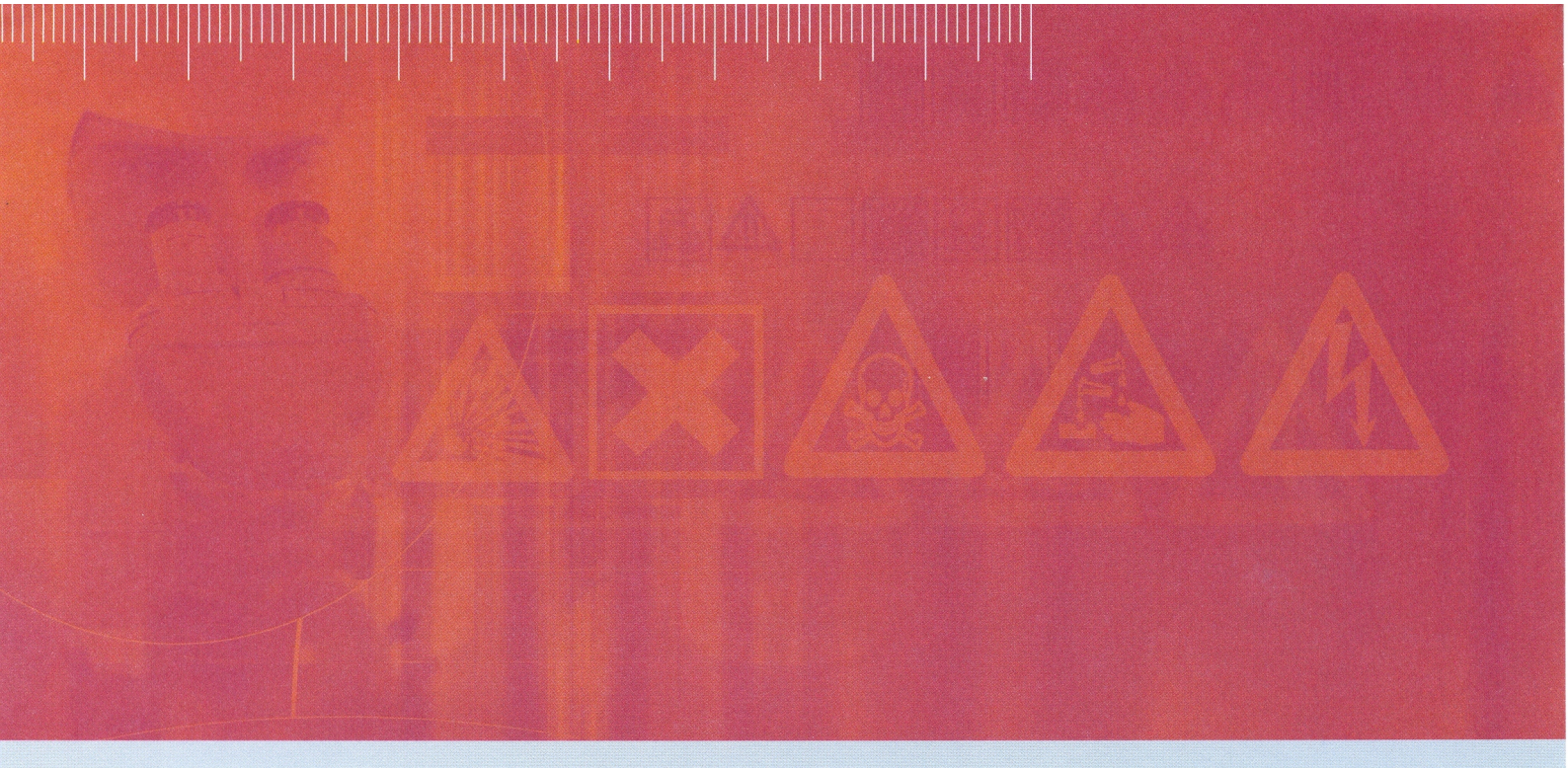


RAPPORT D'ÉTUDE 17/10/2014

N° DRA-13-133211-08941B

Programme EAT DRA 71 – Opération B1 : Approche probabiliste

Guide pratique pour la validation des probabilités des phénomènes dangereux des dépôts de gaz de pétrole liquéfié (GPL)

3ème version

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 dépôts de gaz de pétrole liquéfié (GPL)

Verneuil-en-Halatte

Direction des Risques Accidentels

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

PREAMBULE

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	Clément LENOBLE Marion DEMEESTERE	Valérie DE DIANOUS	Christophe BOLVIN Guillaume CHANTELAUVE	Sylvain CHAUMETTE
Qualité	Ingénieurs 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 Évaluation Quantitative des Risques 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 7

CONTEXTE 7
GENERALITES 7
OBJECTIFS DE CE GUIDE 8
APPORTS ET LIMITES DU GUIDE 8

ELEMENTS PREALABLES A L'UTILISATION DU GUIDE 11

1. CHAMP D'APPLICATION DU GUIDE PRATIQUE 11

2. PRESENTATION DU CONTENU DU GUIDE PRATIQUE 13

2.1 DONNEES RECENSEES 13
2.2 NŒUDS PAPILLON TYPES 14
2.3 SYNTHESE DES FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT 15
2.4 REPARTITIONS DE CAUSES D'EVENEMENTS REDOUTES CENTRAUX 16
2.5 LISTE NON-EXHAUSTIVE DES MESURES DE MAITRISE DES RISQUES 18

3. UTILISATION DU GUIDE 19

3.1 ETAPES 1 ET 2 : JUSTIFICATION QUALITATIVE DE LA MAITRISE DU RISQUE 20
3.2 ETAPE 3 : LA QUANTIFICATION PROBABILISTE DES PHENOMENES DANGEREUX OU ACCIDENTS MAJEURS 20
3.2.1 ESTIMATION EN GROUPE DE TRAVAIL 20
3.2.2 CONFRONTATION AUX DONNEES DU GUIDE PRATIQUE 22
3.3 EXEMPLE DE DEROULEMENT DE LA DEMARCHE 24
3.4 LIMITES DU GUIDE 26
3.4.1 SOURCES DE DONNEES 26
3.4.2 CAS PARTICULIER DES RUPTURES ET FUITES D'EQUIPEMENTS 27

4. CONTRIBUTIONS DE L'INERIS DANS LE DOMAINE DE L'EVALUATION DE LA PROBABILITE 29

4.1 SOURCES DE DONNEES POUR LES EVALUATIONS PROBABILISTES 29
4.2 DONNEES D'ENTREE DES EVALUATIONS PROBABILISTES 29
4.3 UTILISATION DU RETOUR D'EXPERIENCE 30
4.4 REGLES DE CALCUL POUR LES EVALUATIONS DES PROBABILITES 30
4.5 CONFRONTATION AU RETOUR D'EXPERIENCE 30
4.6 GUIDES SUR LA PROBABILITE DANS DES INSTALLATIONS SPECIFIQUES 31
4.7 ARTICULATION DES DIFFERENTS RAPPORTS INERIS RELATIFS A LA PROBABILITE 31

GUIDE PRATIQUE SUR LES DEPOTS DE GPL 33

1. RESERVOIRS AERIENS SOUS PRESSION 33

1.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE RESERVOIRS SOUS PRESSION 33
1.2 NŒUDS PAPILLON 33
1.2.1 Commentaires 33
1.2.2 Nœud papillon n°1 - Perte de confinement de réservoir sous pression 34
1.2.3 Nœud papillon n°2 - Fuite de vanne de réservoir sous pression 35
1.2.4 Nœud papillon n°3 – Fuite de piquage de réservoir sous-pression 36
1.2.5 Nœud papillon n°4 : BLEVE de réservoir sous pression 37

2. TUYAUTERIES 39

2.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE TUYAUTERIE 39
2.2 NŒUD PAPILLON 40
2.2.1 Commentaires 40
2.2.2 Nœud papillon n°5 - Perte de confinement de tuyauterie (classes de fréquence de fuite et de rupture exprimées par mètres par an) 41

2.2.3 Nœud papillon n°6 - Fuite de vanne sur tuyauterie (par vanne et par an) *42*
2.2.4 Nœud papillon n°7 - Fuite de bride (par bride et par an) *43*

3. POMPES ET COMPRESSEURS **45**

3.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE POMPES ET DE COMPRESSEURS 45
3.2 NŒUD PAPILLON 45
3.2.1 Commentaires *45*
3.2.2 Nœud papillon n°8 – Perte de confinement sur pompe *46*
3.2.3 Nœud papillon n°9 – Perte de confinement sur compresseur *47*

4. BOUTEILLES **49**

4.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT SUR LES BOUTEILLES 49
4.2 NŒUD PAPILLON 49
4.2.1 Commentaires *49*
4.2.2 Nœud papillon n°10 – Perte de confinement de bouteille *50*

5. POSTE DE CHARGEMENT/ DECHARGEMENT CITERNE MOBILE **51**

5.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE FLEXIBLES, DE BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT ET DE FUITE DE CITERNES 51
5.2 NŒUD PAPILLON 51
5.2.1 Commentaires *51*
5.2.2 Nœud papillon n°11 – Perte de confinement de bras au poste de chargement/déchargement camion 52
5.2.3 Nœud papillon n°12 – Perte de confinement citerne au poste de chargement/déchargement camion 53
5.2.4 Nœud papillon n°13 – Perte de confinement du bras au poste de chargement/déchargement wagon 54
5.2.5 Nœud papillon n°14 – Perte de confinement de citerne au poste de chargement/déchargement wagon *55*
5.2.6 Nœud papillon n°15 – BLEVE citerne mobile *56*

6. LISTE INDICATIVE DE MESURES DE MAITRISE DES RISQUES **57**

CONCLUSION **59**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES **61**

LISTE DES ANNEXES **65**

Liste des Figures

Figure 1 : Champ d'application du guide sur les dépôts GPL 12
Figure 2 : Données recensées dans le guide pratique 14
Figure 3 : Proposition de démarche de quantification probabiliste 19
Figure 4 : Première étape : renseigner les événements qui peuvent être quantitativement estimés par le groupe de travail 21
Figure 5 : Seconde étape : utiliser les données du guide pratique pour comparer/compléter les données de l'arbre de défaillance 23
Figure 6 : Exemple de la perte de confinement d'une tuyauterie – quantification en GT 24
Figure 7 : 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 25
Figure 8 : Approche probabiliste et travaux de l'INERIS 32

Liste des Tableaux

Tableau 1: Echelle de classes de fréquence proposée par l'INERIS 15
Tableau 2: Typologie retenue pour caractériser les incertitudes associées aux données 17
Tableau 3: Exemple d'utilisation du guide - Confrontation des résultats GT/Guide 26
Tableau 4: Exemples de définition de rupture de tuyauterie 28
Tableau 5: Liste indicative de mesures de maîtrise des risques 58

INTRODUCTION ET OBJECTIFS

CONTEXTE

Ce document consiste en la mise à jour de la version du rapport DRA-11-110470-00468B *« Quantification des phénomènes dangereux en probabilité – Guide pratique pour les dépôts de gaz de pétrole liquéfié (GPL) »* du 23/08/2012.

Il intègre certaines propositions d'amélioration faites par le BRTICP dans son courrier (BRTICP/2012-430/OA) du 17 décembre 2012.

GENERALITES

Les installations stockant ou manipulant des gaz de pétrole liquéfiés (GPL) 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 4718 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), relative aux gaz inflammables liquéfiés[1].

Les installations soumises à autorisation font l'objet d'une étude de dangers (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 2005[2] 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. 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.

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.

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.

---

[1] Nomenclature applicable au 1er 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

OBJECTIFS DE CE GUIDE

Le présent rapport concerne les dépôts de GPL. 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.

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 seconde partie de ce document, « Guide pratique sur les dépôts de GPL », présente le guide pratique en lui-même en traitant de façon détaillée chacune des différentes parties de l'installation : réservoirs aériens, tuyauteries, etc.

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 dépôts de GPL 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.

Une synthèse des scénarios d'accidents et des données de probabilités et de fréquences disponibles pour le cas des dépôts de GPL est ainsi présentée. Les éléments présentés consistent notamment en :

- des nœuds papillon génériques (chapitres 1 à 5) ;
- des barrières de sécurité (chapitre 6).

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'expert, base de données (cf. Annexe C), etc[3].

Ces données d'entrée sont :

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

[3] 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.

Des probabilités d'occurrence annuelle de BLEVE sur des réservoirs sous pression et des citernes mobiles sont également fournies par certaines bases de données. Des nœuds papillon ont été construits pour chacun de ces deux scénarios, sachant que dans le retour d'expérience, la totalité des BLEVE a pour origine un effet domino. De plus, certaines bases de données recensent des fréquences d'occurrence d'événements initiateurs. Ces informations ne sont pas reprises sur les nœuds papillon mais figurent dans le chapitre 2 de l'Annexe B.

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 ce 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

Les Gaz de Pétrole Liquéfiés (appellation courante du butane (C.A.S. n°106-97-8), du propane (C.A.S. n°74-98-6) et de leurs mélanges) sont obtenus soit par distillation lors du raffinage du pétrole brut, soit par récupération sur les gisements de gaz naturel. L'appellation « GPL » est réservée à ces deux produits car ce sont des substances gazeuses à 15°C, liquéfiables à faible pression (entre 1,7 et 7,5 bar).

Ces deux substances sont inflammables et ont une classification harmonisée « gaz inflammable de catégorie 1 » (H220) selon la réglementation CLP[4]. Cette classification s'appuie sur leurs limites d'inflammabilité inférieures et supérieures. Elles sont[5] :

- pour le butane : comprises entre 1,8% et 8,8% à 20°C ;
- pour le propane : comprises entre 2,4% et 9,3% à 20°C.

En France, les activités industrielles liées au GPL font l'objet d'une rubrique dans la nomenclature des installations classées : « Gaz inflammables liquéfiés de catégorie 1 et 2 (y compris GPL) » (rubrique 4718).

Ces activités sont principalement constituées du conditionnement, du stockage et de la distribution du GPL. Des stockages « primaires » réceptionnent le produit en provenance des raffineries ou des champs de gaz. Les transferts sont assurés par voie routière, ferroviaire, maritime. Le GPL est ensuite acheminé vers d'autres dépôts, dits « secondaires » ou « relais vrac » par camion-citerne, wagon-citerne, bateau.

L'approvisionnement de la clientèle peut alors se faire depuis le relais vrac par camion pour assurer le remplissage de citernes individuelles. La distribution peut également être réalisée en utilisant des bouteilles. Le conditionnement en bouteilles est alors effectué dans des centres emplisseurs.

Certains dépôts GPL peuvent assurer le double rôle de relais vrac et de centre emplisseur.

Ce guide a pour objet les dépôts primaires, les relais vrac ou les centres emplisseurs faisant l'objet d'une procédure d'autorisation dans la réglementation française (ou de statut Seveso seuil bas ou seuil haut). Toute autre installation industrielle où du GPL est susceptible d'être présent est exclue du champ d'application du guide.

---

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

[5] Données issues du Comité Français du Butane et du Propane

Un dépôt de GPL comporte typiquement les équipements suivants :

- des stockages en vrac (stockages sous pression de géométrie sphérique ou cylindrique. Les stockages peuvent être aériens, enterrés ou sous-talus) ;
- des équipements de transferts : tuyauteries, pompes et compresseurs ;
- des postes de chargement/déchargement : camion-citerne, wagon-citerne, bateau (non couvert par le présent guide) ;
- des halls de remplissage (non couvert par le présent guide) ;
- des bouteilles de gaz.

Ces installations sont concernées par le présent guide. 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.

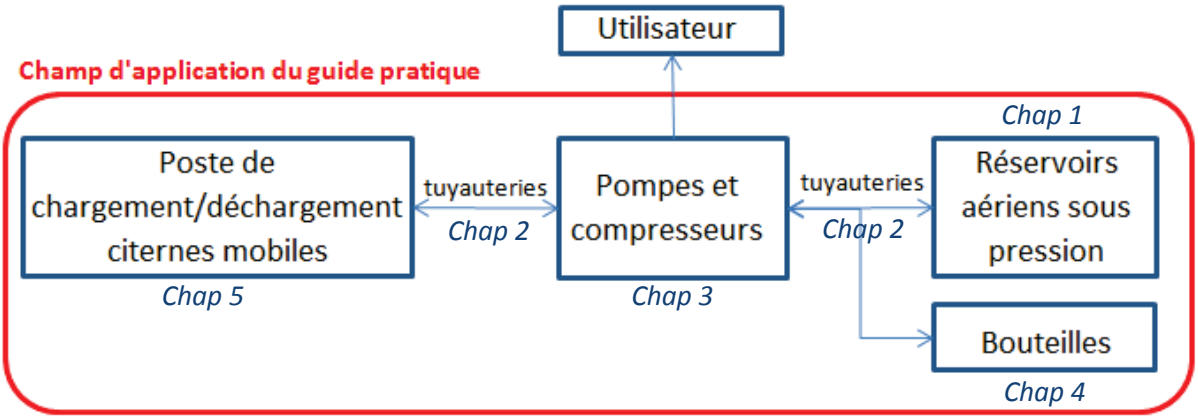


Figure 1 : Champ d'application du guide sur les dépôts GPL

Dans le contexte de l'étude des accidents majeurs, les phénomènes dangereux possibles lors d'une fuite de GPL sont principalement le feu de nappe, le feu torche, le feu de nuage et le VCE (vapour cloud explosion). Du fait des conditions de stockage du GPL, des risques de BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Cloud Explosion) sont également présents.

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 dépôts de GPL. 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 sous pression (chapitre 1) ;
- les tuyauteries (chapitre 2) ;
- les pompes et compresseurs (chapitre 3) ;
- les bouteilles (chapitre 4).
- les postes de chargement/déchargement camions citernes et wagons citernes (chapitre 5).

Des probabilités d'occurrence annuelle de BLEVE sur des réservoirs sous pression et des citernes mobiles sont également fournies par certaines bases de données. Des nœuds papillon ont été construits pour chacun de ces deux scénarios. De plus, certaines bases de données recensent des fréquences d'occurrence d'événements initiateurs. Ces informations ne sont pas reprises sur les nœuds papillon mais figurent dans le chapitre 2 de l'Annexe B.

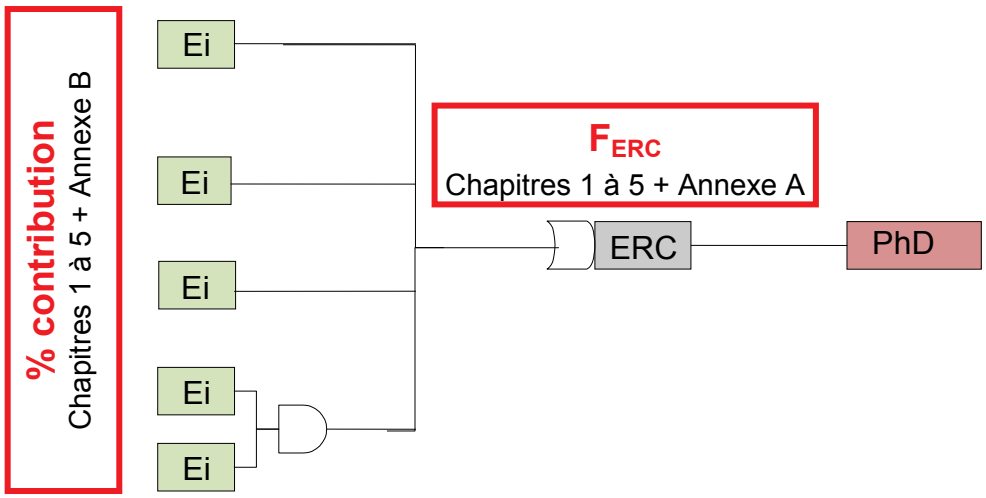
Une liste non exhaustive de mesures de maîtrise des risques associées aux équipements/activités est également présentée au chapitre 6. Ces mesures de maîtrise des risques ne sont pas reprises au niveau des nœuds papillon.

Les données recensées dans le présent guide constituent des données d'entrée nécessaires à la quantification de la probabilité des phénomènes dangereux des dépôts de GPL (fréquences d'événements redoutés centraux, mesures de maîtrise des risques à considérer). Elles ne fournissent pas directement de valeurs de probabilité des phénomènes dangereux (feu de nappe, feu torche, UVCE/VCE, feu de nuage), le BLEVE mis à part. Pour les autres phénomènes dangereux, on peut se reporter aux travaux relatifs à la probabilité d'inflammation qui présentent des probabilités d'inflammation conditionnelles issues de sources de données permettant d'évaluer les probabilités de phénomènes dangereux à partir de fréquences d'événements redoutés centraux.

L'Annexe A fournit une analyse détaillée des fréquences de perte de confinement. L'Annexe B fournit des fréquences d'occurrence de certains événements initiateurs identifiés dans les nœuds papillons ainsi que 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 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:

Légende :	
	Symbole de la porte OU
	Symbole de la porte ET
F_{ERC}	*Données recensées dans le guide pratique*

Figure 2 : Données recensées dans le guide pratique

2.2 NŒUDS PAPILLON TYPES

Les nœuds papillon présentés dans ce rapport (chapitres 1 à 5 de la seconde partie) sont issus d'une analyse de l'accidentologie et des études de dangers réalisées par l'INERIS après 2005.

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. Notamment, les effets dominos ne sont pas traités.

Note :
Les évènements 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 corréler 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.

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 SYNTHESE DES FREQUENCES 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 d'une vingtaine de 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}/an $\leq$ Fréquence < 10^{+2}/an.	10 à 100 fois/an
F-1	1/an $\leq$ Fréquence < 10^{+1}/an.	1 à 10 fois/an
F0	10^{-1}/an $\leq$ Fréquence < 1/an.	1 fois tous les 1 à 10 ans
F1	10^{-2}/an $\leq$ Fréquence < 10^{-1}/an.	1 fois tous les 10 à 100 ans
F2	10^{-3}/an $\leq$ Fréquence < 10^{-2}/an.	1 fois tous les 100 à 1000 ans
Fx	$10^{-(x+1)}$/an $\leq$ Fréquence < 10^{-x}/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 inexploitables dans le cadre des études de dangers de dépôts de GPL ;
- des informations spécifiques à des types d'installations différentes des dépôts de GPL.

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

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

2.4 REPARTITIONS DE CAUSES D'EVENEMENTS 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 stockages de GPL de 1970 à nos jours ;
- une analyse des accidents répertoriés dans la base MHIDAS[6] sur les stockages de gaz de pétrole liquéfié de 1970 à 2005 ;
- des répartitions de causes issues de différentes sources dans 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 1à 5 de la seconde partie :

[6] 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.

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 dépôts de GPL.	Très forte
	Valeur obtenue à l'aide de plusieurs retours d'expérience n'étant pas spécifiques aux dépôts de GPL **ou** à l'aide d'un seul retour d'expérience spécifique aux dépôts de GPL.	Forte
	Valeur obtenue à l'aide d'au moins un retour d'expérience spécifique aux dépôts de GPL **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 moyens. 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 ;

- Dans le présent rapport aucune répartition de cause n'atteint les critères requis pour comporter une incertitude qualifiée de « moyenne » ;

- Pour certains événements initiateurs identifiés dans les nœuds papillon aucune valeur de répartition des causes n'est présentée, aucun événement de ce type n'a donc été relevé lors de l'analyse. Ces événements doivent néanmoins être étudiés 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 6 est présentée une liste indicative de mesures de maîtrise des risques pouvant être mises en place dans des dépôts de GPL. Cette liste est **non-exhaustive.** Elle ne comprend pas :

- de mesures concourant à une meilleure sécurité mais qui ne sont pas considérées comme « mesure de maîtrise des risques » au sens de l'arrêté du 29 septembre 20057 (exemple des formations, habilitations, système de gestion de la sécurité, etc.) ;
- des mesures visant à prévenir la présence de sources d'inflammation.

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.

7 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.

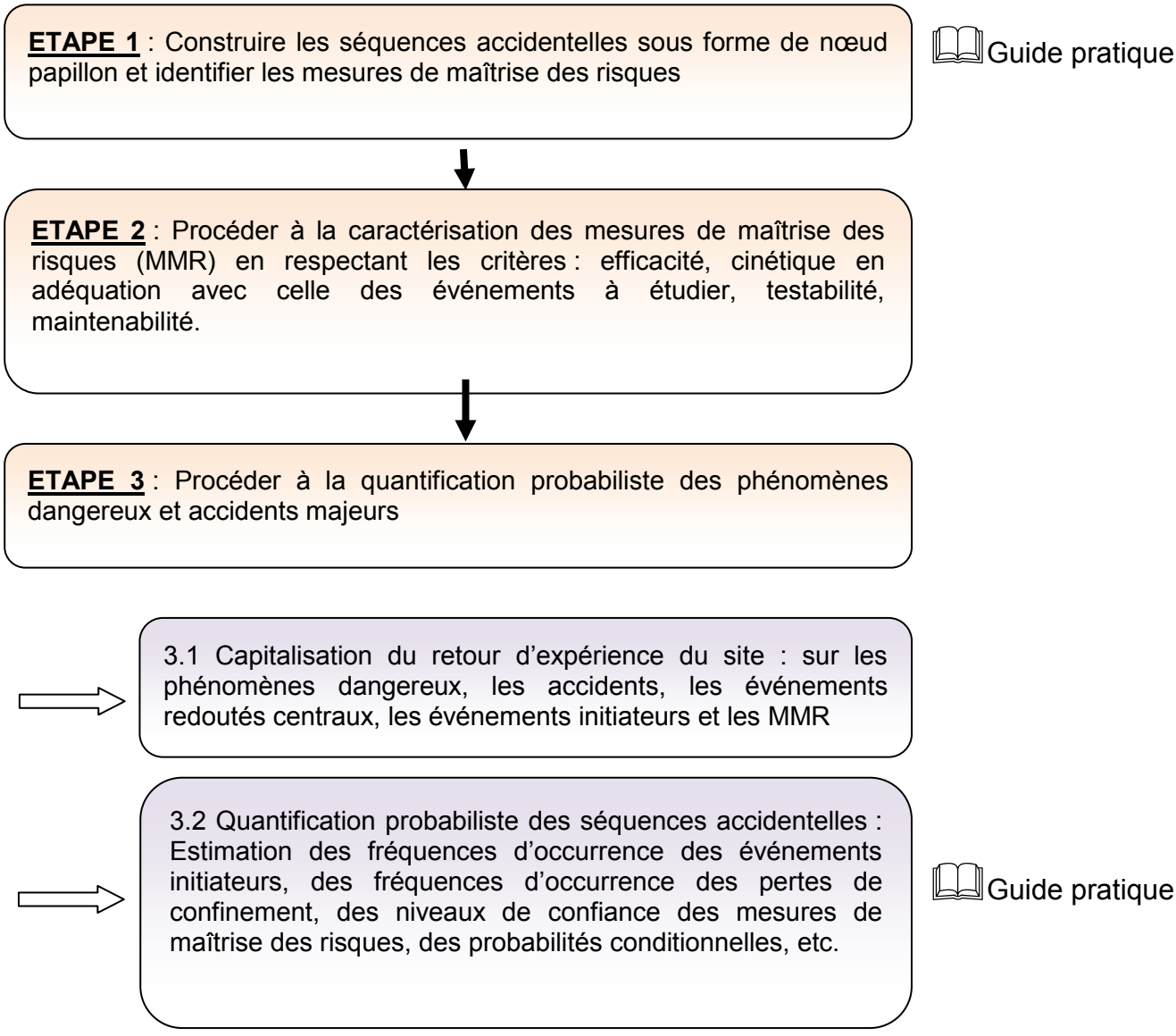


Figure 3 : Proposition de démarche de quantification probabiliste

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 maitriser, Testabilité, Maintenance.

Ce guide offre un support pour la 1ère étape en proposant pour les dépôts de GPL :

- des séquences accidentelles usuelles (nœuds papillon présentés dans les chapitres 1à 5 de la seconde partie) ;
- des mesures de maîtrise des risques typiques (chapitre 6 de la seconde partie).

Ces éléments ont pour vocation d'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 proposées 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 ([32]) et 20 ([33]) de l'INERIS ou toute autre méthode 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 :

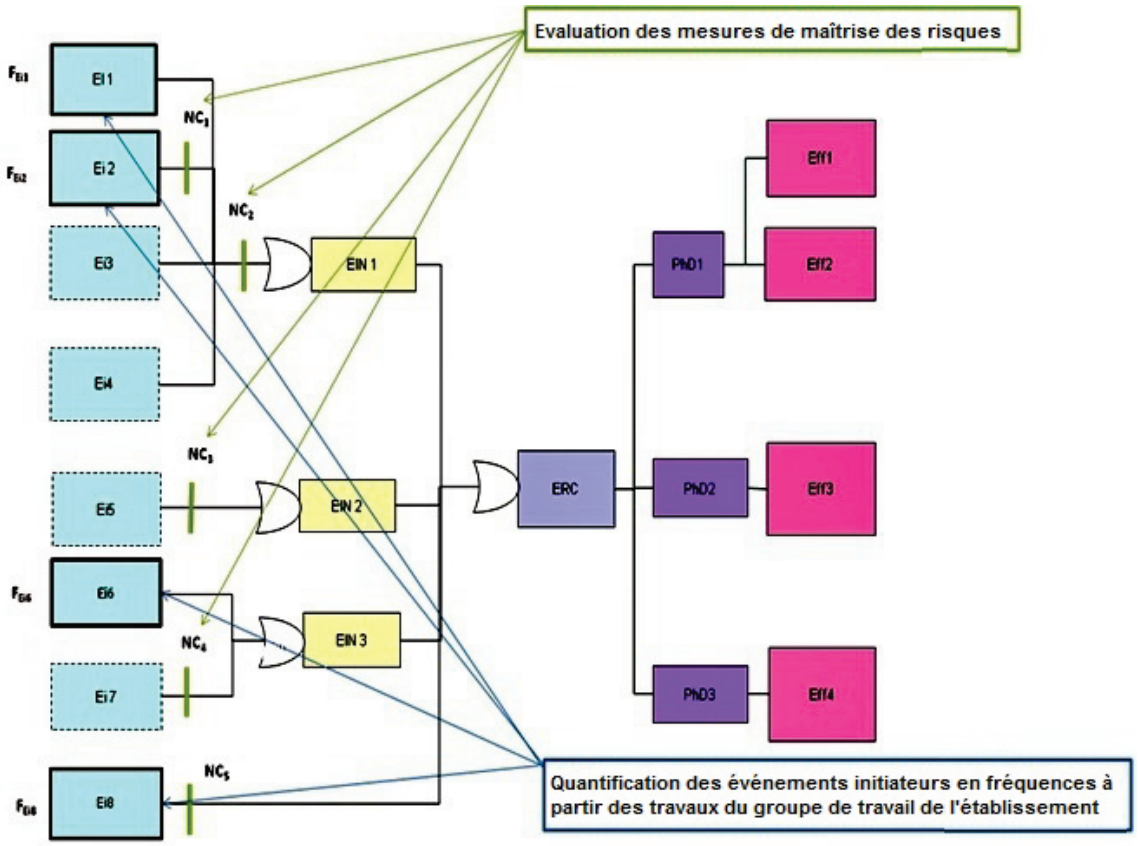


Figure 4 : Première étape : renseigner les événements qui peuvent être quantitativement estimés par le groupe de travail

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.

