

RAPPORT D'ÉTUDE
DRA-13-133667-03310C

10/06/2015

**Guide méthodologique pour l'analyse des
risques des canalisations de transport sous-
marines et subaquatiques**

Guide méthodologique pour l'analyse des risques des canalisations de transport sous-marines et subaquatiques

Direction des Risques Accidentels

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Sandrine DESCOURRIERE,
Céline DUPUIS

PRÉAMBULE

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

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

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

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

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

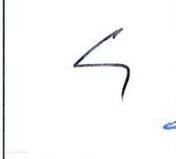
| | Rédaction | Relecture | Vérification | | Approbation |
|---------|---|---|---|---|---|
| NOM | Céline DUPUIS | Sandrine DESCOURRIERE | Frédéric MERLIER | Guillaume CHANTELAUVE | Sylvain CHAUMETTE |
| Qualité | Ingénieur Direction des Risques Accidentels | Ingénieur Direction des Risques Accidentels | Responsable de l'unité DIAG Direction des Risques Accidentels | Délégué Appui Technique à l'Administration Direction des Risques Accidentels | Responsable du pôle AGIR Direction des Risques Accidentels |
| Visa |  |  |  |  |  |

TABLE DES MATIÈRES

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUCTION | 5 |
| 1.1 | CONTEXTE | 5 |
| 1.2 | OBJET DU PRESENT GUIDE | 6 |
| 1.3 | DEMARCHE TECHNIQUE | 7 |
| 2 | DEFINITION ET CARACTERISTIQUES DES CANALISATIONS SOUS-MARINES ET SUBAQUATIQUES | 9 |
| 2.1 | DEFINITIONS | 9 |
| 2.1.1 | <i>Définition réglementaire d'une canalisation de transport.....</i> | <i>9</i> |
| 2.1.2 | <i>Définition réglementaire d'une canalisation de transport subaquatique ou sous-marine</i> | <i>9</i> |
| 2.1.3 | <i>Définition des canalisations de transport sous-marines.....</i> | <i>10</i> |
| 2.1.4 | <i>Définition des canalisations de transport subaquatiques.....</i> | <i>11</i> |
| 2.2 | CARACTERISTIQUES DES CANALISATIONS SOUS-MARINES OU SUBAQUATIQUES | 11 |
| 2.2.1 | <i>Caractéristiques de construction</i> | <i>11</i> |
| 2.2.2 | <i>Caractéristiques de pose.....</i> | <i>11</i> |
| 2.3 | CHAMP DU PRESENT GUIDE | 12 |
| 2.3.1 | <i>Produits transportés</i> | <i>12</i> |
| 2.3.2 | <i>Matériau constituant les canalisations.....</i> | <i>12</i> |
| 2.3.3 | <i>Pose des canalisations</i> | <i>13</i> |
| 2.3.4 | <i>Cas particulier des collectes.....</i> | <i>13</i> |
| 3 | ANALYSE QUALITATIVE DES RISQUES..... | 15 |
| 3.1 | LES FACTEURS DE RISQUES SPECIFIQUES AUX CANALISATIONS SUBAQUATIQUES OU SOUS-MARINES | 15 |
| 3.2 | LES TAILLES DE BRECHE | 21 |
| 3.3 | LES MESURES COMPENSATOIRES ASSOCIEES AUX FACTEURS DE RISQUE DES CANALISATIONS SOUS-MARINES OU SUBAQUATIQUES | 21 |
| 3.4 | LES ARBRES D'EVENEMENTS ASSOCIES AUX BRECHES..... | 25 |
| 4 | DONNEES QUANTITATIVES | 27 |
| 4.1 | INTENSITE DES PHENOMENES DANGEREUX..... | 27 |
| 4.2 | GRAVITE DES PHENOMENES DANGEREUX..... | 28 |
| 4.2.1 | <i>Gravité humaine</i> | <i>28</i> |
| 4.2.2 | <i>Gravité environnementale</i> | <i>28</i> |
| 4.3 | PROBABILITES D'OCCURRENCE | 29 |
| 4.3.1 | <i>Fréquences de fuite.....</i> | <i>29</i> |
| 4.3.2 | <i>Probabilité d'inflammation.....</i> | <i>32</i> |
| 4.4 | FACTEURS CORRECTIFS ET EFFICACITE DES MESURES COMPENSATOIRES..... | 33 |
| 4.4.1 | <i>Facteurs correctifs liés à l'environnement de la canalisation</i> | <i>33</i> |
| 4.4.2 | <i>Efficacités de mesure compensatoires recensées dans la littérature</i> | <i>35</i> |
| 5 | LISTE DES ANNEXES | 37 |

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

Une canalisation de transport est définie¹ comme un ensemble de conduites ou sections de conduites, qui peuvent être **aériennes, enterrées ou subaquatiques**.

