIE ET UTILISATION DES VALEURS

Parmi les valeurs accompagnant les nœuds papillon présentés dans le rapport se trouvent les répartitions de causes de l'événement redouté central. Ces répartitions de causes sont issues de l'analyse de plusieurs sources d'informations :

- une analyse des accidents répertoriés dans la base ARIA sur les installations de stockage et de dépotage d'ammoniac, survenus avant le 1^{er} janvier 2006 ;
- une analyse des accidents répertoriés dans la base MHIDAS sur les installations de stockage et de dépotage d'ammoniac de 1961 à 2005 ;
- des répartitions de causes issues de différentes sources dans les bases de données et la littérature spécialisée.

Le lecteur est invité à se reporter à l'Annexe C du présent rapport qui fournit des informations sur les sources de données exploitées dans le cadre de cette étude.

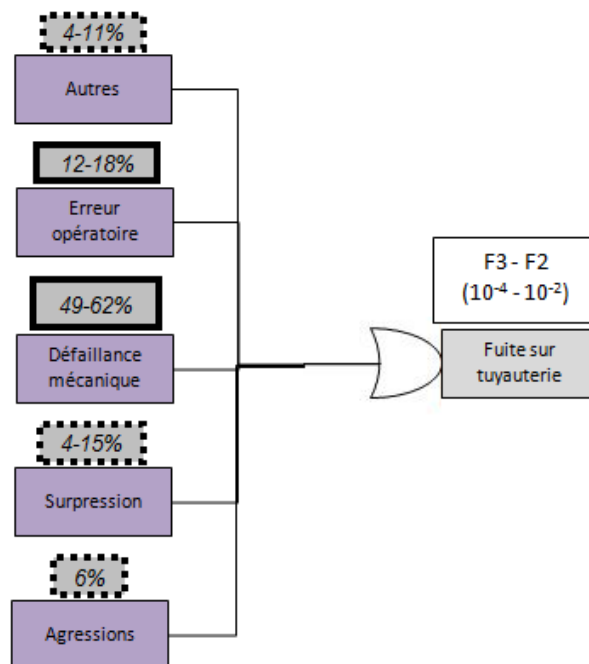
L'objectif de l'annexe est de présenter les données détaillées sur les répartitions de causes de pertes de confinement des différents équipements de stockage d'ammoniac qui ont été revues et utilisées dans le cadre de cette étude. Ceci fournit donc une plus grande transparence et a pour but d'améliorer l'interprétation des données présentées dans les nœuds papillon.

Dans le but de rendre les données cohérentes avec les classifications utilisées dans les nœuds papillon, des interprétations ont été réalisées à partir des descriptions des accidents. Le tableau présenté ci-dessous permet d'illustrer le raisonnement suivi pour aboutir aux graphiques présentés dans cette annexe.

Tableau 1 : Extrait de "données brutes" illustrant le raisonnement suivi

Événement initiateur	Événement redouté central associé	Source de données	Cotation	
NP4: Fuite tuyauteries				
EI	ERC	BdD	Libellé	Part
Corrosion, fissuration, défauts de conception, fatigue	Fuite tuyauteries	Reldat II (ammoniac)		61,5%
Corrosion, fissuration, défauts de conception, fatigue		HFF	corrosion, erosion, external pressure, wrong installation, material error	49,1%
Blocage de ligne en aval	Fuite tuyauteries			
Coup de bélier	Fuite tuyauteries			
Dérive de procédé	Fuite tuyauteries	Reldat II (ammoniac)	"	15%
Dérive de procédé		HFF	Overpressure	12%
Choc thermique (vaporisation ammoniac)	Fuite tuyauteries	HFF	Cause: temperature (dont choc thermique)	3,8%
Agressions externes	Fuite tuyauteries	HFF	Impact, vibration	6,25%
Perte d'utilité	Fuite tuyauteries	Reldat II (ammoniac)		3,85%
Erreur humaine	Fuite tuyauteries	Reldat II (ammoniac)		11,54%
Erreur humaine		HFF	Procedure error	18,20%
Management	Fuite tuyauteries	Reldat II (ammoniac)		7,69%
Non spécifié	Fuite tuyauteries	HFF		10,52%

Le graphique présenté au paragraphe 5 a été construit avec les données de ce tableau. Ces données ont été utilisées pour construire l'exemple figurant dans le rapport, au paragraphe 3.3 (« Exemple de déroulement de la démarche »). Pour rappel, l'arbre de défaillances présenté dans l'exemple est le suivant :



Par exemple, la cause « défaillance mécanique » est assimilée à la cause « corrosion », à laquelle HFF et Reldat II attribue une contribution de respectivement 49,1 et 61,5%. Les données présentées dans les nœuds papillon ont été arrondies.

1.2 LIMITES DANS L'UTILISATION DES DONNEES

Comme précisé dans le rapport, les sources de données utilisées pour déterminer les répartitions de causes d'événements redoutés centraux sont très diverses et n'attribuent pas nécessairement les mêmes significations à des causes libellées de la même manière. De plus, ces sources ne considèrent pas les mêmes arborescences de causes. Deux points de vigilance découlent de cette remarque :

- La validité de la démarche d'agrégation des valeurs fournies par l'ensemble de ces sources pour obtenir un seul intervalle de répartition de causes est limitée. Les intervalles présentés sont donc à considérer avec prudence.
- Il convient de considérer les causes individuellement les unes des autres i.e. il est possible que la somme des répartitions de causes ne soit pas égale à 100%, et ce en raison de l'hétérogénéité des arborescences envisagées dans les sources de données.

De plus, les données recensées dans cette annexe souffrent elles aussi d'une limite liée à leur **domaine d'applicabilité**. Ces données, par manque d'informations relatives aux particularités des sites industriels, sont prises comme représentatives d'un « état de l'art moyen de la sécurité ». Cet état de l'art moyen reste mal défini (quelles normes de conception, quelles mesures de maîtrise des risques et aspects organisationnels). A cela s'ajoute le fait que les valeurs recensées dans les bases de données sont majoritairement issues de retours d'expérience anciens, alors que les

normes de conception et pratique utilisées aujourd'hui ont beaucoup évolué. Ce décalage dans le temps génère des interrogations sur l'adaptation des données compte tenu des changements de standards. Pour limiter ces interrogations, il convient d'utiliser de préférence les données les plus récentes possibles.

