

RAPPORT D'ÉTUDE  
N° DRA-09-102965-04675C

15 / 06 / 2011

**Programme EAT – DRA 71 – Opération B2 :  
Approche probabiliste**

**Quantification des phénomènes dangereux en  
probabilité – Guide pratique pour les dépôts  
pétroliers de liquides inflammables (DLI)**

**INERIS**

*maîtriser le risque |  
pour un développement durable*



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

## **Quantification des phénomènes dangereux en probabilité – Guide pratique pour les dépôts de liquides inflammables (DLI)**

VERNEUIL-EN-HALATTE (60)

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Clément LENOBLE ; Cécile DEUST

## 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	Vérification		Approbation
NOM	Clément LENOBLE Cécile DEUST	Christophe BOLVIN	Marie-Astrid SOENEN	Sylvain CHAUMETTE
Qualité	Ingénieurs Direction des Risques Accidentels	Responsable de l'Unité Évaluation des Risques Direction des Risques Accidentels	Déléguée 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

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
1.1 Contexte.....	5
1.2 Retours d'expériences sur les méthodologies de quantification probabiliste dans les études de dangers .....	5
1.3 Objectifs et plan de ce rapport .....	7
2.1 Etapes 1 – 2 : Justification qualitative de la maîtrise du risque en amont de toute estimation probabiliste.....	10
2.2 Etape 3 : La quantification probabiliste des phénomènes dangereux ou accidents majeurs .....	10
2.2.1 Capitalisation du retour d'expérience du site : retour d'expérience sur les phénomènes dangereux, les accidents, les événements redoutés centraux, les événements initiateurs et les MMR .....	11
2.2.2 Quantification probabiliste des séquences accidentelles.....	13
<b>3. GUIDE PRATIQUE D'ESTIMATION DE LA PROBABILITE D'OCCURRENCE DES PHENOMENES DANGEREUX – DEPOTS PETROLIERS DE LIQUIDES INFLAMMABLES .....</b>	<b>17</b>
3.1 Introduction .....	17
3.2 Présentation des données probabilistes.....	17
3.2.1 Synthèse des fréquences de perte de confinement.....	18
3.2.2 Nœuds-papillons.....	18
3.2.3 Evénements initiateurs .....	21
3.3 Bacs .....	22
3.3.1 Fréquences de fuites de réservoirs relevées dans la littérature.....	22
3.3.2 Nœuds-papillons.....	22
3.4 Tuyauteries .....	29
3.4.1 Synthèse des fréquences de fuites de tuyauteries relevées dans la littérature.....	29
3.4.2 Nœud-papillon .....	29
3.5 Poste de chargement/ déchargement citerne mobile .....	31
3.5.1 Synthèse des fréquences de fuites de flexibles, de bras de chargement/déchargement et de fuite de citerne relevées dans la littérature.....	31
3.5.2 Nœud-papillon .....	31
3.6 Pompes.....	33

3.6.1 Synthèse des fréquences de fuites de pompes relevées dans la littérature. .....	33
3.6.2 Nœud-papillon .....	33
3.7 Exemple d'utilisation du guide pratique : .....	35
3.7.1 Cas fictif : .....	35
3.7.2 Confrontation des valeurs avec les informations disponibles dans le guide pratique : .....	35
3.8 Probabilités d'inflammation.....	37
<b>5. REFERENCES.....</b>	<b>41</b>
<b>6. LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>45</b>

# 1. INTRODUCTION

## 1.1 CONTEXTE

La loi n°2003-699 du 30 juillet 2003 a entraîné des changements importants dans les pratiques d'évaluation des risques générés par les sites industriels en France. Elle introduit notamment l'obligation de produire des études de dangers donnant lieu « à une analyse de risques qui prend en compte **la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite** ».

Les études de dangers hier « déterministes » doivent donc dorénavant être menées dans un cadre « probabiliste ». Les industriels sont alors invités à justifier le positionnement en probabilité des phénomènes dangereux et accidents potentiels sur une échelle de probabilité définie en annexe 1 de l'arrêté du 29 septembre 2005<sup>1</sup>. Bien que guidés par ce même arrêté, les industriels restent libres du choix de la méthode à retenir pour mener cette estimation probabiliste.

## 1.2 RETOURS D'EXPERIENCES SUR LES METHODOLOGIES DE QUANTIFICATION PROBABILISTE DANS LES ETUDES DE DANGERS

En parallèle de ses travaux sur l'intégration de la probabilité dans les études de dangers, l'INERIS s'est attaché en 2008 à dresser un premier bilan de ce changement de réglementation.

A la demande du ministère et des DRIRE, un premier état des lieux des méthodes d'estimation probabiliste retenues par les industriels français a ainsi été réalisé (Réf. [1], [2]).

Sur la base de ce retour d'expérience, deux principales méthodes d'estimation se dégagent des études de dangers réalisées par les industriels :

- Des méthodes quantitatives développées à partir de la perte de confinement ou événement redouté central (ERC). Les séquences accidentelles, supports à l'évaluation probabiliste, sont développées à partir de la perte de confinement, jusqu'aux phénomènes dangereux en passant par la valorisation des mesures de maîtrise en aval de la perte de confinement.
- Des méthodes quantitatives développées à partir des événements initiateurs. Les séquences accidentelles, supports à l'évaluation probabiliste, sont développées 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 la perte de confinement.

Aucune de ces deux méthodes n'apparaît cependant idéale.

---

<sup>1</sup> 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

Les démarches développées à partir de l'événement redouté central sont séduisantes pour leur facilité de lecture et de mise en œuvre, leur prise en compte explicite de l'activité réelle du site<sup>2</sup> dans la construction des fréquences des ERC, la clarté de l'étape d'agrégation. Elles présentent cependant l'inconvénient de ne pas valoriser les mesures de maîtrise des risques en amont de l'ERC. Cela pose alors des difficultés lors de la justification de l'adéquation des données d'entrée retenues avec les spécificités du site étudié. Dans les faits, aucun élément technique n'est généralement fourni pour répondre à cette question.

Le travail d'identification et de caractérisation des mesures de maîtrise des risques en amont et en aval de l'ERC, au cœur des démarches développées à partir des événements initiateurs, est séduisant de part la démonstration implicite de la maîtrise du risque (en accord avec les exigences réglementaires). Les mesures de maîtrise des risques en place sont étudiées dans un réel souci d'exhaustivité. Cependant, un tel travail conduit à une démonstration souvent très lourde qui nuit alors à la lisibilité complète de la démarche. De nombreux biais dans la mise en œuvre de cette démarche sont ainsi observés : dispositions retenues à tort comme mesures de maîtrise des risques dans la quantification probabiliste, absence de justification des règles d'agrégation retenues pour la propagation des classes de fréquence. De plus, l'utilisation de cette méthode ne résout pas toujours la problématique de la justification des données d'entrée retenues mentionnée pour les démarches développées à partir de l'ERC (choix des classes de fréquence des événements initiateurs, des niveaux de confiance des mesures de maîtrise des risques etc.). Des exploitants en arrivent à retenir des classes de fréquence forfaitaires pour pallier le manque d'information.

L'absence de méthode idéale pour caractériser la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux est principalement inhérente à la pauvreté du retour d'expérience aujourd'hui à disposition pour prétendre pouvoir mener à bien une démarche probabiliste fondée sur des données d'entrée robustes. Le retour d'expérience des sites ou du secteur d'activité n'est d'ailleurs que rarement valorisé dans les études de dangers. Ce manque d'informations empêche d'une part les exploitants de construire une justification solide autour du choix d'une valeur de fréquence et, d'autre part, l'inspection de juger de la pertinence de ces valeurs. Il en résulte un manque de critères objectifs permettant d'alimenter le débat exploitant – inspection sur la probabilité.

---

<sup>2</sup> Par exemple, les fréquences génériques sont exprimées en mètre (pour les tuyauteries), en nombre d'opérations, etc.

### 1.3 OBJECTIFS ET PLAN DE CE RAPPORT

Ce problème de pauvreté du retour d'expérience à disposition pour mener l'estimation quantitative des risques ne peut pas trouver de solution à court terme.

Pour répondre dès aujourd'hui à la problématique d'estimation des risques et guider les industriels et les inspecteurs dans cette étape de l'étude de dangers, l'INERIS se propose de construire des guides pratiques dans lesquels sont capitalisées des données d'entrée nécessaires à la quantification des risques.

Ces guides proposent des nœuds papillons génériques, représentatifs de l'analyse des risques du secteur d'activité étudié. Ces nœuds papillons sont renseignés avec des données d'entrée issues du traitement conjoint 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, etc<sup>3</sup>.

Ces données d'entrée sont :

- Des fréquences d'occurrence de perte de confinement (ERC).
- Des répartitions de causes en amont de l'ERC.
- Des fréquences d'occurrence d'événements initiateurs.

**L'objectif de ces guides est de capitaliser des éléments objectifs pour mener l'estimation probabiliste des phénomènes dangereux ou accidents majeurs : les guides pratiques ont la prétention de traduire un état de référence « moyen » qui pourra servir de support aux discussions relatives à l'estimation probabiliste des phénomènes dangereux.**

Ces guides devront être mises à jour au fur et à mesure de l'avancée des connaissances en matière d'estimation quantitative des risques.

L'objectif de ce rapport est de proposer un premier guide pratique pour les « dépôts de liquides inflammables ». Ce guide est présenté dans la partie 3 du rapport.

Avant cela, la démarche privilégiée par l'INERIS pour mener la quantification probabiliste est rappelée en partie 2. L'utilisation des guides pratiques dans le cadre de cette démarche y est illustrée.

---

<sup>3</sup> Les travaux sur les sources de données du domaine du risque accidentel menés par l'INERIS depuis 2007 alimentent cette réflexion.



## 2. QUANTIFICATION PROBABILISTE DANS LES ETUDES DE DANGERS : DEMARCHE

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

Cette démarche doit être mise en œuvre par un groupe de travail pertinent (bonne connaissance de la sécurité du site, des contraintes de production, des pratiques de maintenance, du fonctionnement de l'installation au quotidien, vue globale de la sécurité du type de site étudié, etc.).

**ETAPE 1** : Construire les séquences accidentelles sous forme de nœud papillon: Identifier les mesures de maîtrise des risques

 Guide pratique



**ETAPE 2** : Procéder à la caractérisation des mesures de maîtrise des risques en respectant les critères : efficacité, temps de réponse, testabilité, maintenabilité.



**ETAPE 3** : Procéder à la quantification probabiliste des phénomènes dangereux ou accidents majeurs



3.1 Capitalisation du retour d'expérience du site : sur les phénomènes dangereux, les accidents, les événements redoutés centraux, les événements initiateurs et les MMR



3.2 Quantification probabiliste des séquences accidentelles : Estimation des fréquences d'occurrence des événements initiateurs, des fréquences d'occurrence des pertes de confinement, des niveaux de confiance des mesures de maîtrise des risques, des probabilités conditionnelles, etc.

 Guide pratique

## **2.1 ETAPES 1 – 2 : JUSTIFICATION QUALITATIVE DE LA MAITRISE DU RISQUE EN AMONT DE TOUTE ESTIMATION PROBABILISTE**

Une justification qualitative de la maîtrise des risques doit être effectuée en amont de toute quantification probabiliste.

Le groupe de travail est alors amené à effectuer :

- **Une description détaillée des séquences accidentelles identifiées à l'issue de l'analyse des risques (ETAPE 1).** Cette description doit mettre en exergue l'ensemble des causes identifiées pouvant conduire à un accident majeur et les mesures mises en place au sein du site industriel pour prévenir ces accidents ou limiter leurs effets.
- L'identification des mesures de maîtrise des risques pour chaque séquence accidentelle et la démonstration de leur performance (**ETAPE 2**). Chaque mesure sera donc étudiée au regard des critères suivants : Efficacité, Cinétique en adéquation avec celle des événements à maîtriser, Testabilité, Maintenance.

Les séquences accidentelles obtenues par le groupe de travail sont comparées à celles proposées dans le guide pratique du secteur d'activité concerné.

L'objectif est alors de porter un avis critique sur les écarts et éventuellement de modifier en conséquence les séquences accidentelles retenues par le groupe de travail.

## **2.2 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 a proprement dite peut être réalisée (**ETAPE 3**).

L'expérience montre qu'il existe rarement des données fiables, publiques et statistiquement représentatives pour quantifier en probabilité les phénomènes dangereux ou les accidents majeurs.

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 génère un grand nombre de situations différentes, et donc, potentiellement une variabilité importante des probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux. De cette variabilité naît la difficulté de disposer d'une population statistique de référence et donc d'un retour d'expérience fiable en support à l'estimation probabiliste.

Face à cette difficulté, deux stratégies peuvent être adoptées pour mener la quantification probabiliste :

- **Une première approche** consiste à partir de la perte de confinement pour caractériser le phénomène dangereux et à utiliser une source de données génériques de type PURPLE BOOK<sup>4</sup> pour mener la quantification probabiliste. Il est alors fait référence à un état de l'art moyen de la sécurité des installations pour mener la quantification. On retrouve ici les avantages et inconvénients des méthodes quantitatives développées à partir de la perte de confinement présentés dans le paragraphe 1.2.
- **Une seconde approche**, qui est privilégiée par l'INERIS, est l'utilisation d'un faisceau d'information, plutôt que d'une valeur unique, pour caractériser la probabilité des phénomènes dangereux. Cette approche se base à la fois sur des données de retour d'expérience du site industriel ou du secteur d'activité, des sources de données génériques à disposition, d'avis d'experts. La probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux est alors le résultat d'un traitement raisonné de plusieurs sources de données, confrontées les unes aux autres. Plutôt qu'une simple valeur, c'est le raisonnement ayant conduit à cette valeur qui devient le principal intérêt de la démarche d'estimation probabiliste.

La démarche préconisée par l'INERIS pour mener la quantification probabiliste des phénomènes dangereux est alors 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.

### **2.2.1 Capitalisation du retour d'expérience du site : retour d'expérience sur les phénomènes dangereux, les accidents, les événements redoutés centraux, les événements initiateurs et les MMR**

Afin de disposer d'une première source d'information utile à la caractérisation des séquences accidentelles étudiées, le groupe de travail capitalise le retour d'expérience du site et/ou du secteur d'activité du site (si le retour d'expérience du secteur d'activité est jugé pertinent pour caractériser les risques du site étudié - harmonisation des pratiques au sein du secteur d'activité).

---

<sup>4</sup> Committee for the Prevention of Disasters (CPR), Guidelines for Quantitative Risk Assessment—"Purple Book" CPR18E, SDU, The Hague, 1999.

L'apport de cette étape de capitalisation du retour d'expérience est double :

- **Un apport qualitatif :** La mise en place et le suivi du retour d'expérience est un bon indicateur de la culture du risque présente au sein d'un établissement. L'analyse du retour d'expérience du site participe à la démonstration de la maîtrise du risque, au cœur des problématiques de l'étude de dangers. Il est indispensable que l'exploitant identifie les incidents survenus au sein de son site (sollicitation de mesures de maîtrise des risques témoignant de l'occurrence d'événements initiateurs aux séquences accidentelles, occurrences de pertes de confinement, occurrences de phénomènes dangereux), les analyse et vérifie que les actions correctrices permettant de limiter leur occurrence ont bien été installées. Les éléments du retour d'expérience capitalisés participent à l'alimentation de l'analyse de risques effectuée dans l'étude de dangers.
- **Un apport quantitatif :** Le retour d'expérience du site ou du secteur d'activité peut être exploité quantitativement pour construire la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux. Cependant, seuls les événements pour lesquels la quantité d'information à disposition est suffisante pourront être quantifiés à partir du retour d'expérience. Ce point est explicité plus en détail dans les paragraphes suivants. En pratique, le retour d'expérience ne sera exploité quantitativement que pour la caractérisation des événements initiateurs et la caractérisation des mesures de maîtrise des risques.

En effet, les pertes de confinement et les phénomènes dangereux sont des événements en général trop rares pour prétendre disposer d'un retour d'expérience assez riche au sein d'un site. L'échelle de capitalisation des informations la plus appropriée pour ce genre d'événement est plus certainement celle d'un groupe d'importance nationale ou d'un secteur d'activité dans le cas des pertes de confinement ou celle d'un retour d'expérience à l'échelle mondiale pour les phénomènes dangereux. Ainsi, les éléments de retour d'expérience interne au site sur ces phénomènes seront à analyser qualitativement pour apprécier une donnée construite à l'issue de l'exploitation d'un arbre de causes et/ou d'événement ou pour apprécier une donnée générique retenue.

## 2.2.2 Quantification probabiliste des séquences accidentelles

Le retour d'expérience du site et/ou du secteur d'activité du site étant capitalisé, le groupe de travail peut alors procéder à l'estimation de la probabilité d'occurrence des phénomènes dangereux ou des accidents majeurs.