Le transporteur, qui est généralement le propriétaire de la canalisation et qui l'exploite, doit remettre à l'administration une **étude de dangers** de cette canalisation, et cette étude doit être mise à jour en cas de modification du tracé ou du mode d'utilisation de l'ouvrage, et au minimum tous les 5 ans.

Cette obligation a été étendue aux canalisations de transport **sous-marines** en décembre 2010, avec une première étude à remettre en septembre 2013.

De façon générale, l'étude de dangers d'une canalisation de transport doit être réalisée conformément au « Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de dangers concernant une canalisation de transport (hydrocarbures liquides ou liquéfiés, gaz naturel ou assimilé et produits chimiques) », référencé « Rapport n°2008/01 – Edition de janvier 2014 », publié par le GESIP². Ce guide sera appelé « guide EDD » dans la suite du présent document.

Le guide EDD propose une méthode générique pour l'analyse des risques des canalisations de transport en tracé courant, ainsi que pour certaines catégories de points singuliers et pour les installations annexes.

Dans ce guide, les tronçons subaquatiques ou sous-marins sont présentés comme étant des **points singuliers** du tracé de l'ouvrage :

- l'analyse des risques des canalisations sous-marines fait l'objet d'un paragraphe spécifique du guide EDD (§ 4.3.4), qui est le dernier paragraphe de la partie consacrée aux points singuliers (§ 4.3) ;
- le contenu du § 4.3.4 est repris intégralement ci-après :
« Les risques auxquels sont soumises ces canalisations sont décrits dans le guide GESIP 2007/04 "surveillance, maintenance, inspection et réparations". Par contre, la méthodologie d'analyse de risque ne peut pas être générique et nécessite donc d'être adaptée au cas par cas. » ;
- le guide EDD précise, en introduction de son annexe 10, que les valeurs de fréquences de fuite et de probabilité d'inflammation indiquées dans cette annexe ne sont pas applicables aux tronçons de canalisations aériens, subaquatiques ou sous-marins.

¹ Selon les articles **L555-1** et **R555.1** du code de l'environnement

² Selon l'article 10 de l'arrêté du **5 mars 2014** définissant les modalités d'application du chapitre V du titre V du livre V du code de l'environnement et portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz naturel ou assimilé, d'hydrocarbures et de produits chimiques (publié au Journal Officiel le 25 mars 2014), dit **arrêté multi-fluide**.

Le guide EDD ne traite donc pas de façon spécifique de l'analyse des risques des tronçons subaquatiques ou sous-marins. Il propose en revanche un cadre commun pour l'analyse des risques des points singuliers (cf § 4.3 du guide EDD) :

- chaque point singulier doit faire l'objet d'une analyse des risques qualitative, qui peut être générique ;
- cette analyse peut être complétée par une estimation **quantitative** :
 - des probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux, si des données statistiques représentatives sont disponibles,
 - et de leurs conséquences si des modèles adaptés sont disponibles.

1.2 OBJET DU PRESENT GUIDE

Dans le contexte présenté au § précédent, le présent guide vise à préciser certains éléments qualitatifs et quantitatifs spécifiques aux risques présentés par les canalisations de transport subaquatiques ou sous-marines. Il fournit des éléments permettant de :

- préciser les sources de danger possibles spécifiques au contexte marin ou subaquatique,
- déterminer les mesures compensatoires possibles rencontrées dans le contexte marin ou subaquatique pour réduire la probabilité de fuite due à un facteur de risque spécifique précédemment listé,
- proposer des arbres d'événements génériques sur le modèle de ceux contenus dans l'annexe 5 du guide EDD,
- fournir des données adaptées au contexte marin ou subaquatique pour la quantification en termes de probabilités des différents phénomènes dangereux, notamment :
 - les fréquences de fuite des canalisations et les probabilités d'inflammation, en complément de l'annexe 10 du guide EDD,
 - les données permettant de quantifier l'efficacité des mesures compensatoires identifiées précédemment, en complément de l'annexe 8 du guide EDD.
- proposer un état des lieux concernant l'estimation de l'intensité des différents phénomènes dangereux, ainsi que de leur gravité (notamment la gravité environnementale).

Le présent guide est organisé en 3 parties :

- la première présente les définitions associées à l'étude,
- la deuxième traite de l'analyse qualitative des risques,
- et la troisième est consacrée à l'analyse quantitative des risques.