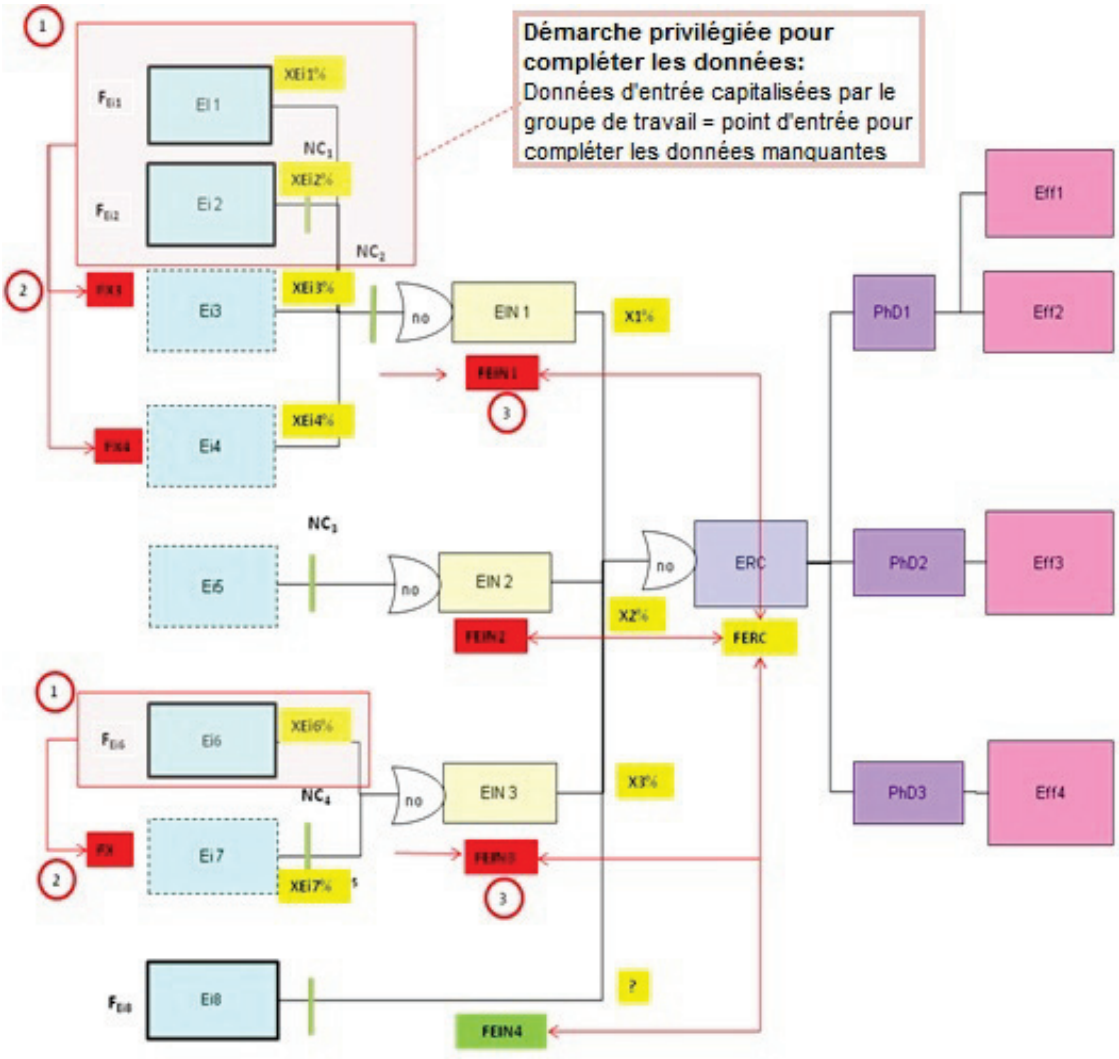


Figure 5 : Seconde étape : utiliser les données du guide pratique pour comparer/compléter les données de l'arbre de défaillance

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.

Note1 : 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.

Note2 : 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 d'un diamètre de 100 millimètres. La quantification par un groupe de travail en analyse des risques est présentée dans le nœud papillon suivant :

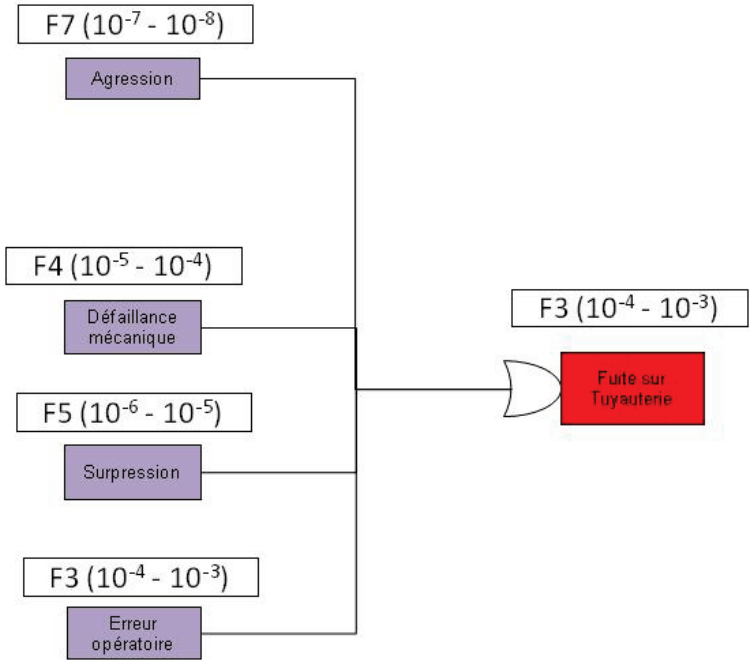


Figure 6 : Exemple de la perte de confinement d'une tuyauterie – quantification en GT

Ici, les classes de probabilités sont exprimées **après** la prise en compte des taux de défaillance à la sollicitation (ou des 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 2 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.

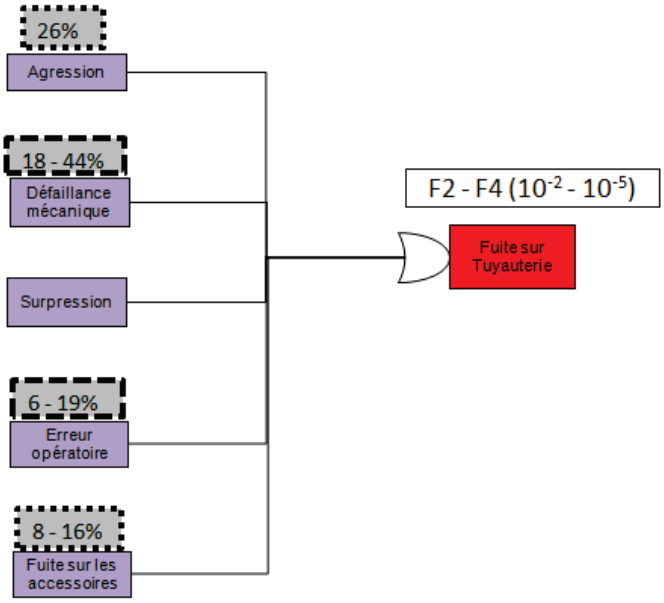


Figure 7 : Extrapolation et simplification des données proposées dans le guide pour le cas d'une tuyauterie de 100 mètres de longueur et 100 mm de diamètre

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	-	F6 – F2	Le GT n'a pas identifié de fuite liée à des accessoires, contrairement au guide. Cette cause devra être étudiée par le GT et être rajoutée si des accessoires sont présents.
Agression	F7	F5 – F2	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.
Défaillance mécanique	F4	F5 – 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 élevé 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
Surpression	F5	-	Le guide ne propose pas de valeur. L'estimation proposée par le groupe de travail est donc conservée.
Erreur opératoire	F3	F6 – F2	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.

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

Il est noté que la classe de fréquence de la perte d'intégrité d'une tuyauterie traduit un niveau de sécurité moyen.

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 précédent.

Enfin, des travaux complémentaires[8] ont permis de mettre une 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 valeurs indicatives 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 distincts 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 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).

---

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

Dans le tableau ci-dessous quelques exemples de définition de rupture de tuyauterie sont présentés :

Nom de la source de données	Définition de la rupture
Classification of hazardous locations	Aire de la brèche égale ou supérieure à celle de la section de la tuyauterie.
Failure rate and event data for use within risk assessments	Brèche >1/3 diamètre de la tuyauterie
OGP process release frequencies	Brèche >150 mm
Guide GTDLI	Brèche >20% du diamètre de la tuyauterie
Handboek faalfrequencies	Brèche >36% du diamètre de la tuyauterie
Reference BEVI manual risk assessment	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* » [34] 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 ([32]) ;
- 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 ([33]).

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 BARPI[9].

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* » [34].

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

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 »* [34].

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

Le présent rapport DRA-13-133211-08941B « *DRA 71 – Opération B1 : Guide pratique pour la validation des probabilités des phénomènes dangereux des dépôts de GPL »* s'inscrit dans cette collection. Deux autres guides ont été développés :

- 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 »* du 02/10/2014 ;
- 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 dépôts de GPL, rassemblés dans le rapport *« DRA 71 – Opération B.1.1 – Influence des enseignements tirés d'accidents impliquant des stockages de GPL dans l'évolution des guides de bonnes pratiques »* du 04/09/2008 (http://www.ineris.fr/centredoc/benchmark-gpl-web.pdf).

4.7 ARTICULATION DES DIFFERENTS RAPPORTS INERIS RELATIFS A LA PROBABILITE

La Figure 8 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).

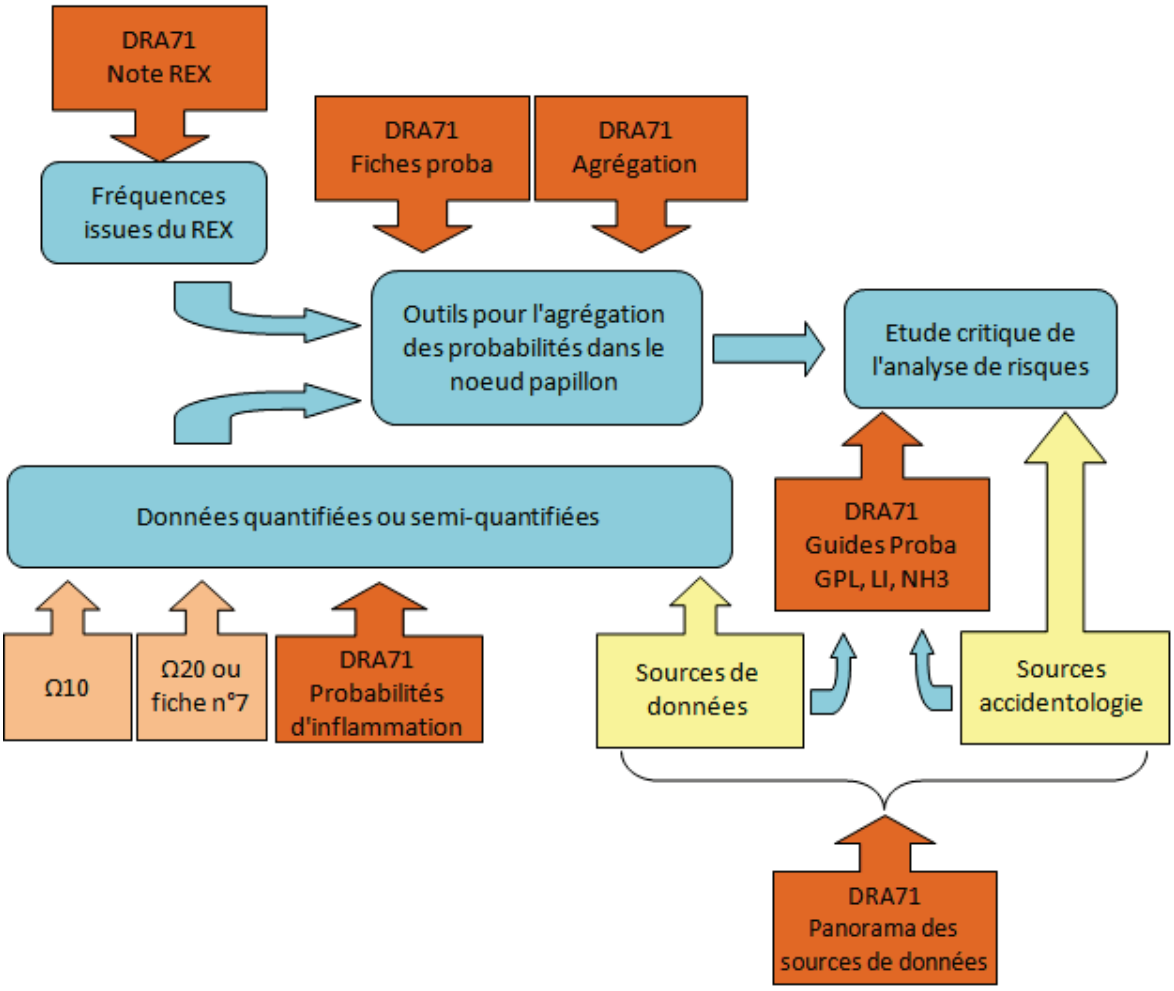


Figure 8 : Approche probabiliste et travaux de l'INERIS

GUIDE PRATIQUE SUR LES DEPOTS DE GPL

1. RESERVOIRS AERIENS SOUS PRESSION

Cette analyse concerne les réservoirs aériens et exclut les réservoirs souterrains ou sous talus. Des investigations supplémentaires peuvent être conduites sur ce thème.

4 nœuds papillon sont étudiés dans ce chapitre.

1.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE RESERVOIRS SOUS PRESSION

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

	BLEVE	Rupture	Fuite	Unité
Réservoirs sous pression	F4 – F6	F4 – F6	F4 – F5	/capacité/an

Voir Annexe A, Chapitre 2

1.2 NŒUDS PAPILLON

1.2.1 Commentaires

La plupart des fuites étudiées se sont produites sur le réservoir lui-même et non sur les accessoires (vannes, instruments, soupapes, etc.). Ce constat est en contradiction avec les fréquences de perte de confinement relevées (brides, vannes, etc.). Ce décalage peut avoir les raisons suivantes :

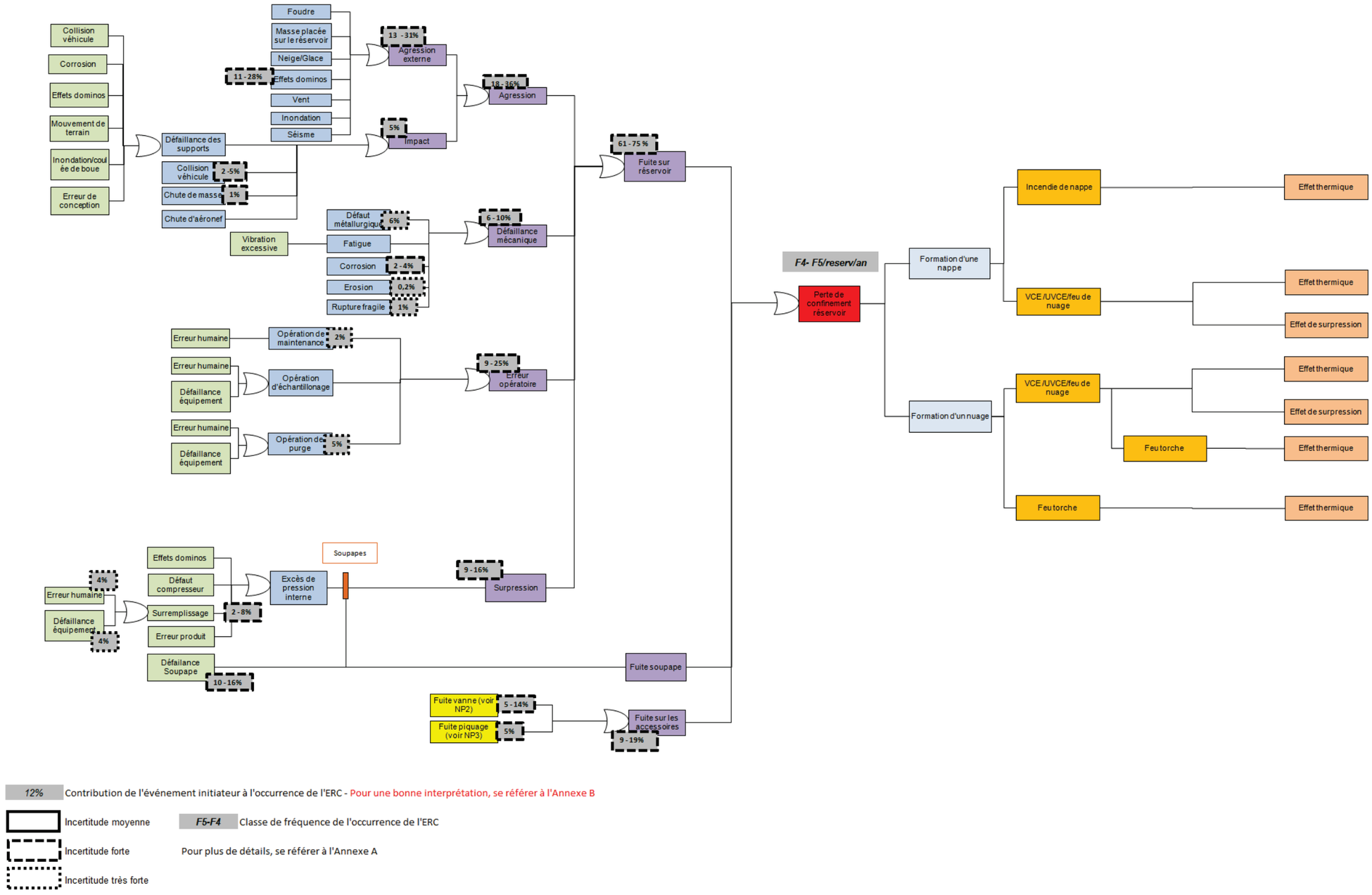
- des erreurs dans l'interprétation ou dans la description des accidents ;
- un volume de données insuffisant ;
- une surévaluation des fréquences de fuite susceptibles de créer des accidents majeurs (par rapport aux fuites susceptibles de générer des accidents du travail).

Parmi les accidents qui se sont produits sur les réservoirs, les causes les plus courantes sont, par ordre décroissant, les agressions externes, les erreurs opératoires et les défaillances mécaniques.

Les défaillances sur des soupapes sont les premières causes de fuites provenant des accessoires. Les vannes et les piquages sont ensuite mis en cause. Peu de d'informations sont disponibles sur les causes de fuite des vannes et des piquages.

Concernant les BLEVE, la totalité des accidents étudiés montre que le BLEVE résulte d'un effet domino (provenant d'un autre équipement de l'installation ou d'un équipement relié au réservoir).

1.2.2 Nœud papillon n°1 - Perte de confinement de réservoir sous pression[10]



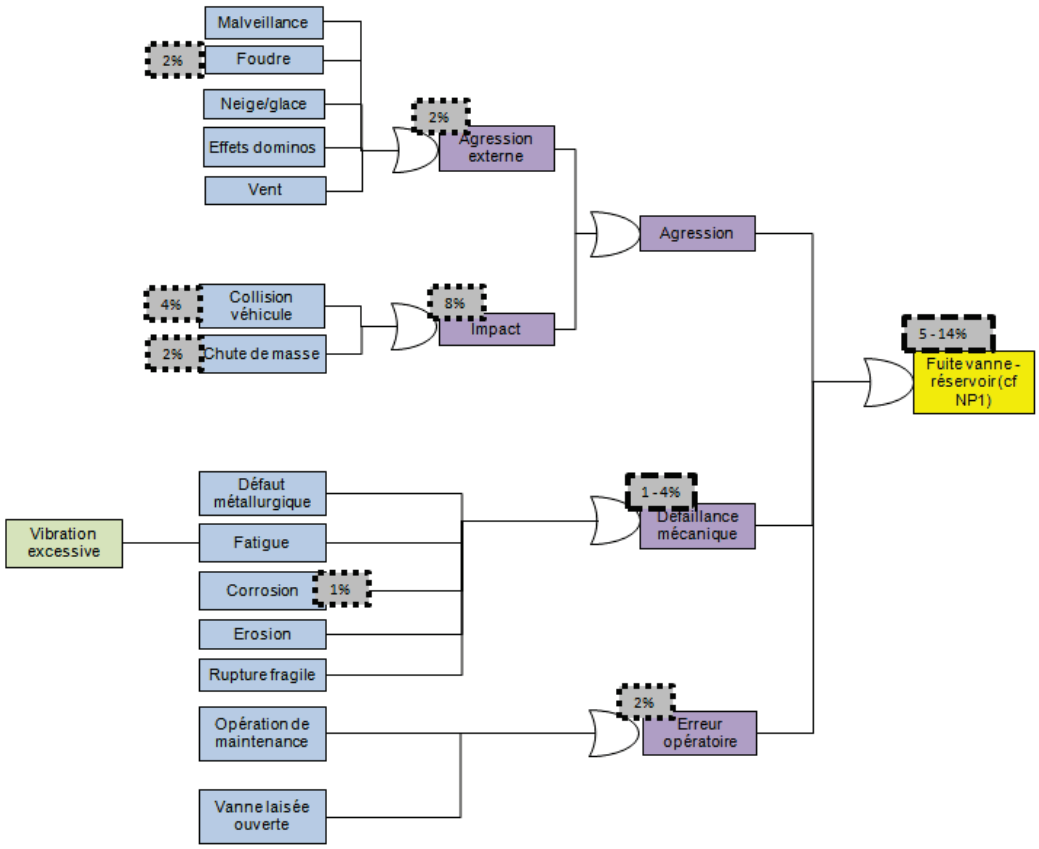
La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

---

[10] Ce nœud papillon exclut la ruine instantanée du réservoir sous pression qui est traité au paragraphe 1.2.5

1.2.3 Nœud papillon n°2 - Fuite de vanne de réservoir sous pression

Note : les répartitions de causes présentées ici se rapportent à la perte de confinement de réservoir (décrit dans le NP n°1)



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

Incertitude moyenne

Incertitude forte

Incertitude très forte

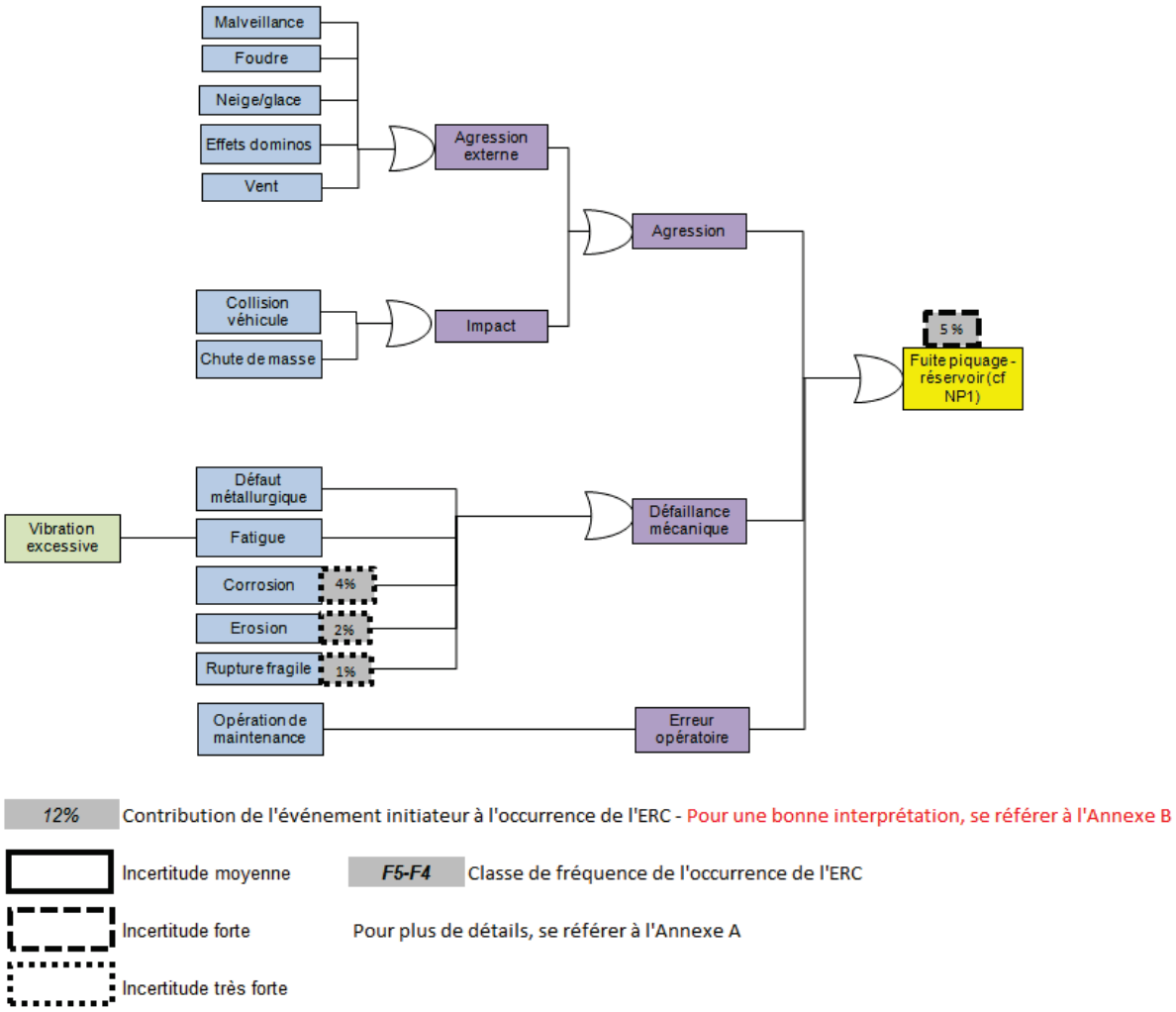
F5-F4 Classe de fréquence de l'occurrence de l'ERC

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

La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

1.2.4 Nœud papillon n°3 – Fuite de piquage de réservoir sous-pression

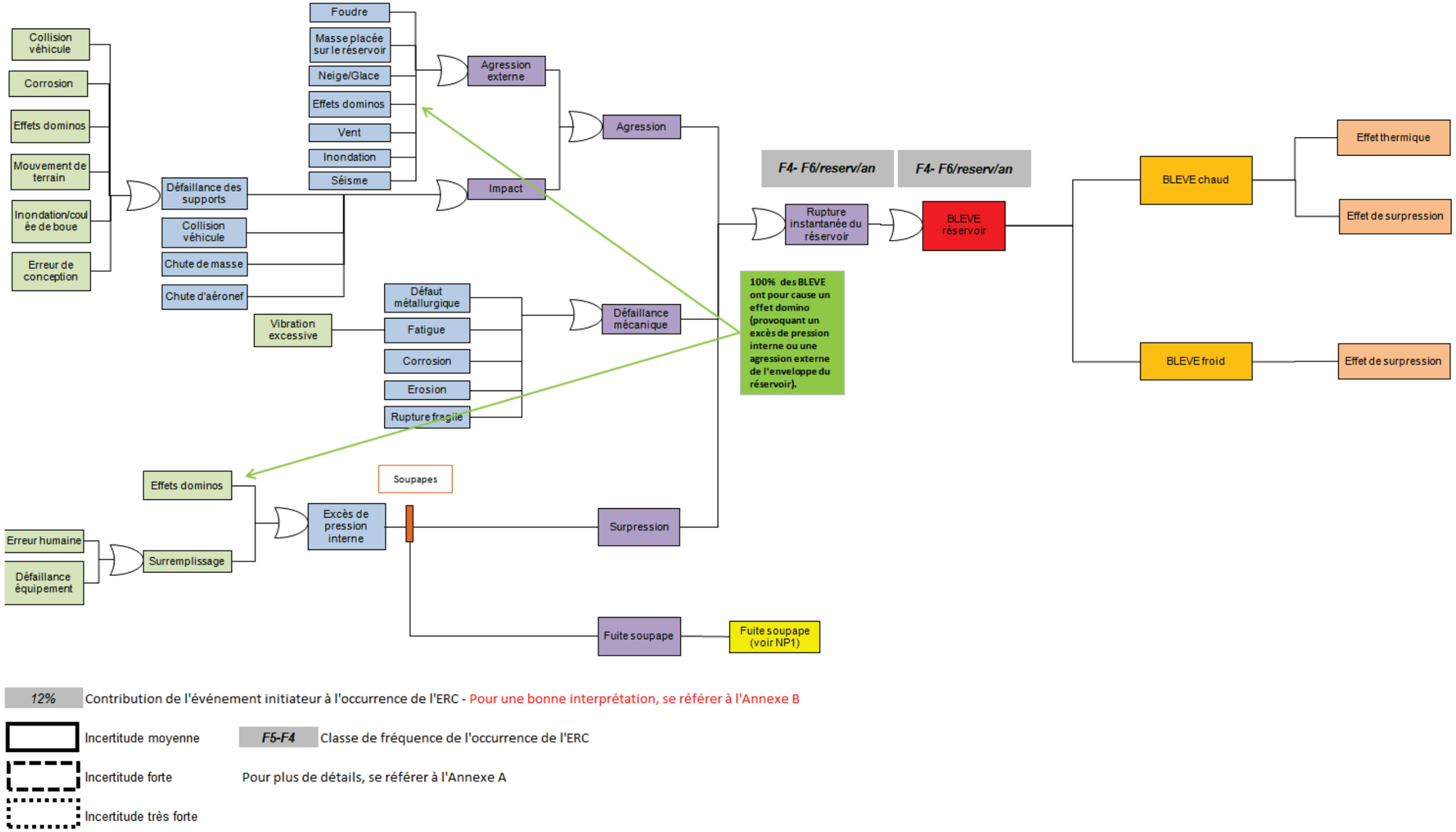
Note : les répartitions de causes présentées ici se rapportent à la perte de confinement de réservoir (décrit dans le NP n°1)



La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

1.2.5 Nœud papillon n°4 : BLEVE de réservoir sous pression

Note : le cas du BLEVE est un cas particulier de la perte de confinement de réservoir sous pression. Il concerne la rupture instantanée du réservoir.