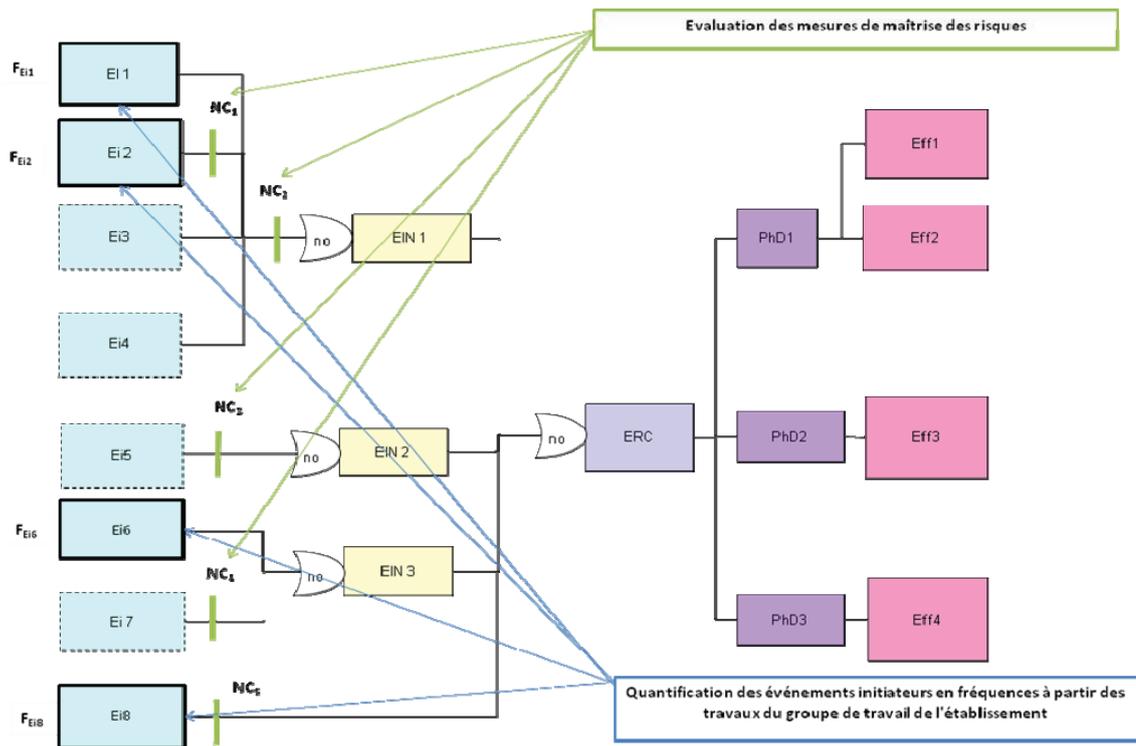
Nous supposons ici que les séquences accidentelles étudiées sont représentées sous forme de nœud papillon.

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

- Liste des événements initiateurs dont la fréquence d'occurrence a pu être estimée. Cette fréquence  $f$  sera estimée à partir du retour d'expérience du site ou du secteur d'activité. Quelques éléments techniques pour estimer  $f$  sont rappelés en Annexe D ;
- Liste des mesures de maîtrise des risques dont la probabilité de défaillance à la sollicitation a pu être estimée. L'estimation des probabilités de défaillance à la sollicitation des MMR pourra être effectuée en utilisant les référentiels Oméga 10 et 20 de l'INERIS ou toute autre méthode d'estimation de la disponibilité des mesures de maîtrise des risques ;
- Dans le cas où le groupe de travail disposerait d'un retour d'expérience assez précis (cf. Annexe D – Imprécision d'une estimation) pour pouvoir quantifier directement la fréquence de perte de confinement, cette fréquence pourra être retenue comme données d'entrée de l'estimation quantitative.

Cette étape est illustrée sur le nœud papillon ci-après :

- Renseignement des fréquences des événements initiateurs ou des classes de fréquence ;
- Renseignement des probabilités de défaillance à la sollicitation des MMR ou des niveaux de confiance.



**Renseigner le noeud papillon avec les données capitalisées par le groupe de travail de l'établissement.**

L'étape suivante consiste alors à comparer et/ou compléter ces données avec les informations capitalisées dans le guide pratique du secteur d'activité étudié :

- Comparaison des fréquences de perte de confinement.
- Comparaison de la répartition des causes amont.

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 en vue de la quantification des phénomènes dangereux ou accidents majeurs.

Compte tenu de l'incomplétude des données capitalisées dans le guide pratique, le groupe de travail sera alors amené à faire des choix en jouant sur des 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 objectifs pour guider le groupe de travail dans ses réflexions et ainsi parvenir à mieux justifier le choix d'une donnée d'entrée.



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 obtenu 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. GUIDE PRATIQUE D'ESTIMATION DE LA PROBABILITE D'OCCURRENCE DES PHENOMENES DANGEREUX – DEPOTS PETROLIERS DE LIQUIDES INFLAMMABLES**

#### **3.1 INTRODUCTION**

Ce guide a pour but de fournir les premières informations nécessaires pour appliquer la méthode décrite ci-dessus. Comme expliqué plus haut ces informations restent parcellaires et nécessitent d'être complétées par une analyse des risques et une quantification en fréquence des événements initiateurs par un groupe de travail. Cette étude concerne plus spécifiquement **les dépôts pétroliers** : les informations disponibles concernent uniquement ce secteur d'activité.

La partie ci-dessous s'organise autour des sujets suivants :

- présentation des données ;
- bacs ;
- tuyauterie ;
- poste de chargement/déchargement citernes mobiles ;
- pompes ;
- probabilités d'inflammation.

#### **3.2 PRESENTATION DES DONNEES PROBABILISTES**

Les résultats présentés ci-dessous sont organisés par installation. Ils concernent :

- les bacs ;
- les tuyauteries ;
- les postes de chargement et déchargement de camions et wagons citerne ;
- les pompes.

Pour chacun de ces équipements sont présentés :

- une synthèse des fréquences de perte de confinement ;
- des nœuds papillons ;
- dans l'annexe C des informations relatives aux événements initiateurs sont présentés.

### 3.2.1 Synthèse des fréquences de perte de confinement

Pour chaque équipement considéré, sont présentées des intervalles de classes de fréquences de perte de confinement. Ces intervalles sont issus de l'analyse d'une trentaine de sources de données différentes. Ces sources de données sont présentées dans l'annexe C de ce rapport.

Les intervalles de classes de fréquence de perte de confinement utilisent l'échelle suivante :

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

Une grande partie de ces informations a été exclue de cette étude pour les raisons suivantes :

- des informations inexploitable dans le cadre des études de dangers de dépôts de liquides inflammables ;
- des informations spécifiques à des types d'installations différentes des dépôts de liquides inflammables.

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 liquides inflammables.

Les fréquences de perte de confinement retenues dans le cadre de cette étude sont présentées dans l'annexe B de ce rapport.

### 3.2.2 Nœuds-papillons

#### 3.2.2.1 Construction des nœuds papillons

Les nœuds papillons présentés dans ce rapport sont issus de l'analyse du guide professionnel du GTDLI (« Guide Dépôts de Liquides inflammables – Septembre 2008 – Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables), de l'analyse de l'accidentologie et des études de dangers réalisées par l'INERIS après 2005.

Ils ne sont pas exhaustifs :

- dans la partie en amont de l'événement redouté central ils doivent être complétés par des éléments apportés par l'analyse des risques. En particulier, les effets dominos ne sont pas traités ;
- dans la partie aval de l'événement redouté central, ils doivent être complétés par l'analyse des mesures de maîtrise des risques de protection et de leurs défaillances.

Notons que le guide professionnel du GTDLI identifie de nombreux événements initiateurs relatifs à des erreurs de conception. Celles-ci sont à l'origine d'un nombre non négligeable d'accidents et d'incidents.

Dans une démarche de quantification probabiliste par les événements initiateurs, ces causes sont prises en compte dans le cadre de la quantification d'autres événements initiateurs (exemples : corrosion, fatigue, défaillance d'équipements...). Ces événements ne sont donc pas identifiés dans les nœuds-papillons présentés ci-dessous.

Enfin, les informations disponibles permettant de corréler les événements initiateurs à des tailles de fuite se sont révélés insuffisantes. En conséquence, les nœuds-papillons présentés dans le cadre de ce rapport ne sont pas différenciés en fonction des tailles de fuites.

### 3.2.2.2 Valeurs présentées sur les nœuds papillons

Deux types de valeurs accompagnent les nœuds-papillons présentés ci-dessous :

- des classes de fréquences ou des intervalles de classes de fréquences au niveau des événements redoutés centraux : ces grandeurs sont issues de l'analyse des fréquences de perte de confinement (cf paragraphe 3.2.1) ;
- des répartitions de causes d'événements redoutés centraux. 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 dépôts de liquides inflammables et les raffineries de 1970 à nos jours ;
  - des répartitions de causes issues de l'analyse de la base MHIDAS et de RMP info réalisée par J.R. Taylor dans « Hazardous Materials release and accident frequencies for process plant » ;
  - des répartitions de causes obtenues par Bellamy, Geyer et Astley et présentées dans l'article « failures of pipework in incidents : direct causes » ;
  - des répartitions issues de l'analyse des données offshores du HSE (offshore hydrocarbon release statistics) ;
  - des répartitions de causes issues de l'analyse de LAST FIRE 1997.

Du fait de la multiplicité des retours d'expériences utilisées, 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, le code couleur suivant a été adopté :

Couleur	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 liquides inflammables.	Très forte
	Valeur obtenue à l'aide de plusieurs retours d'expérience n'étant pas spécifique aux dépôts de liquides inflammables ou à l'aide d'un retour d'expérience spécifique aux dépôts de liquides inflammables.	Forte
	Valeur obtenue à l'aide d'au moins un retour d'expérience spécifique au dépôt de liquide inflammable et d'au moins un autre retour d'expérience.	Moyenne

*Figure 1 Code couleur retenu pour caractériser les incertitudes associées aux données*

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

Note : Les répartitions de cause 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.

### 3.2.3 Événements initiateurs

Dans l'annexe C de ce document, les événements initiateurs identifiés dans les nœuds-papillons présentés ci-dessous sont sommairement analysés. Le formalisme suivant a été retenu :

Désignation	
...	
Description	
....	
Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central	...
Cotation Sources de données	...
Exemples accidentologie ARIA	
...	
Facteurs influençant l'occurrence des événements	
...	

- **Désignation** : nom de l'événement initiateur ;
- **Description** : courte description de l'événement initiateur ;
- **Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central** : pourcentage des événements initiateurs qui causent cet événement redouté central ;
- **Cotation sources de données** : fréquence de l'événement initiateur retrouvé dans la littérature ;
- **Exemples accidentologie ARIA** : exemples d'occurrence de ces événements relevés dans la base ARIA ;
- **Facteurs influençant l'occurrence des événements** : exemples de facteurs pouvant influencer à la baisse ou à la hausse l'occurrence de cet événement.

### 3.3 BACS

#### 3.3.1 Fréquences de fuites de réservoirs relevées dans la littérature

Ces classes de fréquences sont exprimées par réservoir par an.

	Rupture	Fuite large	Petite et moyenne fuite	Explosion réservoir à toit fixe	Eclatement réservoir à toit fixe	Epanchage sur le toit flottant
Réservoirs	F4 – F5	F3 – F4	F2 - F3	F4	F6	F3

#### 3.3.2 Nœuds-papillons

##### 3.3.2.1 Commentaires

##### **Rupture de réservoir à toit flottant**

Peu d'informations sont disponibles sur cet événement redouté central. Les cas de ruptures de bacs relevés sont des ruptures zip ou des ruptures de fond de bac.

##### **Rupture réservoir à toit fixe**

Peu d'informations sont disponibles sur cet événement redouté central. Les cas de ruptures de bacs relevés sont des ruptures zip ou des ruptures de fond de bac.

##### **Fuite de réservoir**

L'analyse des épanchages dans les cuvettes révèlent une répartition des causes relativement également réparties entre les fuites sur les accessoires du réservoir, les fuites de la robe et les débordements de bacs.

Les fuites des accessoires du bac proviennent principalement des vannes, des piquages ou du trou d'homme. Il n'existe pas d'information sur la répartition des fuites entre ces différents éléments. Les systèmes de drainage et de purge sont également souvent à l'origine de fuites. La cause la plus importante de ces fuites pourrait être la corrosion.

Les causes de fuite de la robe proviennent majoritairement de la corrosion.

Les causes de débordement de bac semblent être majoritairement la mauvaise estimation du creux et les autres erreurs humaines.

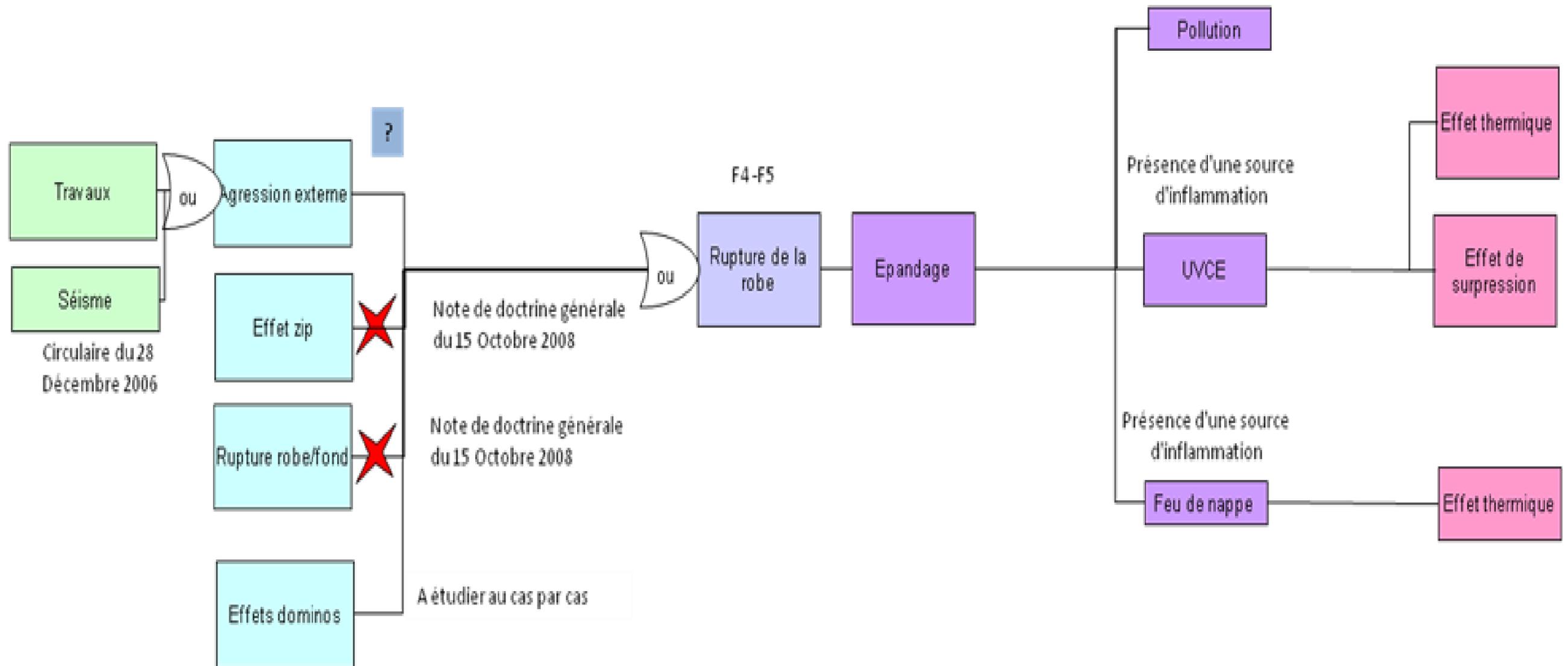
### **Explosion de bac à toit fixe**

Peu d'information sont disponibles sur les explosions de bacs. Tous les cas identifiés dans le cadre de cette étude sont consécutifs à un mauvais dégazage des bacs et à l'apport d'une source d'inflammation lors d'opération de maintenance.