Un glossaire récapitulant les acronymes utilisés est présenté en annexe 1.

Nota Bene :

Contrairement au guide EDD, le présent guide n'est pas rendu applicable réglementairement. Il propose **à titre informatif** une méthode pour l'analyse des risques des canalisations de transport sous-marines ou subaquatiques ; des approches alternatives reposant sur une argumentation technique pourront être développées dans les études de dangers³.

1.3 DEMARCHE TECHNIQUE

Ce guide s'appuie sur les éléments issus :

- d'une part, d'un état de la réglementation applicable aux canalisations sous-marines dans les autres pays européens (Royaume-Uni, Pays-Bas, Norvège, Danemark, Allemagne, Italie et Espagne) [3],
- et d'autre part, d'un recensement des données qualitatives et quantitatives disponibles dans la littérature pour les canalisations subaquatiques et sous-marines, en Europe et en Amérique du Nord [4].

Pour ce dernier point, la démarche de collecte et d'analyse des données et la liste des données étudiées figurent en annexe 2.

Ce document a fait l'objet d'une consultation auprès :

- du Groupe d'Etudes de Sécurité des Industries Pétrolières et chimiques (GESIP),
- et du Bureau de la Sécurité des Equipements Industriels (BSEI) du MEDDE.

³ A titre d'exemple, le chapitre 12 de l'ouvrage « Pipeline Risk Management System » de W. Kent Muhlbauer (3^{ème} édition) est consacré à la maîtrise des risques liés aux canalisations sous-marines.

2 DEFINITION ET CARACTERISTIQUES DES CANALISATIONS SOUS-MARINES ET SUBAQUATIQUES

2.1 DEFINITIONS

2.1.1 Définition réglementaire d'une canalisation de transport

Une canalisation de transport répond à la définition de l'article L555-1 du code de l'environnement :

« Une canalisation de transport comprend une ou plusieurs conduites ou sections de conduites, ainsi que les installations annexes qui contribuent, le cas échéant, à son fonctionnement. Elle achemine des produits liquides ou gazeux à destination de réseaux de distribution, d'autres ouvrages de transport, d'entreprises industrielles ou commerciales, de sites de stockage ou de chargement. »

L'article R555-1 du code de l'environnement complète cette définition :

« Les canalisations de transport [...] répondent aux caractéristiques suivantes, qu'elles soient aériennes, enterrées ou subaquatiques :

- canalisations de transport de gaz naturel ou assimilé : canalisations transportant soit du gaz naturel, soit un gaz dont les caractéristiques en permettent le transport ou l'injection dans des canalisations de transport de gaz naturel, dans les conditions fixées par le transporteur en application de l'article L. 453-4 du code de l'énergie ;
- canalisations de transport d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés : canalisations, autres que de transport de gaz naturel ou assimilé, transportant un des produits mentionnés aux tableaux B et C annexés à l'article 265 du code des douanes ;
- canalisations de transport de produits chimiques : canalisations, autres que de transport de gaz naturel ou assimilé ou d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés, transportant sous forme gazeuse ou liquide un produit ou une matière autre que l'air et l'eau.

2.1.2 Définition réglementaire d'une canalisation de transport subaquatique ou sous-marine

La notion de canalisation « subaquatique » est évoquée dans le code de l'environnement (cf § précédent), mais ne fait pas l'objet de précisions dans ce code, ni dans l'arrêté du 5 mars 2014.

En revanche, cette notion est illustrée dans le guide « Surveillance, Maintenance, Inspection et Réparations des Canalisations de Transport », rapport GESIP n°2007/04 Révision 2014. En effet, l'avant-propos de ce guide précise que :

« Pour les canalisations subaquatiques [...] les principaux cas traités concernent :

- Les lignes sous marines alimentant les bouées de chargement
- Les liaisons flexibles fond-surface (vulcanisées ou non)
- Les traversées de fleuves ou d'estuaires
- Les traversées de lacs ou d'étangs
- ... »

Dans le cadre de ce document, il est proposé de distinguer :

- les canalisations sous-marines, qui sont illustrées aux 2 premiers points ci-avant, et dont une définition est proposée au paragraphe 2.1.3 ;
- et les canalisations subaquatiques, qui sont illustrées aux 2 derniers points ci-avant, et dont une définition est proposée au paragraphe 2.1.4.

2.1.3 Définition des canalisations de transport sous-marines

Il s'agit des canalisations ou tronçons de canalisations de transport situés dans le domaine maritime.