La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

2. TUYAUTERIES

2.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE 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 de tuyauterie (mm)	Rupture	Fuite	Unités
0 - 49	F6 - F4	F5 - F4	Par mètre de tuyauterie par an
50 – 149	F6 - F4	F6 - F3	
150 – 299	F6 - F4	F6 - F4	
300 – 499	F6 - F4	F6 - F4	
500 - 1000	F6 - F4	F6 - F4	

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

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

Voir Annexe A, Chapitre 5

Notes:

- La fréquence de fuite proposée pour chaque diamètre de tuyauterie 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.

- 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 sources de données qui ne distinguent pas « accessoires » et « tuyauteries » (exemples : le reference manual BEVI risk assessment et le handbook for failure frequencies). Les données relatives aux accessoires sont donc intégrées ;
    - Les données présentées dans le second tableau proviennent de sources de données qui distinguent « accessoires » et « tuyauteries » (exemples : Failure rate and event data 2012 ou process release frequencies de l'OGP) ;
    - 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.

2.2 NŒUD PAPILLON

2.2.1 Commentaires

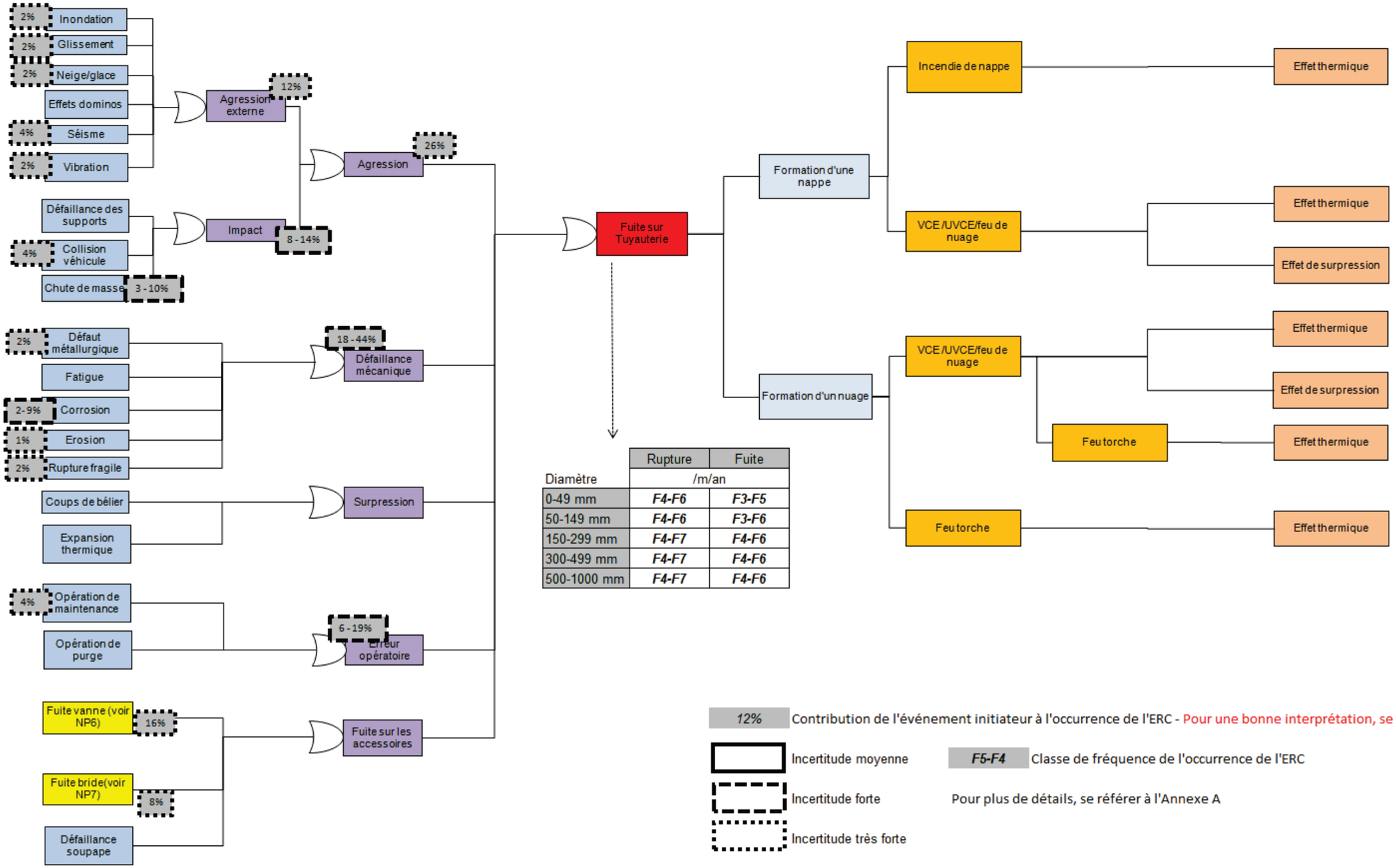
Les fréquences de perte de confinement des tuyauteries sont très variables en fonction de la source de données utilisée. Pour une analyse plus approfondie, ces fréquences sont présentées en Annexe A.

Les causes les plus communes d'accident semblent être, par ordre décroissant de leur occurrence, les défaillances mécaniques, les agressions et les fuites sur accessoires, et enfin les erreurs opératoires.

Ce constat contredit l'analyse des fréquences de perte de confinement des accessoires de tuyauteries. Quelques raisons possibles de cet écart sont citées dans le paragraphe 1.2.1.

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

2.2.2 Nœud papillon n°5 - Perte de confinement de tuyauterie (classes de fréquence de fuite et de rupture exprimées par mètres par an)



Diamètre	Rupture	Fuite
	/m/an	
0-49 mm	***F4-F6***	***F3-F5***
50-149 mm	***F4-F6***	***F3-F6***
150-299 mm	***F4-F7***	***F4-F6***
300-499 mm	***F4-F7***	***F4-F6***
500-1000 mm	***F4-F7***	***F4-F6***

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

Incertitude moyenne

Incertitude forte

Incertitude très forte

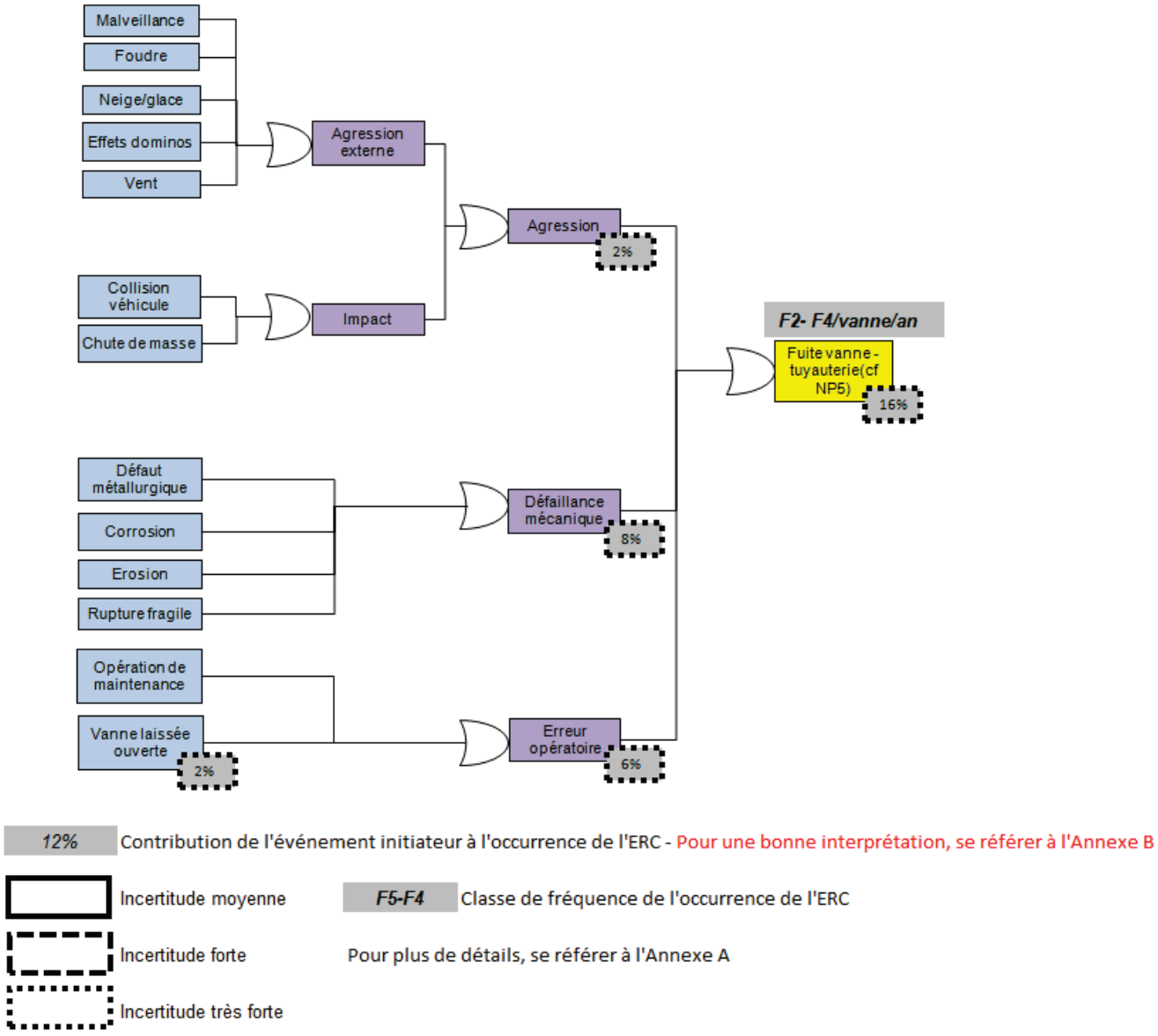
F5-F4 Classe de fréquence de l'occurrence de l'ERC

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

La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

2.2.3 Nœud papillon n°6 - Fuite de vanne sur tuyauterie (par vanne et par an)

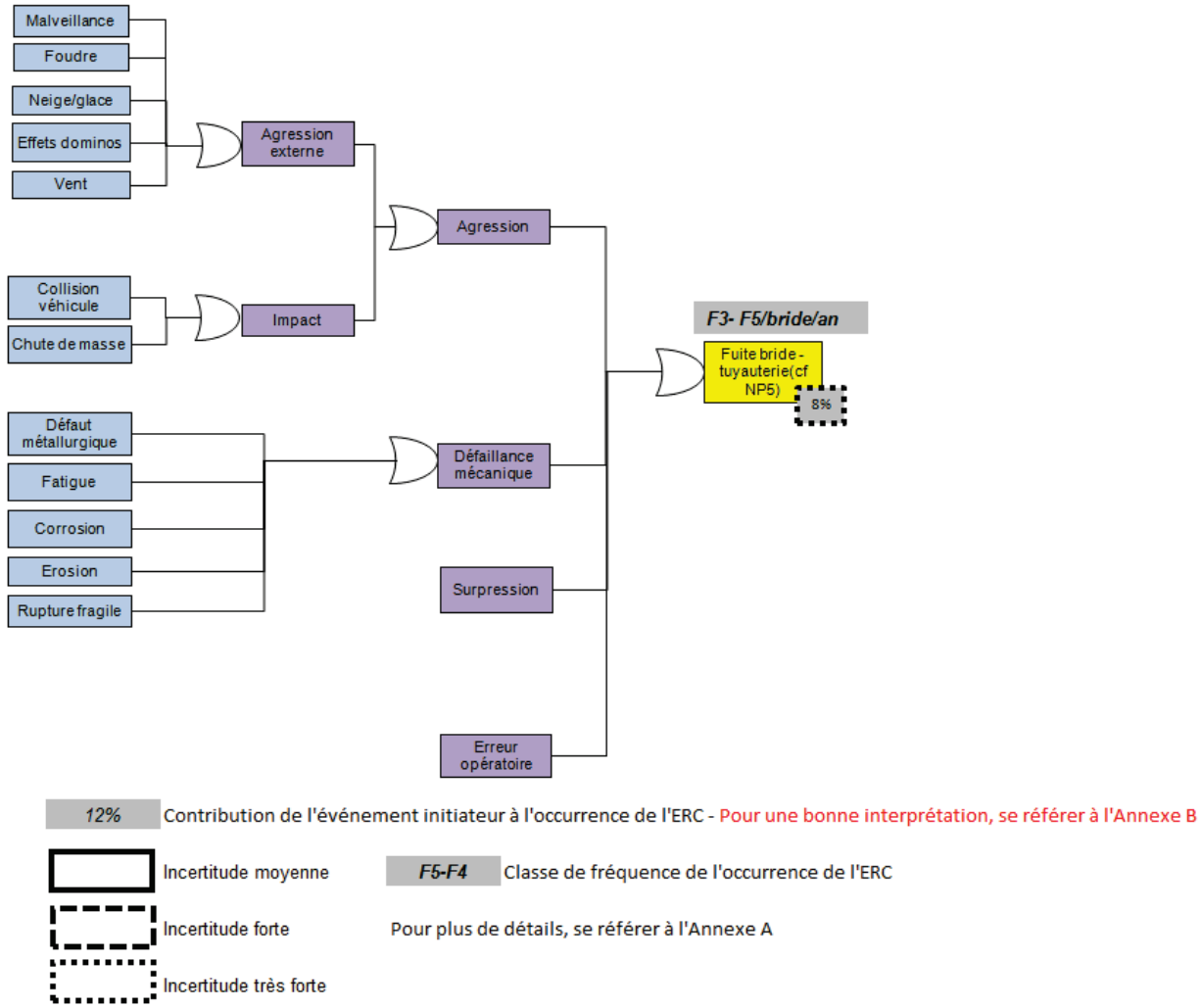
Note : les répartitions de causes présentées ici se rapportent à la perte de confinement de tuyauterie (décrit dans le NP n°5)



La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

2.2.4 Nœud papillon n°7 - Fuite de bride (par bride et par an)

Note : les répartitions de causes présentées ici se rapportent à la perte de confinement de tuyauterie (décrit dans le NP n°5)



La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

3. POMPES ET COMPRESSEURS

3.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE POMPES ET DE COMPRESSEURS

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

	Rupture	Fuite	Unités
Pompes	F3 – F4	F2 - F4	/pompe/an
Compresseurs	F2 - F4	F2 - F4	/compress/an

Voir Annexe A, Chapitres 7 et 8

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.

3.2 NŒUD PAPILLON

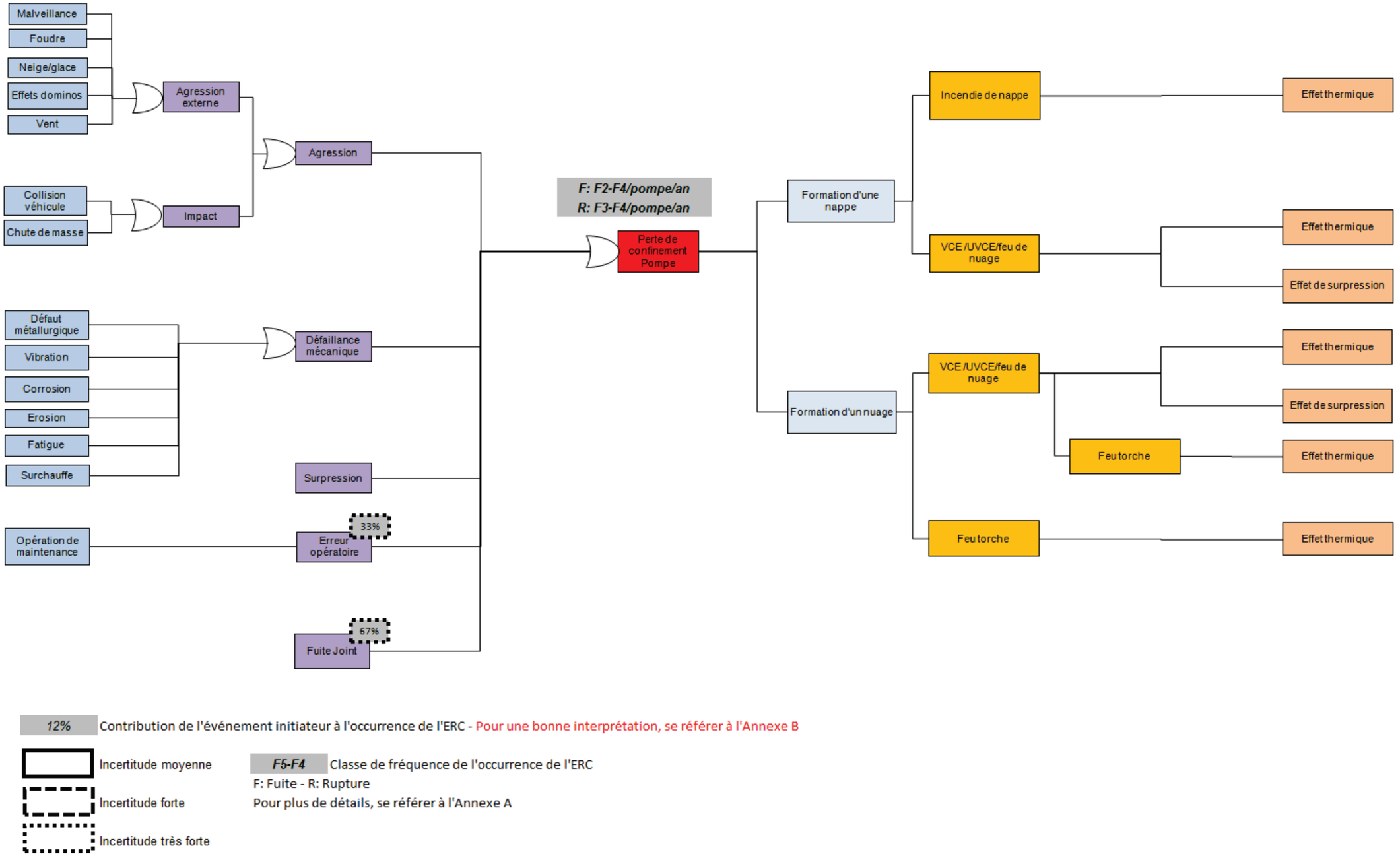
3.2.1 Commentaires

Malgré des fréquences de fuite élevées, très peu d'information sont disponibles sur les causes de fuite de compresseur et de pompe de GPL.

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

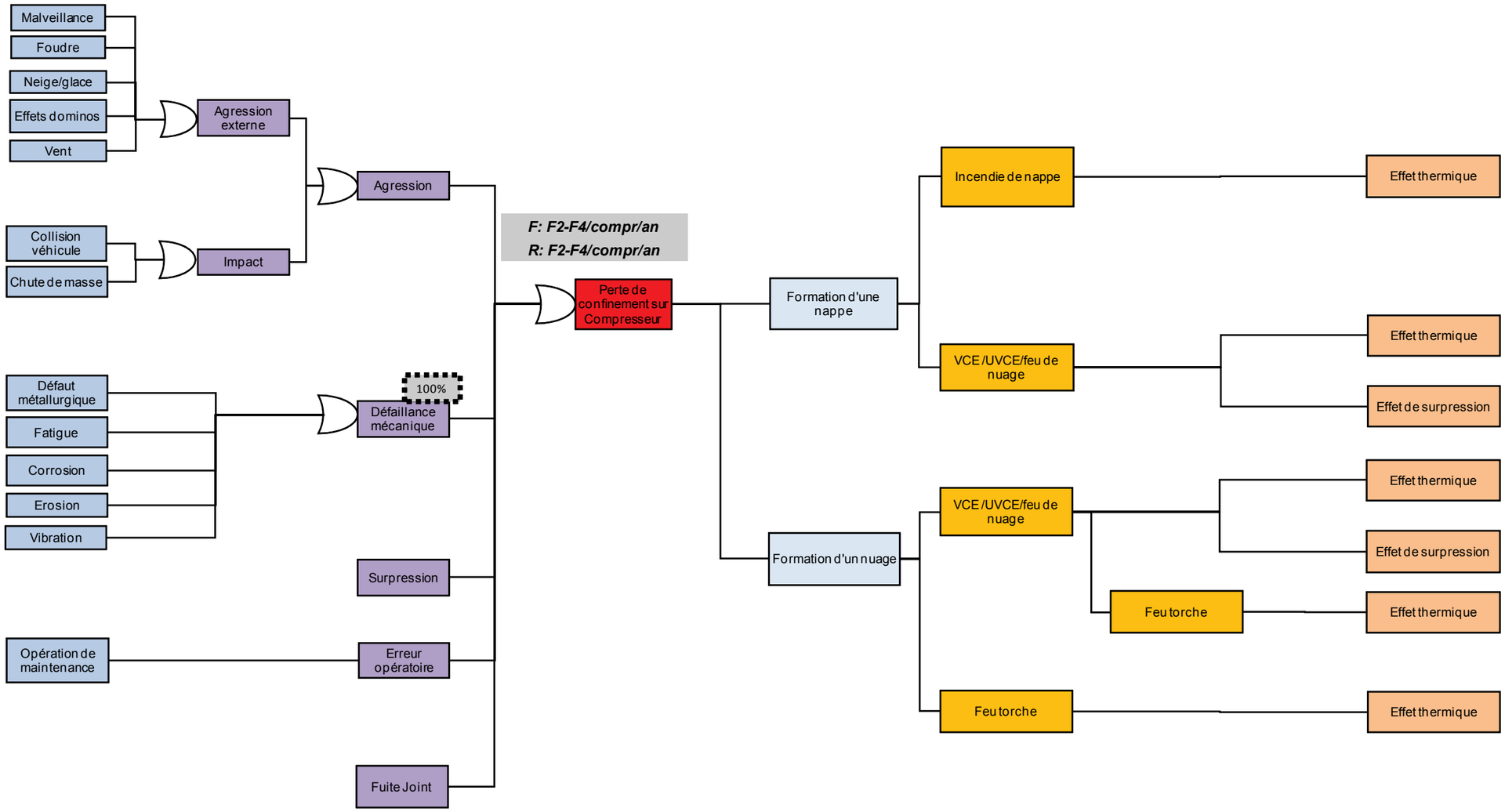
La cause principale de fuite de compresseur est la défaillance mécanique.

3.2.2 Nœud papillon n°8 – Perte de confinement sur pompe



La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

3.2.3 Nœud papillon n°9 – Perte de confinement sur compresseur



La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

4. BOUTEILLES

4.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT SUR LES BOUTEILLES

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

	Rupture	Fuite	Unités
Bouteille	F6	F6 – F7	/bouteille/an

Voir Annexe A, Chapitre 4

Deux sources de données proposent des fréquences de fuite de bouteille. Pour l'une d'entre elle, la fuite est définie comme celle de la connexion la plus large. Pour la seconde aucune définition précise n'a été trouvée.

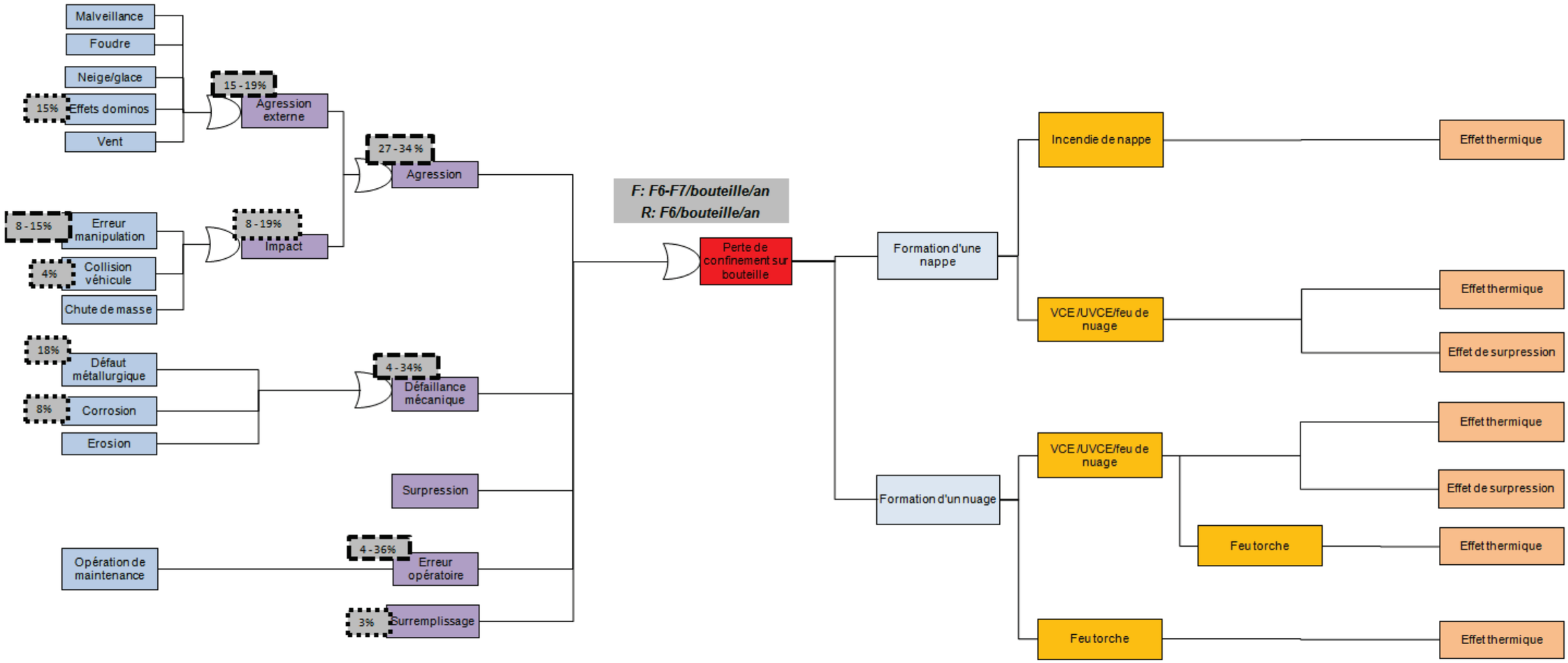
4.2 NŒUD PAPILLON

4.2.1 Commentaires

La cause principale de fuite sur des bouteilles est l'agression externe[11]. Les répartitions obtenues pour les erreurs opératoires et les défaillances mécaniques sont similaires.

[11] Bien que la valeur maximale soit identique pour 3 causes, la valeur minimale permet de les départager

4.2.2 Nœud papillon n°10 – Perte de confinement de bouteille



La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

5. POSTE DE CHARGEMENT/ DECHARGEMENT CITERNE MOBILE

5.1 FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT DE FLEXIBLES, DE BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT ET DE FUITE DE CITERNES

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

	Rupture	Fuite	Unités
Flexible	F5 – F7	F4 – F5	/h
Bras de chargement/ déchargement	F7 – F8	F6	/h
Citerne (camion/ wagon)	F5 – F6	F5 - F6	/poste/an

Voir Annexe A, Chapitres 3 et 6

5.2 NŒUD PAPILLON

5.2.1 Commentaires

Poste de chargement et déchargement camions

L'analyse des sources de données révèle que la fuite de bras de transfert reste la première cause d'un épandage au poste de chargement et déchargement (hors tuyauteries), la fuite d'une citerne la seconde.

Les premières causes de fuite de bras de transfert sont les défaillances mécaniques et le défaut de connexion.