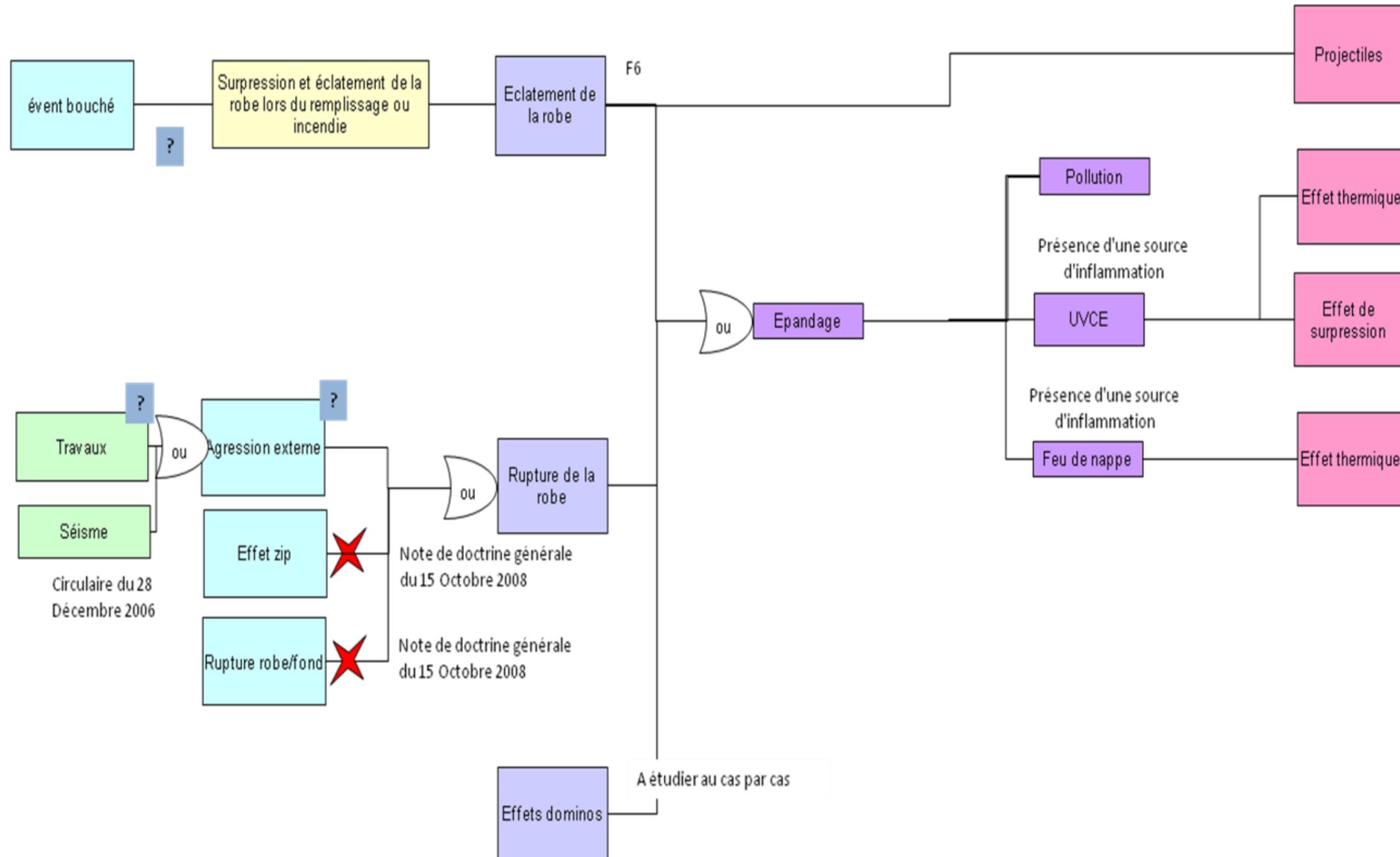
### **Flaque sur le toit flottant**

La présence d'une flaque sur un toit flottant provient de trois principales causes : une fuite du toit flottant lui-même, la défaillance d'un système de drainage et le surremplissage. La défaillance des supports lors du remplissage du bac est également une source importante de fuites. Au contraire, la fuite de joint et les précipitations importantes semblent être des causes mineures de flaque sur le toit flottant (pouvant entraîner un feu de bac ou un UVCE).

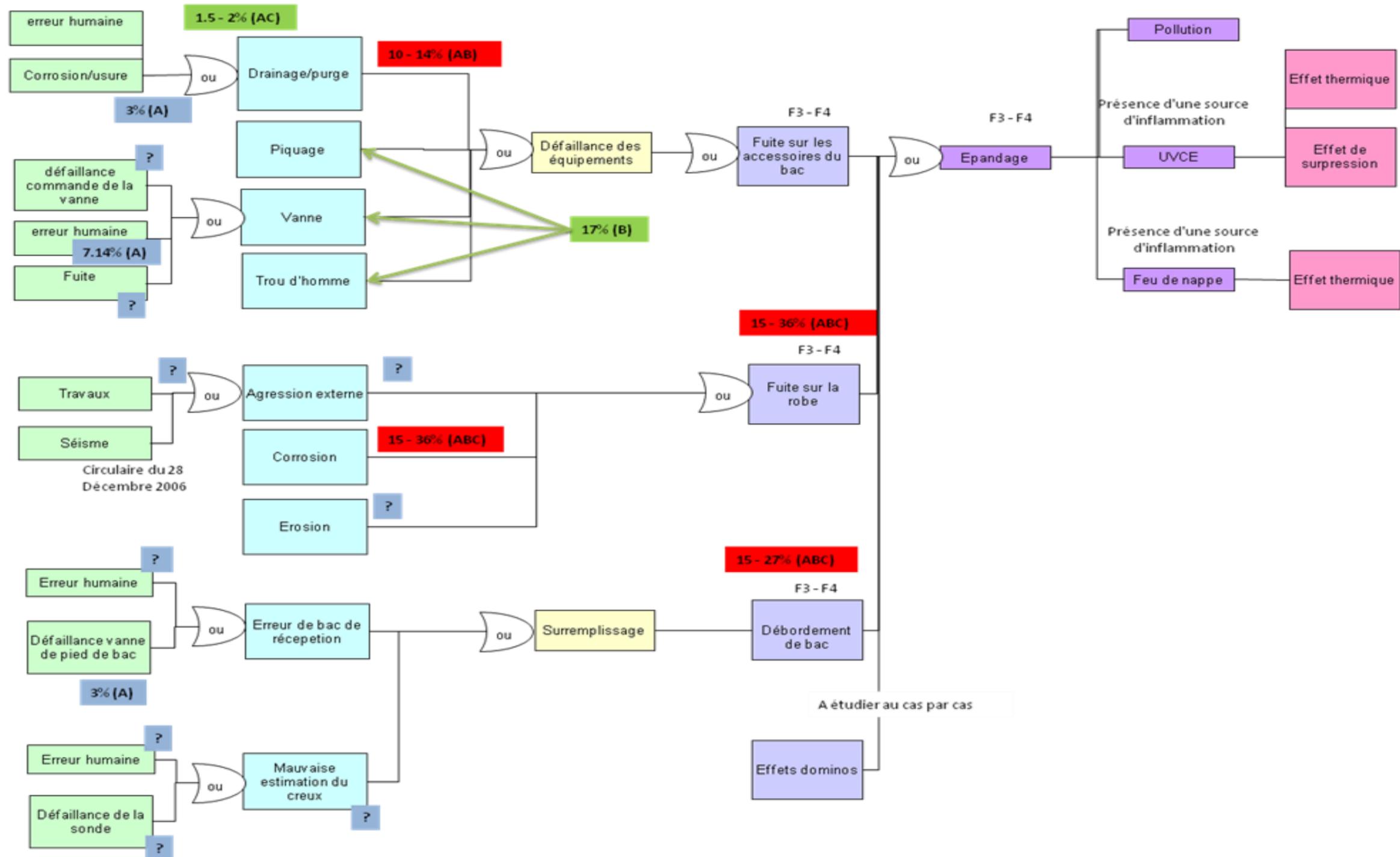
3.3.2.2 Rupture de réservoir à toit flottant (classe de fréquence exprimée par réservoir et par an)



3.3.2.3 Rupture réservoir à toit fixe (classe de fréquence exprimée par réservoir et par an)

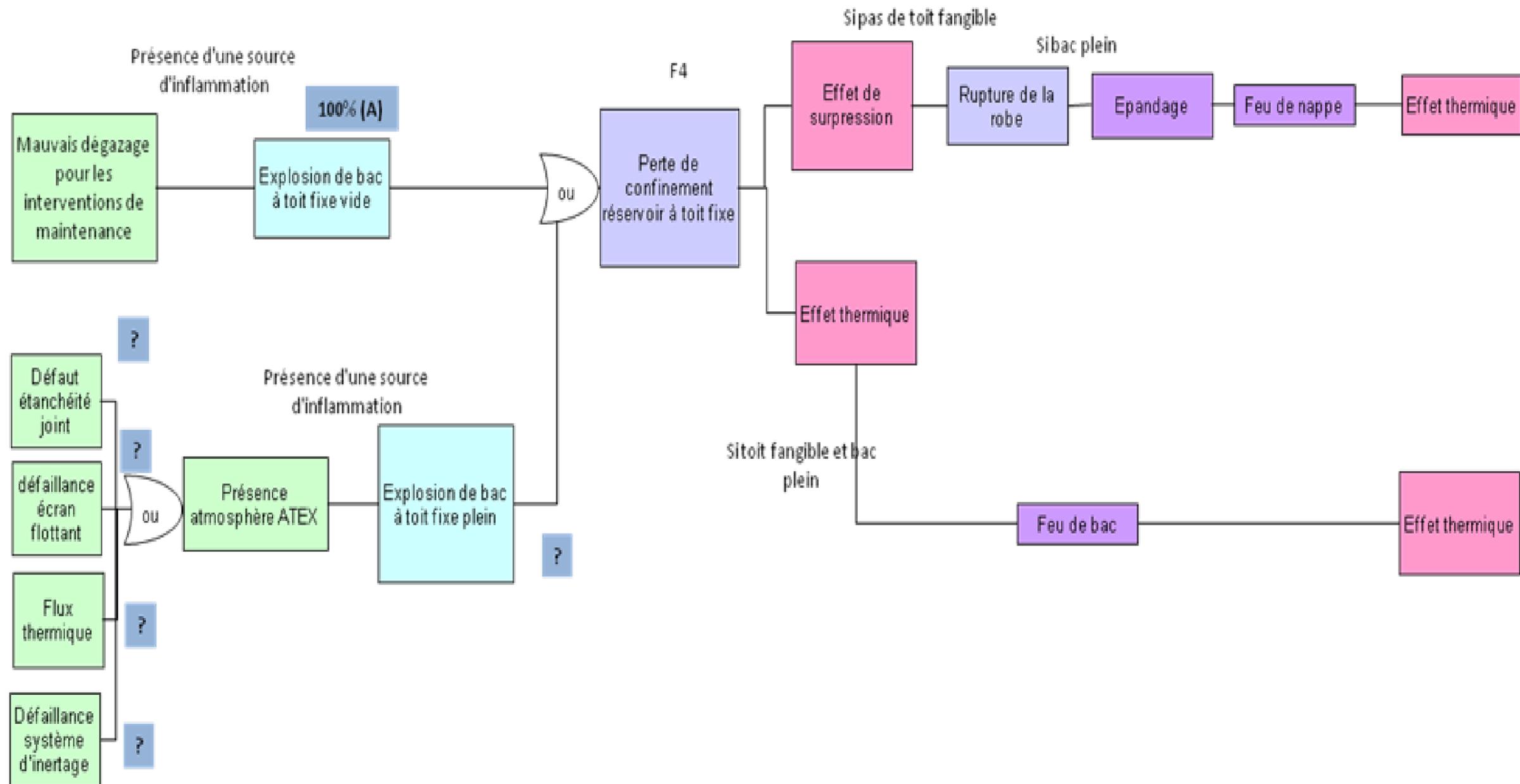


3.3.2.4 Fuite de réservoir (classe de fréquence exprimée par réservoir et par an)<sup>5</sup>



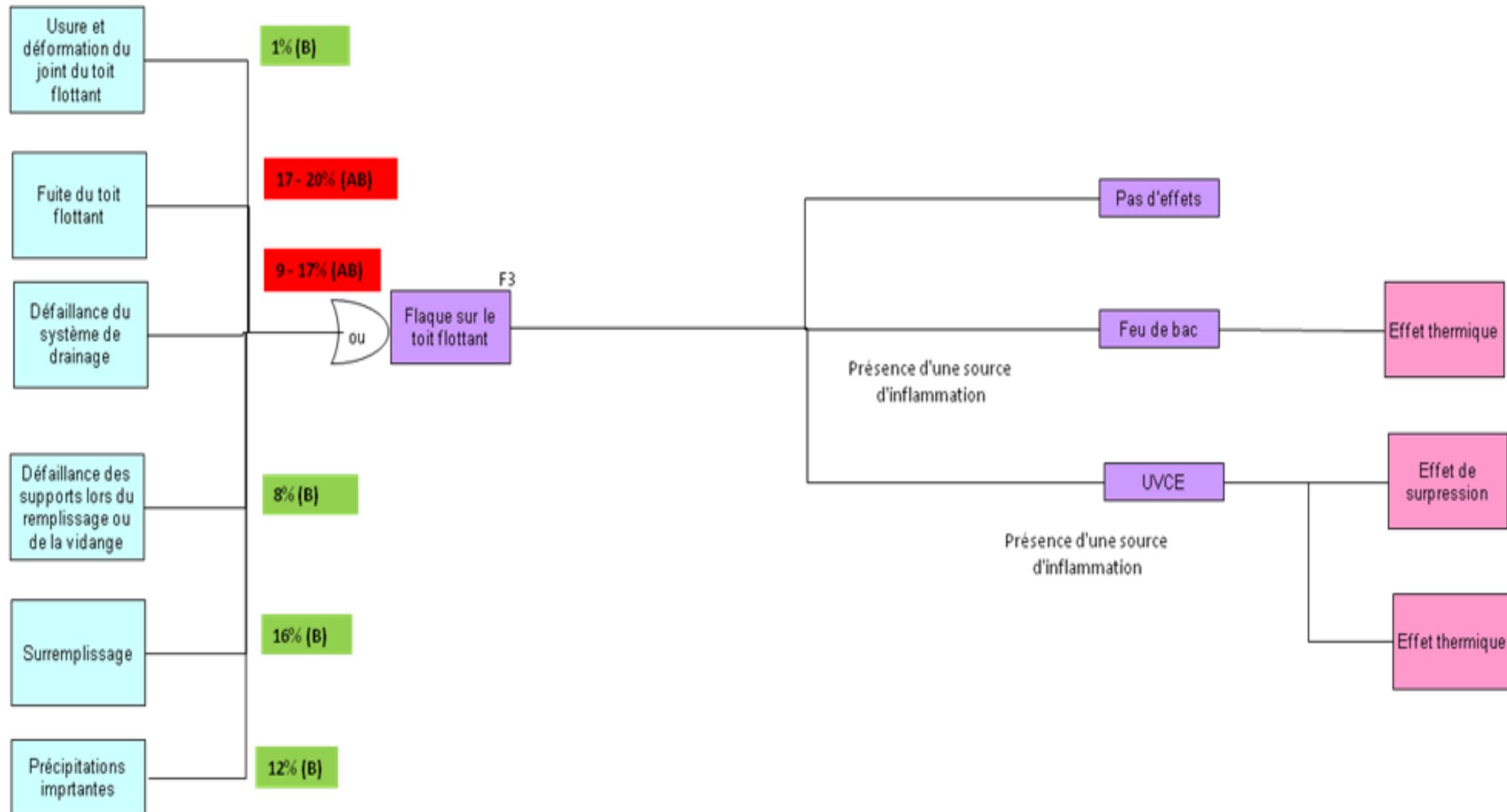
<sup>5</sup> Valeurs de répartition obtenues à l'aide de données issues de LAST FIRE 1997 (B), Hazardous materials release and accident frequencies for process plant (C) et ARIA (A). Les valeurs de répartitions se réfèrent à l'événement « épanchage ».

3.3.2.5 Explosion de bac à toit fixe (classe de fréquence exprimée par réservoir et par an)<sup>6</sup>



<sup>6</sup> Valeurs de répartition obtenues à l'aide de données issues de ARIA (A). La valeur de répartition se réfère à l'événement « perte de confinement ».

3.3.2.6 Flaque sur le toit flottant (classe de fréquence exprimée par réservoir et par an)<sup>7</sup>



<sup>7</sup> Valeurs de répartition obtenues à l'aide de données issues de LAST FIRE 1997 (B) et ARIA (A). Les valeurs de répartitions se réfèrent à l'événement « flaque sur le toit flottant ».

### 3.4 TUYAUTERIES

#### 3.4.1 Synthèse des fréquences de fuites de tuyauteries relevées dans la littérature

Ces classes de fréquences sont exprimées par mètres de tuyauterie par an.