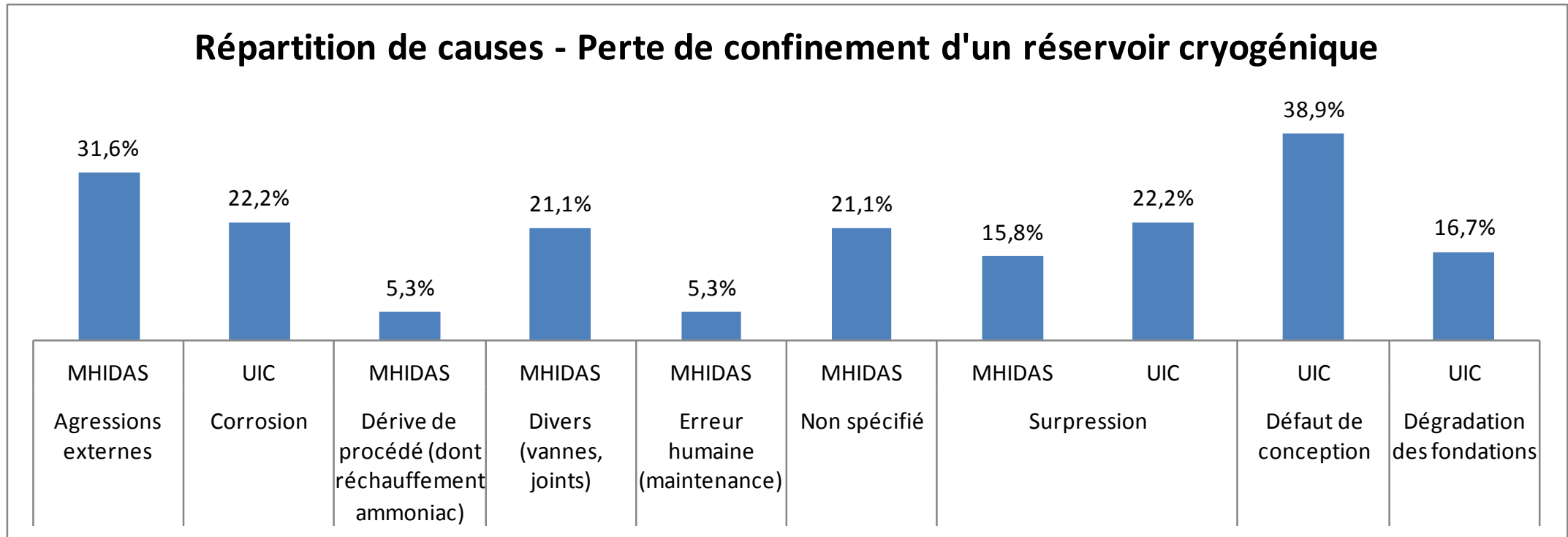
Enfin, des travaux complémentaires¹ ont permis de mettre en évidence une **indépendance limitée** des sources de données entre elles : les travaux publiés dans la littérature spécialisée citent souvent les mêmes sources de données initiales. Cet état de fait limite fortement la valeur des comparaisons des répartitions de causes entre elles.

Des travaux sont en cours dans le cadre du DRA 71 pour définir une méthodologie de sélection des sources de données en fonction de critères tels que la représentativité des données, leur crédibilité et leur niveau de corrélation avec les cas étudiés. Cette méthodologie permettra à terme de réduire les fourchettes proposées dans ce type de guide pour des fréquences de perte de confinement et pour les répartitions de causes.

¹ « DRA 71 - Panorama des sources de données utilisées dans les analyses quantitatives des risques » rapport DRA-12-124789-07543A, INERIS, 2012.