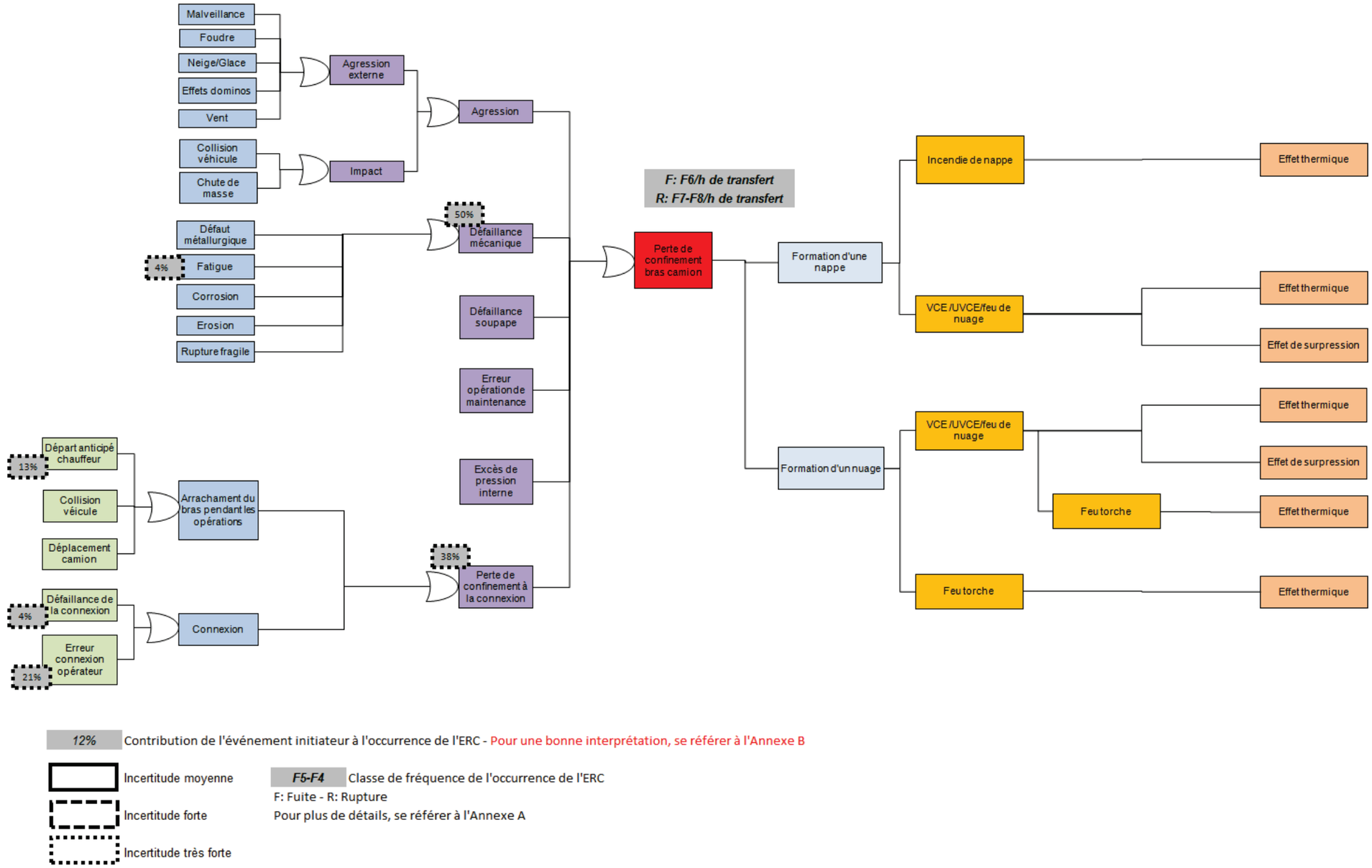
La totalité des BLEVE étudiés ont pour origine un effet domino.

Poste de chargement et déchargement wagons

L'analyse des sources de données révèle que la fuite sur le wagon est la première cause de fuite au poste de chargement/déchargement (hors tuyauterie) et la fuite de bras de transfert la seconde.

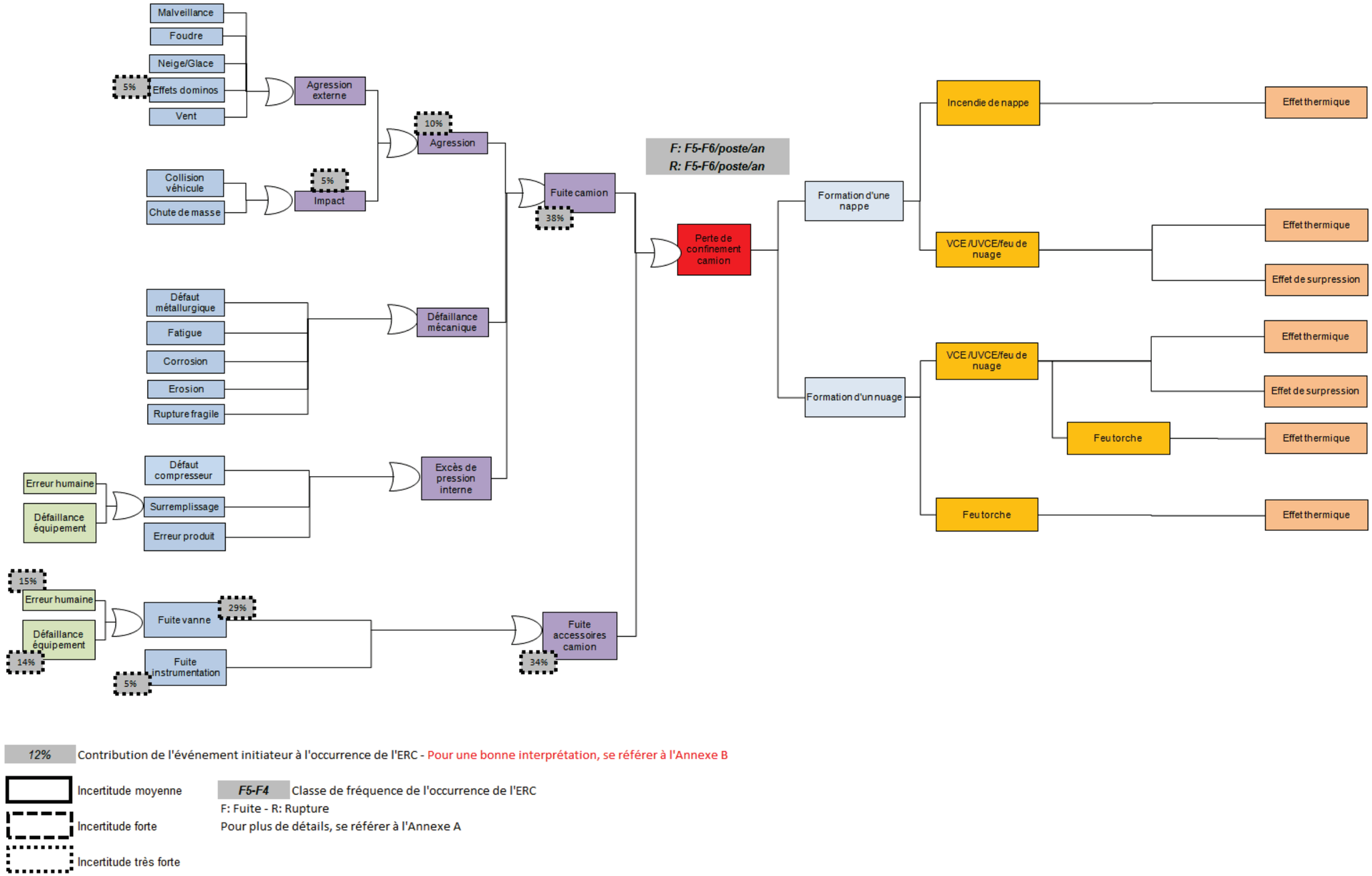
La totalité des BLEVE étudiés ont pour origine un effet domino.

5.2.2 Nœud papillon n°11 – Perte de confinement de bras au poste de chargement/déchargement camion



La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

5.2.3 Nœud papillon n°12 – Perte de confinement citerne au poste de chargement/déchargement camion



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

Incertitude moyenne

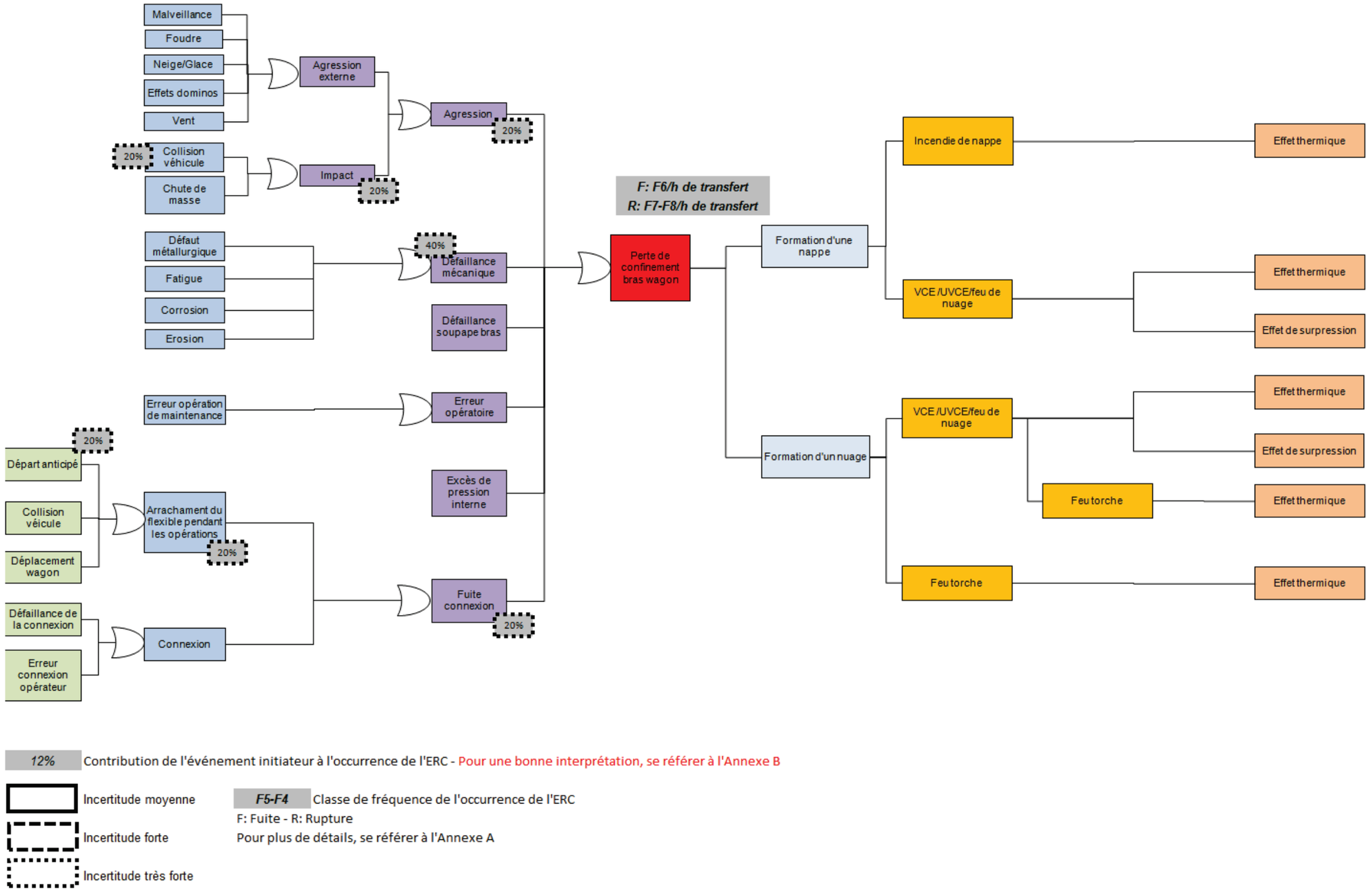
Incertitude forte

Incertitude très forte

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

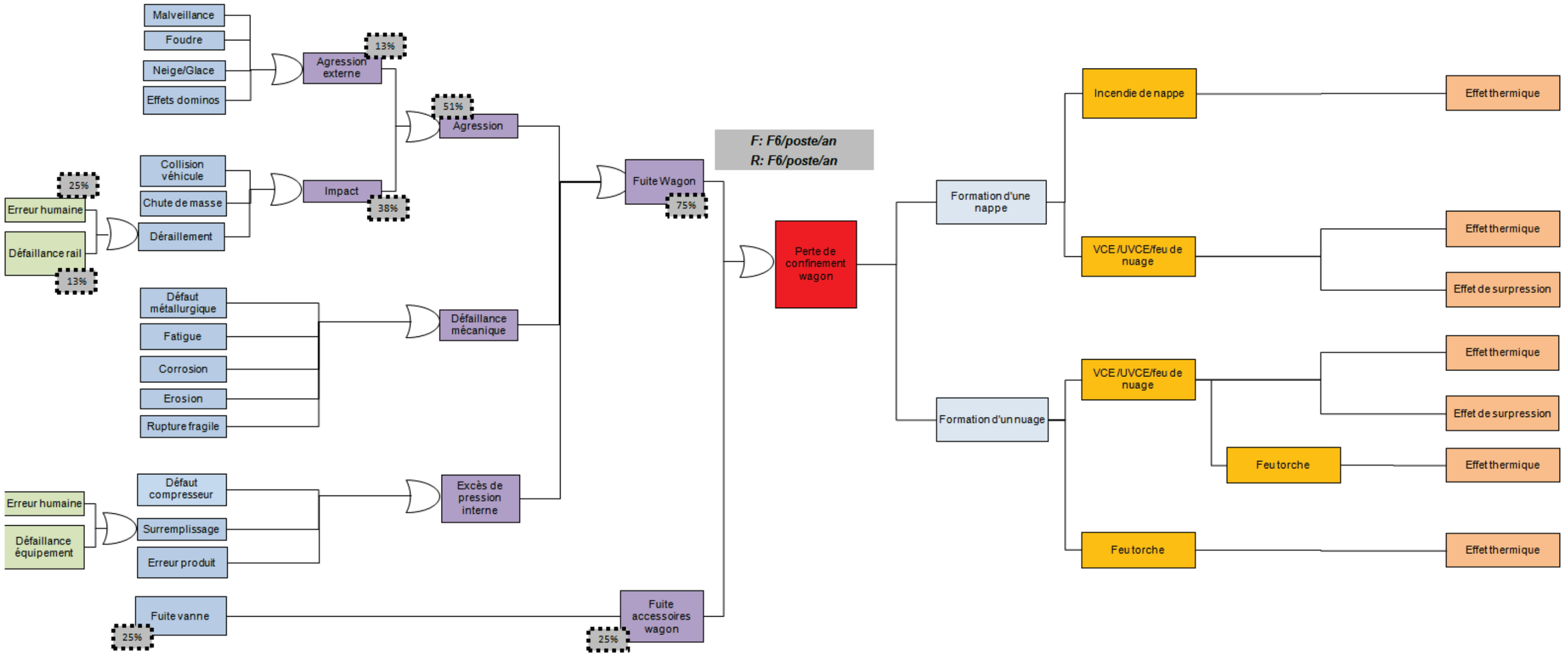
La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

5.2.4 Nœud papillon n°13 – Perte de confinement du bras au poste de chargement/déchargement wagon



La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

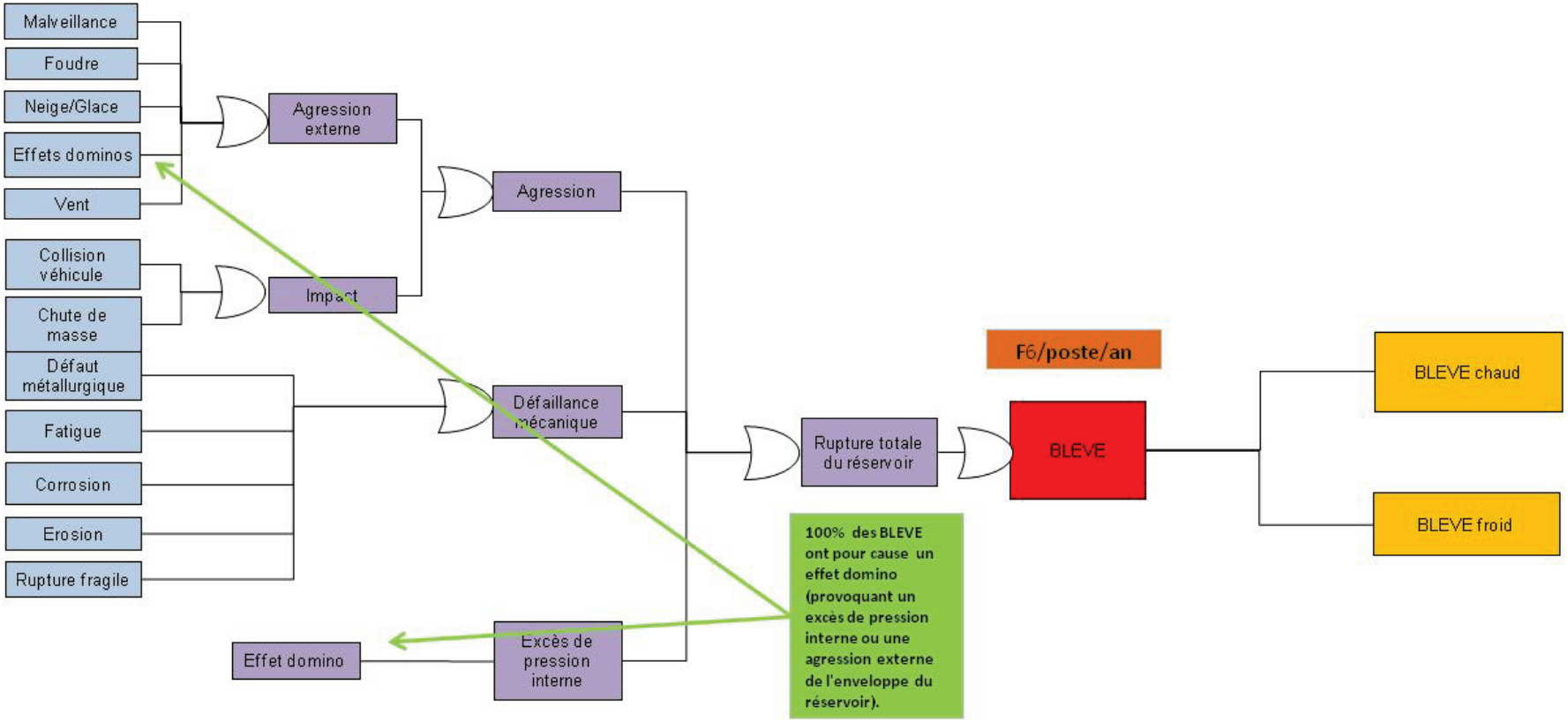
5.2.5 Nœud papillon n°14 – Perte de confinement de citerne au poste de chargement/déchargement wagon



La typologie des incertitudes est détaillée dans le Tableau 2.

5.2.6 Nœud papillon n°15 – BLEVE citerne mobile

Note : le cas du BLEVE est un cas particulier des pertes de confinement de réservoirs mobiles (camions et wagons). Il concerne la rupture instantanée des réservoirs.



6. LISTE INDICATIVE DE MESURES DE MAITRISE DES RISQUES

Le tableau ci-dessous, introduit dans le paragraphe 2.5 de la première partie de ce document, présente une liste **non-exhaustive et indicative** des mesures de maîtrise des risques pouvant être mises en place dans un dépôt de GPL.

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.

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 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 ([32]) et 20 ([33]).

Numéro	Fonction de sécurité	Mesure de maîtrise des risques	Nœuds papillon concernés
1	Prévenir l'excès de pression dans l'équipement	Soupapes de sécurité/soupapes de ligne	1, 12, 5, 8, 9
2	Prévenir l'excès de pression dans l'équipement	Détection pression haute et/ou très haute + transmission + arrêt des opérations et/ou mise en sécurité des installations et alarme	1, 8, 9
3	Prévenir l'excès de pression dans l'équipement	Soupapes	5
4	Prévenir le surremplissage du stockage	Niveaux haut (exemples: sonde optique ou à lame vibrante) + transmission + arrêt de l'approvisionnement du stockage et information aux opérateurs	1
5	Prévenir le surremplissage du stockage	Niveaux très haut (exemples: sonde optique ou à lame vibrante) + transmission + arrêt de l'approvisionnement du stockage, mise en sécurité des installations et alarme	1
6	Prévenir le surremplissage du stockage	Procedures de vérification des stockages de réception, de suivi de l'emplissage et de vérification du creux	1
7	Prévenir le surremplissage d'un véhicule	Procédure de contrôle des quantités dans le véhicule (exemple: pesée, niveaux)	12, 13
8	Protéger des agressions externes	Equipement enterré, semi-enterré ou coque béton	1, 5

Numéro	Fonction de sécurité	Mesure de maîtrise des risques	Nœuds papillon concernés
9	Protéger des flux thermiques	- Murs coupe-feux ; - écrans thermiques ; - rétention déportée ; - Détection (gaz (exemples: infrarouge, combustion catalytique), flamme (exemples:infrarouge, ultraviolets), thermo-sensible, fusibles ou opérateur et arrêt d'urgence) + transmission + mise en sécurité du site (fermeture des vannes, clapets de sécurité, arrêt des opérations de transfert, etc.) + mise en oeuvre des moyens d'intervention (lance fixes, moyens mobiles, déluge)	1, 5, 8, 9, 11, 13, 14, 15
10	Prévenir les impacts	Protection béton	1, 5, 8, 9
11	Prévenir les impacts de véhicules	Glissière de sécurité	1, 5, 8, 9, 11, 13
12	Prévenir les collisions de véhicules	Condamnation physique de la voie pendant les opérations de transferts (exemple: barrière ou aiguillage bloqué),	11, 13
13	Prévenir les collisions de wagons	Sabot dérailleur en amont d'un wagon en cours d'opération de transfert	13
14	Prévenir une fuite suite à un impact durant des travaux	Procédure liées aux travaux	1, 5, 8, 9, 11, 13
15	Prévenir les mouvements intempestifs d'un véhicule en poste	Cales	11, 13
16	Prévenir la rupture d'un bras de transfert	Boîtiers de rupture (exemples: "Emergency Release System" (ERS), "flip-flap")	11, 13
17	Prévenir une défaillance de connexion pendant les opérations de transferts	Procédures de test d'étanchéité	11, 13
18	Prévenir le départ anticipé du véhicule pendant les opérations de transfert	Procédures de déchargements/chargements	11
19	Prévenir les fuites lors des opérations d'échantillonage ou de purge sur le stockage	Procédures d'échantillonnage/de purges et conception des installations (dont robinets de sécurité avec système homme-mort, dispositifs anti-gel, etc.)	1
20	Prévenir la surchauffe	Détection température haute + transmission + arrêt et alarme	1,4
21	Limiter l'étendue d'un épandage	Cuvette de rétention	1
22	Isoler une fuite	Détection (gaz (exemples: infrarouge, combustion catalytique), flamme (exemples:infrarouge, ultraviolets), thermo-sensible, fusibles ou opérateur et arrêt d'urgence) + transmission + mise en sécurité du site (fermeture des vannes, clapets de sécurité, arrêt des opérations de transfert, etc.)	1, 5, 8, 9, 11, 12, 13

Tableau 5: Liste indicative de mesures de maîtrise des risques

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 rareté 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 dépôts de GPL. Il fournit des informations sur :

- les séquences accidentelles « types » ;
- les fréquences d'événements initiateurs ;
- les fréquences d'événements redoutés centraux ainsi que celles des BLEVE ;
- 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 risque 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 et quantitatifs 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 et de BLEVE.

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 »* [34] 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 de ce rapport 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 facteurs d'influence des fréquences d'événements initiateurs ;
- 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 fréquences d'événements redoutés centraux 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]	RIVM, Reference Manual BEVI Risk Assessments v3.2, 2009;
[2]	Flemish Government, LNE department, Handbook failure frequencies for drawing up a safety report, 2009;
[3]	HSE, Failure Rate and Event Data for use within Land Use Planning Risk Assessments, 2010;
[4]	Philips and Warwick, A survey of defects in pressure vessels built to high standards construction and its relevance to nuclear primary circuit envelopes, UKAEA AHSB(S) R162, 1969;
[5]	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;
[6]	F.P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, second ed., Butterworth-Heinemann, 1996.
[7]	International Association of Oil & Gas Producers (OGP), Risk Assessment Data Directory, Process release frequencies report No. 434-1, 2010;
[8]	International Association of Oil & Gas Producers (OGP), Risk Assessment Data Directory, Storage Incident frequencies No. 434-3, 2010;
[9]	TNO, A comparative analysis of the risks inherent in the storage, transshipment, transport and use of LPG and motor spririt, 1983;
[10]	K.W Blything and A.B Reeves (HSE), An initial Prediction of the BLEVE frequency of a 100 TE Butane storage vessel, 1988;
[11]	M. Selway (HSE), The predicted BLEVE frequency of a selected 2000 m3 butane sphere on a refinery site, 1988;
[12]	American Petroleum Institute (API), Risk based inspection (API 581), 2008;
[13]	ICSI : résumé des travaux du groupe de travail sur les fréquences des événements initiateurs d'accidents et disponibilité des barrières de protection et de prévention 2009 ;
[14]	Ang M.L., Cox AW, Lees F.P. Classification of hazardous locations, Inter-institutional Group on the Classification of Hazardous Locations (IIGCHL), 1990;
[15]	Center for chemical process safety (CCPS), Layer of protection analysis – Simplified Process Risk Assessment, 2001;
[16]	Groupe de Travail Dépôt de Liquides Inflammables (GTDLI), Guide dépôts de liquides inflammables – Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables (hors produits réchauffés, et hors stockages raffineries et usines pétrochimiques), version Septembre 2008 ;
[17]	A.B. Hardings (AEA Technology), BLEVE probability of an LPG road tanker during unloading, 1995;

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[18]	NW Hurst, JKW Davies, R Hankin, G Simpson , Failure rates for pipework – underlying causes 1994;
[19]	J.R. Taylor, Hazardous materials release and accident frequencies for process plant, 2004;
[20]	D.D Drysdale and G.J David, Hazard analysis for a storage sphere of pressurised liquefied flammable gas, Fire Safety Journal, Volume 2, Issue 2, February 1980, Pages 91–103
[21]	R.J. Batstone and D.T. Tomi, Hazard Analysis in Planning Industrial Developments, Loss Prevention, Volume 13, 1980, pp. 7-14
[22]	M Considine, G.C Grint, B.L Holden, Bulk Storage of LPG - Factors Affecting Offsite Risk, The Assessment of Major Hazards, The Institution of Chemical Engineers Symposium Series No. 71, 1982
[23]	U.S. Nuclear Regulatory Commission, Reactor Safetv Studv: An Assessment of Accident Risks in US. Commercial Nuclear Power Plants, WASH-1400 (NUREG-75/014) October 1975
[24]	S.H Bush, Reliability of piping in light water reactors, Nuclear Regulatory Commission, 1977
[25]	A.B. Reeves, F.C. Minah, and V.H.K. Chow, Quantitative Risk Assessment Methodology for LPG Installations, ERM, 1995
[26]	Gulf Oil, A review of Gulf and other data, 1978
[27]	T. J. Davenport, R. G. Warwick, A Further Survey of Pressure Vessel Failures in the UK (1983-1988), United Kingdom Atomic Energy Authority, Safety and Reliability Directorate, 1997
[28]	M. Marchal (IGC), Bouteilles à gaz, analyse statistique des accidents, 1985 ;
[29]	Bellamy, Geyer et Astley, Failures of pipework in incidents : direct causes , 1991;
[30]	N.W. Hurst (HSL), Immediate and underlying causes of vessel failures: implications for including management and organizational factors in quantified risk assessment, 1991
[31]	BARPI, ARIA, http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr;
[32]	Evaluation des barrières techniques de sécurité - Ω 10, N°DRA-08-95403-01561B, INERIS, 01/09/2008 Web: http://www.ineris.fr/centredoc/Omega_10_Evaluation_BTS_v2_0908_web.pdf
[33]	Démarche d'évaluation des barrières humaines - Ω 20, N°DRA-09-103041-06026B, INERIS, 21/09/2009 Web : http://www.ineris.fr/centredoc/omega-20-barrieres-humaines-v2-

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
	2009-web.pdf
[34]	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
[35]	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 – INERIS.

LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation précise	Nb pages
A	Fréquences de perte de confinement	56
B	Répartitions de causes	23
C	Informations relatives aux sources de données utilisées dans ce rapport	8
D	Evaluation des probabilités dans le cadre des études de dangers	10

ANNEXE A :
FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 5

1.1 Démarche suivie 5

1.2 Limites dans l'utilisation des données 5

2. RESERVOIRS 7

2.1 BLEVE 7

2.2 Rupture 8

2.3 Fuite 10

2.3.1 Fréquences 10

2.3.2 Tailles de brèches (si pertinent) 11

2.4 Synthèse des fréquences de perte de confinement 11

3. CITERNES MOBILES 13

3.1 BLEVE 13

3.2 Rupture 14

3.3 Fuite 15

3.3.1 Fréquences 15

3.3.2 Tailles de brèches (si pertinent) 16

3.4 Synthèse des fréquences de perte de confinement 16

4. BOUTEILLES 17

4.1 Explosion 17

4.2 Fuite 17

4.2.1 Fréquences 17

4.2.2 Tailles de brèches (si pertinent) 18

4.3 Synthèse des fréquences de perte de confinement 18

5. TUYAUTERIES 19

5.1 Tube 19

5.1.1 Rupture 19
5.1.2 Fuite 23
5.1.3 Synthèse des fréquences de perte de confinement 30
5.2 Brides et connections/instrumentation 31
5.2.1 Fréquences 31
5.2.2 Tailles de brèches des brides (si pertinent) 35
5.2.3 Synthèse des fréquences de perte de confinement sur brides 35
5.3 Vannes 36
5.3.1 Fréquences 36
5.3.2 Taille de brèche (si pertinent) 39
5.3.3 Synthèse des fréquences de perte de confinement 39
6. FLEXIBLE ET BRAS DE DECHARGEMENT 41
6.1 Rupture Flexible 41
6.2 Rupture Bras de chargement/déchargement 42
6.3 Fuite flexible 43
6.4 Fuite bras de chargement/déchargement 44
6.5 Synthèse des fréquences de perte de confinement 45
7. POMPES 47
7.1 Rupture 47
7.2 Fuites 48
7.2.1 Fréquences 48
7.2.2 Taille de brèche (si pertinent) 50
7.3 Synthèse 50
8. COMPRESSEURS 51
8.1 Rupture 51
8.2 Fuite 52
8.2.1 Fréquences 52

8.2.2 Taille de brèches (si pertinent)..... 54
8.3 Synthèse 54
9. REFERENCES..... 55

1. INTRODUCTION

1.1 DEMARCHE SUIVIE

Cette annexe présente les données sur les fréquences de perte de confinement des différents équipements des stockages de GPL qui ont été revues et utilisées dans le cadre de cette étude. Elles sont issues de l'exploitation de différentes sources de données et d'éléments de la littérature. L'annexe présente également des données sur les répartitions de taille de brèches.