	Fuite totale
<75 mm	F4 – F5
≥ 75 mm et < 150 mm	F5
≥ 150 mm	F5 – F6

#### **Notes:**

- La fréquence de fuite totale est égale à la somme des fréquences de brèche de fuite (exemple Purple book : fuite totale Purple book = fréquence de rupture + fréquence de brèche 10%) ;
- Les définitions du champ d'application des fréquences de perte de confinement des tuyauteries peut-être variable en fonction des sources de données : certaines de ces valeurs intègrent les accessoires liés aux tuyauteries (vannes, brides, joints) d'autres ne le font pas. Une approche conservatrice peut être d'utiliser ces valeurs pour caractériser uniquement la fréquence de perte d'intégrité de la tuyauterie.

#### 3.4.2 Nœud-papillon

##### 3.4.2.1 Commentaires

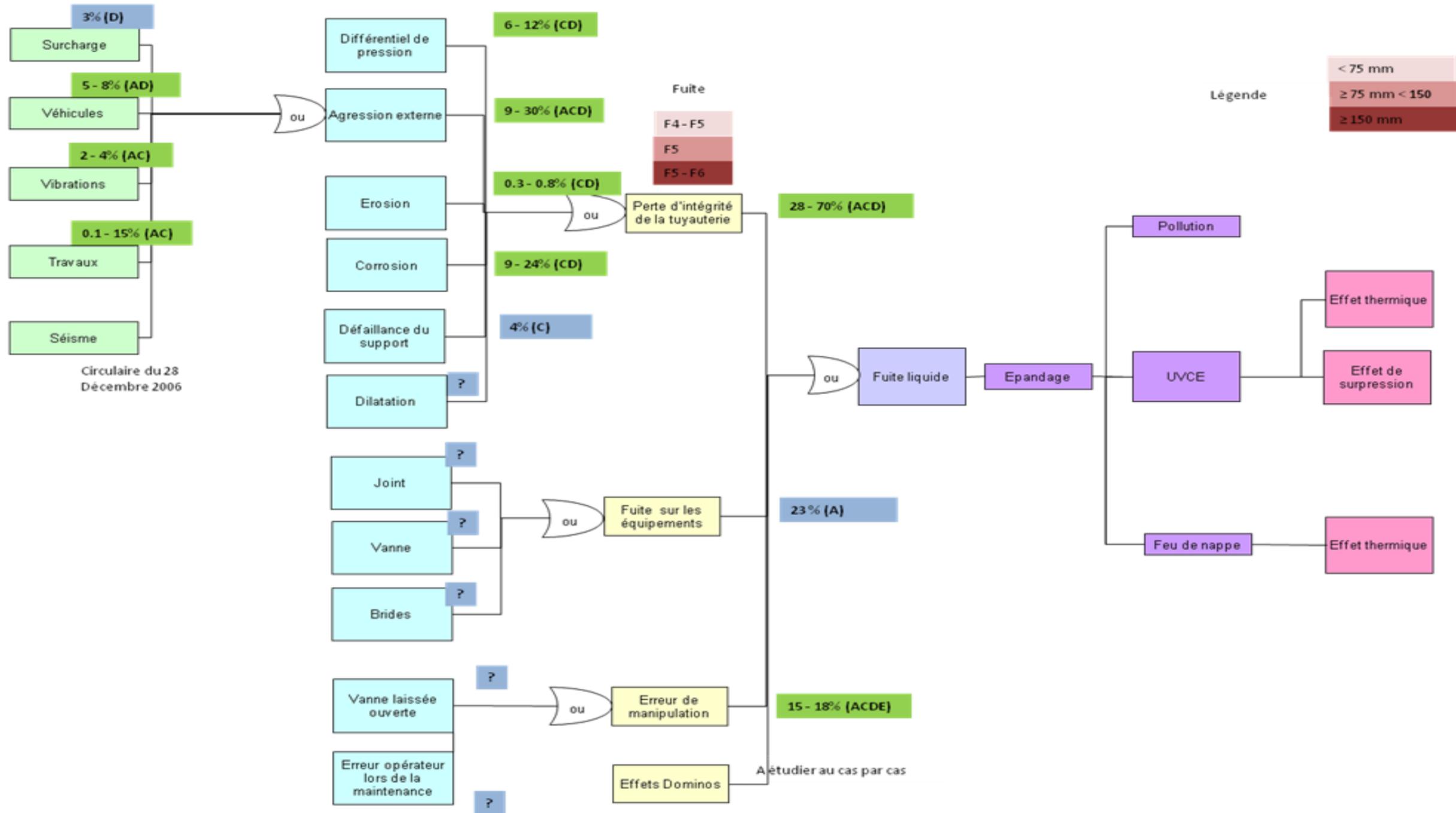
#### **Fuites de tuyauterie**

Aucune information n'a été trouvée sur la répartition des causes de ces fuites par équipement, bien qu'il semble que cette cause de fuite soit très importante par rapport aux autres causes de fuites.

Il semble que la défaillance du support de la tuyauterie et les agressions externes soient des causes importantes de fuites. L'érosion est une cause mineure de fuite de tuyauterie.

Les sources de données utilisées excluent les événements initiateurs érosion, corrosion, défaillance de support, fuite de joint, fuite de vanne et vanne laissée ouverte de l'analyse de la rupture de tuyauterie.

3.4.2.2 Fuite de tuyauterie (classes de fréquence de fuite totale exprimées par mètres par an, assimilant les fréquences de fuites des joints, vannes et brides) <sup>8</sup>



<sup>8</sup> Valeurs de répartition obtenues à l'aide de données issues de Hazardous materials release and accident frequencies for process plant (C), ARIA (A), Bellamy, Geyer and Astley 1989 (D), Offshore hydrocarbon release statistics 2002 (E). Les valeurs de répartition se réfèrent à l'événement « fuite liquide ».

### 3.5 POSTE DE CHARGEMENT/ DECHARGEMENT CITERNE MOBILE

#### 3.5.1 Synthèse des fréquences de fuites de flexibles, de bras de chargement/déchargement et de fuite de citerne relevées dans la littérature.

Ces fréquences sont exprimées par opération par an pour les flexibles et les bras de chargement et de déchargement. Elles sont exprimées par poste par an pour les fuites de citerne.

	Rupture	Fuite moyenne
Flexible	F4 – F6	F4 – F5
Bras de chargement/ déchargement	F7	F6
Citerne (camion/ wagon)		F6

#### 3.5.2 Nœud-papillon

##### 3.5.2.1 Commentaires

#### **Épandage poste de chargement / déchargement wagon et camion – Flexible et bras de déchargement**

L'analyse des sources de données révèle que la fuite de flexible ou de bras de déchargement reste la première cause d'un épandage au poste de chargement et déchargement, la fuite d'une citerne la seconde cause et le débordement de citerne la troisième.

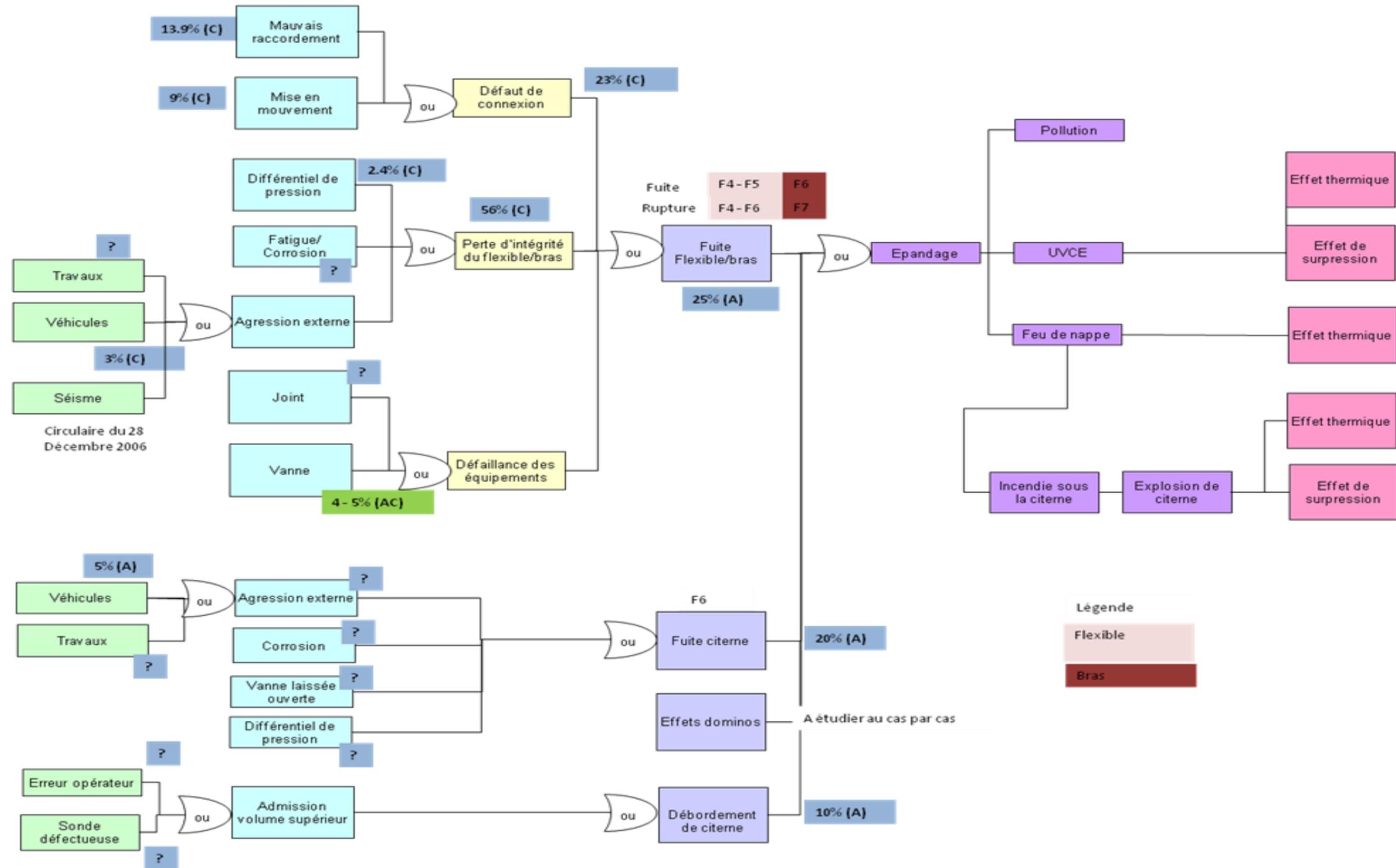
Les premières causes de fuite de flexible et de bras de déchargement sont le défaut de connexion, la fatigue et la corrosion de ces équipements. La cause différentielle de pression semble au contraire être une cause mineure de fuite.

Peu d'informations sont disponibles sur les fuites et les débordements de citernes.

#### **Épandage massif poste de chargement/déchargement wagon et camion – rupture de bras de chargement/déchargement et de flexibles**

Les sources de données chiffrées utilisées excluent de l'analyse des ruptures de flexible et de bras de déchargement les événements initiateurs mauvaise connexion, fuite joint, fuite de vanne, fatigue et corrosion, différentiel de pression.

3.5.2.2 Epandage poste de chargement / déchargement wagon et camion – Flexible et bras de déchargement (classes de fréquence exprimées par heure d’opération pour les flexibles et les bras et par poste par an pour les fuites et débordements de citernes)<sup>9</sup>



<sup>9</sup> Valeurs de répartition obtenues à l’aide de données issues de Hazardous materials release and accident frequencies for process plant (C) et ARIA (A).

**Les valeurs de répartition se réfèrent aux événements « fuite flexible/bras », « fuite citerne » et « débordement de citerne ».**

**Ensuite pour chacun de ces événements une répartition de cause est proposée dans la partie amont de l’arbre de défaillance.**

## 3.6 POMPES

### 3.6.1 Synthèse des fréquences de fuites de pompes relevées dans la littérature.

Ces fréquences sont exprimées par pompe et par an.

	Rupture	Fuite large
Pompes	F3 – F4	F3 - F4

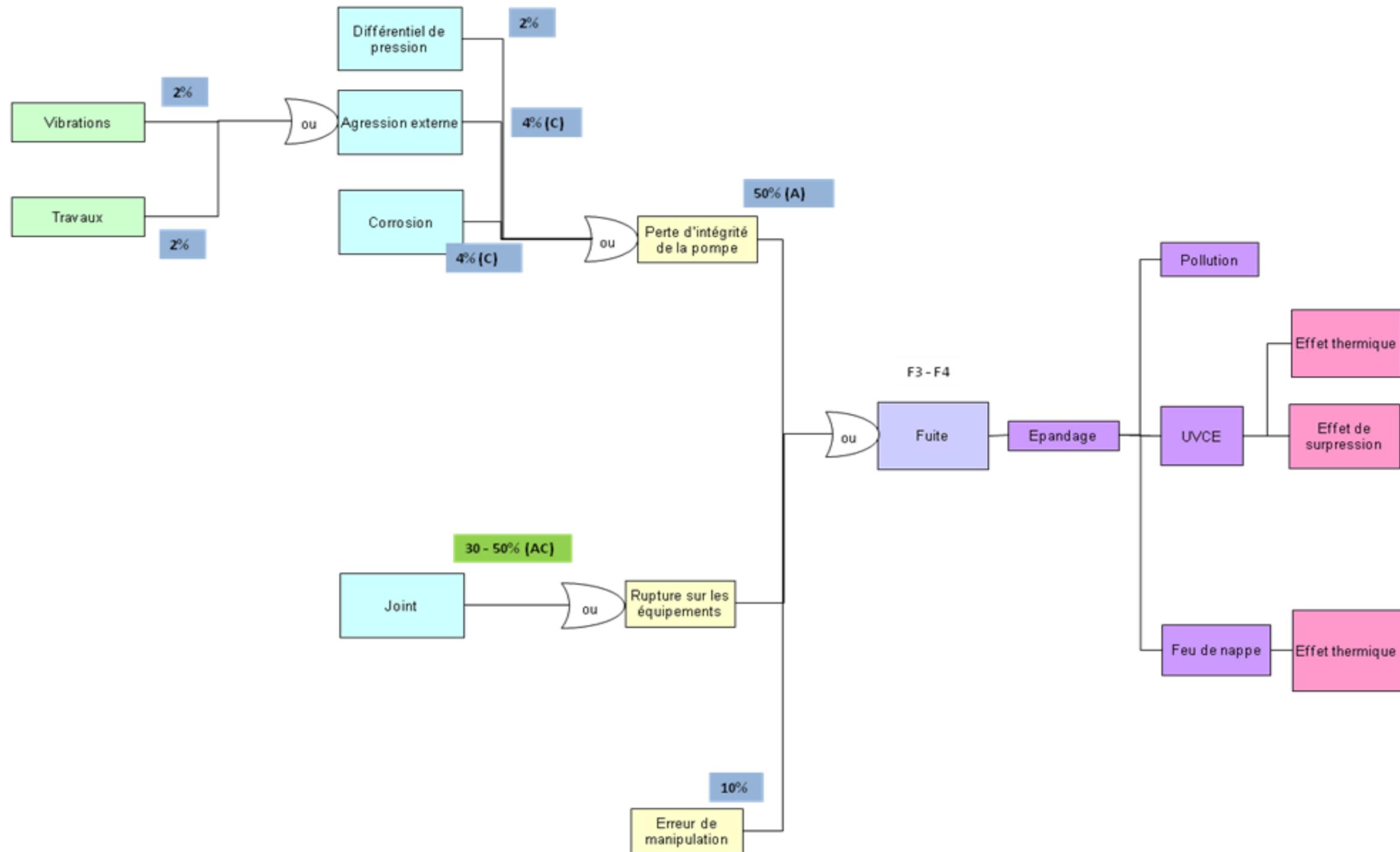
### 3.6.2 Nœud-papillon

#### 3.6.2.1 Commentaires

##### **Fuite et rupture de pompe**

L'analyse des sources de données révèle que la majorité des fuites de pompes proviennent de fuites de joints. Les erreurs de manipulation constituent une deuxième cause majoritaire.