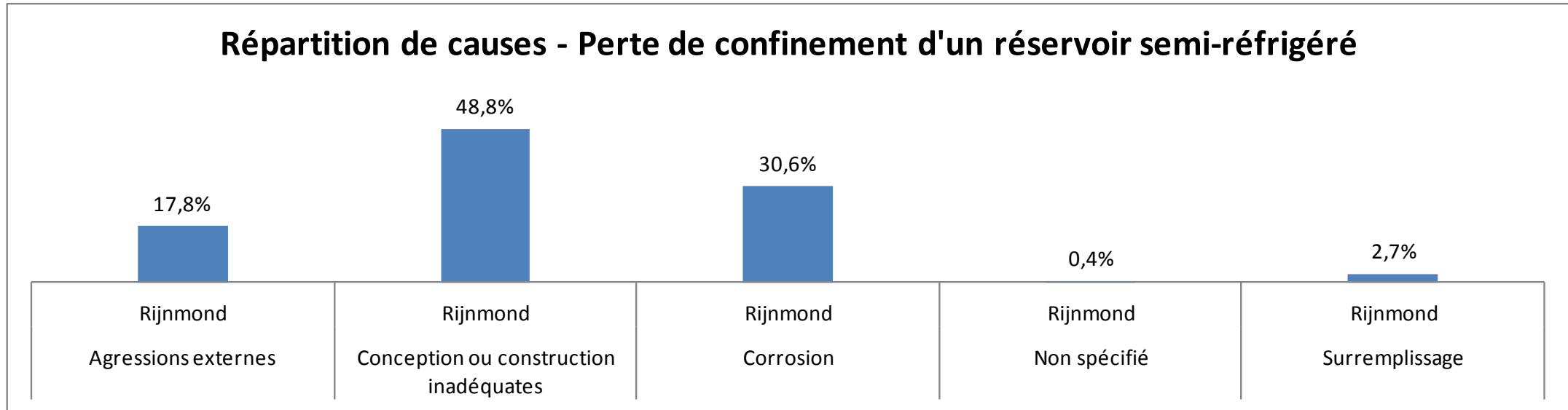
2. RESERVOIR CRYOGENIQUE

Nœud papillon correspondant : NP1



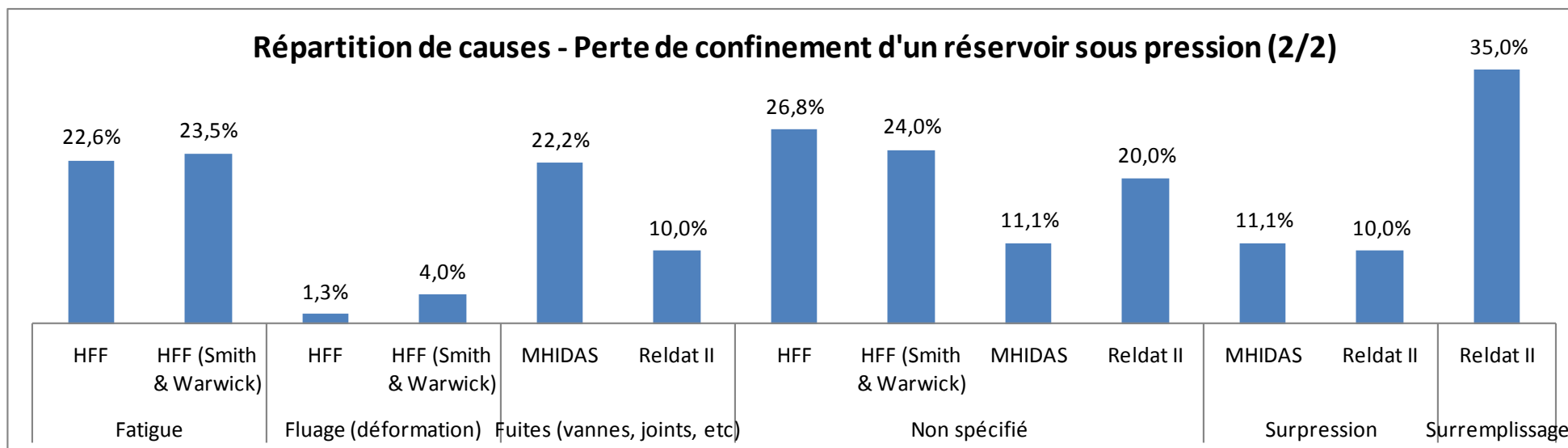
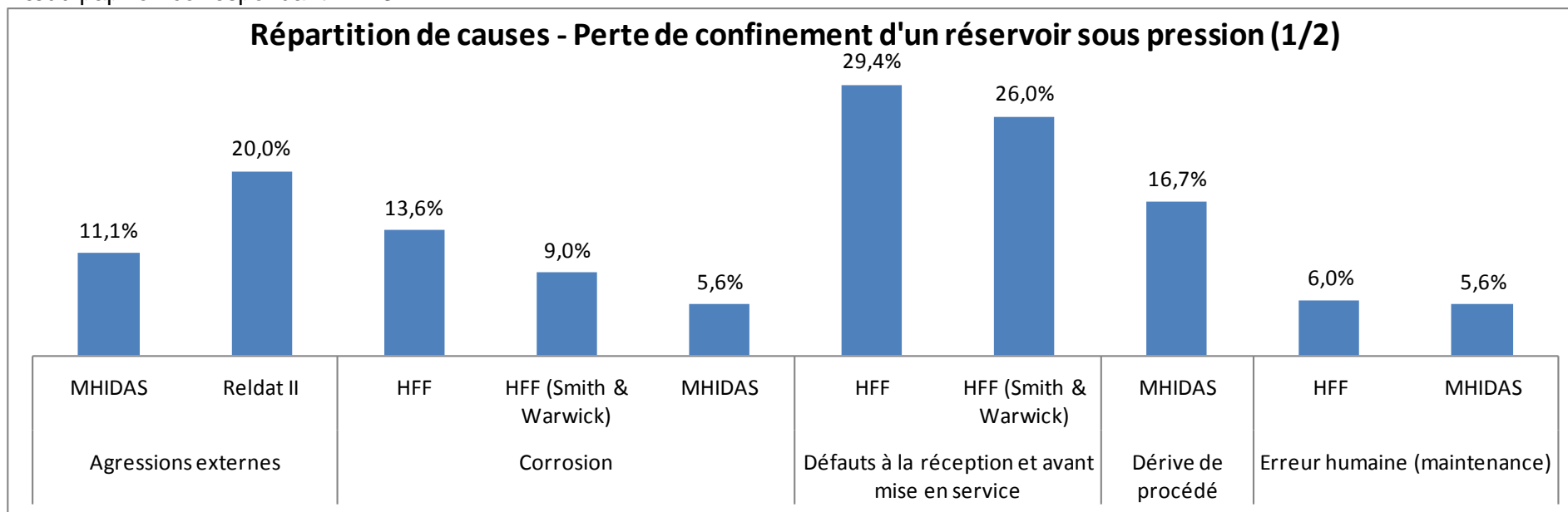
3. RESERVOIR SEMI-REFRIGERE