Pour une meilleure comparaison des valeurs, les fréquences de fuite proposées sont des fréquences de fuite totales, c'est-à-dire que ce sont des fréquences qui regroupent toutes les tailles de brèches identifiées (exemple, le Reference BEVI Risk Assessment [1] propose des fréquences de fuites 10% et des ruptures pour les pertes de confinement des tuyauteries. Dans le cadre de cette étude la fuite totale retenue sera la somme de ces deux tailles de brèches). Néanmoins, les répartitions de ces fréquences de fuites totales en fonction de la taille de brèche sont présentées dans la sous-partie 2 de chaque partie. Ces répartitions sont données à titre indicatifs pour information et une bonne utilisation des données présentées ci-dessous. Dans ce processus les ruptures ont été distinguées des fréquences de fuites car il a été considéré que ces événements étaient d'une nature particulière.

Les différents équipements étudiés sont les suivants :

- Les réservoirs (chapitre 2) ;
- Les citernes mobiles (chapitre 3) ;
- Les bouteilles (chapitre 4) ;
- Les tuyauteries (chapitre 5) ;
- Les flexibles et bras de chargement/déchargement (chapitre 6) ;
- Les pompes (chapitre 7) ;
- Les compresseurs (chapitre 8).

Les fréquences de perte de confinement ont été sélectionnées en fonction de leur applicabilité au cas des stockages de GPL. Les références retenues sont celles qui concernent directement les installations traitant du GPL, les références génériques et les valeurs qui ont été utilisées pour construire des fréquences génériques.

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.

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 complémentaires[1] ont permis de mettre une 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. RESERVOIRS

Les modes de défaillances envisagés pour les réservoirs sont les suivants : le BLEVE, la rupture, la fuite.

2.1 BLEVE

Tableau 1: Fréquences de BLEVE de réservoirs

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Réservoir cylindrique	TNO - A comparative analysis of the risks inherent in the storage, transshipment, transport and use of LPG and motor spririt	1983	GPL	BLEVE		4.00E-07		/an et /réservoir
Réservoir sphérique	TNO - A comparative analysis of the risks inherent in the storage, transshipment, transport and use of LPG and motor spririt	1983	GPL	BLEVE		4.00E-07		/an et /réservoir
Capacité (100 transferts par an)	Blything et Reeves	1988	GPL	BLEVE	7.40E-07	7.80E-07	8.20E-07	/an et /réservoir
Capacité (10 transferts par an)	Blything et Reeves	1988	GPL	BLEVE	7.40E-07	7.35E-07	7.30E-07	/an et /réservoir
Capacité sous pression	Purple book	2005	Générique	BLE VE		2.45E-07		/an et /réservoir
Capacité sous pression aérienne de stockage	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	BLEVE		2.24E-07		/an et /réservoir
Capacité sous pression	API 581	2009	GPL	BLEVE		4.20E-07		/an et /réservoir
Capacité sous pression	Failure rate and event data for use within land use planning risk assessments	2010	GPL	BLEVE		1.20E-05		/an et /réservoir

2.2 RUPTURE

Tableau 2 : Fréquences de rupture de réservoirs

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unités
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Capacité sous pression	Philips and Warwick a survey of defects in pressure vessels built to high standards construction and its relevance to nuclear primary circuit envelopes	1968	Nucléaire	Défaillance catastrophique		4.20E-05		/an/réservoir
Capacité sous pression	COVO	1979	Générique	Défaillance catastrophique		1.00E-06		/an/réservoir
Capacité sous pression de stockage	Considine Grint and Holden	1982	GPL	Défaillance complète (rejet instantanée de 1500, 2250 or 3000 tonnes)		3.00E-06		/an/réservoir
Stockage atmosphérique réfrigéré	Considine Grint and Holden	1982	GPL	Défaillance complète (rejet instantanée de 1500, 2250 or 3000 tonnes)		5.00E-06		/an/réservoir
Capacité sous pression	Purple book	2005	Générique	Rupture		1.00E-06		/an/réservoir
Capacité aérienne sous pression	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Rupture		6.40E-07		/an/réservoir
Capacité de stockage sous pression	OGP Storage incident frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite >150 mm (catastrophique)		4.70E-07		/an/réservoir
Capacité de stockage sous pression – petits contenants	OGP Storage incident frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Catastrophique		1.00E-07		/an/réservoir

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unités
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Capacité aérienne sous pression de GPL < 5 tonnes	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	LPG <5 ton	Vidange en 10 minutes		1.00E-07		/an/réservoir
Capacité	Davenport	1991	GPL	BLEVE froid		2.00E-06		/an et /réservoir
Capacité	Reeves et al.	1995	GPL	BLEVE froid		1.80E-07		/an et /réservoir
Capacité sous pression	Failure rate and event data for use within land use planning risk assessments	2010	GPL	BLEVE froid		2.00E-06		/an et /réservoir

2.3 FUITE

2.3.1 Fréquences

Tableau 3 : Fréquences de fuite de réservoirs

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unités
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Capacité sous pression	COVO	1979	Générique	Fuite significative		1.00E-05		/an/réservoir
Capacité sous pression	Batstone and Tomi	1980	Générique	Fuite		1.00E-06		/an/réservoir
Capacité sous pression de stockage	Considine Grint and Holden	1982	GPL	Défaillance équivalente à une brèche de 152 mm/15te/min		7.00E-06		/an/réservoir
Capacité sous pression	Purple book/reference manual BEVI risk assessment	2005/2010	Générique	Rejet continue d'une brèche d'un diamètre de 10 mm		1.00E-05		/an/réservoir
Capacité sous pression	Failure Rate and Event Data for use within land use planning Risk Assessments	2004/2010	GPL	Fuite		2.00E-05		/an/réservoir
Capacité sous pression aérienne de stockage	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		1.42E-05		/an/réservoir
Vessel	Reeves et al.	1995	GPL	Brèche 25 mm		5.00E-06		/an/réservoir
Capacité sous pression de stockage	OGP Storage incident frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		4.64E-05		/an/réservoir

2.3.2 Tailles de brèches (si pertinent)

Tableau 4 : Répartition des fréquences de fuite par rapport à la taille de brèche

Type de brèche	% de la fréquence de fuite totale
Failure Rate and Event Data for use within land use planning Risk Assessments	
Brèche 50 mm	25%
Brèche 25 mm	25%
Brèche 13 mm	50%
Handboek Faalfrequenties 2009	
Brèche (connection la plus large)	8%
Brèche 25 mm	8%
Brèche 10 mm	85%
OGP Storage incident frequencies	
Brèche 150 mm	9%
Brèche 50 mm	15%
Brèche 10 mm	26%
Brèche 3 mm	50%

2.4 SYNTHESE DES FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT

Les valeurs présentées ci-dessus peuvent être synthétisées de la manière suivante:

Tableau 5 : Synthèse des fréquences de perte de confinement réservoir

	BLEVE	Rupture	Fuite	Unité
Capacité	F4 – F6	F4 – F6	F4 – F5	/capacité/an

3. CITERNES MOBILES

Les modes de défaillances envisagés pour les réservoirs sont les suivants : le BLEVE, la rupture, la fuite.

3.1 BLEVE

Tableau 6 : Fréquences de fuite de BLEVE de citernes mobiles

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
BLEVE camion-citerne gros porteur sur site de stockage	A.B Hardings - BLEVE probability of an LPG road tanker	1995	GPL	BLEVE	1.1E-08	5.84E-09	6.7E-10	Par opération, de transfert
Camion et wagon citerne sous pression	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	BLEVE		2.24E-07		/an
Camion et wagon citerne sous pression	Reference manual BEVI risk assessment	2010	Générique	BLEVE		2.00E-07		/an

3.2 RUPTURE

Tableau 7 : Fréquences de fuite de rupture de citernes mobiles

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Camion et wagon citerne sous pression	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Rupture		6.40E-06		Capacité/an
Camion citerne	Reeves et al.	1995	GPL	Rupture		1.80E-06		/an
Camion et wagon citerne sous pression	Reference manual BEVI risk assessment	2010	Générique	Rupture		5.00E-07		/an
Camion citerne	TNO - A comparative analysis of the risks inherent in the storage, transshipment, transport and use of LPG and motor spririt	1983	GPL	Rupture		1.32E-08		/véhicule-kilomètres
Wagon citerne	TNO - A comparative analysis of the risks inherent in the storage, transshipment, transport and use of LPG and motor spririt	1983	GPL	Rupture		4.2E-09		/véhicule-kilomètres

3.3 FUITE

3.3.1 Fréquences

Tableau 8 : Fréquences de fuite de citernes mobiles

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Camion et wagon citerne sous pression	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		1.42E-05		Capacité/an
Camion et wagon citerne sous pression	Reference manual BEVI risk assessment	2010	Générique	Vidange à partir de la connexion la plus large		5.00E-07		/an
Camion citerne	Reeves et al.	1995	GPL	Fuite (brèche 25 mm)		5.00E-06		/an
Camion citerne	TNO - A comparative analysis of the risks inherent in the storage, transshipment, transport and use of LPG and motor spririt	1983	GPL	Fuite (brèche 76 mm)		3.08E-08		/Véhicule-kilomètres
Wagon citerne	TNO - A comparative analysis of the risks inherent in the storage, transshipment, transport and use of LPG and motor spririt	1983	GPL	Fuite (brèche 76 mm)		9.80E-09		/Véhicule-kilomètres

3.3.2 Tailles de brèches (si pertinent)

Tableau 9 : Répartition des fréquences de fuite par rapport à la taille de brèche

Type de brèche	% de la fréquence de fuite totale
Handboek Faalfrequenties 2009	
Petite fuite (brèche 10 mm)	58.25%
Fuite moyenne (Brèche 25 mm)	5.34%
Large fuite (connection la plus large)	5.34%

3.4 SYNTHESE DES FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT

Les valeurs présentées ci-dessus peuvent être synthétisées de la manière suivante:

Tableau 10 : Synthèse des fréquences de perte de confinement de citernes mobiles

	BLEVE	Rupture	Fuite	Unité
Camion-citerne	F6	F5-F6	F5-F6	/an
		F5	F4	/capacité/an
		F7	F7	/Véhicule-kilomètres
	F8			/opération de transfert
Wagon citerne	F6	F6	F6	/an
		F5	F4	/capacité/an
		F8	F8	/Véhicule-kilomètres

Pour plus de simplicité, les fréquences retenues dans le guide sont des fréquences par an.

4. BOUTEILLES

Deux modes de défaillances ont été identifiés : l'explosion et la fuite.

4.1 EXPLOSION

Tableau 11 : Fréquence d'explosion de bouteilles

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unités
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Cylindre de gaz <150 litres	Handboek Faalfrequenties 2006	2006	Générique	Explosion		9.00E-07		/Cylindre/an

4.2 FUITE

4.2.1 Fréquences

Tableau 12 : Fréquences de fuite de bouteilles

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unités
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Cylindre de gaz <150 l	Handboek Faalfrequenties 2006	2006	Générique	Fuite (connection la plus large)		1.10E-06		/an/cylindre
Capacité sous pression de stockage - Petits contenants	OGP Storage incident frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		9.00E-07		/an/réservoir

4.2.2 Tailles de brèches (si pertinent)

Tableau 13 : Répartition des fréquences de fuite par rapport à la taille de brèche

Type de brèche	% de la fréquence de fuite totale
OGP storage incident frequencies	
Brèche 3mm	48.9%
Brèche 10 mm	51.1%

4.3 SYNTHESE DES FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT

Tableau 14 : Synthèse des fréquences de perte de confinement de citernes mobiles

	Explosion	Fuite	Unité
Bouteille	F6	F6 – F7	/capacité/an

5. TUYAUTERIES

Les fuites sur tuyauteries ont été découpées en fonction de leur localisation : sur le tube, les vannes et les brides et les connections/instrumentations.

5.1 TUBE

Deux modes de défaillances ont été traités : les ruptures et les fuites.

5.1.1 Rupture

Les données sont d'abord présentées dans leur totalité. Des regroupements sont ensuite proposés pour faciliter l'analyse.

Données brutes

Tableau 15 : Fréquence de rupture de tuyauterie

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Tuyauterie	Batstone and Tomi	1980	Générique	Rupture guillotine		4.00E-07		/m/an
Tuyauterie	Hurst Davies *et al*	1994	Générique	Guillotine		4.60E-07		/m/an
Tuyauterie 76 mm	Gulf	D'après Hawksley 1984	Générique	Rupture		2.74E-08		/m/an
Tuyauterie 254 mm	Gulf	D'après Hawksley 1984	Générique	Rupture		7.62E-05		/m/an
Tuyauterie 76 mm	Cremer and warner	D'après Hawksley 1984	Générique	Guillotine		9.14E-08		/m/an
Tuyauterie 254 mm	Cremer and warner	D'après Hawksley 1984	Générique	Guillotine		9.14E-09		/m/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Tuyauterie <76 mm	WASH 1400 Rasmussen report	1975	Nucléaire	Rupture	3.00E-11	1.00E-09	3.00E-08	/m/an
Tuyauterie > 76 mm	WASH 1400 Rasmussen report	1975	Nucléaire	Rupture	3.00E-12	1.00E-10	3.00E-09	/m/an
Tuyauterie 25 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	Générique	Rupture		1.00E-06		/m/an
Tuyauterie 50 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	Générique	Rupture		1.00E-06		/m/an
Tuyauterie 100 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	Générique	Rupture		3.00E-07		/m/an
Tuyauterie 300 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	Générique	Rupture		1.00E-07		/m/an
Tuyauterie	S.H Bush	1977	Nucléaire	Rupture		5.90E-05		/m/an
Tuyauterie <75mm	Purple book	2005	Générique	Rupture		1.00E-06		/m/an
tuyauterieline 75 mm< ou égal X <150 mm	Purple book	2005	Générique	Rupture		3.00E-07		/m/an
Tuyauterie >150 mm	Purple book	2005	Générique	Rupture		1.00E-07		/m/an
Tuyauterie	LOPA	2001	Générique	Rupture	1.00E-07	5.00E-07	1.00E-08	/m/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Tuyauterie 300 - 499	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Guillotine		7.00E-08		/m/an
Tuyauterie 500 - 1000	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Guillotine		4.00E-08		/m/an
Tuyauterie	Reeves et al.	1995	GPL	Guillotine		1.00E-06		/m/an
Tuyauterie 0 - 49	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Guillotine		1.00E-06		/m/an
Tuyauterie 50 - 149	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Guillotine		5.00E-07		/m/an
Tuyauterie 150 -299	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Guillotine		2.00E-07		/m/an
Tuyauterie 0 - 49 mm	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Rupture	2.20E-05	1.12E-05	4.49E-07	/m/an
Tuyauterie 50 - 149	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Rupture	4.40E-07	2.94E-07	1.48E-07	/m/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Tuyauterie 150 -299	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Rupture	1.47E-07	1.10E-07	7.36E-08	/m/an
Tuyauterie 300 - 499	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Rupture	7.33E-08	5.87E-08	4.41E-08	/m/an
Tuyauterie 500 - 1000	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Rupture	4.40E-08	3.30E-08	2.20E-08	/m/an

Analyse et regroupements

Tableau 16 : Regroupements et tri des données de fréquences de rupture de tuyauteries

	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	Handboek Faalfrequenties 2009	Reeves et al.	LOPA	Purple book	S.H Bush	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	Batstone and Tomi	Hurst Davies *et al*
Tuyauterie 0 - 49 mm	1.00E-06	1.12E-05	1.00E-06	5.00E-07	1.00E-06	5.90E-05	1.00E-06	4.00E-07	4.60E-07
Tuyauterie 50 - 149	5.00E-07	2.94E-07	1.00E-06	5.00E-07	3.00E-07	5.90E-05	6.50E-07	4.00E-07	4.60E-07
Tuyauterie 150 -299	2.00E-07	1.10E-07	1.00E-06	5.00E-07	1.00E-07	5.90E-05	1.00E-07	4.00E-07	4.60E-07
Tuyauterie 300 - 499	7.00E-08	5.87E-08	1.00E-06	5.00E-07	1.00E-07	5.90E-05	1.00E-07	4.00E-07	4.60E-07
Tuyauterie 500 - 1000	4.00E-08	3.30E-08	1.00E-06	5.00E-07	1.00E-07	5.90E-05	1.00E-07	4.00E-07	4.60E-07

5.1.2 Fuite

5.1.2.1 Fréquences

Données brutes

Les données sont d'abord présentées dans leur totalité. Des regroupements sont ensuite proposés pour faciliter l'analyse.

Tableau 17 : Fréquence de fuite de tuyauterie

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Tuyauterie	COVO	1979	Générique	Fréquence de défaillance		3.00E-07		m/an
Tuyauterie	Batstone and Tomi	1980	Générique	Fuite		5.55E-05		/m/an
Tuyauterie 76 mm	Gulf	D'après Hawksley 1984	Générique	Fuite		5.10E-07		/m/an
Tuyauterie 254 mm	Gulf	D'après Hawksley 1984	Générique	Fuite		1.47E-07		/m/an
Tuyauterie 76 mm	Cremer and warner	D'après Hawksley 1984	Générique	Fuite significative		9.00E-07		/m/an
Tuyauterie 152 mm	Cremer and warner	D'après Hawksley 1984	Générique	Fuite significative		3.00E-07		/m/an
Tuyauterie	Drysdale and David	1979/80	GPL	Crack		1.00E-04		/an/sphère
Ligne de vapeur sur capacité sous pression	Considine, Grint and Holden	1982	GPL	Fracture de 50 mm		3.00E-06		/m/an
Tuyauterie 152 mm	Considine, Grint and Holden	1982	GPL	Fuite significative		6.00E-06		/m/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Tuyauterie 50 mm	Considine, Grint and Holden	1982	GPL	Fuite significative		6.00E-05		/m/an
Tuyauterie 25 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	Générique	Fuite		1.10E-04		/m/an
Tuyauterie 50 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	Générique	Fuite		1.10E-04		/m/an
Tuyauterie 100 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	Générique	Fuite		3.60E-05		/m/an
Tuyauterie 300 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	Générique	Fuite		1.30E-05		/m/an
Tuyauterie <75mm	Purple book	2005	Générique	Fuite 10%		5.00E-06		/m/an
Tuyauterie 75 mm< ou égal X <150 mm	Purple book	2005	Générique	Fuite 10%		2.00E-06		/m/an
Tuyauterie >150 mm	Purple book	2005	Générique	Fuite 10%		5.00E-07		/m/an
Tuyauterie	LOPA	2001	Générique	Fuite 10%	1.00E-06	5.50E-05	1.00E-05	/m/an
Tuyauterie 0 - 49 mm	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Fuite		1.50E-05		/m/an
Tuyauterie 50 – 149	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Fuite		3.00E-06		/m/an
Tuyauterie 150 -299	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Fuite		2.10E-06		/m/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Tuyauterie 300 – 499	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Fuite		1.50E-06		/m/an
Tuyauterie 500 – 1000	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Fuite		1.20E-06		/m/an
Tuyauterie en acier 50 mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		7.90E-05		/m/an
Tuyauterie en acier 150 mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		3.78E-05		/m/an
Tuyauterie en acier 300mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		3.34E-05		/m/an
Tuyauterie en acier 450mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		3.34E-05		/m/an
Tuyauterie en acier 600mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		3.33E-05		/m/an
Tuyauterie en acier 900mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		3.32E-05		/m/an
Tuyauterie 25 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		1.10E-05		/m/an
Tuyauterie 50 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		9.00E-06		/m/an
Tuyauterie 100 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		5.00E-06		/m/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Tuyauterie 150 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		3.00E-06		/m/an
Tuyauterie 200 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		3.00E-06		/m/an
Tuyauterie 250 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		2.00E-06		/m/an
Tuyauterie 300 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		2.00E-06		/m/an
Tuyauterie 350 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		1.00E-06		/m/an
Tuyauterie 400 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		1.00E-06		/m/an
Tuyauterie 450 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		1.00E-06		/m/an
Tuyauterie 500 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		9.00E-07		/m/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Tuyauterie 600 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		8.00E-07		/m/an
Tuyauterie 900 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		5.00E-07		/m/an
Tuyauterie 1200 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		4.00E-07		/m/an
Tuyauterie 0 - 49 mm	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		2.30E-04		/m/an
Tuyauterie 50 – 149	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		6.01E-06		/m/an
Tuyauterie 150 -299	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		2.25E-06		/m/an
Tuyauterie 300 – 499	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		1.20E-06		/m/an
Tuyauterie 500 – 1000	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		6.75E-07		/m/an

Analyse et regroupements

Tableau 18 : Regroupements et tri des données de fréquences de fuite de tuyauteries

	Gulf	Cremer and warner	Purple book (y compris les vannes et les brides)	Batstone and Tomi	Considine, Grint and Holden	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang (y compris les brides)	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	OGP Process release frequencies	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	Handboek Faalfrequenties (y compris les vannes et les brides)
Tuyauterie 0 - 49 mm	X	X	5.00E-06	5.55E-05	X	X	1.50E-05	X	1.10E-05	2.30E-04
Tuyauterie 50 - 149	5.10E-07	9.00E-07	2.00E-06	5.55E-05	6.00E-05	1.10E-04	3.00E-06	7.90E-05	7.00E-06	5.64E-06
Tuyauterie 150 - 299		3.00E-07	5.00E-07	5.55E-05	6.00E-06	3.60E-05	2.10E-06	3.78E-05	2.67E-06	2.25E-06
Tuyauterie 300 - 499	1.47E-07	X	5.00E-07	5.55E-05	X	1.30E-05	1.50E-06	3.34E-05	1.25E-06	1.13E-06
Tuyauterie 500 - 1000	X	X	5.00E-07	5.55E-05	X	X	1.20E-06	3.33E-05	7.33E-07	6.33E-07

5.1.2.2 Taille de brèche (si pertinent)

Tableau 19 : Répartition des fréquences de fuite par rapport à la taille de brèche

Diamètre de tuyauterie (mm)	**% de la fréquence de fuite totale**				
Gulf	**Petite fuite**	**5%**	**20%**		
76 mm	58.8%	29,4%	11,8%		
254 mm	61,2%	26,5%	12,2%		
Cremer and Warner	50 mm	80 mm	100 mm		
Toutes tuyauteries	44%	33%	22%		
Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	**Fuite mineure**	**Fuite majeure**			
25 mm	90,9%	9,1%			
50 mm	90,9%	9,1%			
100 mm	83.3%	16.7%			
300 mm	76,9%	23,1%			
Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	**3 mm ou 4 mm si DN>149**	**25 mm**	**1/3 du diamètre**		
0 – 49 mm	66,7%	33,3%			
50 – 149 mm	66,7%	33,3%			
150 – 299 mm	47,6%	33,3%	9,52%		
300 - 499	53,3%	33,3%	13,3%		
500 - 1000	74,1%	18,5%	7,4%		
OGP Process release frequencies	**3 mm**	**10 mm**	**50 mm**	**150 mm**	**>150 mm**
50 mm	69,6%	21,52%	8,86%		
150 mm	68,8%	22,5%	7,1%	1,6%	
300 mm	68,8%	22,4%	7,2%	1,1%	0,5%
450 mm	68,8%	22,4%	7,2%	1,1%	0,5%
600 mm	69%	22,2%	7,2%	1,1%	0,5%
900 mm	69,2%	22,3%	6,9%	1,1%	0,5%
Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	**1% diamètre**	**1-5% diamètre**	**5 – 20 % diamètre**	**20 – 100% diamètre**	
Toutes tuyauteries	60%	25%	10%	5%	
Handboek Faalfrequenties	**10% diamètre**	**15% diamètre**	**36% diamètre**		
1-49 mm	62%	27%	11%		
50 – 149 mm	62%	27%	11%		
150 – 299 mm	62%	27%	11%		
300 – 499 mm	62%	27%	11%		
500 – 1000 mm	62%	27%	11%		

5.1.3 Synthèse des fréquences de perte de confinement

Tableau 20 : Synthèse des fréquences de perte de confinement de tuyauteries

Diamètre de la tuyauterie	Rupture (m/an)	Fuite (m/an)
Tuyauterie 0 - 49 mm	F4 – F6	F3 – F5
Tuyauterie 50 - 149	F4* – F6	F3 – F6
Tuyauterie 150 -299	F4* – F7	F4 – F6
Tuyauterie 300 - 499	F4* – F7	F4 – F6
Tuyauterie 500 - 1000	F4* – F7	F4 – F6

*pour les tuyauteries de diamètres 50 – 149 ; 150 – 299 ; 300 – 499 ; 500 – 1000 une seule source indique une classe de fréquence « F4 » (SH Bush) et aucune source indique une classe de fréquences « F5 ».

5.2 BRIDES ET CONNECTIONS/INSTRUMENTATION

Sont regroupés dans cette partie les données relatives aux brides, aux connections/instrumentations.

Les données sont d'abord présentées dans leur totalité. Des regroupements sont ensuite proposés pour faciliter l'analyse.

5.2.1 Fréquences

5.2.1.1 Brides

Données brutes

Tableau 21 : Fréquence de fuite des brides

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Raccords coudés, brides, Compenseurs de dilatation	WASH 1400 Rasmussen report	1975	Nucléaire	Fuite significative	1.00E-05	3.00E-07	1.00E-08	Equipement/heure
Bride	Considine, Grint and Holden	1982	GPL	Fuite significative		3.00E-04		Bride/an
Bride - Tuyauterie en acier 50 mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		3.76E-05		Bride-joint/an
Bride - Tuyauterie en acier 150 mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		5.30E-05		Bride-joint/an
Bride - Tuyauterie en acier 300mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		8.30E-05		Bride-joint/an
Bride - Tuyauterie en acier 450mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		1.16E-04		Bride-joint/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Bride - Tuyauterie en acier 600mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		1.50E-04		Bride-joint/an
Bride - Tuyauterie en acier 900mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		2.37E-04		Bride-joint/an
Bride	A.B Hardings - BLEVE probability of an LPG road tanker	1995	GPL	Fuite		5.00E-06		Bride/an
Bride 50 mm	Blything et Reeves	1988	GPL	Fuite		5.05E-06		Bride/an
Bride	Drysdale and David	1979/80	GPL	Fuite		4.00E-05		Bride/an
Brides 25 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		1.96E-05		/bride/an
Brides 50 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		2.44E-05		/bride/an
Brides 100 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		2.99E-05		/bride/an
Brides 150 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		3.55E-05		/bride/an
Brides 200 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		4.25E-05		/bride/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Brides 250 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		5.02E-05		/bride/an
Brides 300 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		5.96E-05		/bride/an
Brides 350 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		7.08E-05		/bride/an
Brides 400 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		8.37E-05		/bride/an
Brides 500 mm	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Hydrocarbures	Fuite		1.15E-04		/bride/an

Analyse et regroupements

Tableau 22 : Regroupements et tri des données de fréquences de fuite de brides

	Considine, Grint and Holden	OGP Process release frequencies	A.B Hardings - BLEVE probability of an LPG road tanker	Blything et Reeves	Drysdale and David	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables
Bride 0 - 49 mm	3.00E-04	X	5.00E-06	X	4.00E-05	1.96E-05
Bride 50 - 149	3.00E-04	3.76E-05	5.00E-06	5.05E-06	4.00E-05	2.72E-05
Bride 150 -299	3.00E-04	5.30E-05	5.00E-06	X	4.00E-05	4.27E-05
Bride 300 - 499	3.00E-04	9.95E-05	5.00E-06	X	4.00E-05	7.14E-05
Bride 500 - 1000	3.00E-04	1.94E-04	5.00E-06	X	4.00E-05	1.15E-04

5.2.1.2 Connections/instrumentation

Tableau 23 : Fréquences de fuite des connections et instrumentations

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Instrumentation sur ligne vapeur	Considine, Grint and Holden	1982	GPL	Fuite		5.00E-06		Equipement/an
Piquage	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	/	Rupture		5.00E-04		Piquage/an
Piquage	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	/	Fuite majeure		5.00E-03		Piquage/an
Fuite connection instrument Diamètre <25mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		2.73E-04		Instrument/an

5.2.2 Tailles de brèches des brides (si pertinent)

Tableau 24 : Répartition des fréquences de fuite par rapport à la taille de brèche

Diamètre de brides	% de la fréquence de fuite totale				
OGP Process release frequencies	3 mm	10 mm	50 mm	150 mm	>150 mm
50 mm	69,2%	20,2%	10,6%		
150 mm	69,8%	20,8%	5,7%	3,8%	
300 mm	71,1%	20,8%	5,7%	3,8%	
450 mm	71,4%	20,6%	5,7%	0,8%	1,6%
600 mm	71,5%	20,8%	5,7%	0,7%	1,2%
900 mm	71,7%	20,7%	5,9%	0,8%	0,9%

5.2.3 Synthèse des fréquences de perte de confinement sur brides

Tableau 25 : Synthèse des fréquences de perte de confinement de brides et connections/instrumentations

	Rupture (équipement/an)	Fuite (équipement/an)
Brides		F3 – F5
Connections/instrumentations	F3	F2 – F5

5.3 VANNES

Sont regroupés dans cette partie les données relatives aux vannes.