3.6.2.2 Fuite et rupture (classes de fréquences exprimées par pompe par an)<sup>10</sup>

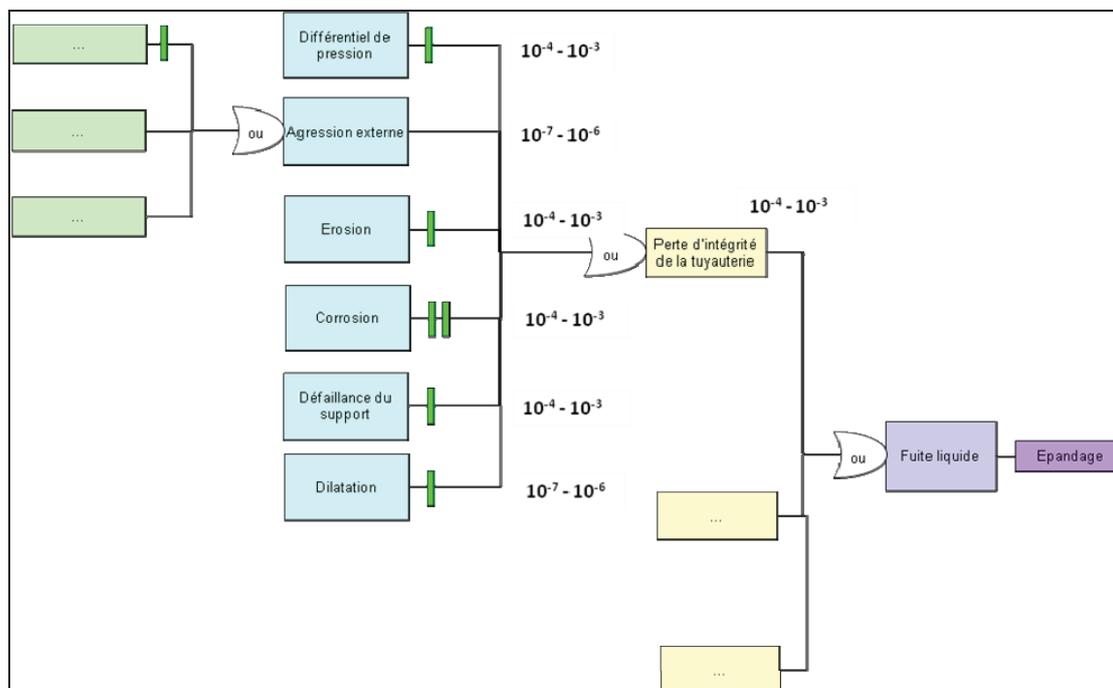


<sup>10</sup> Valeurs de répartition obtenues à l'aide de données issues de Hazardous materials release and accident frequencies for process plant et, ARIA. Les valeurs de répartition se réfèrent à l'événement « fuite liquide ».

### 3.7 EXEMPLE D'UTILISATION DU GUIDE PRATIQUE :

#### 3.7.1 Cas fictif :

Le cas étudié ici est la quantification en fréquence 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 :



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.

#### 3.7.2 Confrontation des valeurs avec les informations disponibles dans le guide pratique :

L'utilisation des pourcentages de répartition de cause dans le cadre d'une quantification de classes de fréquence repose sur les hypothèses suivantes :

- Une cause représentant plus de 10% des causes d'un événement redouté central aura une classe égale à la classe de fréquence d'un événement redouté central ou inférieure d'un ordre par rapport à la classe de fréquence d'un événement redouté central ;
- Une cause représentant moins de 10% des causes d'un événement redouté central aura toujours une classe de fréquence inférieure d'un ordre à la classe de fréquence de l'événement redouté central ;
- Une cause représentant moins de 1% des causes d'un événement redouté central aura toujours une classe de fréquence inférieure de deux ordres à la classe de fréquence de l'événement redouté central ;

- Une cause représentant moins de 0.1% des causes d'un événement redouté central aura toujours une classe de fréquence inférieure de trois ordres à la classe de fréquence de l'événement redouté central ;
- Etc.

Dans ce cadre, la confrontation des répartitions proposées dans le guide avec les valeurs retenues par le groupe de travail donne les résultats suivants :

- L'évaluation de l'événement initiateur « différentiel de pression » traduit un niveau de sécurité moyen ;
- L'évaluation de l'événement initiateur « agression externe » traduit un niveau de sécurité significativement plus élevé par rapport à la moyenne devant être justifié par la présence de mesure de sécurité supplémentaire ;
- L'évaluation de l'événement initiateur « érosion » traduit un niveau de sécurité significativement plus bas par rapport à la moyenne. Le niveau d'incertitude lié à ce constat est « fort ». L'arbitrage entre la valeur proposée par le guide professionnel et la valeur proposée par le groupe de travail doit être réalisé au regard de l'incertitude associée à l'évaluation du groupe de travail ;
- L'évaluation de l'événement initiateur « corrosion » traduit un niveau de sécurité moyen ;
- L'évaluation de l'événement initiateur « défaillance support » traduit un niveau de sécurité plus bas par rapport à la moyenne. Le niveau d'incertitude lié à ce constat est « très fort ». L'arbitrage entre la valeur proposée par le guide professionnel et la valeur proposée par le groupe de travail doit être réalisé au regard de l'incertitude associée à l'évaluation du groupe de travail ;
- Le guide ne propose pas de valeur pour l'événement initiateur « dilatation ». L'estimation proposée par le groupe de travail est donc conservée.

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

Si le niveau d'incertitude des estimations du groupe de travail est « très fort », les changements suivants peuvent être apportés :

- 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 « agression externe » pourrait être ramené à  $10^{-4} - 10^{-3}$  ;
- S'il n'existe pas de facteurs particuliers produisant une érosion excessive sur les tuyauteries, la classe de fréquence de « érosion » pourrait être ramené à  $10^{-6} - 10^{-5}$  ;
- Dans le cas de la « défaillance support », les informations disponibles restent peu fiables. La classe de fréquence  $10^{-4} - 10^{-3}$  peut être conservée.

### 3.8 PROBABILITES D'INFLAMMATION

Le guide professionnel des dépôts de liquides inflammables réalisé dans le cadre du groupe de travail national sur les dépôts de liquide inflammable propose les valeurs guides suivantes :

Nuage contenu dans la zone	Produit Cat. B	Produit Cat. C
Classée ATEX avec présence de personnel occasionnelle (exemple : cuvette de rétention)	1.00E-02	1.00E-03
Classée ATEX avec forte présence de personnel (exemple : zone de dépotage)	1.00E-01	1.00E-02
Nuage contenu dans une zone non classée ATEX	1	1.00E-01

Les valeurs ci-dessus peuvent être utilisées si les équipements et les procédures dans les zones ATEX suivent les exigences associées à ces zones, et si l'analyse de risque démontre qu'il n'existe pas de source d'inflammation particulières sur le site et dans son environnement.

Si la cause de l'événement redouté central est liée à une source d'énergie ou à une température haute, la probabilité d'inflammation est de 1 pour les produits de catégorie B et de 1.00E-01 pour les produits de catégorie C.

Les probabilités d'inflammation peuvent également être évaluées à partir d'un raisonnement qualitatif. Dans ce cadre, les paramètres à prendre en compte sont notamment les suivants :

- L'étendue de l'épandage ;
- La durée de la fuite ;
- La nature de la cause de perte de confinement de substance ;
- La présence de source d'inflammation et de barrières de prévention.



## 4. CONCLUSION

Les différents retours d'expérience réalisés par l'INERIS ont permis de porter un regard critique sur les deux principales méthodes de quantification utilisées par les industriels français pour caractériser la probabilité des phénomènes dangereux dans les études de dangers : l'approche quantitative « par les événements redoutés centraux » et l'approche quantitative ou semi-quantitative « par les événements initiateurs ».

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

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

Ce guide pratique doit fournir des informations sur les séquences accidentelles, les fréquences d'événements initiateurs, les répartitions de causes des événements redoutés centraux et les fréquences d'événements redoutés centraux.

Un premier guide pratique concernant les dépôts pétroliers de liquide inflammable est proposé dans le cadre de ce rapport. Il a été construit à partir des travaux présentés dans le guide dépôts de liquide inflammable du groupe de travail national sur les dépôts de liquide inflammable et de l'analyse et de l'exploitation de 39 sources de données.

Les informations fournies dans ce rapport demeurent cependant parcellaires. Elles ne permettent pas de s'affranchir d'une réflexion sur la quantification au sein d'un groupe de travail dans le cadre d'une analyse de risque.

Ce guide pratique fournit néanmoins des éléments qui permettent d'alimenter la réflexion sur la quantification des scénarios accidentels en probabilité :

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

Les données de ce rapport nécessitent d'être complétées dans le cadre d'un processus d'amélioration et de réactualisation périodique :

- Au niveau des séquences accidentelles traités dans ce rapport : celles-ci pourraient être complétées par d'autres nœuds-papillons ;
- 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'événement redoutés centraux, notamment par l'analyse de sources de données complémentaires encore non-identifiées lors de la réalisation de ce document ;
- Au niveau des répartitions de causes, par l'analyse de sources de données complémentaires non-exploitées dans le cadre de ce rapport. L'exploitation de la base de données d'accidentologie « VICTOR » et de la base de données d'accidentologie « FACTS » paraît à ce titre particulièrement pertinente.

## 5. REFERENCES

Références bibliographiques	
1	Evaluation des performances des barrières techniques de sécurité (DCE-DRA 73) – évaluation des barrières techniques de sécurité – $\Omega$ 10 – INERIS.
2	Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA35) – Démarche d'évaluation des barrières humaines de sécurité – $\Omega$ 20 – INERIS.
3	Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA-35) - L'étude de dangers d'une installation classée - $\Omega$ -9 – INERIS.
4	Guide dépôts de liquides inflammables – version Septembre 2008 – Guide de maîtrise des risques technologiques dans les dépôts de liquides inflammables (hors produits réchauffés, et hors stockages raffineries et usines pétrochimiques).
5	Prestation pour l'Administration – Méthodes d'évaluation de la probabilité dans des dépôts de GPL – INERIS
6	Programme EAT-DRA 74 – Opération I: Négociation territoriale des risqués – Retours d'expérience sur l'utilisation de la réglementation liée à l'appréciation de la démarche de maîtrise des risques – INERIS.
7	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.
8	F.P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, second ed., Butterworth-Heinemann, 1996.
9	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.
10	J.R. Taylor, Hazardous materials release and accident frequencies for process plant, 2004.
11	OREDA – Offshore Reliability Data - 4th Edition – SINTEF – 2002.
12	Committee for the Prevention of Disasters (CPR), Guidelines for Quantitative Risk Assessment—“Purple Book” CPR18E, SDU, The Hague, 1999.

<b>Références bibliographiques</b>	
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.
14	E S R e D A series on statistics : EIReDA European Industry Reliability Data Bank, Third Edition, Henri PROCACCIA, Spyros P. ARSENIS, Patrick AUFORT, Giuseppe VOLTA, Crete university press, 1998.
15	Guidelines for process equipment reliability data, with data tables, Center for chemical process safety (CCPS), February 1989.
16	Layer of protection analysis – Simplified Process Risk Assessment – Center for chemical process safety (CCPS) – 2001.
17	OFFSHORE HYDROCARBON RELEASES STATISTICS AND ANALYSIS, 2002, HID STATISTICS REPORT HSR 2002 002, Health & Safety Executive, 2003.
18	Ang M.L., Cox AW, Lees F.P. Classification of hazardous locations, Inter-institutional Group on the Classification of Hazardous Locations (IIGCHL), 1990.
19	Last Fire, large atmospheric storage tank fires, a joint oil industry project to review the fire related risks of large, open- top floating roof storage tanks, june 1997.
20	John Spourge (DNV), New generic leak frequencies for process equipment, in process safety progress - 2005.
21	ARAMIS – Accidental Risk Assessment Methodology for IndustrieS in the context of SEVESO II directive – The European Commission Community Research – Project under the 5th framework programme – 2001.
22	Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessment – HSE – 2004.

<b>Références réglementaires</b>	
1	Arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.
2	Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.
3	Circulaire du 29 septembre 2005 relative aux critères d'appréciation de la démarche de maîtrise des risques d'accidents susceptibles de survenir dans les établissements dits « SEVESO ».
4	Circulaire du 28 décembre 2006 relative à la mise à disposition du guide d'élaboration et de lecture des études de dangers pour les établissements soumis à autorisation avec servitudes et des fiches d'application des textes réglementaires récents.
5	Circulaire DPPR/SEI2/AL-07-0257 du 23 juillet 2007 relative à l'évaluation des risques et des distances d'effets autour des dépôts de liquides inflammables et des dépôts de gaz inflammables liquéfiés
6	Note de doctrine générale du 15 Octobre 2008 relative aux effets de vague dans les dépôts de liquides inflammables (y compris stockages au sein de sites industriels tels les raffineries.



## 6. LISTE DES ANNEXES

<b>Repère</b>	<b>Désignation précise</b>	<b>N°pages</b>
A	Sources de données de perte de confinement revues dans le cadre de cette étude	3
B	Fréquences de perte de confinement	23
C	Informations relatives aux fréquences d'événements initiateurs	30
D	Estimation de la fréquence d'occurrence d'un événement initiateur à partir d'un retour d'expérience	3
E	Intervalles de confiance et estimation d'une fréquence d'événement	2



## ***Annexe A :***

**Sources de données de perte de confinement revues  
dans le cadre de cette étude**



## Sources de données de perte de confinement revues dans le cadre de cette étude

Source de données	Source de données étudiée en profondeur dans le cadre du panorama des sources de données ?	Source de données retenues pour la détermination des fréquences de perte de confinement	Commentaires
Guideline PERD 1989	Oui	Oui	/
COVO	Oui	Oui	/
S.H Bush 1977	Oui	Oui	/
Classification of hazardous location 1990	Oui	Oui	/
Purple book 2005	Oui	Oui	/
LAST FIRE 1997	Oui	Oui	/
Chapter 6K: Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments 2004	Oui	Oui	/
D. C. Arulanantham et F.P. Lees 1981	Oui	Oui	/
Hazardous materials release and accident frequencies for process plant 2005	Oui	Oui	/
Hawksley 1984	Non	Oui	/

Source de données	Source de données étudiée en profondeur dans le cadre du panorama des sources de données ?	Source de données retenues pour la détermination des fréquences de perte de confinement	Commentaires
WASH 1400 1975	Non	Oui	/
Hurst Davies et al 1994	Non	Oui	/
LOPA 2001	Non	Oui	/
Phillips and Warwick 1968	Oui	Non	Capacités sous pression
Pape and Nussey 1985	Oui	Non	Chlore
EIREDA 1998	Oui	Non	Taux de défaillance
J. Spourge 2005	Oui	Non	Redondance avec les données LEAK
AE Green and JR Bourne- Reliability technology 1972	Oui	Non	Informations insuffisantes sur l'origine des données
ARAMIS project	Oui	Non	Redondance avec plusieurs sources de données
First and second Canvey report	Oui	Non	Incertitudes sur les définitions associées aux données
Offshore hydrocarbon release statistics 2002	Oui	Non	Probable redondance avec les données LEAK. Format des données inadapté
OREDA 2002	Oui	Non	Taux de défaillance

Source de données	Source de données étudiée en profondeur dans le cadre du panorama des sources de données ?	Source de données retenues pour la détermination des fréquences de perte de confinement	Commentaires
Balstone and Tomi 1980	Non	Non	Incertitudes sur la définition des événements
Considine, Grint and Holden 1982	Non	Non	GPL
Anon Power reactors in member states IAEA 1977	Non	Non	Données non-comparables
D.J. Smith 1985	Non	Non	Taux de défaillance
Welker and Schorr - American Gas association 1979	Non	Non	LNG
Baldock 1980	Non	Non	Ammoniac
Blything and Parry 1986	Non	Non	Données non exploitables dans le cadre de ce rapport
Drysdale and Davis 1979	Non	Non	GPL
Bellamy, Geyer and Astley 1989	Non	Non	Données non exploitables dans le cadre de ce rapport



## ***Annexe B :***

### **Fréquences de perte de confinement**



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. RESERVOIRS</b> .....	<b>3</b>
1.1 Rupture : .....	3
1.2 Explosion de réservoir à toit fixe : .....	4
1.3 Eclatement de réservoir à toit fixe : .....	4
1.4 Fuite large : .....	5
1.5 Petites fuites et fuites moyennes : .....	6
1.6 Epanchage sur le toit flottant.....	8
1.7 Synthèse : .....	8
<b>2. TUYAUTERIE</b> .....	<b>9</b>
2.1 Ruptures de tuyauterie .....	9
2.1.1 Ruptures de tuyauteries de moins de 75 mm de diamètre .....	9
2.1.2 Rupture de tuyauteries dont le diamètre est compris entre 75 (inclus) et 150 mm (inclus) .....	10
2.1.3 Rupture de tuyauteries dont le diamètre est supérieur à 150 mm .....	11
2.1.4 Rupture de tuyauteries tous diamètres .....	12
2.2 Fuites moyennes .....	13
2.2.1 Fuites moyennes de tuyauteries de moins de 75 mm de diamètre.....	13
2.2.2 Fuites moyennes de tuyauteries de diamètre compris entre 75 mm (inclus) et 150 mm .....	14
2.2.3 Fuite moyenne de tuyauteries dont le diamètre est supérieur à 150 mm	15
2.2.4 Fuites moyennes tous diamètres .....	16
2.3 Synthèse : .....	16
2.4 Synthèse fuite totale : .....	17
<b>3. POSTE DE CHARGEMENT/ DECHARGEMENT CITERNE MOBILE</b> .....	<b>18</b>
3.1 Rupture de flexible : .....	18
3.2 Fuite de flexible : .....	19