Les canalisations de transport sous-marines en France peuvent être catégorisées comme suit :

- **canalisations portuaires** permettant d'assurer le chargement et le déchargement des navires ou barges vers ou depuis des installations terrestres portuaires.
- **canalisations traversant un milieu marin**, et permettant généralement :
 - d'évacuer le gaz et le pétrole (ou d'autres fluides) depuis des plateformes offshore vers les installations terrestres ou entre installations offshore,
 - d'acheminer le gaz et le pétrole (ou d'autres fluides) entre pays, îles et continents ;
- **émissaires** permettant de rejeter dans le milieu marin des effluents industriels sans impacts significatifs sur ce milieu, tels que la saumure par exemple, lorsque ces émissaires sont visés par l'arrêté multi-fluide ;
- **autres configurations de canalisations de transport** (cas particuliers).

Il existe une autre catégorie de canalisations sous-marines : il s'agit des **canalisations de collecte (ou collectes) sous-marines**.

Ces canalisations, présentes sur un champ offshore, et dont les longueurs sont généralement assez courtes, permettent de transporter le produit exploité (gaz ou pétrole) des puits vers la plateforme de traitement, ou un produit issu du traitement (exemple : eau) de la plateforme de traitement vers les puits. Ces canalisations sont aussi appelées *flowlines*. Dans le contexte français, elles pourront concerner des champs d'exploitation au large de la Guyane.

Ces collectes ne sont pas des canalisations de transport au sens du code de l'environnement, car elles relèvent du Code Minier.

2.1.4 Définition des canalisations de transport subaquatiques

Il s'agit des canalisations ou tronçons de canalisations de transport passant **sous ou dans une étendue d'eau** autre que le domaine maritime. Ces étendues d'eau peuvent être :

- des cours d'eau (ruisseaux, rivières, fleuves ou estuaires),
- des lacs ou des étangs.

2.2 CARACTERISTIQUES DES CANALISATIONS SOUS-MARINES OU SUBAQUATIQUES

2.2.1 Caractéristiques de construction

Les canalisations sous-marines peuvent présenter :

- une structure rigide (le plus souvent en acier, mais d'autres matériaux tels que l'époxy peuvent également être utilisés pour répondre à certaines contraintes) ;
- ou une structure composite flexible, composée d'une armature métallique et de matériaux plastiques.

2.2.2 Caractéristiques de pose

La pose des canalisations en milieu marin ou subaquatique peut être de plusieurs types :

- **Pose sur le fond marin ou le fond de l'étendue d'eau** : la canalisation est simplement posée sur le fond marin ou sur le fond de l'étendue aquatique traversée ; son poids doit être suffisant pour réduire sa flottabilité et il est renforcé par lestage ; la canalisation peut être ancrée sur le fond ;
- **Pose dans une tranchée et ancrage** : la canalisation est enfouie dans une tranchée creusée dans le fond ; la largeur de la fouille est déterminée en fonction de la profondeur d'enfouissement et du diamètre de la canalisation à mettre en place ; la consistance du fond de fouille doit assurer une stabilité suffisante pour la tuyauterie mise en place ; la stabilité de la conduite dans le fond de la tranchée est également obtenue par lestage puis par ancrage ; la tranchée est ensuite remblayée ;
- **Pose par ensouillage**⁴ : la canalisation est également enfouie dans le fond, après creusage d'une souille ; la stabilité de la conduite dans le fond de la tranchée est obtenue par lestage puis par ensouillage ; puis, la souille est soit remblayée par des matériaux plus lourds provenant de l'extérieur, soit laissée en l'état pour qu'elle se remblaye sous l'effet des éléments naturels. La profondeur d'enfouissement de la canalisation est fonction des risques dus aux événements naturels ou humains (ex. érosion du lit et des berges d'une rivière, opérations de curage, trafic maritime, etc.) ;

⁴ Une souille est une excavation allongée creusée sous l'eau pour recevoir une canalisation.

- Pose dans un fourreau pour les canalisations subaquatiques : les canalisations traversent l'étendue d'eau en passant dans un fourreau qui est lui-même sur le fond marin ou enterré.

Lorsque la canalisation est posée dans une fouille sans être recouverte ou posée directement sur le fond, elle peut être protégée par :

- enrochement ou dépose de blocs de roches pour protéger les tuyauteries,
- clapage de sable ou utilisation de sacs de sable qui, en plus de fixer la canalisation sur le fond, la protègent. [5]

2.3 CHAMP DU PRESENT GUIDE

Le présent paragraphe a pour objet de préciser le champ d'application du présent guide. En effet, les éléments méthodologiques proposés ne sont pas applicables à la totalité des configurations de canalisations subaquatiques ou sous-marines ; les exclusions sont définies ci-après.