Les données sont d'abord présentées dans leur totalité. Des regroupements sont ensuite proposés pour faciliter l'analyse.

5.3.1 Fréquences

Données brutes

Tableau 26: Fréquences de fuite de vannes

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Vanne	Classification of hazardous locations	1990	/	Fuite		1.11E-03		/vanne/an
Vanne	Drysdale and David	1979/80	GPL	Défaillance du siège		3.00E-02		/vanne/an
Vanne	Failure Rate and Event Data for use within Land-Use planning Risk Assessments	2004	Générique	Vaporisation		2.00E-04		/vanne/an
Vanne manuelle 50 mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		3.76E-05		/vanne/an
Vanne manuelle 150 mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		5.01E-05		/vanne/an
Vanne manuelle 300mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		6.94E-05		/vanne/an
Vanne manuelle 450mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		8.54E-05		/vanne/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Vanne manuelle 600mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		9.93E-05		/vanne/an
Vanne manuelle 900mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		1.25E-04		/vanne/an
Vanne à actionneur 50 mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		3.43E-04		/vanne/an
Vanne à actionneur150 mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		3.14E-04		/vanne/an
Vanne à actionneur300mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		2.99E-04		/vanne/an
Vanne à actionneur450mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		2.85E-04		/vanne/an
Vanne à actionneur600mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		2.84E-04		/vanne/an
Vanne à actionneur900mm	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		2.70E-04		/vanne/an
Vanne	A.B Hardings - BLEVE probability of an LPG road tanker	1995	GPL	Fuite		5.00E-04		/vanne/an
Vanne	Blything et Reeves	1988	GPL	Petite fuite (d12,5 mm)		7.00E-04		/vanne/an

Analyse et regroupements :

Tableau 27 : Regroupements et tri des données de fréquences de fuite de vannes

	Classification of hazardous locations	Failure Rate and Event Data for use within Land-Use planning Risk Assessments	OGP Process release frequencies (vanne manuelle)	OGP Process release frequencies (vanne à actionneur)	A.B Hardings - BLEVE probability of an LPG road tanker	Blything et Reeves
Vanne 0 - 49 mm	1.11E-03	2.00E-04	X	X	5.00E-04	7.00E-04
Vanne 50 - 149	1.11E-03	2.00E-04	3.76E-05	3.43E-04	5.00E-04	7.00E-04
Vanne 150 -299	1.11E-03	2.00E-04	5.01E-05	3.14E-04	5.00E-04	7.00E-04
Vanne 300 - 499	1.11E-03	2.00E-04	7.74E-05	2.92E-04	5.00E-04	7.00E-04
Vanne 500 - 1000	1.11E-03	2.00E-04	1.12E-04	2.77E-04	5.00E-04	7.00E-04

5.3.2 Taille de brèche (si pertinent)

Tableau 28 : Répartition des fréquences de fuite par rapport à la taille de brèche

Diamètre de tuyauterie (mm)	**% de la fréquence de fuite totale**				
Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	**Fuite mineure**	**Fuite majeure**	**Rupture**		
Vanne	90,1%	9%	0,9%		
OGP process release frequencies – vanne manuelle	**3 mm**	**10 mm**	**50 mm**	**150 mm**	**>150 mm**
50 mm	66,5%	20,5%	13%		
150 mm	61,9%	24%	9,4%	4,8%	
300 mm	62%	24,5%	9,4%	1,7%	2,4%
450 mm	62,1%	24,6%	9,4%	1,8%	2,2%
600 mm	62,4%	24,2%	9,5%	1,8%	2,1%
900 mm	62,7%	24,1%	9,6%	1,8%	1,8%
OGP Process release frequencies – vanne à actionneur	**3 mm**	**10 mm**	**50 mm**	**150 mm**	**>150 mm**
50 mm	70%	21,3%	8,8%		
150 mm	70,2%	21,1%	6,1%	2,7%	
300 mm	70,1%	21%	6%	0,8%	2,1%
450 mm	70,1%	20,7%	6%	0,8%	2,1%
600 mm	70,4%	20,8%	6%	0,8%	2,1%
900 mm	70,3%	30,7%	6%	0,8%	2,2%
A.B Hardings - BLEVE probability of an LPG road tanker	**Petite fuite**	**Fuite moyenne**	**Large fuite**		
Vanne	25%	10%	5%		

5.3.3 Synthèse des fréquences de perte de confinement

Tableau 29 : Synthèse des fréquences de perte de confinement de vannes

	Fuite
Vanne	F2 – F4

6. FLEXIBLE ET BRAS DE DECHARGEMENT

Les données relatives aux flexibles et aux bras de chargement et déchargement sont regroupées dans cette partie. Les modes de défaillance distingués sont la rupture et la fuite.

Les répartitions de causes des accidents des postes de chargement et déchargement sont également présentées. Celles-ci regroupent l'analyse des pertes de confinement qui se sont produits sur les flexibles et les bras, mais aussi sur les citernes mobiles.

6.1 RUPTURE FLEXIBLE

Tableau 30 : Fréquences de rupture de flexibles

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Flexible	Purple book	2005	/	Rupture		4.00E-06		/heure
Flexible	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Guillotine	4.00E-05	4.00E-06	2.00E-07	/opération
Flexible	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	GPL	Rupture		5.40E-07		/heure
Flexible	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Rupture		4.00E-06		/heure
Flexible	Reeves et al.	1995	GPL	Guillotine		1.80E-07		/opération
Flexible	Reeves et al.	1995	GPL	Guillotine		9.00E-08		/heure

6.2 RUPTURE BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT

Tableau 31 : Fréquences de rupture des bras de chargement/déchargement

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Bras de chargement/déchargement	Purple book	2005	/	Rupture		3.00E-08		/heure
Bras de chargement/déchargement	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Rupture		3.00E-08		/heure
Bras de chargement/déchargement	Reeves et al.	1995	GPL	Guillotine		9.00E-09		/heure

6.3 FUITE FLEXIBLE

Tableau 32 : Fréquences de fuite de flexible

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Flexible	Purple book	2005	/	Fuite		4.00E-05		/heure
Flexible et connection	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique	Fuite	1.40E-05	1.02E-05	6.40E-06	/opération
Flexible	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		4.00E-05		/heure
Flexible	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	GPL	Fuite		5.40E-06		/heure

6.4 FUITE BRAS DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT

Tableau 33 : Fréquences de fuite de bras de chargement/déchargement

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Bras de chargement/déchargement	Purple book	2005	/	Fuite		3.00E-07		/heure
Bras de chargement/déchargement	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		3.00E-07		/heure

6.5 SYNTHESE DES FREQUENCES DE PERTE DE CONFINEMENT

Tableau 34 : Synthèse des fréquences de perte de confinement des flexibles et bras de chargement/déchargement

Equipement	Rupture	Fuite	Unité
Flexible	F5 – F7	F4 – F5	/heure d'opération
	F6	F4	/opération
Bras de chargement/déchargement	F7 – F8	F6	/heure d'opération

7. POMPES

Les modes de défaillance distingués sont la rupture et la fuite.

7.1 RUPTURE

Tableau 35 : Fréquences de rupture de pompe

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Pompe	Classification of hazardous locations	1990	Hydrocarbures	Rupture		3.00E-05		/pompe/an
Pompe centrifuge avec garniture	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Rupture		1.00E-04		/pompe/an
Pompe centrifuge sans garniture	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Rupture		1.00E-05		/pompe/an
Pompe alternative	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Rupture		1.00E-04		/pompe/an
Pompe alternative	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Rupture		1.00E-04		/pompe/an

7.2 FUITES

7.2.1 Fréquences

Tableau 36 : Fréquences de fuite de pompes

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Pompe	Classification of hazardous locations	1990	Hydrocarbures	Fuite		3.30E-03		/pompe/an
Joint de pompe	Considine, Grint and Holden	1982	GPL	Fuite significative (1kg/s)		5.00E-03		/joint/an
Pompe centrifuge sans garniture	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Fuite		5.00E-05		/pompe/an
Pompe centrifuge avec garniture	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Fuite		4.40E-03		/pompe/an
Pompe alternative	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Fuite		4.40E-03		/pompe/an
Pompe - joint unique	Failure Rate and Event Data for use within Land Use Planning Risk Assessments	2010	Générique	Fuite		5.30E-04		/pompe/an
Pompe - Joint double	Failure Rate and Event Data for use within Land Use Planning Risk Assessments	2010	Générique	Fuite		8.00E-05		/pompe/an
Pompe centrifuge avec garniture	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		4.40E-03		/pompe/an
Pompe centrifuge sans garniture	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		1.00E-04		/pompe/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Pompe alternative	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		4.40E-03		/pompe/an
Pompes centrifuges (tuyau d'aspiration entre 50 et 150 mm)	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		4.74E-03		/pompe/an
Pompes centrifuges (tuyau d'aspiration > 150 mm)	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		4.74E-03		/pompe/an
Pompes alternatives (tuyau d'aspiration entre 50 et 150 mm)	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		4.54E-03		/pompe/an
Pompe alternative (tuyau d'aspiration > 150 mm)	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		4.54E-03		/pompe/an
Pompe	A.B Hardings - BLEVE probability of an LPG road tanker	1995	GPL	Petite fuite		5.20E-04		/pompe/an

7.2.2 Taille de brèche (si pertinent)

Tableau 37 : Répartition des fréquences de fuite par rapport à la taille de brèche

Diamètre de tuyauterie (mm)	**% de la fréquence de fuite totale**				
Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	**Fuite mineure**	**Fuite majeure**			
Pompe	90,9%	9,1%			
Failure rate and event data for use within land use planning risk assessment	**Défaillance de la chambre**	**Vaporisation**			
Pompe – joint unique	5.66%	94,34%			
Pompe – double joint	37,5%	62,5%			
OGP process release frequencies	**3 mm**	**10 mm**	**50 mm**	**150 mm**	**>150 mm**
Pompe centrifuge tuyau d'aspiration entre 50 et 150 mm	71,7%	21,1%	6,1%	1,1%	
Pompe centrifuge tuyau d'aspiration > 150 mm	71,7%	21,1%	6,1%	0,8%	0,3%
Pompes alternatives (tuyau d'aspiration entre 50 et 150 mm)	46,3%	26,4%	16,3%	11%	
Pompe alternative (tuyau d'aspiration > 150 mm)	46,3%	26,4%	16,3%	5,1%	6%

7.3 SYNTHESE

Tableau 38 : Synthèse des fréquences de perte de confinement des pompes

	Rupture (Pompe/an)	**Fuite (pompe/an)**
Pompe	F3 – F4	F2 – F4

8. COMPRESSEURS

Les modes de défaillance distingués sont les ruptures et les fuites.

8.1 RUPTURE

Tableau 39 : Fréquences de rupture de compresseur

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Compresseur centrifuge sans garniture	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Rupture		1.00E-05		/compresseur/an
Compresseur centrifuge avec garniture	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Rupture		4.40E-03		/compresseur/an
Compresseur alternatif	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Rupture		1.00E-04		/compresseur/an
Compresseur alternatif	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Rupture		1.00E-04		/compresseur/an

8.2 FUITE

8.2.1 Fréquences

Tableau 40 : Fréquences de fuite de compresseur

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Compresseur centrifuge (tuyau d'aspiration entre 50 et 150 mm)	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		1.16E-03		/compresseur/an
Compresseur cenrifuge (tuyau d'aspiration > 150 mm)	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		1.16E-03		/compresseur/an
Compresseur alternatif (tuyau d'aspiration entre 50 et 150 mm)	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		3.55E-02		/compresseur/an
Compresseur alternatif (tuyau d'aspiration > 150 mm)	OGP Process release frequencies	2010	Hydrocarbures (offshore)	Fuite		3.55E-02		/compresseur/an
Compresseur centrifuge sans garniture	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Fuite		5.00E-05		/compresseur/an
Compresseur centrifuge avec garniture	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Fuite		4.40E-03		/compresseur/an
Compresseur alternatif	Reference manual BEVI risk assessment	2009	Hydrocarbures	Fuite		4.40E-03		/compresseur/an
Compresseur centrifuge sans garniture	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		1.00E-04		/compresseur/an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Unité
					Supérieure	Moyenne	Inférieure	
Compresseur centrifuge avec garniture	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		4.40E-03		/compresseur/an
Compresseur alternatif	Handboek Faalfrequenties 2009	2009	Générique	Fuite		4.40E-03		/compresseur/an

8.2.2 Taille de brèches (si pertinent)

Tableau 41 : Répartition des fréquences de fuite par rapport à la taille de brèche

Diamètre de tuyauterie (mm)	% de la fréquence de fuite totale				
OGP process release frequencies	**3 mm**	**10 mm**	**50 mm**	**150 mm**	**>150 mm**
Compresseurs centrifuge tuyau d'aspiration entre 50 et 150 mm	29,2%	58,5%	11,2%	1,1%	
Compresseurs centrifuge tuyau d'aspiration > 150 mm	29,3%	58,5%	11,2%	0,9%	0,2%
Compresseurs alternatifs (tuyau d'aspiration entre 50 et 150 mm)	67,6%	22,3%	7,3%	2,5%	
Compresseurs alternatifs (tuyau d'aspiration > 150 mm)	67,6%	22,3%	7,3%	1,1%	1,4%

8.3 SYNTHESE

Tableau 42 : Synthèse des fréquences de perte de confinement des compresseurs

	Rupture (Compresseur/an)	**Fuite (Compresseur/an)**
Compresseur	F2 – F4	F2 – F4

9. REFERENCES

[1] RIVM, Reference Manual BEVI Risk Assessments v3.2, 2009;

[2] Flemish Government, LNE department, Handbook failure frequencies for drawing up a safety report, 2009;

[3] HSE, Failure Rate and Event Data for use within Land Use Planning Risk Assessments, 2010;

[4] Philips and Warwick, A survey of defects in pressure vessels built to high standards construction and its relevance to nuclear primary circuit envelopes, UKAEA AHSB(S) R162, 1969;

[5] 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;

[6] F.P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, second ed., Butterworth-Heinemann, 1996;

[7] International Association of Oil & Gas Producers (OGP), Risk Assessment Data Directory, Process release frequencies report No. 434-1, 2010;

[8] International Association of Oil & Gas Producers (OGP), Risk Assessment Data Directory, Storage Incident frequencies No. 434-3, 2010;

[9] TNO, A comparative analysis of the risks inherent in the storage, transshipment, transport and use of LPG and motor spririt, 1983;

[10] K.W Blything and A.B Reeves (HSE), An initial Prediction of the BLEVE frequency of a 100 TE Butane storage vessel, 1988;

[11] M. Selway (HSE), The predicted BLEVE frequency of a selected 2000 m^3 butane sphere on a refinery site, 1988;

[12] American Petroleum Institute (API), Risk based inspection (API 581), 2008;

[13] ICSI : résumé des travaux du groupe de travail sur les fréquences des événements initiateurs d'accidents et disponibilité des barrières de protection et de prévention 2009 ;

[14] Ang M.L., Cox AW, Lees F.P. Classification of hazardous locations, Inter-institutional Group on the Classification of Hazardous Locations (IIGCHL), 1990;

[15] Center for chemical process safety (CCPS), Layer of protection analysis – Simplified Process Risk Assessment, 2001;

[16] Groupe de Travail Dépôt de Liquides Inflammables (GTDLI), Guide dépôts de liquides inflammables – Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables (hors produits réchauffés, et hors stockages raffineries et usines pétrochimiques), version Septembre 2008 ;

[17] A.B. Hardings (AEA Technology), BLEVE probability of an LPG road tanker during unloading, 1995;

[18] NW Hurst, JKW Davies, R Hankin, G Simpson , Failure rates for pipework – underlying causes 1994;

[19] J.R. Taylor, Hazardous materials release and accident frequencies for process plant, 2004;

[20] D.D Drysdale and G.J David, Hazard analysis for a storage sphere of pressurised liquefied flammable gas, Fire Safety Journal, Volume 2, Issue 2, February 1980, pp. 91-103;

[21] R.J. Batstone and D.T. Tomi, Hazard Analysis in Planning Industrial Developments, Loss Prevention, Volume 13, 1980, pp. 7-14;

[22] M Considine, G.C Grint, B.L Holden, Bulk Storage of LPG - Factors Affecting Offsite Risk, The Assessment of Major Hazards, The Institution of Chemical Engineers Symposium Series No. 71, 1982

[23] U.S. Nuclear Regulatory Commission, Reactor Safetv Studv: An Assessment of Accident Risks in US. Commercial Nuclear Power Plants, WASH-1400 (NUREG-75/014) October 1975;

[24] S.H Bush, Reliability of piping in light water reactors, Nuclear Regulatory Commission, 1977;

[25] A.B. Reeves, F.C. Minah, and V.H.K. Chow, Quantitative Risk Assessment Methodology for LPG Installations, ERM, 1995;

[26] Gulf Oil, A review of Gulf and other data, 1978;

[27] T. J. Davenport, R. G. Warwick, A Further Survey of Pressure Vessel Failures in the UK (1983-1988), United Kingdom Atomic Energy Authority, Safety and Reliability Directorate, 1997.

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. FREQUENCES D'EVENEMENTS INITIATEURS 5

2.1 Fréquences d'erreurs opératoires 5

2.2 Autres fréquences pour les tuyauteries 6

2.3 Autres fréquences pour les postes de chargement/déchargement 6

3. RESERVOIRS SOUS PRESSION ET LEURS EQUIPEMENTS 7

3.1 Généralités 7

3.2 Défaillances sur les réservoirs sous pression 8

3.3 Défaillances sur les vannes de réservoirs 9

3.4 Piquages 10

4. TUYAUTERIES 11

4.1 Généralités 11

4.2 Défaillances sur les tubes 12

4.3 Défaillances sur les vannes de tuyauteries 14

4.4 Défaillances sur les brides 14

5. POMPES ET COMPRESSEURS 15

5.1 Pompes 15

5.2 Compresseurs 15

6. BOUTEILLES 17

7. CHARGEMENT / DECHARGEMENT CAMIONS 19

7.1 Bras 19

7.2 Citerne 20

8. CHARGEMENT / DECHARGEMENT WAGONS 21

8.1 Bras 21

8.2 Citernes 22

9. REFERENCES 23

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 :

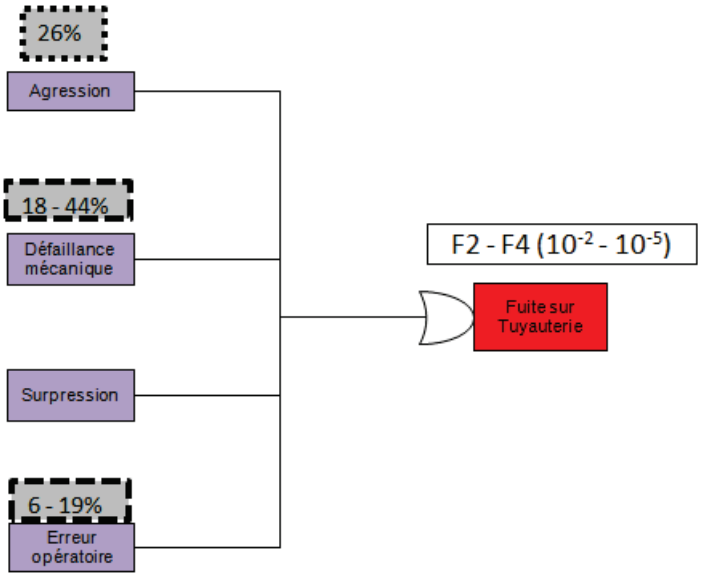
- une analyse des accidents répertoriés dans la base ARIA sur les stockages de GPL de 1970 à nos jours ;
- une analyse des accidents répertoriés dans la base MHIDAS sur les stockages de gaz de pétrole liquéfié de 1970 à 2005 ;

  Lors de ces analyses 208 accidents au total ont été analysés selon la classification des causes proposée par MHIDAS.
- des répartitions de causes issues de différentes sources dans 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 des données détaillées sur les répartitions de causes de pertes de confinement des différents équipements des dépôts de GPL 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 arrondies présentées dans les nœuds papillon. Dans le but de rendre les données cohérentes avec ces classifications, des interprétations ont été réalisées à partir des descriptions des accidents.

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 :



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 complémentaires[1] ont permis de mettre une 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. FREQUENCES D'EVENEMENTS INITIATEURS

Avant de présenter des répartitions de causes associées à différents scénarios de pertes de confinement, il est intéressant de noter que certaines bases de données ou articles issus de la littérature spécialisée fournissent des valeurs de fréquences d'occurrence de différents événements initiateurs identifiés dans les nœuds papillons. Ces valeurs sont reprises dans les tableaux suivants.

Les limites évoquées au paragraphe précédent sont ici valables. En particulier, ces données sont à considérer comme représentatives d'un état de l'art moyen de la sécurité, sans précision sur les standards et normes sur lesquels elles reposent. Leur domaine d'applicabilité est donc à définir avec précaution.

2.1 FREQUENCES D'ERREURS OPERATOIRES

Type d'opération/erreur	Installation concernée	Fréquence d'occurrence	Source
Maintenance	Réservoir, vannes, piquage, tuyauteries, brides, pompes, bouteilles, flexibles/bras	3E-01 - 6E-06/op	JC William
	Tuyauteries	1E-04/an	GPL Drysdale and Davis
Drainage	Réservoir	1E-04/an	GPL Drysdale and Davis
		7E-05/an	GPL Blything and Reeves
Echantillonnage	Réservoir	1E-04/an	GPL Drysdale and Davis
		1E-04/op	GPL Considine Grint and Holden
Purge	Réservoir, tuyauteries	3E-01 - 6E-06/op	JC William
Surremplissage	Réservoir, citerne	2E-02/op	GPL Reeves et al.
Vanne laissée ouverte	Vannes, brides	Manuelle: 1E-04/op ROSOV: 3E-02/op	FRED
Départ anticipé du chauffeur (camion/wagon)	Flexibles/bras charg./décharg.	1.3E-06 /op	GPL A.B Hardings
		4E-06/op (camion)	GPL Reeves et al.
Erreur de connexion (camion/wagon)		6E-04/op	GPL A.B Hardings
		3.2E-05/op (camion)	GPL Reeves et al.

2.2 AUTRES FREQUENCES POUR LES TUYAUTERIES

/an	Fréquence d'occurrence	Source
Collision véhicule	1E-05	GPL Drysdale and Davis
Fatigue	1E-02	
Corrosion	1E-04	
Rupture fragile	1E-05	
Coups de bélier	1E-07	

2.3 AUTRES FREQUENCES POUR LES POSTES DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT

(fuite flexible/bras)

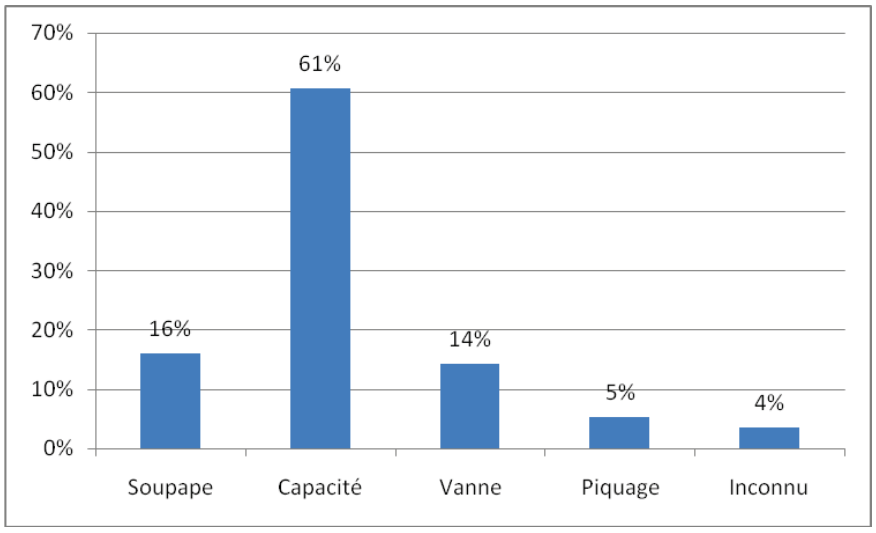
/op	Fréquence d'occurrence	Source
Collision véhicule	1.3E-06	GPL A.B Hardings
	1E-08 (camion)	Reeves et al.
Déplacement du camion/wagon	1.3E-06	GPL A.B Hardings
Défaillance de la connexion (camion/wagon)	6E-04	

3. RESERVOIRS SOUS PRESSION ET LEURS EQUIPEMENTS

3.1 GENERALITES

Le graphique ci-après montre la répartition des causes de fuites sur les stockages en fonction des équipements qui y sont attachés.

Figure 1 : Répartition des accidents sur capacités par type d'équipement (en % du nombre d'accidents)

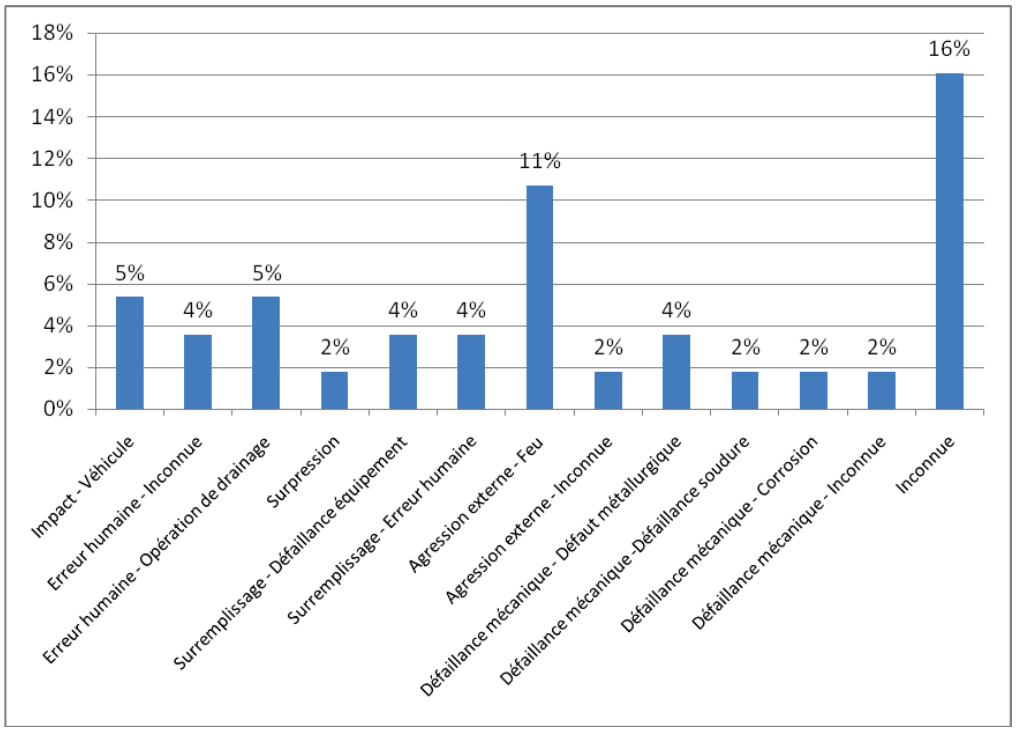


Sources : ARIA, MHIDAS

3.2 DEFAILLANCES SUR LES RESERVOIRS SOUS PRESSION

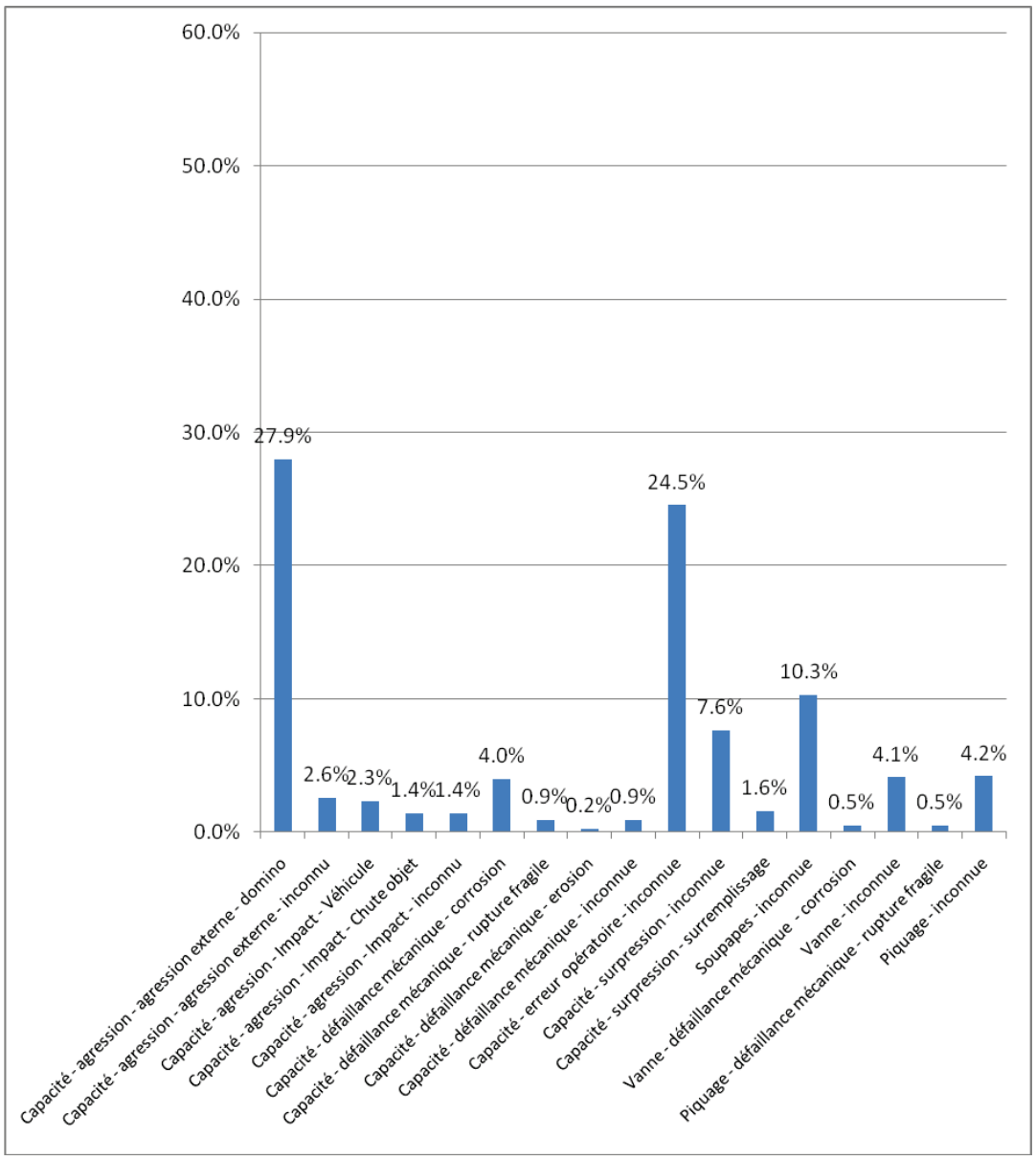
Nœud papillon correspondant : NP1

Figure 2: Répartition des accidents sur les capacités – défaillance capacité (en % du nombre d'accidents)