3.3	Rupture de bras de chargement/ déchargement :.....	20
3.4	Fuite de bras de chargement/ déchargement.....	20
3.5	Fuite de citerne .....	20
3.6	Synthèse : .....	21
<b>4.</b>	<b>POMPE :.....</b>	<b>22</b>
4.1	Large fuite : .....	22
4.2	Rupture : .....	23

# 1. RESERVOIRS

## 1.1 RUPTURE :

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Commentaires
					Bas	Moyenne	Haut	
Bacs à toit flottant	Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant – J.R. Taylor	2002	/	Rupture catastrophique		5.00E-05		Capacité par an
Bacs à toit fixe	Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant – J.R. Taylor	2002	/	Rupture catastrophique		6.00E-06		Capacité par an
Capacité à température ambiante	Failure rate and events data within risk assessment	2004	Liquides inflammables	Catastrophique		5.00E-06		Capacité par an
Capacité à température ambiante à simple paroi	Purple book	2005	/	Rejet instantané de tout le contenu dans l'atmosphère		5.00E-06		Capacité par an

## 1.2 EXPLOSION DE RESERVOIR A TOIT FIXE :

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Commentaires
					Bas	Moyenne	Haut	
Bacs à toit fixe	Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant – J.R. Taylor	2002	/	Explosion		1.00E-04		Capacité par an
Bacs à toit fixe	Guide professionnel DLI	2008	/	Explosion		4.00E-05		Capacité par an

## 1.3 ECLATEMENT DE RESERVOIR A TOIT FIXE :

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Commentaires
					Bas	Moyenne	Haut	
Bacs à toit fixe	Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant – J.R. Taylor	2002	/	Rupture en raison d'une surpression		7.8E-07		Capacité par an

## 1.4 FUI TE LARGE :

Equipment/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Commentaires
					Bas	Moyenne	Haut	
Bacs à toits flottant	Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant – J.R. Taylor	2002	/	Fuite large		2E-04		Capacité par an
Capacité à température ambiante	Failure rate and events data within risk assessment	2004	Liquides inflammables	Majeure		1.00E-04		Capacité par an
Capacité à température ambiante à simple paroi	Purple book	2005	/	Rejet continue d'une brèche d'un diamètre de 10 mm dans l'atmosphère		1.00E-04		Capacité par an
Bacs à toits fixes	Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant – J.R. Taylor	2002	/	Fuite large		1.00E-04		Capacité par an
Capacité à température ambiante à simple paroi	Purple book	2005	/	Rejet continue de tout le contenu en 10 minutes à un taux constant de rejet dans l'atmosphère		5.00E-06		Capacité par an

## 1.5 PETITES FUITES ET FUITES MOYENNES :

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Commentaires
					Bas	Moyenne	Haut	
Capacité métallique atmosphérique	Guideline PERD 1989	1989	/	Catastrophique	1.10E-03	8.51E-03	2.61E-02	Capacité par an
Capacité de stockage non-pressurisé	D.C. Arulanantham et F.P. Lees	1981	Chimie des procédés traitant de substances hautement toxiques et corrosives	Taux de défaillance		2.00E-03		Défaillance définie comme étant une défaillance menant à une fuite ou une défaillance qui aurait pu causer une fuite si elle n'avait pas été détectée
Bacs à toits flottants de plus de 40 mètres de diamètre	Last Fire	1997	Liquides inflammables	Rejet à l'extérieur de l'enveloppe du réservoir	2.3E-03	2.8E-03	3.5E-03	Capacité par an
Bacs à toits fixes	Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant – J.R. Taylor	2002	/	Petite fuite (jusqu'à 25 mm)		2.8E-03		Capacité par an

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Commentaires
					Bas	Moyenne	Haut	
Capacité à température ambiante	Failure rate and events data within risk assessment	2004	Liquides inflammables	Mineure		2.5E-03		Capacité par an
Bacs à toits fixes	Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant – J.R. Taylor	2002	/	Petite fuite (jusqu'à 25 mm)		1.00E-03		Capacité par an
Bacs à toits flottant	Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant – J.R. Taylor	2002	/	Fuite moyenne (jusqu'à 50 mm)		1.00E-03		Capacité par an
Bacs à toits fixes	Hazardous Materials Release and Accident Frequencies for Process Plant – J.R. Taylor	2002	/	Fuite moyenne (jusqu'à 50 mm)		5.00E-04		Capacité par an

## 1.6 EPANDAGE SUR LE TOIT FLOTTANT

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence			Commentaires
					Bas	Moyenne	Haut	
Bac à toit flottant de plus de 40 mètres de diamètre	Last Fire	1997	Liquides inflammables	Epandage sur le toit flottant	1.2E-03	1.6E-03	2.1E-03	Capacité par an

## 1.7 SYNTHÈSE :

	Rupture	Fuite large	Petite et moyenne fuite	Explosion réservoir à toit fixe	Eclatement réservoir à toit fixe	Epandage sur le toit flottant
Réservoirs	F4 – F5	F3 – F4	F2 - F3	F4	F6	F3

## 2. TUYAUTERIE

### 2.1 RUPTURES DE TUYAUTERIE

2.1.1 Ruptures de tuyauteries de moins de 75 mm de diamètre							
Equipement	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
< 75 mm	WASH 1400 Rasmussen report	1975	Nucléaire	2.59E-07	8.64E-06	2.59E-04	Données récoltées pour le nucléaire mais pas forcément dans les installations nucléaires.
< 75 mm	Purple book	2005	/		1.00E-06		Générique mètre par an
25 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	/		1.00E-06		Générique mètre par an
50 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	/		1.00E-06		Générique mètre par an
0 – 45mm	Failure rate and events data within risk assessment	2004	/		1.00E06		Générique mètre par an
<50 mm	COVO	1979	/		8.64E-07		Les sources de données du COVO sont : « Reactor Safety study- an assessment of accidental risks in the US Commercial Nuclear Power Plant » WASH 1400 (1975), Smith TA and Warwick RG « The second Survey of defects in pressure vessel built to high standards of construction and its relevance to nuclear primary circuits » (1974).

### 2.1.2 Rupture de tuyauteries dont le diamètre est compris entre 75 (inclus) et 150 mm (inclus)

Equipements	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
75 mm	Gulf d'après Hawksley	1984	/		2.95E-07		Générique mètre par an
75 mm	Cremer and Warner d'après Hawksley	1984	/		9.84E-07		Générique mètre par an
>75 mm	WASH 1400 Rasmussen report	1975	Nucléaire	2.59E-08	8.64E-07	2.59E-05	Données récoltées pour le nucléaire mais pas forcément dans les installations nucléaires.
≥75 mm et ≤150mm	Purple book	2005	/		3.00E-07		Générique mètre par an
100 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	/		3.00E-07		Générique mètre par an
50 – 149 mm	Failure rate and events data within risk assessment	2004	/		5.00E07		Générique mètre par an
>50 mm et <150 mm	COVO	1979	/		2.59E-07		Les sources de données du COVO sont : « Reactor Safety study- an assessment of accidental risks in the US Commercial Nuclear Power Plant » WASH 1400 (1975), Smith TA and Warwick RG « The second Survey of defects in pressure vessel built to high standards of construction and its relevance to nuclear primary circuits » (1974), SRS Data Bank, Phillips CAG and Warwick RG « A survey of Defects in pressure Vessels built to high standards of construction and its relevance to nuclear primary circuits » (1969)

### 2.1.3 Rupture de tuyauteries dont le diamètre est supérieur à 150 mm

Equipement	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
250 mm	Gulf d'après Hawksley	1984			8.2E-08		Générique mètre par an
250 mm	Cremer and Warner d'après Hawksley	1984			9.84E-08		Générique mètre par an
> 150 mm	Purple book	2005			1.00E-07		Générique mètre par an
300 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990			1.00E-07		Générique mètre par an
150 – 1000 mm	Failure rate and events data within risk assessment	2004			7.00E-08	4.00E-08	Générique mètre par an
> 150 mm	COVO	1979			8.64E-08		Les sources de données du COVO sont : « Reactor Safety study- an assessment of accidental risks in the US Commercial Nuclear Power Plant » WASH 1400 (1975), Smith TA and Warwick RG « The second Survey of defects in pressure vessel built to high standards of construction and its relevance to nuclear primary circuits » (1974), SRS Data Bank, Phillips CAG and Warwick RG « A survey of Defects in pressure Vessels built to high standards of construction and its relevance to nuclear primary circuits » (1969)

### 2.1.4 Rupture de tuyauteries tous diamètres

Equipement	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
Tuyauterie	LOPA	2001	/	1.00E-08	1.00E-06	1.00E-07	Générique mètre par an
Tuyauterie	Guideline PERD	1989	/	1.33E-04	7.65E-03	2.59E-02	Source : Hazardous Waste Tank Failure
Tuyauterie	Hurst Davies et al	1994	/		4.60E-07		Les pipelines et les flexibles sont exclus de cette étude. Le taux de défaillance varie d'un ordre 2.5 au niveau de confiance 95%.
Tuyauterie	S.H Bush	1977	Nucléaire	1.00E-06	1.00E-05	1.00E-04	Composant par an.
Tuyauterie	S.H Bush	1977	Nucléaire		5.90E-05		Générique mètre par an

## 2.2 FUITES MOYENNES

2.2.1 Fuites moyennes de tuyauteries de moins de 75 mm de diamètre							
Equipment	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
< 75 mm	Purple Book	2005	/		5.00E-06		Générique mètre par an
25 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	/		1.00E-05		Générique mètre par an
50 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	/		1.00E-05		Générique mètre par an
0 – 49 mm	Failure rate and events data within risk assessment	2004	/	1.00E-05		5.00E-06	Générique mètre par an
< 50 mm	COVO	1979	/		8.64E-06		Les sources de données du COVO sont : « Reactor Safety study- an assessment of accidental risks in the US Commercial Nuclear Power Plant » WASH 1400 (1975), Smith TA and Warwick RG « The second Survey of defects in pressure vessel built to high standards of construction and its relevance to nuclear primary circuits » (1974), SRS Data Bank, Phillips CAG and Warwick RG « A survey of Defects in pressure Vessels built to high standards of construction and its relevance to nuclear primary circuits » (1969)

## 2.2.2 Fuites moyennes de tuyauteries de diamètre compris entre 75 mm (inclus) et 150 mm

Equipement	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	Moyenne	Haut	
75 mm	Gulf d'après Hawhsley (brèche 20%)	1984	/		6.56E-07		Générique mètre par an
75 mm	Gulf d'après Hawhsley (brèche 5%)	1984	/	1.00E-06	5.00E-05	1.00E-05	Générique mètre par an
75 mm	Cremer and Warner d'après Hawhsley	1984	/		9.84E-06		Générique mètre par an
≥75 mm et ≤ 150 mm	Purple Book	2005	/		2.00E-06		Générique mètre par an
100 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	/		6.00E-06		Générique mètre par an
50 – 149 mm	Failure rate and events data within risk assessment	2004	/	2.00E-06		1.00E-06	Générique mètre par an
>50 mm et < 150 mm	COVO	1979	/		5.18E-06		Les sources de données du COVO sont : « Reactor Safety study- an assessment of accidental risks in the US Commercial Nuclear Power Plant » WASH 1400 (1975), Smith TA and Warwick RG « The second Survey of defects in pressure vessel built to high standards of construction and its relevance to nuclear primary circuits » (1974), SRS Data Bank.

### 2.2.3 Fuite moyenne de tuyauteries dont le diamètre est supérieur à 150 mm

Equipement	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
250 mm	Gulf d'après Hawhsley (brèche 20%)	1984	/		1.97E-07		Générique mètre par an
250 mm	Gulf d'après Hawhsley (brèche 5%)	1984	/		4.27E-07		Générique mètre par an
150 mm	Cremer and Warner d'après Hawhsley	1984	/		3.28E-06		Générique mètre par an
> 150 mm	Purple Book	2005	/		5.00E-07		Générique mètre par an
300 mm	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	1990	/		3.00E-06		Générique mètre par an
150 – 1000 mm	Failure rate and events data within risk assessment	2004	/		1.00E-06	1.00E-07	Générique mètres par an
> 150 mm	COVO	1979	/		2.59E-06		Les sources de données du COVO sont : « Reactor Safety study- an assessment of accidental risks in the US Commercial Nuclear Power Plant » WASH 1400 (1975), Smith TA and Warwick RG « The second Survey of defects in pressure vessel built to high standards of construction and its relevance to nuclear primary circuits » (1974), SRS Data Bank, Phillips CAG and Warwick RG « A survey of Defects in pressure Vessels built to high standards of construction and its relevance to nuclear primary circuits » (1969)

2.2.4 Fuites moyennes tous diamètres							
Equipement	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
Tuyauterie	LOPA	2001	/	1.00E-06	5.00E-05	1.00E-05	Générique mètre par an

### 2.3 SYNTHÈSE :

	Rupture	Fuite moyenne
Tuyauteries de moins de 75 mm de diamètre	F5	F5 – F6
Tuyauteries de diamètre compris entre 75 mm (inclus) et 150 mm	F6	F6
Tuyauteries dont le diamètre est supérieur à 150 mm	F5 – F6	F7

## 2.4 SYNTHÈSE FUITE TOTALE :

La fuite totale est la somme des fréquences de fuite des modes de fuites (rupture, 10%...)

	DNV <sup>1</sup>	Purple book	Failure rate and events data within risk assessment	Classification of hazardous locations, Cox Lees and Ang	COVO	Synthèse classe de fréquence
Tuyauteries de moins de 75 mm de diamètre	9.5E-06	7E-06	8.5E-06	2.2E-05	9.5E-06	F4 – F5
Tuyauteries de diamètre compris entre 75 mm (inclus) et 150 mm	4E-06	2.3E-06	1.7E-06	6.3E-06	5.44E-06	F5
Tuyauteries dont le diamètre est supérieur à 150 mm	1.26E-06	6E-07	5.07E-06	3.1E-06	2.68E-06	F5 – F6

<sup>1</sup> Données extraites du guide professionnel sur les dépôts de liquides inflammables. Les valeurs proposées par DNV sont données pour différents diamètres. Pour rendre ces valeurs comparables avec les autres fréquences de perte de confinement, une moyenne des fréquences données pour des diamètres différents a été réalisée.

### 3. POSTE DE CHARGEMENT/ DECHARGEMENT CITERNE MOBILE

#### 3.1 RUPTURE DE FLEXIBLE :

Equipement	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
Flexible	Purple book	2005	/		4.00E-06		Par heure de fonctionnement
Flexible	Failure rate and events data within risk assessment	2004	/		4.00E-05		Installation basique : pourvu d'un système de prévention des mises en mouvement (cales), mise en place de procédures d'inspection et de procédures de tests de pressions et de fuites avant les opérations.  Par opération.
Flexible	Failure rate and events data within risk assessment	2004	/		4.00E-06		Installation typique: pourvue de deux systèmes de prévention des mises en mouvement (dont une doit être les cales), mise en place de procédures d'inspection et de procédures de tests de pressions et de fuites avant les opérations.  Par opération.
Flexible	Failure rate and events data within risk assessment	2004	/		2.00E-07		Installation à haut niveau de sécurité : pourvue de deux systèmes de prévention des mises en mouvement (dont une doit être les cales), d'un système de protection contre les mises en mouvement (système qui arrête le flux en cas d'arrachement), mise en place de procédures d'inspection et de procédures de tests de pressions et de fuites avant les opérations.  Par opération.

### 3.2 FUITE DE FLEXIBLE :

Equipement	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
Flexible	Purple book	2005	/		4.00E-05		Par heure de fonctionnement
Flexible	Failure rate and events data within risk assessment	2004	/		1.30E-05		Installation basique : pourvu d'un système de prévention des mises en mouvement (cales), mise en place de procédures d'inspection et de procédures de tests de pressions et de fuites avant les opérations.  Par opération. Brèche de 5 mm
Flexible	Failure rate and events data within risk assessment	2004	/		6.00E-06		Installation typique: pourvue de deux systèmes de prévention des mises en mouvement (dont une doit être les cales), mise en place de procédures d'inspection et de procédures de tests de pressions et de fuites avant les opérations.  Par opération. Brèche de 5 mm
Flexible	Failure rate and events data within risk assessment	2004	/		6.00E-06		Installation à haut niveau de sécurité : pourvue de deux systèmes de prévention des mises en mouvement (dont une doit être les cales), d'un système de protection contre les mises en mouvement (système qui arrête le flux en cas d'arrachement), mise en place de procédures d'inspection et de procédures de tests de pressions et de fuites avant les opérations.  Par opération. Brèche de 5 mm

### 3.3 RUPTURE DE BRAS DE CHARGEMENT/ DECHARGEMENT :

Equipement	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
Bras de chargement/déchargement	Purple book	2005	/		3.00E-08		Par heure de fonctionnement

### 3.4 FUITE DE BRAS DE CHARGEMENT/ DECHARGEMENT

Equipement	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
Bras de chargement/déchargement	Purple book	2005	/		3.00E-07		Par heure de fonctionnement

### 3.5 FUITE DE CITERNE

Equipement	Source de données	Date	Domaine d'activité	Fréquence de fuite			Commentaires
				bas	moyenne	Haut	
Citerne	Purple book	2005	/		5.00E-07		Rejet continu d'une brèche de la taille de la connexion la plus large.