Nœud papillon correspondant : NP2



4. RESERVOIR SOUS PRESSION

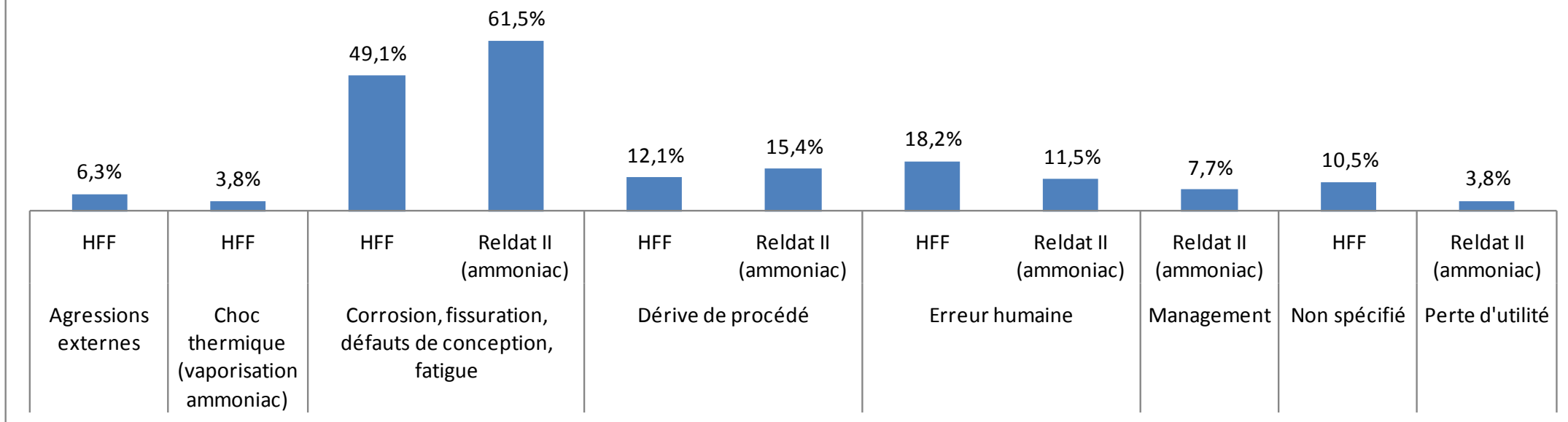
Nœud papillon correspondant : NP3



5. TUYAUTERIE

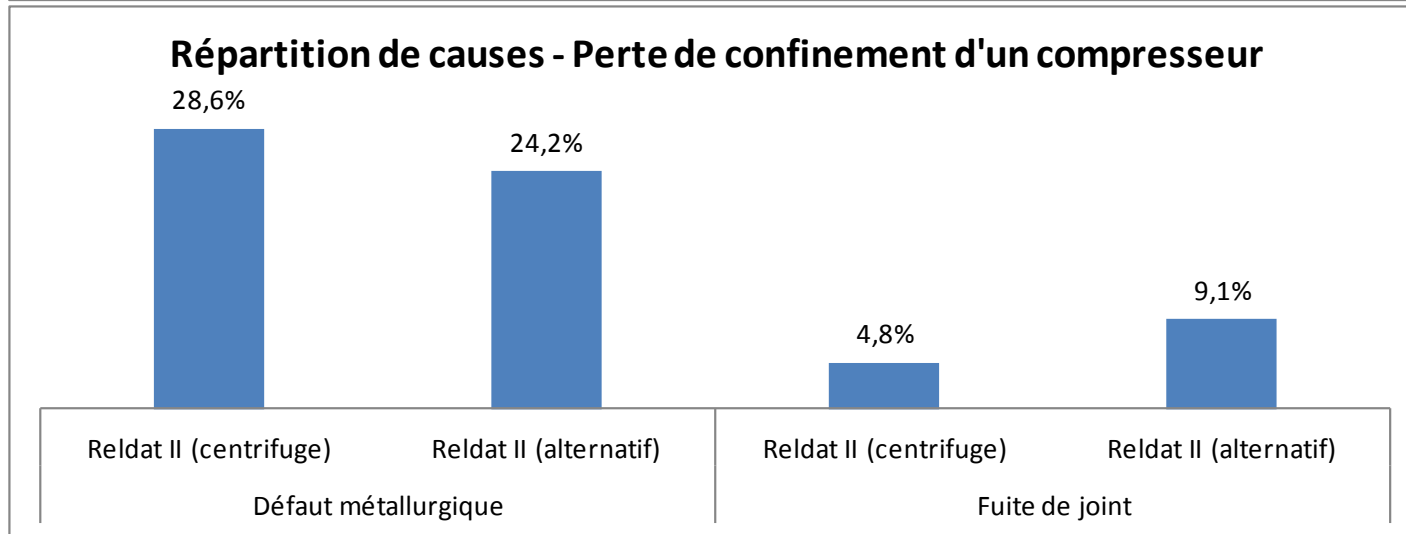
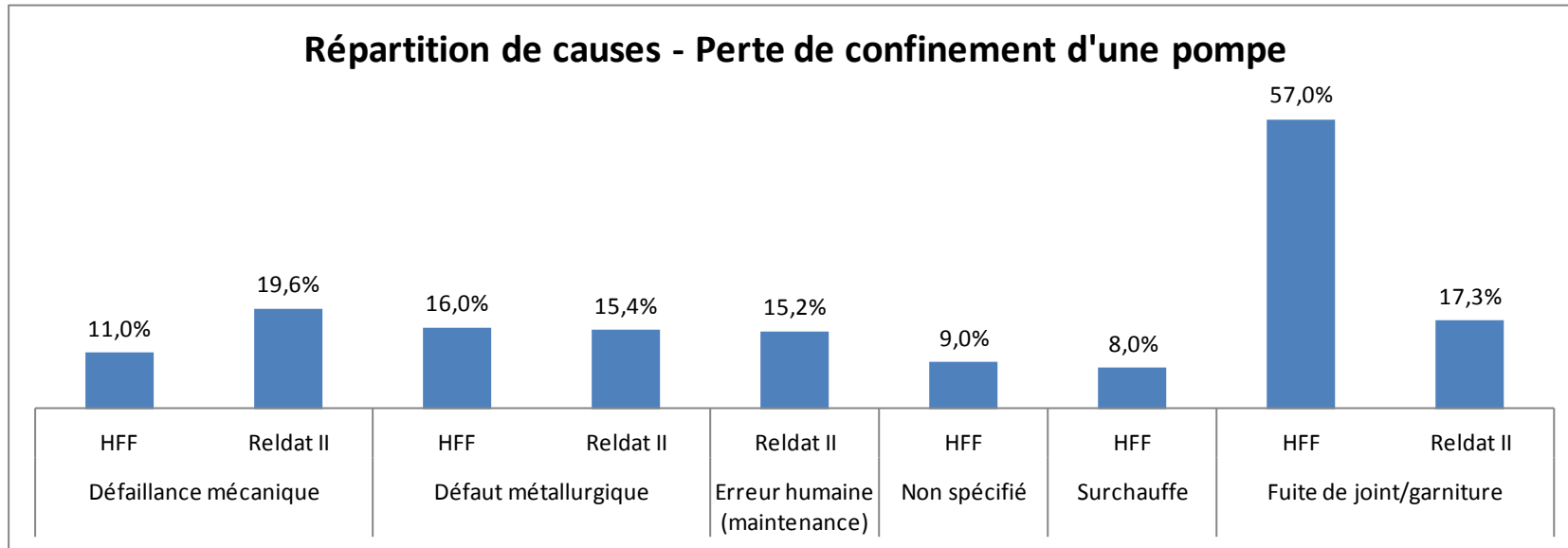
Nœud papillon correspondant : NP4