Sources : ARIA, MHIDAS

Figure 3 : Répartition des accidents sur capacités selon N.W Hurst (en % du nombre d'accidents)

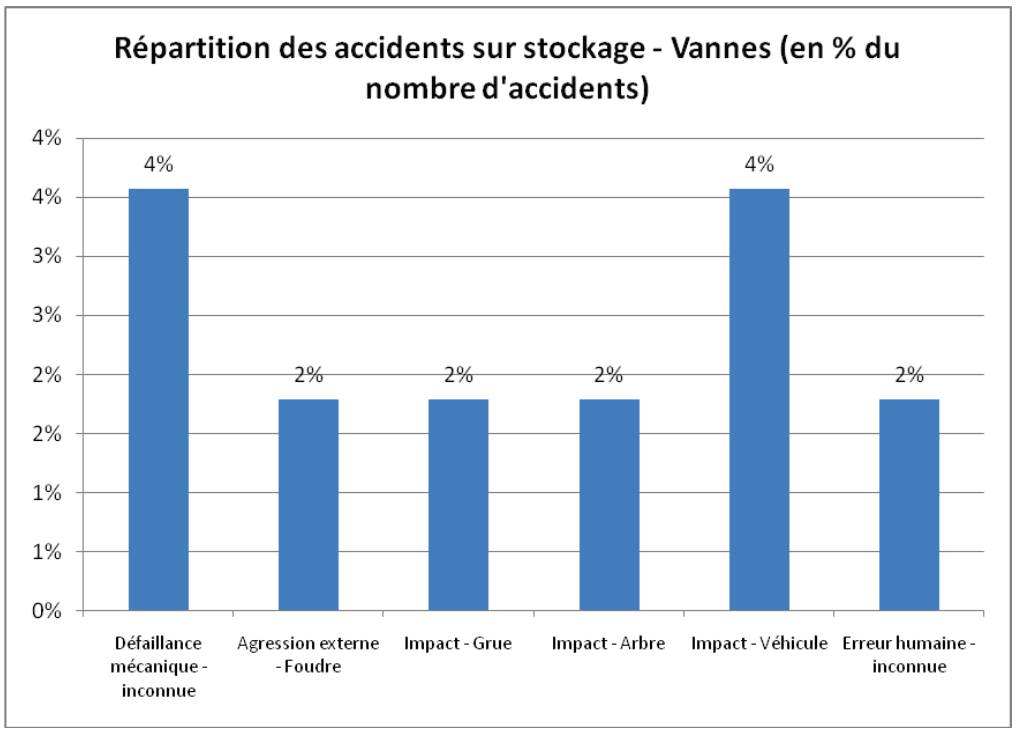


Sources : N.W Hurst, 1991

3.3 DEFAILLANCES SUR LES VANNES DE RESERVOIRS

Nœud papillon correspondant : NP2

Figure 4 : Répartition des accidents sur les capacités - défaillance vanne (en % du nombre d'accidents)

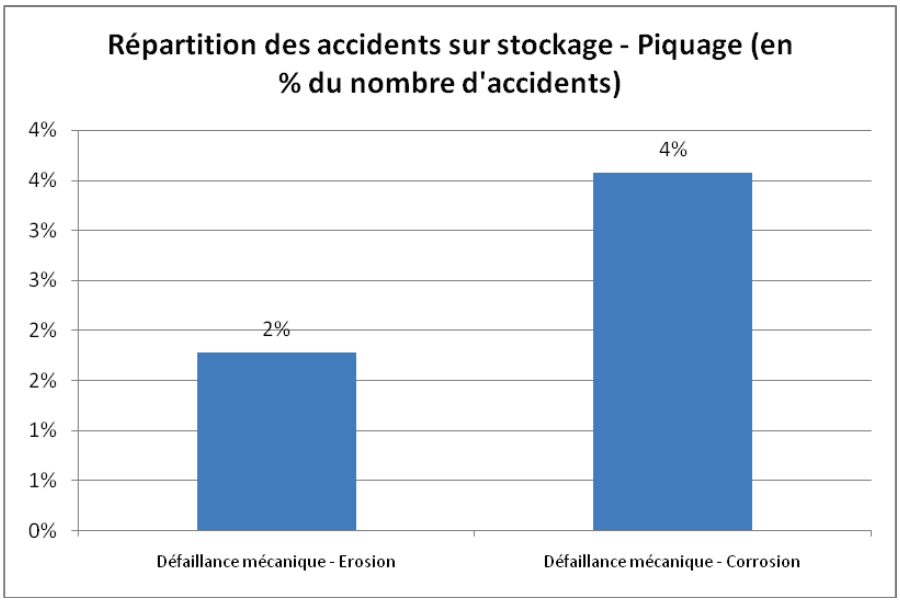


Sources : ARIA, MHIDAS

3.4 PIQUAGES

Nœud papillon correspondant : NP3

Figure 5 : Répartition des accidents sur les capacités - défaillance piquage (en % du nombre d'accidents)

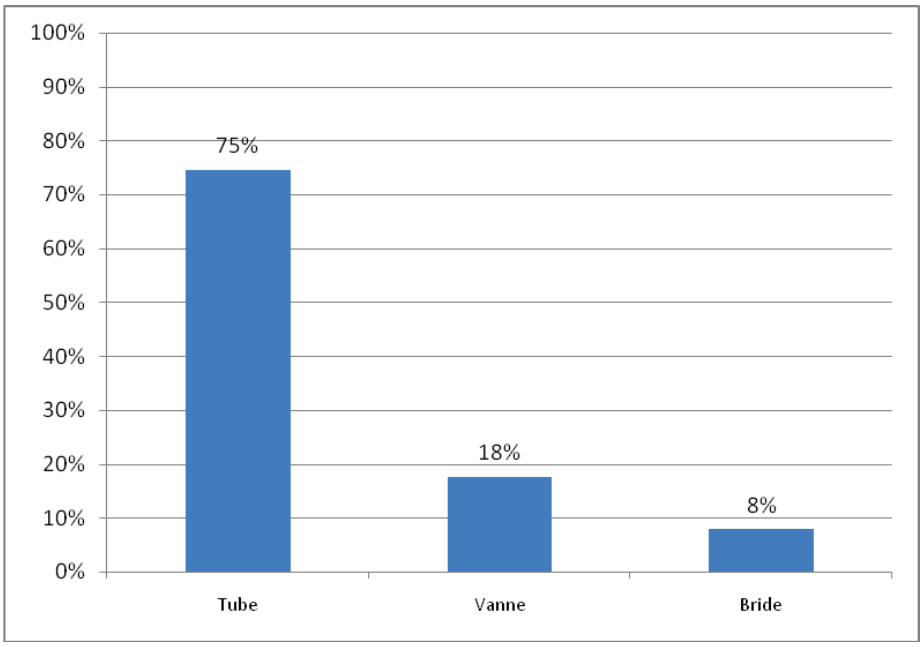


Sources : ARIA, MHIDAS

4. TUYAUTERIES

4.1 GENERALITES

Figure 6 : Répartition des accidents sur les tuyauteries (en % du nombre d'accidents)

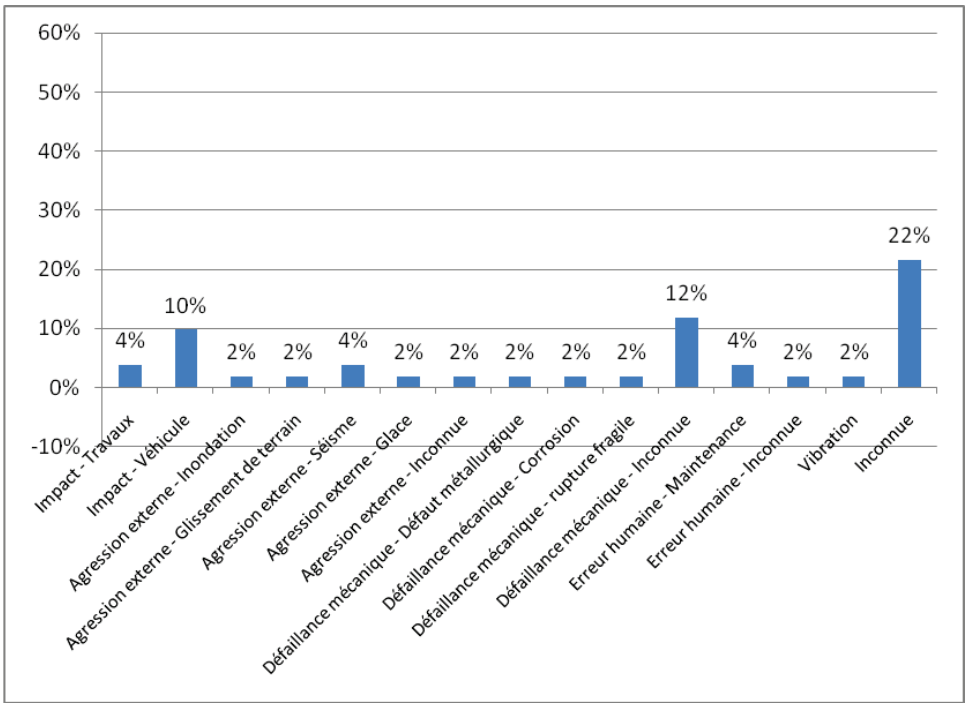


Sources : ARIA, MHIDAS

4.2 DEFAILLANCES SUR LES TUBES

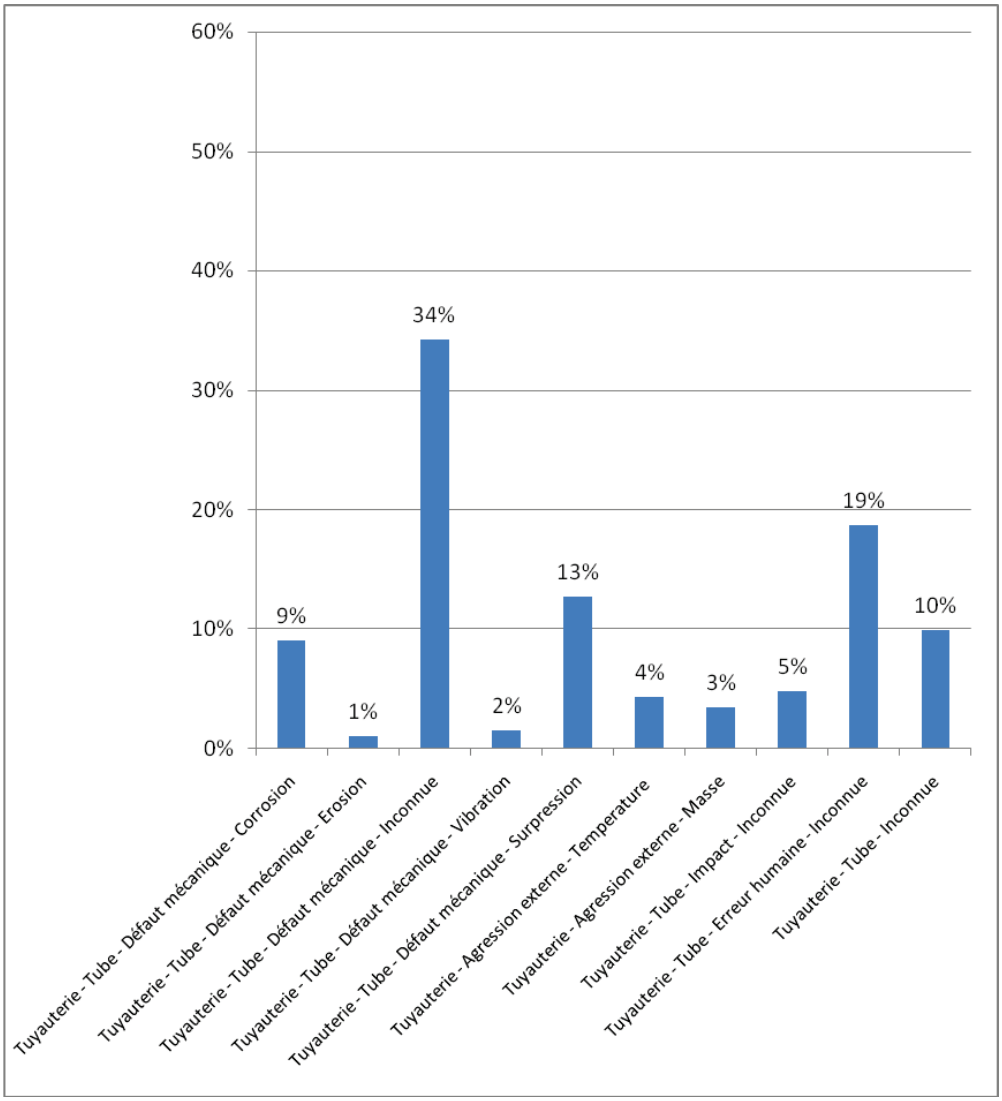
Nœud papillon correspondant : NP5

Figure 7 : Répartition des accidents sur les tuyauteries - tube (en % du nombre d'accidents)



Sources : ARIA, MHIDAS

Figure 8: Répartition des accidents sur les tuyauteries - tube (en % du nombre d'accidents)

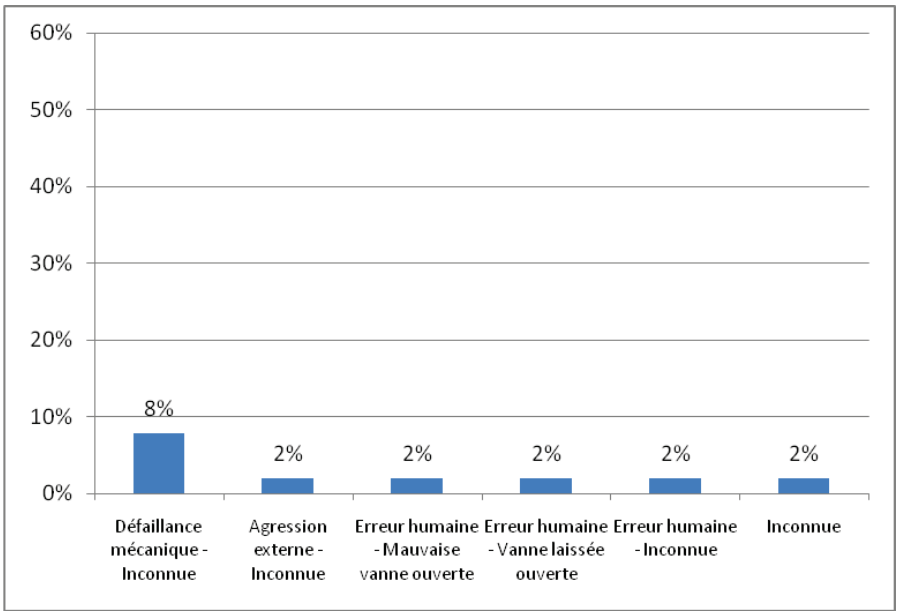


Source : Bellamy, 1991

4.3 DEFAILLANCES SUR LES VANNES DE TUYAUTERIES

Nœud papillon correspondant : NP6

Figure 9 : Répartition des accidents sur les tuyauteries - vannes (en % du nombre d'accidents)



Sources : ARIA, MHIDAS

4.4 DEFAILLANCES SUR LES BRIDES

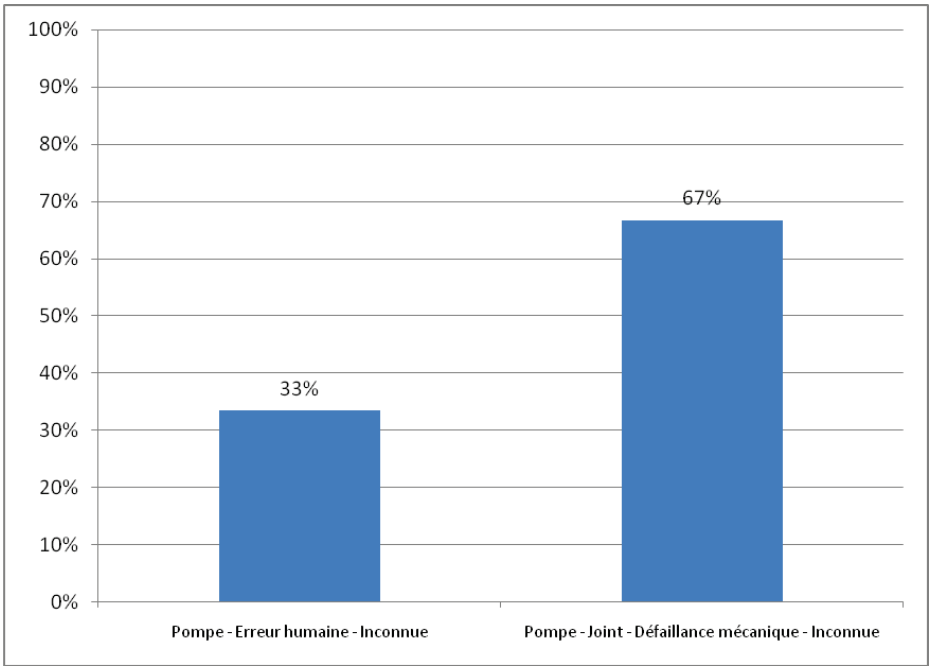
Nœud papillon correspondant : NP7

5. POMPES ET COMPRESSEURS

5.1 POMPES

Nœud papillon correspondant : NP8

Figure 10 : Répartition des accidents sur les pompes (en % du nombre d'accidents)

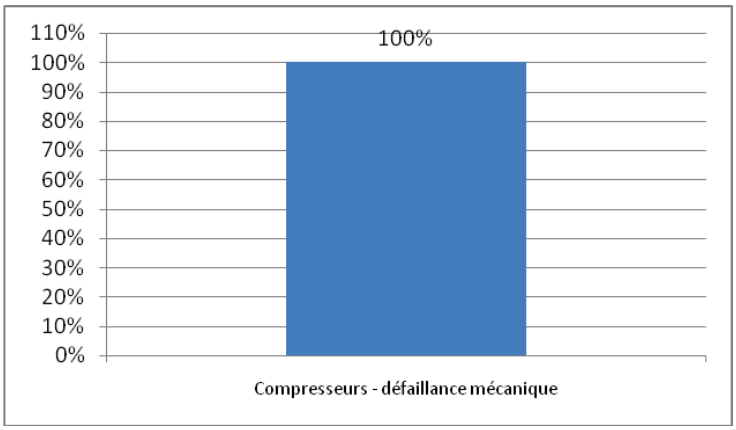


Sources : ARIA, MHIDAS

5.2 COMPRESSEURS

Nœud papillon correspondant : NP9

Figure 11 : Répartition des accidents sur les compresseurs (en % du nombre d'accidents)

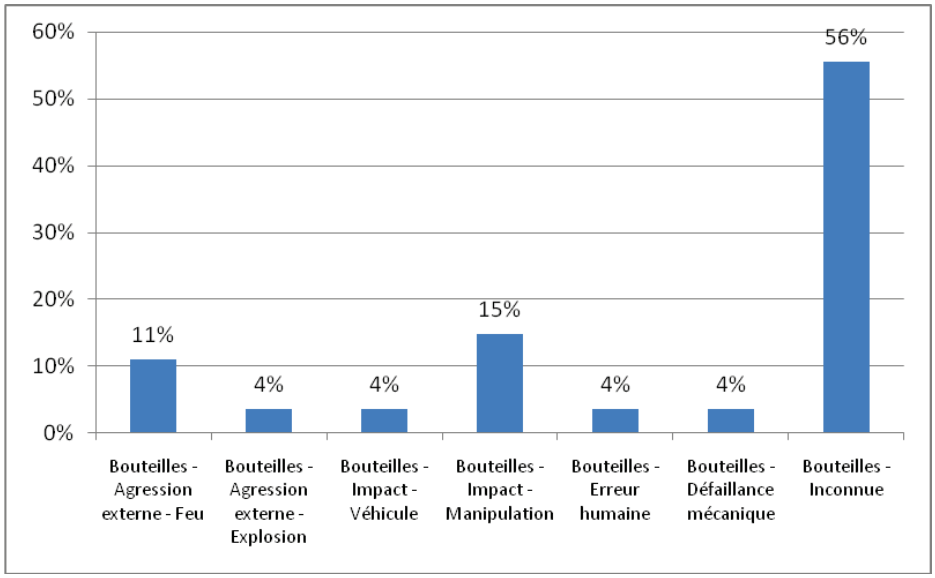


Sources : ARIA, MHIDAS

6. BOUTEILLES

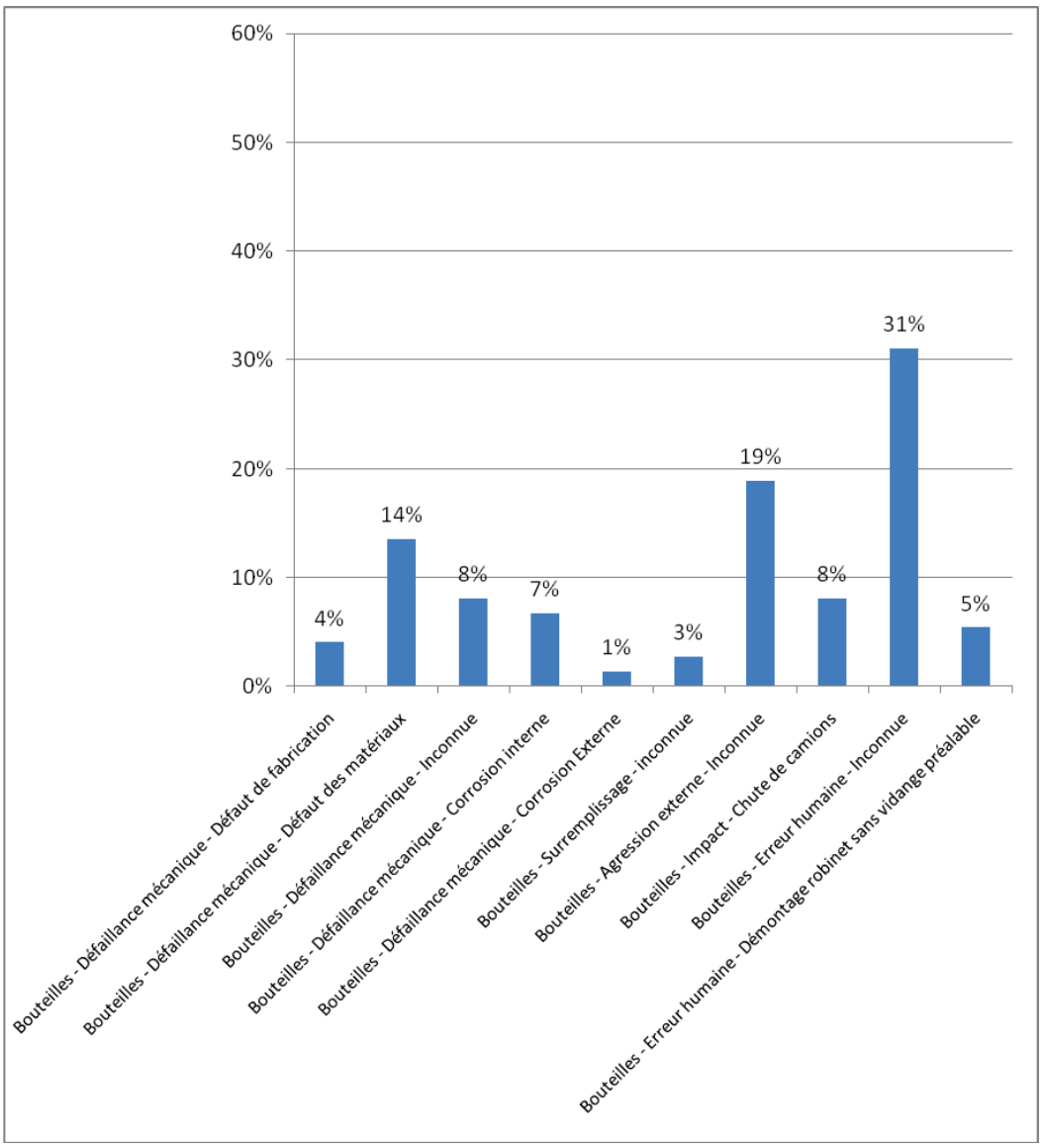
Nœud papillon correspondant : NP10

Figure 12 : Répartition des accidents sur les bouteilles (en % du nombre d'accidents)



Sources : ARIA, MHIDAS

Figure 13 : Répartition des accidents sur les bouteilles (en % du nombre d'accidents)



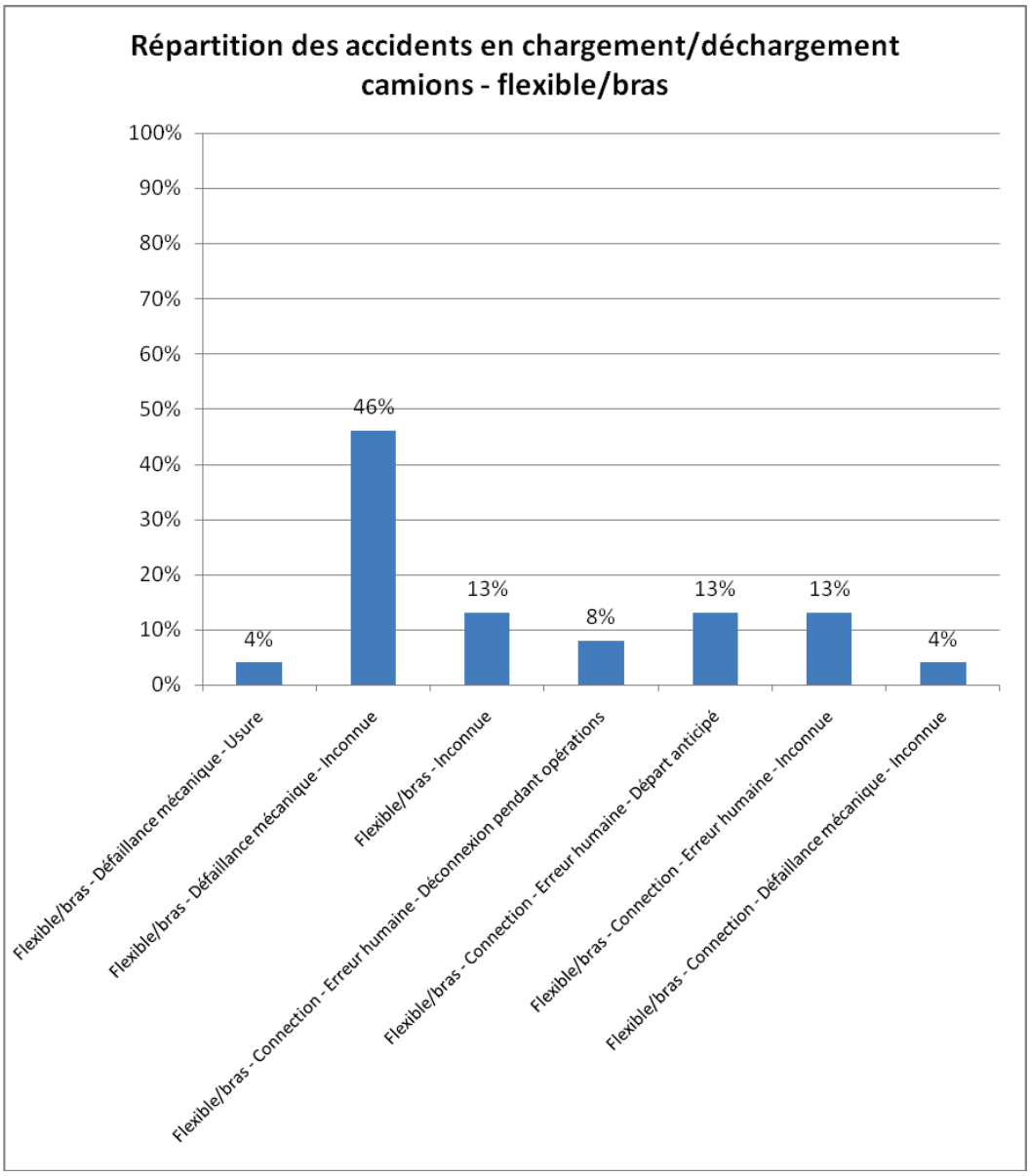
Source : M. Marchal, 1985

7. CHARGEMENT / DECHARGEMENT CAMIONS

7.1 BRAS

Nœuds papillons correspondants : NP11

Figure 14 : Répartition des accidents sur les postes de chargement/déchargement camions citernes – bras et flexibles (en % du nombre d'accidents)