### 3.6 SYNTHÈSE :

	Rupture	Fuite moyenne
Flexible	F4 – F6	F4 – F5
Bras de chargement/ déchargement	F7	F6
Citerne (camion/ wagon)		F6

## 4. POMPE :

### 4.1 LARGE FUITE :

Équipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence de fuite	Commentaires
Pompes	Classification of hazardous locations	1990	/	Fuite majeure	3.00E-04	fuites par an
Pompes sans apport d'énergie extérieur	Purple book	2005	/	Fuite à partir d'un trou de diamètre équivalent à 10% du diamètre de la tuyauterie avec une taille de brèche maximale de 50 mm (diamètre)	5.00E-04	Par pompe par an
Pompes avec un corps en acier forgé	Purple book	2005	/	Fuite à partir d'un trou de diamètre équivalent à 10% du diamètre de la tuyauterie avec une taille de brèche maximale de 50 mm (diamètre)	2.50E-04	Par pompe par an
Pompes sans garniture	Purple book	2005	/	Fuite à partir d'un trou de diamètre équivalent à 10% du diamètre de la tuyauterie avec une taille de brèche maximale de 50 mm (diamètre)	5.00E-05	Par pompe par an

## 4.2 RUPTURE :

Equipement/ événement	Source de données	Date	Domaine (si spécifié)	Mode de défaillance	Fréquence de fuite	Commentaires
Pompes	Classification of hazardous locations	1990	/	Rupture	3.00E-05	fuites par an
Pompes sans apport d'énergie extérieur	Purple book	2005	/	Rupture guillotine de la plus grosse tuyauterie connectée	1.00E-04	Par pompe par an
Pompes avec un corps en acier forgé	Purple book	2005	/	Rupture guillotine de la plus grosse tuyauterie connectée	5.00E-05	Par pompe par an
Pompes sans garniture	Purple book	2005	/	Rupture guillotine de la plus grosse tuyauterie connectée	1.00E-05	Par pompe par an



## ***Annexe C :***

**Informations relatives aux fréquences d'événements initiateurs**



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. RESERVOIRS</b> .....	<b>2</b>
1.1 Rupture réservoir/ perte de confinement réservoirs à toit fixe: .....	2
1.2 Fuite : .....	5
1.3 Flaque sur le toit flottant .....	11
<b>2. FUITES DE TUYAUTERIES</b> .....	<b>14</b>
<b>3. EPANDAGE AU POSTE DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT FLEXIBLES ET BRAS</b> .....	<b>21</b>
<b>4. POMPES</b> .....	<b>28</b>

Cette liste des événements initiateurs reste non-exhaustive. D'autre part les informations relatives aux facteurs influençant l'occurrence des événements nécessitent d'être complétés.

## 1. RESERVOIRS

### 1.1 RUPTURE RESERVOIR/ PERTE DE CONFINEMENT RESERVOIRS A TOIT FIXE:

<b>Désignation</b>	
<i>Mauvais dégazage pour les interventions de maintenances</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Perte de confinement réservoir à toit fixe
<b>Description</b>	
Temps de dégazage insuffisant ou procédure de déficiente	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Raleigh 2006 (N°33574); Lespinasse 2001 (N°19979)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Type d'écran flottant: exemple, dégazage facile avec les écrans flottants soudés.	
Procédure d'intervention dans les bacs	
Caractéristiques des substances stockées	
Fréquence des interventions dans les bacs	

<b>Désignation</b>	
<i>Défaut d'étanchéité du joint de l'écran flottant</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Perte de confinement réservoir à toit fixe
<b>Description</b>	
Fuite du joint d'étanchéité du joint de l'écran flottant (dans le cas d'un bac à écran flottant)	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	LAST FIRE - Joint endommagé - 4E-04
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas d'information	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Type de joint utilisé	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Défaillance écran flottant</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Perte de confinement réservoir à toit fixe
<b>Description</b>	
Fuite sur l'écran flottant - submersion (dans le cas d'un bac à écran flottant)	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas d'information	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Type d'écran flottant : exemple bonne flottabilité des écrans boulonnés à contact liquide	
Caractère corrosif du produit stocké	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Défaillance système d'inertage</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Perte de confinement réservoir à toit fixe
<b>Description</b>	
Défaillance système d'inertage (dans le cas d'un bac muni d'un système d'inertage)	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas d'information	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

<b>Désignation</b>	
<i>Event bouché</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Perte de confinement réservoir à toit fixe
<b>Description</b>	
Events du bac bouchés (oiseaux, outils...)	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas d'information	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Dimensionnement des événements	
Fréquence des opérations de maintenance au niveau des événements	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Travaux - agression externe</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Rupture réservoir
<b>Description</b>	
Choc dû à la chute d'un élément lors de travaux (grue)	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Fréquence et nature des travaux réalisés autour du bac	
Conditions de réalisation et de suivi des travaux	

## 1.2 FUITE :

<b>Désignation</b>	
<i>Piquage</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Rupture de piquage du pied de bac	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	0 - 17%
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - 1E-03 - 1E-06 par an et par piquage
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Environnement favorable à la corrosion/érosion	
Caractère corrosif du produit stocké	
Vibration excessive sur la ligne	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Corrosion - usure - système de drainage ou de purge</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Corrosion - usure - système de drainage (dans le cas d'un toit flottant) ou de purge	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	3%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Vilette-de-Vienne 2007 (n°34249), Rinngold 1992 (n°10207)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Environnement favorable à la corrosion/érosion	
Caractère corrosif du produit stocké	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Erreur humaine - système de drainage ou de purge</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Oubli de fermeture de vanne après opération de drainage (dans le cas d'un toit flottant) ou de purge	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	1.5 - 2%
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - erreur humaine - F0 - F02 ou 1E-03 - 1E-04 par opération.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Reichstett 1991 (n°26193)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Procédure de drainage et de purge	
Fréquence des opérations de drainage et de purge	

<b>Désignation</b>	
<i>Fuite trou d'homme</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Fuite au niveau du trou d'homme ou trou d'homme laissé ouvert	
<b>Cotation du scénario (moyenne avec barrières)</b>	0 - 17%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Saint Quentin Fallavier 2006 (N°32443), Goteborg 2003 (N°32890)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Environnement favorable à la corrosion/érosion	
Caractère corrosif du produit stocké	
Procédures de vérification des équipements après maintenance	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Erreur humaine - manipulation de vanne</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Oubli de fermeture d'une vanne (vanne de purge, pied de bac...), mauvais positionnement du manifold	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	7.14%
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - erreur humaine - F0 - F02 ou 1E-03 - 1E-04 par opération.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
St Ouen 1991 (N°3396)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

<b>Désignation</b>	
<i>Fuite de vanne</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Fuite sur une vanne du bac	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Classification of hazardous location - 1E-03 - 1E-04
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
San Juan Ixhuatepec 1996 (N°10120)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Travaux - agression externe</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Choc dû à la chute d'un élément lors de travaux (outils de maintenance, grue, charge...)	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas d'informations	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Fréquence et nature des travaux réalisés autour du bac	
Conditions de réalisation et de suivi des travaux	

<b>Désignation</b>	
<i>Corrosion</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Corrosion excessive non-anticipée et non-détectée	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	15 - 36%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Fawley 1999 (N°22282), Essex 1999 (N°22285), Concarneau 2003 (N°24636)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Environnement favorable à la corrosion	
Caractère corrosif du produit stocké	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Erosion</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Erosion excessive non-anticipée et non-détectée	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Pas d'information
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Caractère corrosif du produit stocké	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Erreur humaine - mauvaise estimation du creux</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Mauvaise estimation du creux lors du remplissage	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - erreur humaine - F0 - F02 ou 1E-03 - 1E-04 par opération.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Chalmette 1992 (N°11653); Villeneuve-le-Roi 1992 (N°4582); Paris 1989(N°2778)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Fréquence des contrôles de niveaux réguliers	
Procédures d'estimation du creux	

<b>Désignation</b>	
<i>Défaillance de la sonde - mauvaise estimation du creux</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Mauvaise estimation du creux lors du remplissage	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Fréquence des inspections et des tests des jauges de niveaux et sondes	
Procédures d'estimation du creux	

<b>Désignation</b>	
<i>Défaillance de la vanne de pied de bac - surremplissage</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite réservoir
<b>Description</b>	
Défaillance de la vanne de pied d'un bac interconnecté avec un autre bac qui conduit au surremplissage du bac. Mauvais positionnement du manifold	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	3%
<b>Cotation Sources de données</b>	Guideline PERD 1989 - 1E-02 par demande (pas de changement de position à la demande); EIREDA 98 - 1E-02 par demande
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Notre Dame de Gravenchon 2006 (N°32693)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Interconnexion des bacs - transfert gravitaire entre les bacs	
Procédures de remplissage des bacs	
Inspection et test des jauges de niveaux	

### 1.3 FLAQUE SUR LE TOIT FLOTTANT

<b>Désignation</b>	
<i>Usure et déformation du joint de toit flottant</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Flaque sur le toit flottant
<b>Description</b>	
Fuite au niveau du joint formant une flaque sur le toit flottant.	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	1%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas d'information	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Type de joints utilisés (à patins métalliques; élastique; à lèvres)	
Environnement favorable à la corrosion	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Fuite du toit flottant</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Flaque sur le toit flottant
<b>Description</b>	
Fissures sur le toit flottant (corrosion, fatigue)	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	17 - 20%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Milford haven 1983 (N°6077)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Environnement favorable à la corrosion/érosion	
Qualité du système et des procédures de drainage des eaux de pluie	
Type de toit flottant utilisé: exemple toit flottant à simple pont plus sensible à la corrosion et à la fatigue (difficultés de drainages des eaux de pluies et plus de prise au vent) que les toits flottants à double ponts	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Défaillance du système de drainage</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Flaque sur le toit flottant
<b>Description</b>	
Système de drainage du toit flottant bouché ou non-opérationnel. Situation propice à l'accumulation d'eau sur le toit pouvant mener à sa submersion	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	9 - 17%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas d'information	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Fréquence des opérations de maintenance	
Intensité des précipitations dans la région	
Type de toit flottant utilisé: la présence de "trop pleins" sur les toits flottants à double pont permet un drainage plus facile des eaux par rapport aux toits flottants à simple pont.	
Procédures de drainage du toit flottant	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Défaillance du toit flottant lors du remplissage</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Flaque sur le toit flottant
<b>Description</b>	
Toit flottant se bloquant lors du remplissage du bac.	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	8%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Beaumont 1992 (N°10208)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

<b>Désignation</b>	
<i>Surremplissage</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Flaque sur le toit flottant
<b>Description</b>	
Mauvaise estimation du creux lors du remplissage, ou erreur de bac de réception lors du remplissage/ erreur sur la manipulation des vannes du bac; infiltration des substances stockées sur le toit flottant.	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	16%
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - erreur humaine - FO - F02 ou 1E-03 - 1E-04 par opération.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas d'information	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Interconnexion des bacs - transfert gravitaire entre les bacs	
Procédures de remplissage des bacs (exemple: présence constante des opérateurs lors du remplissage)	
Fréquence des contrôles de niveaux	
Fréquences des inspections et des tests des jauges de niveaux	

<b>Désignation</b>	
<i>Précipitations importantes</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Flaque sur le toit flottant
<b>Description</b>	
Précipitations importantes générant un volume d'eau important sur le toit flottant et pouvant provoquer un affaissement du toit flottant	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	12%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Norco 2001 (N°20587)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Conditions météorologiques de la région	
Système de drainage du toit	

## 2. FUITES DE TUYAUTERIES

<b>Désignation</b>	
<i>Différentiel de pression</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Coup de bélier	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	6 - 12%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Procédures d'utilisation de la canalisation (opérations sur les vannes)	
Nombre de points bas dans le tracé des tuyauteries	

<b>Désignation</b>	
<i>Surcharge</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Surcharge sur les tuyauteries	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	3%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'informations
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Conditions météorologiques dans la région	
Procédure d'intervention sur les tuyauteries et les équipements à proximité (interdiction d'escalader les tuyauteries)	

<b>Désignation</b>	
<i>Véhicules</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Collision d'un véhicule et d'une tuyauterie	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	5 - 8%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
NC (N°27989)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Distance des tuyauteries avec des voies de circulation	
Restrictions sur la circulation au sein du site (limitation de vitesse)	
Difficultés et facilités pour le passage des véhicules	
Fréquence de passages sur les voies de circulation à proximité des tuyauteries	

<b>Désignation</b>	
<i>Vibrations</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Fatigue de l'équipement due à la vibration	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	2 - 4%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Présence d'équipement provoquant des vibrations (exemple: certaines pompes)	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Travaux</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Chute de grues ou chute d'objets (pièces détachées, outils) pendant les travaux	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	0.1 - 15%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Nanterre 2004 (N°30007)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Procédures de mise en œuvre des travaux	
Fréquence et nature des travaux	
Difficultés existantes pour le passage des engins	
Position de la tuyauterie par rapport aux équipements susceptibles d'être l'objet d'interventions de maintenance	
Conditions de suivi des travaux	

<b>Désignation</b>	
<i>Erosion</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Erosion excessive non-anticipée et non-détectée	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	0.3 - 0.8%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas d'informations	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Inspection	
Caractéristiques des produits traités	
Environnement favorable à l'érosion	

<b>Désignation</b>	
<i>Corrosion</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Corrosion excessive non-anticipée et non-détectée	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	9 - 24%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas d'informations	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Environnement favorable à la corrosion (à proximité d'une étendue d'eau salée)	
Caractère corrosif du produit stocké	
Inspection	
Nature des substances transportées et de la maintenance des tuyauteries situées au-dessus de la tuyauterie étudiée: exemple des fuites sur des tuyauteries qui ne transportent pas de substances dangereuses peuvent accélérer la corrosion des tuyauteries situées à proximité.	
Ruissellement des eaux de pluies	
Support des tuyauteries (corrosion plus rapide pour des tuyauteries installées sur des poutres ou sur d'autres tuyauteries)	

<b>Désignation</b>	
<i>Défaillance du support</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Défaillance du support des tuyauteries	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	4%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Etat des supports des tuyauteries	
Régularité de l'implantation des supports de tuyauteries	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Fuite de joint</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Fuite de joint installé sur la tuyauterie	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	0 - 23%
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - fuite de joint statique - 1.00E-02 par an.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Saint Herblain 1991 (N°2914)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

<b>Désignation</b>	
<i>Fuite vanne</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Fuite de vanne installée sur la tuyauterie	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	0 - 23%
<b>Cotation Sources de données</b>	Classification of hazardous location - 1E-03 - 1E-04
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

<b>Désignation</b>	
<i>Fuite de brides</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Fuite de bride installée sur la tuyauterie	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	0 - 23%
<b>Cotation Sources de données</b>	Inconnue
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

<b>Désignation</b>	
<i>Erreur humaine - vanne laissée ouverte</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Vanne laissée ouverte (exemple vanne de purge)	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	0 - 18%
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - erreur humaine - F0 - F02 ou 1E-03 - 1E-04 par opération.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Bouchemaine 2000 (N°18635)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

<b>Désignation</b>	
<i>Erreur operateur lors d'une maintenance</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Maintenance sur une tuyauterie en cours d'utilisation	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	0 - 18%
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - erreur humaine - F0 - F02 ou 1E-03 - 1E-04 par opération.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Formation des agents de maintenance	
Procédures de mise en œuvre de la maintenance	

<b>Désignation</b>	
<i>Dilatation</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de tuyauterie
<b>Description</b>	
Dilatation de produit piégé dans les tuyauteries	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Pas d'information
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

### 3. EPANDAGE AU POSTE DE CHARGEMENT/DECHARGEMENT FLEXIBLES ET BRAS

<b>Désignation</b>	
<i>Mauvais raccordement - fuite flexible ou bras</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Mauvais raccordement du flexible ou du bras à la citerne - défaillance de l'opérateur ou du clip.	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	13,9%
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - erreur humaine - F0 - F02 ou 1E-03 - 1E-04 par opération.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Belley 1987 (n°18216)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Procédure de connexion du flexible	
Types de clips : exemple les clips à pression semblent plus fiables que les clips à écrous	
Présence et qualité de régulateurs de débit	