Répartition de causes - Perte de confinement de la tuyauterie



6. POMPES ET COMPRESSEURS

Nœud papillon correspondant : NP5

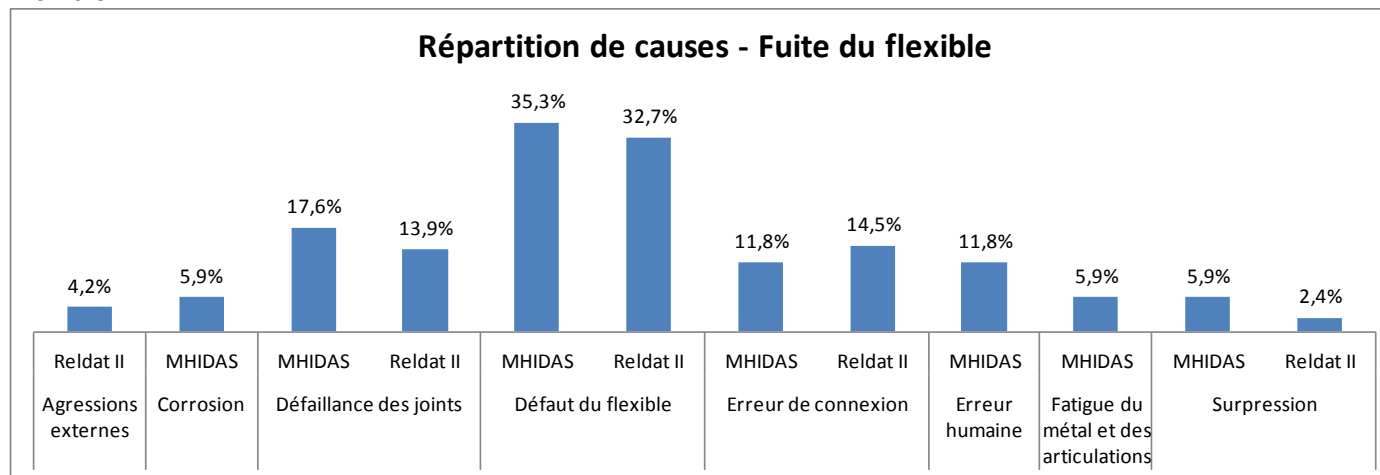


7. CHARGEMENT/DECHARGEMENT

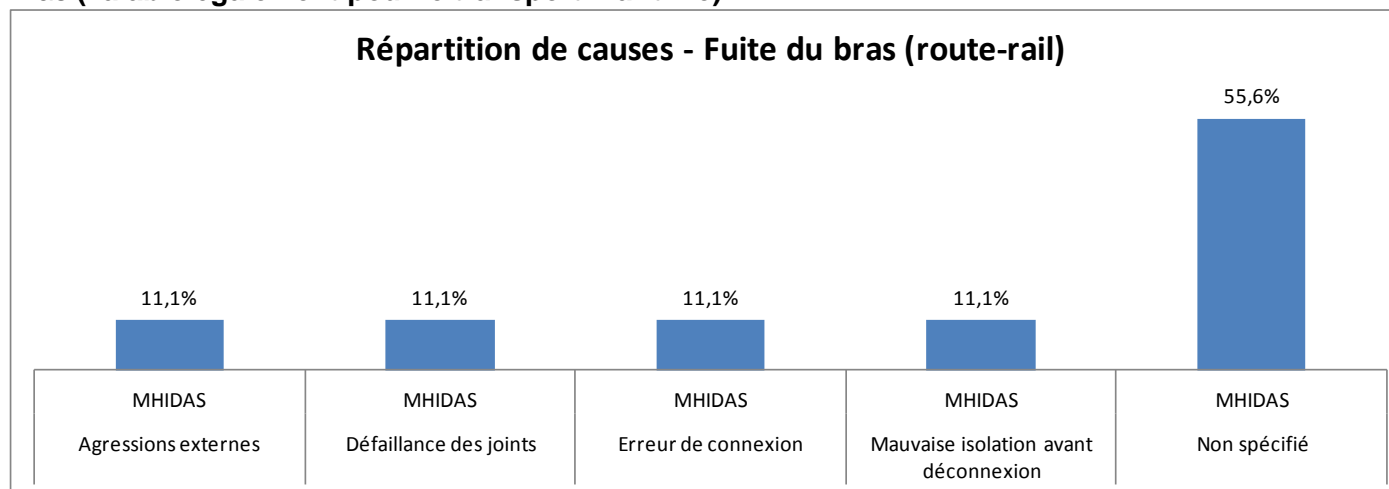
7.1 PERTE DE CONFINEMENT LORS D'UNE OPERATION DE CHARGEMENT / DECHARGEMENT SUR UNE CITERNE (ROUTIERE OU FERROVIAIRE)

Nœuds papillon correspondants : NP6 et 8

Flexible :



Bras (valable également pour le transport maritime) :



8. REFERENCES

Lenoble C., Panorama des sources de données utilisées dans le domaine des analyses quantitatives des risques – Mise à jour 2011 et 2012, Rapport d'étude INERIS, 2012. Disponible sur internet : <http://www.ineris.fr/centredoc/dra-12-124789-07543a-panorama-des-bases-de-donn%C3%A9es-v4vweb-1-1393947572.pdf>

- [1] MHIDAS
- [2] Reldat II
J.R. Taylor, Hazardous materials release and accident frequencies for process plant, Volume II, Process Unit Release Frequencies, Version 1 Issue 7, August 2006
- [3] Flemish Government, LNE department, Handbook failure frequencies for drawing up a safety report, 2009
- [4] COVO Commission, Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, A Pilot Study. A Report to the Rijnmond Public Authority, Central Environmental Control Agency, Schiedam, The Netherlands, 1981
- [5] UIC, Guide d'inspection et de maintenance des réservoirs cryogéniques, DT 97, Février 2012

***Annexe C :
Informations sur les sources de
données***

ANNEXE C – INFORMATIONS SUR LES SOURCES DE DONNEES

Les sources de données utilisables dans le cadre des évaluations de la probabilité sont multiples et peuvent fournir des valeurs significativement différentes. Le choix de la source de données à utiliser apparaît donc comme une étape importante dans la réalisation d'une étude de dangers.