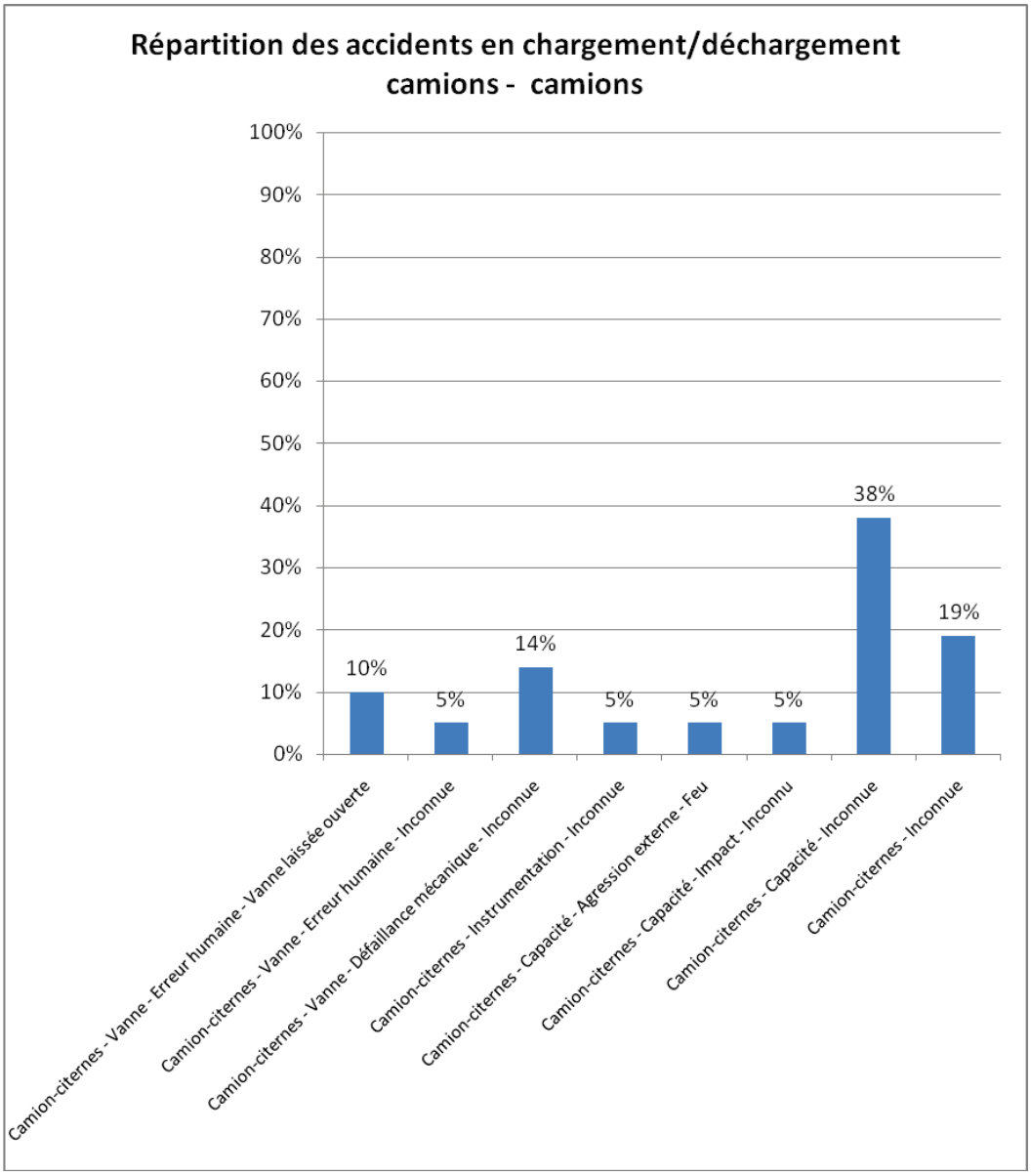


Sources : ARIA, MHIDAS

7.2 CITERNE

Nœud papillon correspondant : NP12

Figure 15 : Répartition des accidents sur les postes de chargement/déchargement camions citernes sur les camions (en % du nombre d'accidents)



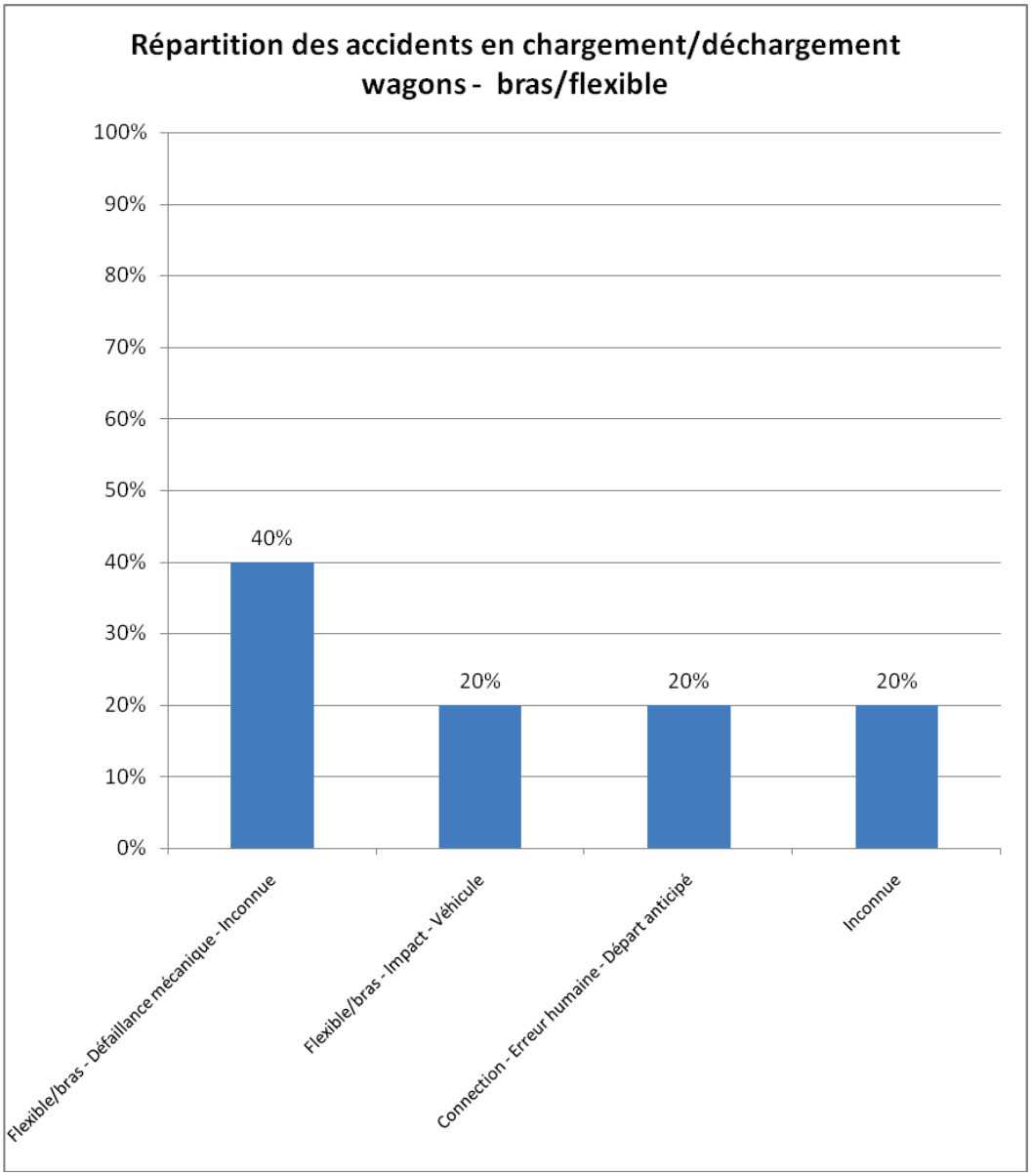
Sources : ARIA, MHIDAS

8. CHARGEMENT / DECHARGEMENT WAGONS

8.1 BRAS

Nœuds papillons correspondants : NP13

Figure 16: Répartition des accidents sur les postes de chargement/déchargement wagons citernes – bras et flexibles (en % du nombre d'accidents)

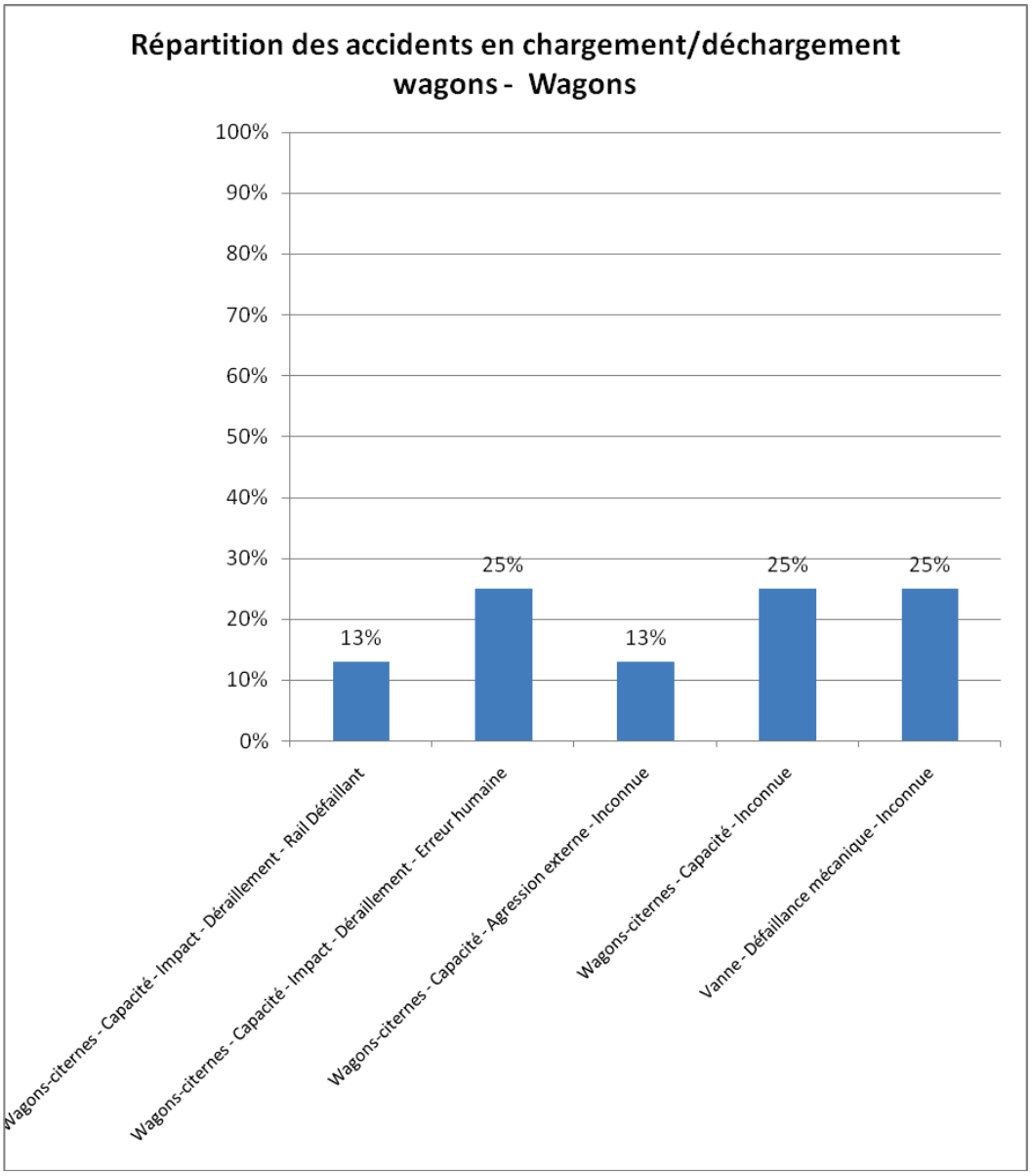


Sources : ARIA, MHIDAS

8.2 CITERNES

Nœuds papillons correspondants : NP14

Figure 17 : Répartition des accidents sur les postes de chargement/déchargement wagons citernes – wagons (en % du nombre d'accidents)



Sources : ARIA, MHIDAS

9. REFERENCES

BARPI, ARIA, http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr

MHIDAS

Bellamy, Geyer et Astley, Failures of pipework in incidents : direct causes , 1991

N.W. Hurst (HSL), Immediate and underlying causes of vessel failures: implications for including management and organizational factors in quantified risk assessment, 1991

M. Marchal (IGC), Bouteilles à gaz, analyse statistique des accidents, 1985

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

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]	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.	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	2010 (par défaut)	Pays-Bas
	CPR-18 - Purple book	2005	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.	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	2005 (par défaut)	Pays-Bas
[2]	Handboek Faalfrequenties 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	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	2009 (par défaut)	Partie flamande de la Belgique

Ref Annexe A	Source de données	Date de publication	Représentativité			Traçabilité	Exploitation	Exhaustivité (processus de collecte)	Corrélation	
			Secteur	Equipement	Evénements				temporelle	Géographique
[3]	Failure rate and event data for use within land use planning risk assessments	2010	Générique/ GPL pour les capacités sous pression	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	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	2010 (par défaut)	Grande-Bretagne
	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments	2004	Générique/ GPL pour les capacités sous pression	Tous types d'équipements utilisés dans l'industrie	Fréquences de fuite et taux de défaillance pour toutes les installations considérées	Fréquences issue d'études spécifiques non disponibles à l'INERIS	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	2004 (par défaut)	Grande-Bretagne
[4]	A survey of defects in pressure vessels built to high standards construction and its relevance to nuclear primary circuit envelopes - Philips and Warwick	1968	Nucléaire civil	Capacités sous pression soudées ou forgées, chauffées ou non-chauffées, >3/8 pouces d'épaisseur de paroi, construites pour des pressions d'opérations supérieures à 105lb/in^2 et sur des standards de "CLASS I" (BS1500, 1515, 3915, 1113, 2790, AOTC ou comparables)	Taux de défaillance catastrophique et taux de défaillance dangereux	Résultats d'un retour d'expérience	229 événements recensés (dont 216 défaillances potentiellement dangereuses), 3 x 10^{-5} années-opérations accumulées sur 20 000 capacités	Enregistrement des événements lié à une contrainte réglementaire britannique	3 périodes observées: 1962-1967, 1967-1973, 1973-1978	Grande-Bretagne

Ref Annexe A	Source de données	Date de publication	Représentativité			Traçabilité	Exploitation	Exhaustivité (processus de collecte)	Corrélation	
			Secteur	Equipement	Evénements				temporelle	Géographique
[5]	Etude COVO - Cremer and Warner pour Commission for the safety of the population at large	1979	Générique	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
[8]	OGP Storage incident frequencies	2010	installations du secteur traitement des hydrocarbures	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 et des avis d'expert utilisés. Certaines sources primaires non disponibles à l'INERIS	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature	Variable en fonction des valeurs	2010 (par défaut)	Variable en fonction des valeurs
[9]	A comparative analysis of the risks inherent in the storage, transshipment, transport and use of LPG and motor spririt - TNO	1983	GPL	Terminaux, raffineries, dépôts et stations de remplissage - sphère de 3000 m3, Diamètre de 18m - cylindre de 2000m3, 70m long, 6 mètres de diamètre	Fréquences de fuite et taux de défaillance pour toutes les installations considérées	Fréquence issue d'études spécifiques non disponibles à l'INERIS	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	1983 (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
[10]	An Initial prediction of the BLEVE frequency of a 100 te butane storage vessel SRD/HSE 4488 Blything et Reeves	1988	GPL	Capacité sous pression de 100 t cylindrique et sous talus de butane et équipements associés.	BLEVE	Une partie des données est accessible dans la littérature spécialisée. Des données sont issues du retour d'expérience de l'industrie du GPL en Grande Bretagne. Pour ces dernières le nombre d'événement et l'expérience associé n'est pas indiqué.	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et de données de retour d'expérience de l'industrie du GPL en Grande-Bretagne	Inconnue	1988 (par défaut)	Grande-Bretagne
[12]	API 581	2009	GPL	Tous types d'équipements utilisés dans l'industrie	Fréquences de fuite et taux de défaillance pour toutes les installations considérées	Inconnue	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	inconnue	2008 (par défaut)	Etats-Unis
[14]	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	Traitement des hydrocarbures	Tous types d'équipements utilisés dans l'industrie	Tout type de perte de confinement et en particulier les événements occasionnant des ATEX	Recensement complet des données utilisées	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	1990 (par défaut)	Grande Bretagne
[15]	Layer of protection analysis, simplified process risk assessment - CCPS	2001	Générique	Tuyauteries dans les installations industrielles	Fuites de tuyauterie	Inconnue	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	2001 (par défaut)	Inconnue

Ref Annexe A	Source de données	Date de publication	Représentativité			Traçabilité	Exploitation	Exhaustivité (processus de collecte)	Corrélation	
			Secteur	Equipement	Evénements				temporelle	Géographique
[16]	Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables	2008	Liquides inflammables	Tuyauteries, brides, vannes	Fuites/ruptures	Données issues d'une étude DNV	Valeurs issues de l'exploitation des données relatives à la perte de confinement des tuyauteries dans les installations offshores corrigées par avis d'expert et par la prise en compte d'autres sources d'information	Données sources liées à des enregistrements d'événements liés à une contrainte réglementaire britannique (installations offshores). Avis d'experts et croisement avec d'autres données sources utilisés pour adapter à des situations onshores.	2008 (par défaut)	France
[17]	A.B Hardings - BLEVE probability of an LPG road tanker	1995	GPL	BLEVE d'un camion citerne lors des opérations de dépotage dans le réservoir (stockage de 30 t alimenté par camion citerne et alimentant une installation de remplissage de bouteilles)	BLEVE camion citerne	Recensement complet des données utilisées. Sources primaires non disponible à l'INERIS	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	1995 (par défaut)	Grande-Bretagne
[18]	Hurst Davies *et al*	1994	Générique	Capacités sous pression/ruptures guillotines de tuyauteries	Distributions de taux de défaillance	Recensement complet des données utilisées	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature.	Inconnue	Inconnue	Inconnue
[20]	Hazard analysis for a storage sphere of pressurised liquified flammable gas - Drysdale and David	1979/80	GPL	Sphère de 600 t de propane et équipements associés	Brèche du réservoir, petite fuite et large fuite sur les tuyauteries	Inconnue	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Pas d'enregistrements à partir d'un retour d'expérience direct	1979/80 (Par défaut)	Générique

Ref Annexe A	Source de données	Date de publication	Représentativité			Traçabilité	Exploitation	Exhaustivité (processus de collecte)	Corrélation	
			Secteur	Equipement	Evénements				temporelle	Géographique
[21]	Hazard Analysis in planning industrial development - Batstone and Tomi	1980	Générique	Tuyauteries	Fuites de tuyauteries	Inconnue	Inconnue	Inconnue	1980 (par défaut)	Inconnu
[22]	Bulk storage of LPG - factors affecting offsite risk - Icheme - Considine Grint and Holden	1982	GPL	Sphère de 1500 t de butane et équipements associés	Défaillance catastrophique du réservoir, fuite sur une ligne en phase liquide, fuite sur une ligne en phase vapeur, surremplissage, fuites sur les tuyauteries et défaillance lors des opérations de drainage	Inconnue	Inconnue	Inconnue	1982 (par défaut)	Générique
[23]	The Reactor Safety Study - WASH 1400 - Nuclear Regulatory Commission (sous la direction de Norman Rasmussen)	1975	Nucléaire civil	Centrales nucléaires civiles construites dans les années 70 aux Etats-Unis	Quantification complète des arbres de défaillance et des arbres d'événements menant à des accidents	Recensement complet des données utilisées	Données issues d'une collection de sources de données sur la fiabilité des composants et des équipements. Ces données sont complétées/confrontées avec des données de REX de l'industrie nucléaire civil aux Etats-Unis et en Europe	Inconnue	Années 70 et avant	Etats-Unis, Europe
[24]	Reliability of piping in light water reactors - Nuclear Regulatory Commission - S.H Bush	1977	Nucléaire civil	Tuyauterie dans les centrales nucléaires civiles aux Etats-Unis	Taux de défaillance de tuyauterie	Résultats d'un retour d'expérience	Nombre d'événements et expérience détaillés	Enregistrement des événements liés à une contrainte réglementaire	1970 - 1976	Etats-Unis

Ref Annexe A	Source de données	Date de publication	Représentativité			Traçabilité	Exploitation	Exhaustivité (processus de collecte)	Corrélation	
			Secteur	Equipement	Evénements				temporelle	Géographique
[25]	Quantitative risk assessment methodology for LPG installation - Reeves, Minah, Chow - ERM	1995	GPL	Dépôts de GPL	Fréquences de fuite et taux de défaillance pour toutes les installations considérées	Recensement complet des données utilisées	Fréquence issue d'une revue des données proposées dans la littérature et d'avis d'experts	Inconnue	1995 (par défaut)	Hong Kong
[26]	Gulf Oil, a review of Gulf and other data	1978	installations du secteur traitement des hydrocarbures	Tuyauterie d'usine dans le secteur du traitement des hydrocarbures	Fuites de tuyauteries	Inconnue	Inconnue	Inconnue	1978 (par défaut)	Inconnu
[27]	A further survey of pressure vessel failures in the UK, Davenport	1991	Générique	Capacités sous pression soudées ou forgées, chauffées ou non-chauffées	Taux de défaillance catastrophique et taux de défaillance dangereux	Résultats d'un retour d'expérience	1.8×10^6 années-réservoirs - 92 défaillances reportées	Enregistrement des événements lié à une contrainte réglementaire britannique	1983-1988	Grande Bretagne

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

TABLES DES MATIERES

1. INTRODUCTION 3

2. ELEMENTS DU CADRE REGLEMENTAIRE DES EVALUATIONS EN PROBABILITES 4

3. DEUX GRANDES FAMILLES DE METHODES D'EVALUATION DES PROBABILITES 7

Figure 1: Le nœud-papillon 8

Tableau 1: Echelle de probabilité de l'Annexe 1 de l'arrêté du 29 septembre 2005 5

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 » : *n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années installations*	« événement très improbable » : *s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité*	« événement improbable » : *un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de la probabilité*	« événement probable » : *S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation.*	« événement courant » : *S'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation, malgré d'éventuelles mesures correctives.*
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 :

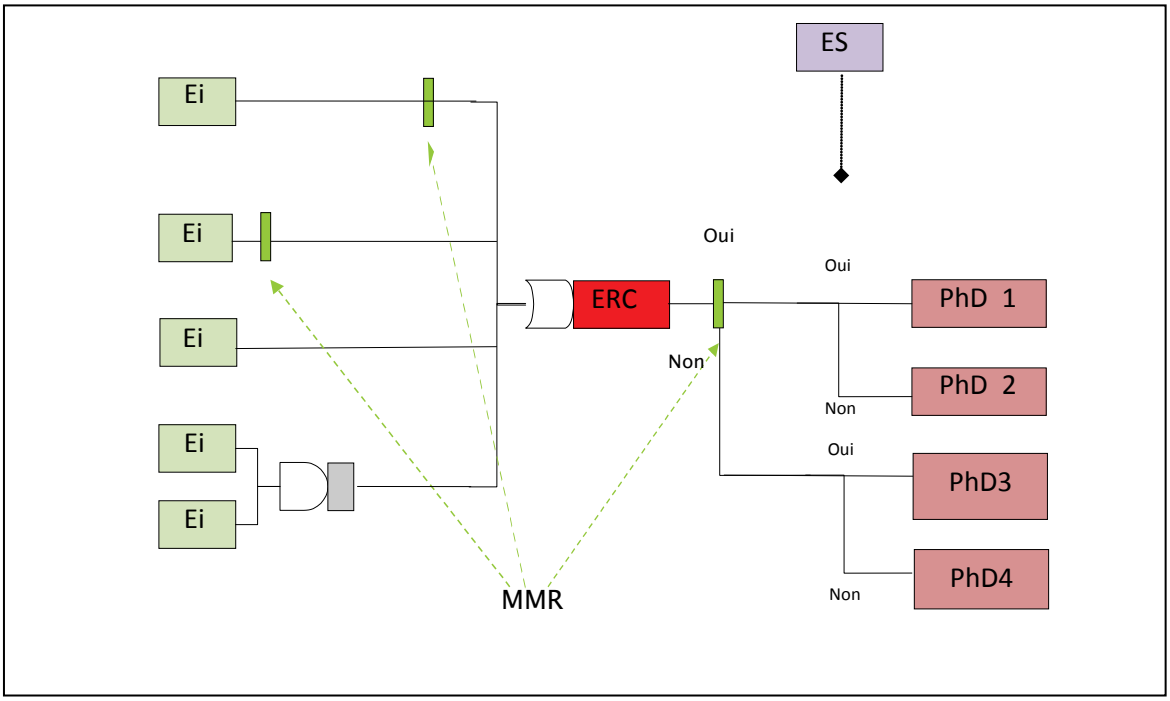


Figure 1: Le nœud-papillon

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'apparait cependant idéale :

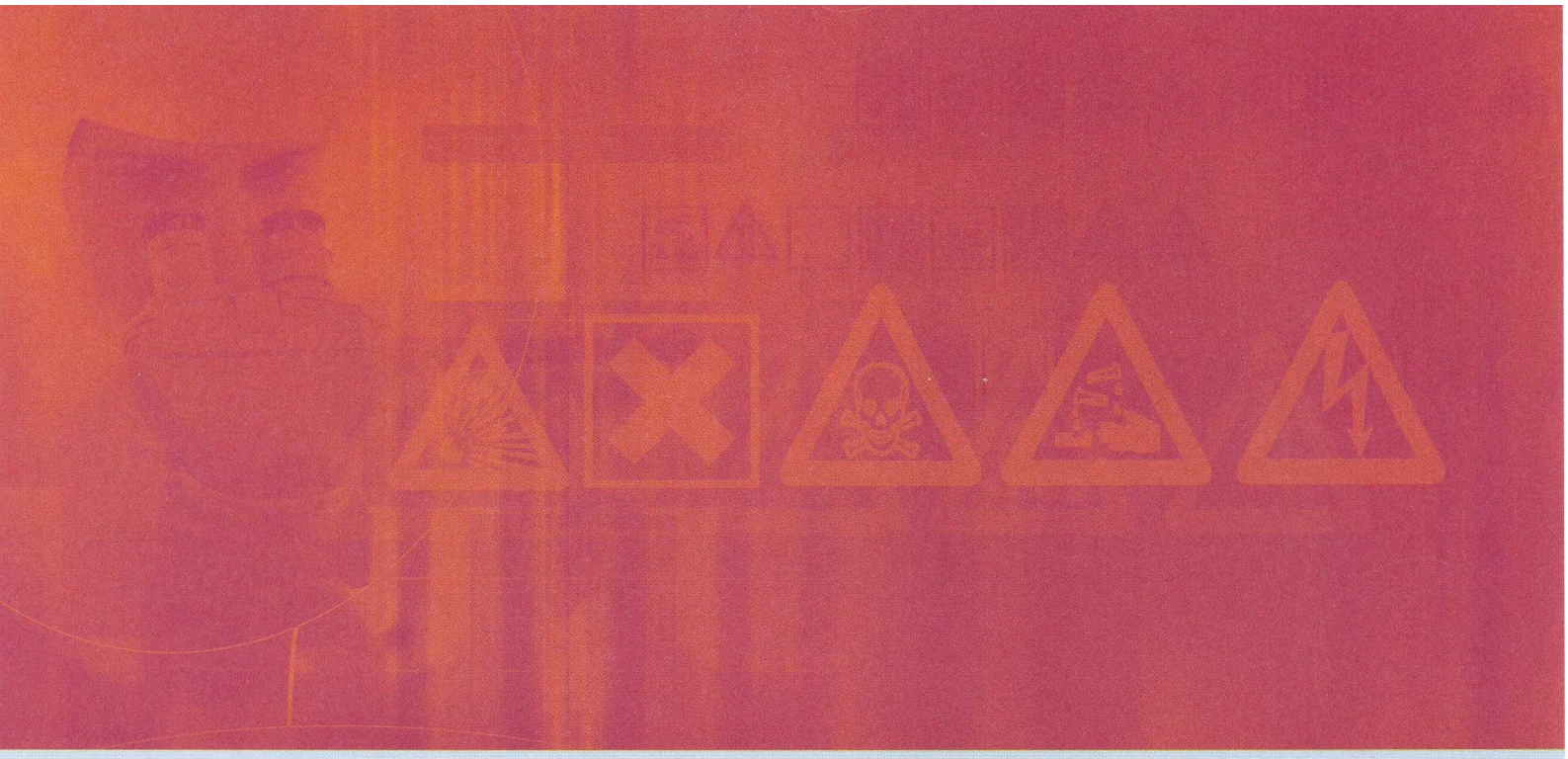
- les démarches développées à partir de l'événement redouté central sont séduisantes pour leur facilité de mise en œuvre, leur lisibilité et la prise en compte explicite de l'activité réelle de l'établissement dans le calcul des fréquences. Elles impliquent toutefois l'emploi de sources de données de 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 évènements 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'évènements 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 Alata
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