<b>Désignation</b>	
<i>Mise en mouvement - fuite flexible ou bras</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Mise en mouvement intempestif du camion ou du wagon - collision avec un autre véhicule ou départ intempestif du chauffeur.	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	9%
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - erreur humaine - F0 - F02 ou 1E-03 - 1E-04 par opération.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Présence d'une pente au PCC	
Procédure de chargement/ déchargement	

<b>Désignation</b>	
<i>Différentiel de pression - fuite flexible ou bras</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epannage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Différentiel de pression dans le flexible ou le bras	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	2.4%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

<b>Désignation</b>	
<i>Fatigue ou corrosion - fuite flexible ou bras</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epannage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Fatigue ou corrosion du flexible ou du bras	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Flexible renforcé	
Inspection	
Conditions de stockage des flexibles (qui doivent être stockés droits, sur des racks et sans possibilité pour les camions ou les wagons de rouler dessus)	
Taille des bras appropriée par rapport à la distance séparant le circuit du site et les citernes	

<b>Désignation</b>	
<i>Travaux - Agression externe- fuite flexible ou bras</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Chute d'engin de levage sur le flexible ou le bras	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Fréquence et suivi des travaux aux alentours du PCC	
Recours à des gros engins pour la réalisation des travaux	

<b>Désignation</b>	
<i>Véhicule - agression externe - fuite flexible ou bras</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Collision d'un véhicule avec le flexible ou le bras	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	3%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Restrictions sur la vitesse et les manœuvres de circulation des véhicules dans le PCC	

<b>Désignation</b>	
<i>Fuite de joint - fuite flexible ou bras</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Fuite de joint	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - fuite de joint statique - 1.00E-02 par an.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

<b>Désignation</b>	
<i>Vanne - fuite flexible ou bras</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Fuite de vanne	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	4 - 5%
<b>Cotation Sources de données</b>	Classification of hazardous location - 1E-03 - 1E-04
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Epinal 1988 (n°503)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

<b>Désignation</b>	
<i>Véhicule - Agression externe- Fuite citerne</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Collision du wagon ou d'un camion avec un autre véhicule	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	5%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Bassens 1988 (n°685)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Restrictions sur la vitesse et les manœuvres de circulation des véhicules dans le PCC	

<b>Désignation</b>	
<i>Travaux - Agression externe - fuite citerne</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Chute d'un engin de levage ou de charge sur le camion ou le wagon	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
fréquence et suivi des travaux aux alentours du PCC	
Recours à des gros engins pour la réalisation des travaux	

<b>Désignation</b>	
<i>Corrosion - fuite citerne</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Corrosion de la citerne	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Caractéristiques des produits transportés	
Caractéristiques de la citerne	

<b>Désignation</b>	
<i>Vanne laissée ouverte - fuite citerne</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Vanne de citerne laissée ouverte pendant le chargement	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - erreur humaine – 1 à 10 <sup>-2</sup> /an ou 1E-03 - 1E-04 par opération.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Caractéristiques de la citerne	

<b>Désignation</b>	
<i>Erreur opérateur - Admission volume supérieur - Débordement citerne</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Surremplissage de la citerne	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - erreur humaine – 1 à 10 <sup>-2</sup> /an ou 1E-03 - 1E-04 par opération.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Présence des opérateurs lors des opérations de chargement	
Caractéristiques de la citerne	

<b>Désignation</b>	
<i>Défaillance sonde - Admission volume supérieur - Débordement citerne</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Epandage poste Charg./decharg./Flexible/bras
<b>Description</b>	
Défaillance de la sonde de niveau de la citerne conduisant à un surremplissage	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	Inconnue
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Caractéristiques de la citerne	

## 4. POMPES

<b>Désignation</b>	
<i>Différentiel de pression</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de pompe
<b>Description</b>	
Différentiel de pression	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	2.00%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Procédures d'utilisation de la canalisation (opérations sur les vannes)	
Nombre de points bas dans le tracé des tuyauteries	

<b>Désignation</b>	
<i>Vibrations</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de pompe
<b>Description</b>	
Fatigue de l'équipement due à la vibration	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	2.00%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Inspection	

<b>Désignation</b>	
<i>Travaux</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de pompe
<b>Description</b>	
Chute de grues ou chute d'objets (pièces détachées, outils, charges) pendant les travaux	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	2%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Procédures de mise en œuvre des travaux	
Fréquence et nature des travaux	
Difficultés existantes pour le passage des engins	
Position de la pompe par rapport aux équipements susceptibles d'être l'objet d'interventions de maintenance	
Conditions de suivi des travaux	

<b>Désignation</b>	
<i>Corrosion</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de pompe
<b>Description</b>	
Corrosion excessive non-anticipée et non-détectée	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	4%
<b>Cotation Sources de données</b>	Pas d'information
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	
Environnement favorable à la corrosion (à proximité d'une étendue d'eau salée)	
Caractère corrosif du produit pompé	
Inspection	
Nature des substances transportées et de la maintenance des équipements situés au-dessus de la pompe étudiée: des fuites sur des tuyauteries qui ne transportent pas de substances dangereuses peuvent accélérer la corrosion des pompes situées à proximité.	

<b>Désignation</b>	
<i>Fuite de garniture</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de pompe
<b>Description</b>	
Fuite de joint installé sur la pompe	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	30 - 50%
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - fuite de joint statique - 1.00E-02 par an.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Reichstett 2006 (n°32542)	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

<b>Désignation</b>	
<i>Erreur de manipulation</i>	
<b>Événement redouté central associé</b>	Fuite de pompe
<b>Description</b>	
Maintenance sur une tuyauterie en cours d'utilisation	
<b>Part du scénario dans les causes de l'événement redouté central</b>	10%
<b>Cotation Sources de données</b>	ICSI - erreur humaine - F0 - F02 ou 1E-03 - 1E-04 par opération.
<b>Exemples accidentologie ARIA</b>	
Pas de référence	
<b>Facteurs influençant l'occurrence des événements</b>	

## ***Annexe D :***

**Estimation de la fréquence d'occurrence d'un événement initiateur  
à partir d'un retour d'expérience**



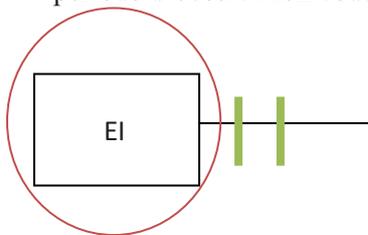
Pour caractériser un événement initiateur, il est indispensable de disposer d'une définition claire et précise de l'événement à étudier en relation avec la perte de confinement étudiée. En effet, seuls les événements initiateurs pouvant conduire à la perte de confinement étudiée sont à considérer.

Ainsi si des libellés génériques de type « Erreur humaine » sont couramment utilisés dans les descriptions des séquences accidentelles (principalement pour des raisons de simplicité), ces libellés ne sont pas suffisants pour prétendre caractériser en fréquence un événement initiateur. Il est dès lors essentiel au moment de la quantification probabiliste de se poser la question suivante : Quels sont précisément les événements initiateurs qui sont susceptibles de conduire à la perte de confinement étudiée ? Quelles sont les erreurs humaines pouvant conduire à la perte de confinement ? L'estimation d'une fréquence d'occurrence d'événement initiateur par un groupe de travail n'est possible que si l'on dispose d'une caractérisation précise des événements.

Le retour d'expérience du site ou du secteur d'activité est la donnée d'entrée pour l'estimation de ces fréquences.

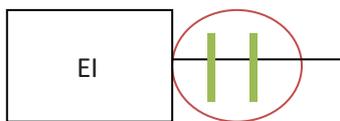
En pratique, le groupe de travail aura à réfléchir aux questions suivantes :

- Combien de fois l'événement initiateur a-t-il été observé au sein du site (N) ? Sur quelle période d'observation vous basez vous (T) ?



En l'absence de réponse précise à ce premier point, la question suivante peut être étudiée :

- Combien de fois les mesures de maîtrise des risques mises en place en aval de l'événement initiateur étudié ont-elles été sollicitées en phase opérationnelle (N) (sont exclues les sollicitations qui ne seraient pas induites par l'occurrence de 'l'événement initiateur étudié') ? Sur quelle période d'observation vous basez-vous (T) ?



On estime alors la fréquence d'occurrence de l'événement initiateur par :  $N/T$

Compte tenu des incertitudes sur les fréquences estimées, l'INERIS propose de travailler sur des classes de fréquence plutôt que sur des valeurs. Ces classes de fréquence sont données ci-dessous :

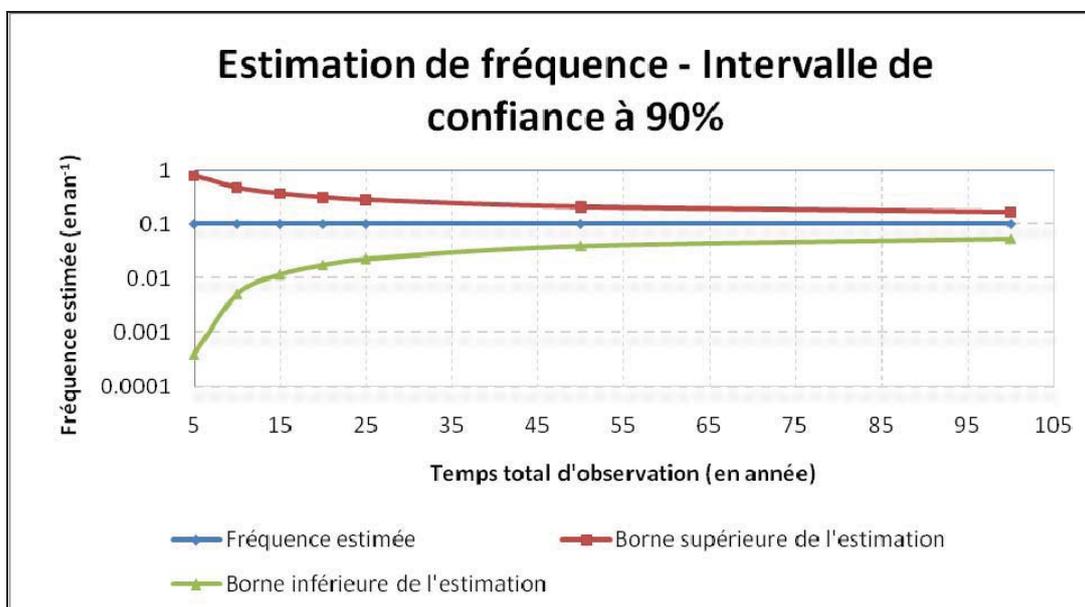
<b>F-2</b>	$10^{+1}/\text{an} \leq \text{Fréquence} < 10^{+2}/\text{an}$ .	10 à 100 fois/an
<b>F-1</b>	$1/\text{an} \leq \text{Fréquence} < 10^{+1}/\text{an}$ .	1 à 10 fois/an
<b>F0</b>	$10^{-1}/\text{an} \leq \text{Fréquence} < 1/\text{an}$ .	1 fois tous les 1 à 10 ans
<b>F1</b>	$10^{-2}/\text{an} \leq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

Tableau 1 Classes de fréquences retenues pour la quantification des événements initiateurs

Plutôt que de retenir N/T comme estimateur de la fréquence, on retiendra alors la classe de fréquence correspondante.

**Note :** L'utilisation de données de retour d'expérience pour estimer une fréquence d'occurrence soulève la question de l'impression des estimations issues de l'exploitation statistique dès lors que peu de données sont à disposition.

Ainsi, l'estimation de la fréquence d'occurrence de l'événement initiateur par N/T peut être très imprécise si la période d'observation des événements étudiés est courte (T faible) et si les événements étudiés sont très rares (N faible). Le graphique ci-dessous permet d'illustrer cette imprécision dans le cas où la fréquence N/T estimée est égale à 0.1 an<sup>-1</sup>.



La précision de l'estimation  $N/T$  réalisée croît naturellement avec le temps total d'observation : Si 1 événement est observé 1 fois sur une période d'observation de 10 ans, sa fréquence estimée sera de 0.1 mais son imprécision sera comprise entre 0.005 et 0.5 (pratiquement 2 classes de fréquence).<sup>1</sup>

Pour une meilleure précision des fréquences estimées, il sera donc en pratique judicieux d'agréger l'expérience de plusieurs sites ayant des configurations proches (même secteur d'activité).

En pratique, sans argumentaire particulier, la classe de fréquence de l'événement initiateur retenue sera de façon majorante la classe de la borne supérieure de l'estimation.

---

<sup>1</sup> La fréquence estimée est égale à  $k/T$  où  $T$  est le temps total d'observation exprimé en année et  $k$  est le nombre d'événements observés sur cette période  $T$ . Dans l'exemple traité sur le graphique,  $k/T$  est fixée à 0.1 et on fait varier  $T$ . La construction de l'intervalle de confiance est expliquée en Annexe E.



## ***Annexe E :***

**Intervalles de confiance et estimation d'une fréquence d'événement**



## LOI DE POISSON POUR MODELISER LE PROCESSUS D'OCCURRENCE DE L'EVENEMENT ETUDIE

Faisons l'hypothèse que le nombre d'occurrence de l'événement étudié sur l'intervalle de temps  $[0, t]$  ( $0$  est par convention le début de suivi du processus) suit une loi de Poisson. Si on note  $N(t)$  la variable aléatoire correspondant au nombre d'occurrence de l'événement étudié sur l'intervalle de temps  $[0, t]$ , on peut alors écrire :

$$P^{N(t)}(n) = P(N(t) = n) = \frac{1}{n!} \times (ft)^n \times e^{-ft} \text{ avec } f > 0 \text{ (cf. note 1)}$$

Il suffit donc d'avoir une estimation de  $f$  pour estimer  $P^{N(t)}(n)$ .

Le choix de cette loi pour modéliser le processus d'occurrence de l'événement étudié implique les hypothèses suivantes:

- Les réalisations de l'événement au cours d'intervalles de temps disjoints sont des variables indépendantes : le nombre de réalisations au cours d'un intervalle de temps donné est indépendant du nombre de réalisations au cours d'intervalles de temps antérieurs.
- La variable aléatoire « temps entre occurrences successives de l'événement » est régie par **une loi exponentielle** de paramètre  $f$ . C'est à dire que si on note  $T$  la variable aléatoire temps entre occurrence successive de l'événement on a :  $P(T \leq t) = 1 - e^{-ft}$ . Cette loi implique l'absence de mémoire du phénomène étudié.

### Estimation de f :

Un estimateur classiquement retenu pour  $f$  est le ratio suivant :

$$\hat{f} = \frac{\text{Nombre d'occurrence de l'évènement sur la fenêtre d'observation}}{\text{Durée d'observation}}$$

Supposons que la durée d'observation de l'événement soit  $T$ .

Supposons que  $k$  occurrences de l'événement ont été enregistrées sur cette période d'observation. Sous ces hypothèses, l'estimation de  $f$  s'écrit alors :

$$\hat{f} = \frac{k}{T} \quad \text{pour } k > 0$$

---

<sup>1</sup> La loi de probabilité est la fonction qui va régir la variable aléatoire étudiée. Le choix de cette fonction est directement lié à la connaissance que l'on a du processus d'occurrence de l'événement étudié. Elle doit donc être choisie en relation avec le retour d'expérience à disposition.

Dans le cas où les données à disposition sont riches, la loi de probabilité sera directement déduite de l'analyse de ces données (modélisation non-paramétrique).

En général cependant, les données ne permettent pas d'accéder à cette loi. C'est notamment le cas dans le domaine des accidents majeurs. On se restreint alors à des lois de probabilité paramétriques classiques et le retour d'expérience sert uniquement à estimer les paramètres de la loi retenue.

Dans le domaine des accidents majeurs, les données généralement à disposition pour caractériser les événements initiateurs sont des fréquences d'occurrence exprimées en année, en nombre d'opération effectuée, en surface par an, en km par an etc. Ainsi, une seule information est généralement à disposition (une fréquence) pour caractériser l'ensemble du processus d'occurrence de l'événement étudié. La loi de probabilité  $P^{N(t)}(n)$  doit donc prendre en compte cette contrainte et ne doit donc dépendre que d'un seul paramètre.

### **Intervalle de confiance de f**

Afin d'être confiant dans notre estimation de f, on calcule son intervalle de confiance. Cet intervalle de confiance à  $(1-\alpha)\%$  s'écrit :

$$\left[ \frac{\chi_{\alpha}^2(2k)}{2T}; \frac{\chi_{1-\alpha}^2(2k+2)}{2T} \right] \text{ pour } k \text{ observations } \neq 0$$

Où  $\chi_{\alpha}^2$  est la loi du  $\chi^2$  à  $\alpha$  degrés de liberté.

Ainsi, si l'intervalle de confiance est fixé à 90% nous sommes confiants à 90% que la vraie valeur de f est comprise dans cet intervalle.



**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](mailto:ineris@ineris.fr) - **Internet** : <http://www.ineris.fr>