Cette annexe fournit des informations sur les sources de données exploitées dans le cadre de cette étude. Elle recense, pour chaque source, des critères permettant d'évaluer sa pertinence. Les critères retenus sont les suivants :

- Représentativité : les données sont-elles adaptées au secteur d'activité concerné, aux équipements et installations étudiés et aux événements considérés ?
- Traçabilité : les données utilisées pour aboutir aux valeurs proposées dans la source de données sont-elles précisées ?
- Exploitation : l'origine des données est-elle précisée ?
- Exhaustivité : les données sont-elles statistiquement représentatives ? Quel est l'échantillon considéré ?
- Corrélation : jusqu'à quelle année courent les données utilisées pour aboutir aux valeurs proposées et quel est le pays à l'origine de la source de données ?

Une partie des informations présentées ci-après est extraite de l'Annexe B du rapport DRA-12-124789-07543A « *DRA 71 - Panorama des sources de données utilisées dans les analyses quantitatives des risques* ».

Ref. Annexe A	Source de données	Date de publication	Représentativité			Traçabilité	Exploitation	Exhaustivité (processus de collecte)	Corrélation	
			Secteur	Equipement	Evénements				temporelle	Géographique
[1]	Failure Rate and Event Data (FRED) for use within Risk Assessments	2012	Générique	Tous types d'équipements utilisés dans l'industrie	Fréquences de fuite et taux de défaillance pour toutes les installations considérées	Fréquences issues d'études spécifiques non disponibles à l'INERIS	Fréquences issues d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	2012 (par défaut)	Grande-Bretagne
[2]	Reference manual BEVI risk assessment v3.2	2010	Générique	Tous types d'équipements utilisés dans l'industrie	Fréquences de fuite et taux de défaillance pour toutes les installations considérées	Données utilisées tracées dans une publication (pour les capacités sous pression) et notamment dans les études IPO 95 et COVO. Des valeurs sont réactualisées au cas par cas : des études spécifiques sont réalisées.	Fréquences issues d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	2010 (par défaut)	Pays-Bas
[3]	Handboek Faalfrequenties (HFF) 2009	2009	Générique	Tous types d'équipements utilisés dans l'industrie	Fréquences de fuite et taux de défaillance pour toutes les installations considérées	Recensement complet des données utilisées. Certaines sources primaires non disponibles à l'INERIS	Fréquences issues d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	2009 (par défaut)	Partie flamande de la Belgique
[4]	Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant – Version 1 Issue 7 – Volume II (Reldat II)	2006	Générique	Tous types d'équipements utilisés dans l'industrie	Fréquences de fuite et taux de défaillance pour toutes les installations considérées	Recensement complet des données utilisées dans le Volume I	Revue bibliographique d'une dizaine de sources de données (ex : US RMP, Purple Book, OREDA, etc) et avis d'expert tracés. La base de données permet de prendre en compte certaines spécificités du site étudié (« modification factor »)	Pas ou peu d'enregistrements à partir d'un retour d'expérience direct	2006 (par défaut)	Compilation de plusieurs pays

Ref. Annexe A	Source de données	Date de publication	Représentativité			Traçabilité	Exploitation	Exhaustivité (processus de collecte)	Corrélation	
			Secteur	Equipement	Evénements				temporelle	Géographique
[5]	Major Hazard Risk Assessment on Ammonia Storage at Jordan Phosphate Mines Company (JPMC) in Aqaba, Jordan (Haddad)	2010	Stockage d'ammoniac	Réservoir de stockage, bras de chargement, bras de déchargement	Fréquences de fuite et ruptures	Recensement des données utilisées. Hypothèses non tracées.	Fréquences issues de l'étude COVO, corrigées par certaines hypothèses	Pas d'enregistrements à partir d'un retour d'expérience direct	2010 (par défaut)	Jordanie
[6]	Dynamic safety analysis of process systems with an application to a cryogenic ammonia storage tank (Aneziris)	2000	Stockage d'ammoniac cryogénique	Pompe du système de réfrigération	Fréquences de fuite	Pas de recensement des données utilisées	Origine des fréquences non précisée	Inconnue	2000 (par défaut)	Grèce
[7]	On the quantification of the effects of organizational and management factors in chemical installations (Papazoglou)	1999	Industries chimiques / Stockage d'ammoniac	Réservoir de stockage, tuyauteries	Fréquences de fuite, ruptures	Recensement des données utilisées	Fréquences issues de la base de données OREDA	Pas d'enregistrements à partir d'un retour d'expérience direct	1999 (par défaut)	Grèce
[8]	Etude COVO - Cremer and Warner pour Commission for the safety of the population at large	1979	Générique / sphères d'ammoniac	Stockage de substances toxiques (Acrylonitrile, Ammoniac, Chlore), Stockage de substances inflammables (GPL, polypropylène), procédé de séparation chimique (colonne de réfrigération à diethanolamine)	Fréquences de fuite et taux de défaillance pour toutes les installations considérées	Recensement complet des données utilisées	Revue bibliographique d'une quinzaine de sources de données (principalement dans le domaine du nucléaire civil) et avis d'expert tracés.	Pas ou peu d'enregistrements à partir d'un retour d'expérience direct	1979 (par défaut)	Pays-Bas

Ref. Annexe A	Source de données	Date de publication	Représentativité			Traçabilité	Exploitation	Exhaustivité (processus de collecte)	Corrélation	
			Secteur	Equipement	Evénements				temporelle	Géographique
[9]	MHIDAS	Non spécifié	Tous	Tous types d'équipements utilisés dans l'industrie	Base de données d'accidentologie	Données issues de sources diverses non précisées	Détails qualitatifs et quantitatifs des accidents	Accidents impliquant le transport, stockage, utilisation de substances dangereuses	Contient des accidents des années 1900 (quelques accidents significatifs antérieurs) à 2006	Grande-Bretagne
	UIC, Guide d'inspection et de maintenance des réservoirs cryogéniques, DT 97	2012	Industries chimiques	Réservoirs cryogéniques (contenant ammoniac ou chlorure de vinyle monomère ou éthylène ou gaz de l'air (oxygène, azote et argon), ou gaz de pétrole liquéfié (propane) ou gaz naturel liquéfié ou propylène)	Modes de dégradation des réservoirs	Recensement des données utilisées	Informations issues de retours d'expérience	Inconnue	2012 (par défaut)	France

***Annexe D :
Evaluation des probabilités dans le cadre des études de
dangers***

ANNEXE D – EVALUATION DES PROBABILITES DANS LE CADRE DES ETUDES DE DANGERS : ASPECTS REGLEMENTAIRES

1. INTRODUCTION	3
2. ELEMENTS DU CADRE REGLEMENTAIRE DES EVALUATIONS EN PROBABILITES.....	3
3. DEUX GRANDES FAMILLES DE METHODES D’EVALUATION DES PROBABILITES.....	5

<i>Figure 1 : Le nœud-papillon</i>	<i>6</i>
--	----------

<i>Tableau 1 : Echelle de probabilité de l’Annexe 1 de l’arrêté du 29 septembre 2005.....</i>	<i>4</i>
---	----------

1. INTRODUCTION

Aux exigences réglementaires encadrant les méthodes d'évaluation des probabilités utilisées dans le cadre des études de dangers, les exploitants ont fourni une réponse basée principalement sur deux grandes familles de méthodes.

Dans leur ensemble, ces méthodes d'évaluation doivent être alimentées en données et être en mesure de justifier un calcul correct des probabilités des événements. Les résultats de ces calculs doivent être confrontés au retour d'expérience.

Des données et des pratiques peuvent également être spécifiques à certains secteurs d'activités, tels que les dépôts de GPL, les dépôts de liquides inflammables ou les stockages d'ammoniac et de chlore.

Les paragraphes ci-après examinent chacun de ces points.

2. ELEMENTS DU CADRE REGLEMENTAIRE DES EVALUATIONS EN PROBABILITES

L'arrêté du 29 septembre 2005 constitue un texte fondateur du « cahier des charges » de l'évaluation probabiliste dans les études de dangers. Il comporte deux articles (les articles 2 et 3) importants pour cette thématique.

En préambule, l'arrêté demande dans son Article 2 que l'évaluation probabiliste « [...] s'appuie sur une méthode dont la pertinence est démontrée. [...] ». Cette méthode « [...] utilise des éléments qualifiés ou quantifiés tenant compte de la spécificité de l'installation considérée. » L'article 3 précise à ce titre que « la probabilité peut être déterminée selon trois types de méthodes : de type qualitatif, semi-quantitatif ou quantitatif. »

Le choix de la méthode, s'il doit être justifié, appartient à l'exploitant. Il dépend notamment de la méthode d'analyse de risques utilisée pour identifier les scénarios d'accident.

L'objectif est de positionner la probabilité de chaque accident et phénomène dangereux dans une échelle de probabilité. Cette échelle est décrite dans l'annexe 1 de l'arrêté et reproduite dans le Tableau 1.

Classe de probabilité Type d'appréciation	E	D	C	B	A
Qualitative (les définitions entre guillemets ne sont valables que si le nombre d'installations et le retour d'expérience est suffisants)	« événement possible mais extrêmement peu probable » : <i>n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années installations</i>	« événement très improbable » : <i>s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité</i>	« événement improbable » : <i>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 la probabilité</i>	« événement probable » : <i>S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation.</i>	« événement courant » : <i>S'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation, malgré d'éventuelles mesures correctives.</i>
Semi-quantitative	Cette échelle est intermédiaire entre les échelles qualitative et quantitative, et permet de tenir compte des mesures de maîtrise des risques mises en place, conformément à l'article 4 du présent arrêté.				
Quantitative (par unité et par an)	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	

Tableau 1 : Echelle de probabilité de l'Annexe 1 de l'arrêté du 29 septembre 2005

Les données d'entrée pour l'évaluation probabiliste sont envisagées par la réglementation dans l'article 2 de l'arrêté. Elles sont de plusieurs natures :

- « fréquence des événements initiateurs spécifiques ou génériques » ;
- « niveaux de confiance des mesures de maîtrise des risques agissant en prévention ou en limitation des effets » ;
- fréquences et probabilités issues « de banques de données relatives à des installations ou équipements similaires mis en œuvre dans des conditions comparables » ;
- « Avis d'expert fondés et justifiés ».

Ces deux dernières sources d'information sont utilisées « à défaut de données fiables, disponibles et statistiquement représentatives ».

Quelque soit la nature des sources d'informations utilisées, elles « sont confrontées au retour d'expérience relatif aux incidents ou accidents survenus sur l'installation considérée ou des installations comparables ».

En pratique, deux grandes familles de méthodes d'évaluation de la probabilité sont utilisées en France dans les études de dangers.

3. DEUX GRANDES FAMILLES DE METHODES D'EVALUATION DES PROBABILITES

Les évaluations probabilistes des scénarios d'accident sont typiquement basées sur une représentation arborescente de la succession d'événements conduisant à la réalisation d'un accident.

Ces représentations s'organisent autour d'un événement qui est l'objet central de la représentation. Il s'agit généralement d'une perte de confinement d'un équipement, libérant des substances ou des mélanges dangereux. Cet événement est appelé ici « événement redouté central » (ERC).

La succession d'événements et de défaillances qui peuvent potentiellement conduire à cet ERC sont décrits dans un arbre de défaillance. Ces derniers décrivent un ensemble de scénarios possibles initiés par des événements initiateurs (Ei), reliés entre eux par des portes logiques « ET » et « OU ». Les portes logiques décrivent les conditions nécessaires à la réalisation de l'ERC :

- la réalisation d'un seul des événements reliés par la porte « OU » est suffisante pour que le scénario se produise ;
- la simultanéité des événements reliés par la porte « ET » est nécessaire pour que le scénario se produise.

La présence de mesures de maîtrise des risques (MMR) peut prévenir la réalisation de l'ERC.

L'ensemble des conséquences de la potentielle réalisation de l'ERC sont représentées dans un arbre d'événements. Ces conséquences sont constituées de différents phénomènes dangereux (PhD) d'intensités plus ou moins importantes. Le scénario aboutit à un phénomène dangereux donné en fonction de l'occurrence ou non d'événements secondaires (ES – tels que l'inflammation d'un nuage/ d'une nappe, des conditions météorologiques, etc.) et de l'action de mesures de maîtrise des risques agissant en limitant les effets.

La réunion des arbres de défaillances et d'événements fournit une vue générale des scénarios d'accidents. Cette dernière représentation est appelée « nœud papillon ». La Figure 1 en fournit une illustration :

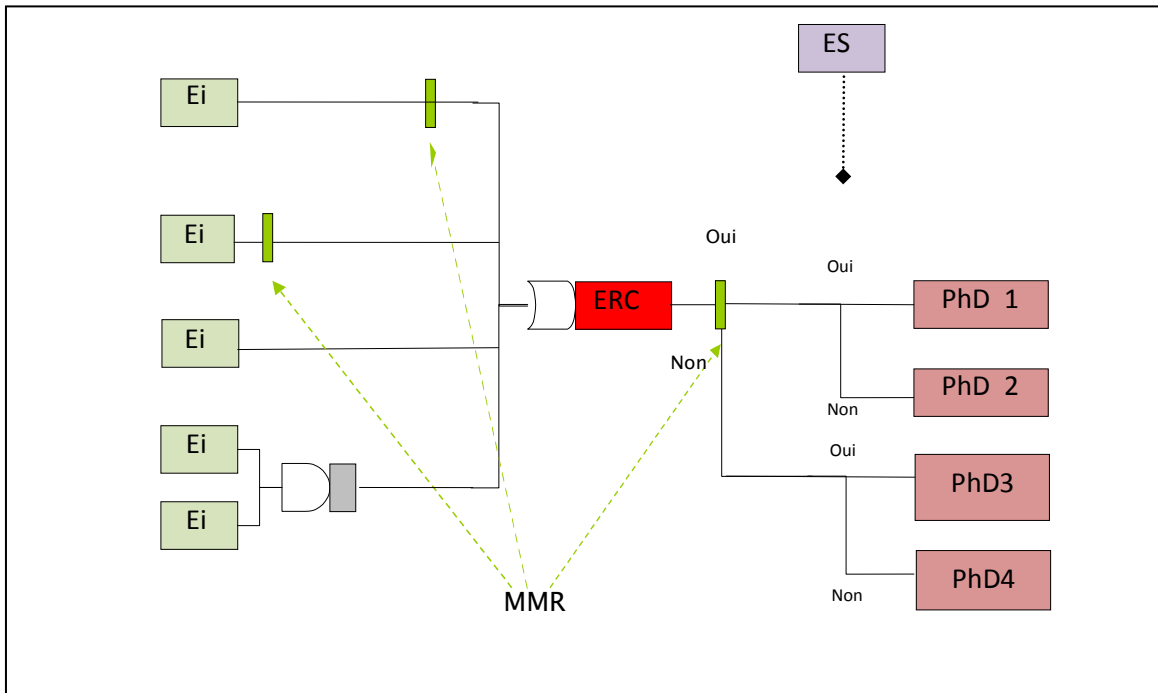


Figure 1 : Le nœud-papillon

Légende :



: Symbole de la porte OU



: Symbole retenu pour représenter une mesure de maîtrise des risques



: Symbole de la porte ET

Sur la base de ces représentations arborescentes des scénarios d'accident, deux grandes familles de méthodes d'évaluation des probabilités ont été développées :

- des méthodes (semi-)quantitatives développées à partir de l'événement redouté central : l'évaluation probabiliste est développée à partir de la perte de confinement, jusqu'aux phénomènes dangereux en passant par la valorisation des mesures de maîtrise en aval de l'événement redouté central ;
- des méthodes (semi-)quantitatives (ou approches barrières) développées à partir des événements initiateurs : l'évaluation probabiliste est développée à partir des événements initiateurs, jusqu'aux phénomènes dangereux, en passant par la valorisation des mesures de maîtrise des risques en amont et en aval de l'événement redouté central.

Aucune de ces deux familles de méthodes n'apparaît cependant idéale :

- les démarches développées à partir de l'événement redouté central sont séduisantes pour leur facilité de mise en œuvre, leur lisibilité et la prise en compte explicite de l'activité réelle de l'établissement dans le calcul des fréquences. Elles impliquent toutefois l'emploi de sources de données de fréquences génériques d'événements redoutés centraux. La valorisation des mesures de maîtrise des risques de prévention, l'intégration des effets dominos et des autres événements initiateurs spécifiques au site industriel peuvent alors être rendues difficiles de par le caractère générique des données d'entrée ;
- les démarches développées à partir de l'événement initiateur sont séduisantes par le travail d'identification de l'ensemble des séquences accidentelles et par la valorisation des mesures de maîtrise en amont de l'événement redouté central. Cependant, une telle démarche conduit à une démonstration souvent très lourde qui nuit à la lisibilité complète de la démarche. De plus, le processus de quantification du scénario est rendu plus complexe par la multiplicité des événements à prendre en compte.

Selon la méthodologie d'évaluation retenue, les données d'entrée nécessaires à sa mise en œuvre sont des données sur les Ei, les ERC, les ES et la fiabilité des MMR.

- **les événements initiateurs (EI)** correspondent à des dérives ou des dysfonctionnements internes au fonctionnement de l'installation (corrosion, montée en pression, etc.), ou des agressions externes (effets dominos, événements naturels extrêmes, etc.).
Deux types de sources d'information sont utilisés pour estimer les fréquences de ces événements :
 - des données génériques relatives, par exemple, aux erreurs humaines, aux défaillances de soupapes de sécurité (ouvertures ou fuites)... ;
 - des évaluations réalisées en groupe de travail permettant d'évaluer de manière semi-quantitative ou quantitative la fréquence des événements à partir de l'expérience des différents acteurs du fonctionnement de l'installation (opérateurs, agents de maintenance, responsable de sécurité, etc.) ;Les événements initiateurs peuvent être regroupés par des **événements intermédiaires (EIN)**.
- **les événements redoutés centraux (ERC)** sont au centre de l'enchaînement accidentel. Généralement, il s'agit d'une perte de confinement pour les fluides (ruptures, brèche, ruine, etc.) et d'une perte d'intégrité physique pour les solides (décomposition).
Les données pour l'évaluation des fréquences des ERC sont usuellement issues de sources de données génériques.
- **les événements secondaires (ES)** correspondent à des événements de type présence d'une source d'inflammation, direction de vent, etc.
Les évaluations des probabilités d'événements secondaires s'appuient sur des sources de données spécifiques, des modèles ou sur des argumentaires semi-quantitatifs.

- **les mesures de maîtrise des risques (MMR)** (techniques et/ou humaines). Selon la méthodologie d'évaluation retenue, l'étude de dangers évalue l'ensemble des MMR (approche à partir des EI) ou uniquement les MMR de protection.



INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Aiaia
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - Internet : <http://www.ineris.fr>