2.3.1 Produits transportés

Le présent guide est applicable aux canalisations de transport :

- de gaz naturel ou assimilé⁵,
- d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés⁶,
- de produits chimiques⁷, à l'exception des **saumures**.

En effet, les canalisations de transport de saumure, qu'elles soient posées en milieu terrestre ou aquatique, présentent des modes de dégradation spécifiques, qui n'ont pas été étudiées dans le cadre du présent guide.

2.3.2 Matériau constituant les canalisations

Compte-tenu des données de retour d'expérience utilisées, le présent guide est applicable aux canalisations de transport constituées d'éléments en acier, en époxy ou en matériau composite (flexible).

Les canalisations constituées d'un autre matériau (par exemple, le béton) ne sont pas traitées dans le cadre du présent guide.

⁵ Telles que définies au I. de l'article R555-1 du code de l'environnement

⁶ Idem

⁷ Idem

2.3.3 Pose des canalisations

2.3.3.1 Canalisations sous-marines :

Le présent guide traite l'ensemble des configurations de pose sous-marine.

2.3.3.2 Canalisations sub-aquatiques :

Les traversées de cours d'eau sont généralement présentes sur le tracé d'une canalisation de transport terrestre. Elles sont traitées dans les études de dangers en tant que points singuliers, le plus souvent au moyen d'une analyse des risques qualitative mettant en lumière des mesures de protection spécifique (protection mécanique par un fourreau, interdiction d'ancrage dans la zone de traversée, inspections spécifiques, lestage...). Ainsi, il est considéré que l'analyse des risques de ces traversées ne nécessite pas de développement méthodologique supplémentaire ; elles ne seront donc pas traitées dans le cadre du présent guide. De ce fait, seules les traversées de lacs ou d'étangs seront traitées dans la suite du présent guide.

Par ailleurs, une canalisation qui passe sous une étendue d'eau sans aucune interaction avec celle-ci (par exemple utilisation du forage dirigé) n'est pas considérée comme une canalisation subaquatique, sa configuration étant alors plus proche d'une canalisation enterrée.

2.3.4 Cas particulier des collectes

Les collectes présentent des caractéristiques et un environnement proches des canalisations de transport sous-marines, bien qu'elles ne soient pas soumises à la réglementation des canalisations de transport.

Ainsi, les bases de données d'accidentologie offshore traitent généralement conjointement de ces deux catégories.

C'est pourquoi il a été choisi de présenter, dans ce guide, pour information, quelques données spécifiques aux collectes sous-marines.

D'autre part, les éléments présentés dans ce guide sur l'estimation des conséquences des pertes de confinement des canalisations de transport sous-marines seraient dans une large mesure transposables aux collectes sous-marines.

3 ANALYSE QUALITATIVE DES RISQUES

3.1 LES FACTEURS DE RISQUES SPECIFIQUES AUX CANALISATIONS SUBAQUATIQUES OU SOUS-MARINES

Lors de l'analyse de risques, les facteurs de risques sont identifiés : ils dépendent de la configuration de la canalisation (tracé courant et points singuliers) et de son environnement naturel, humain et économique.

Pour ce qui concerne les tronçons subaquatiques ou les canalisations sous-marines, l'analyse de risques devra prendre en compte la configuration sous l'eau de la canalisation et les facteurs de risques associés. Ainsi, l'arrêté multi-fluide évoque, au point 8 de l'article 7, les dispositions complémentaires de sécurité à prendre en compte pour la conception et la construction des canalisations ou tronçons subaquatiques ou sous-marins. Il s'agit des :

« - *risques liés à leur environnement naturel spécifique (corrosion, courants, marées, houle, concrétions marines, zones de sédimentation ou d'érosion des fond, etc.)*

- *risques liés aux activités humaines exercées dans leur voisinage (accrochage par les ancres, travaux de dragage ou de reprofilage des fonds, présence d'épaves, de mines, d'obstacles ou de débris, etc.)* ».

Ce chapitre a pour objectif de compléter la liste des facteurs de risques applicables aux canalisations figurant en annexe 2 du guide EDD [2], avec les facteurs de risques spécifiques liés au contexte sous-marin ou subaquatique d'une canalisation. En effet, cette liste ne mentionne que quelques facteurs de risques spécifiques aux canalisations sous-fluviales ou sous-marines :

- « *Risques particuliers liés à l'hydrologie et à l'hydrogéologie (régime des rivières ...)* » au § 4.2 ;
- « *Agression par travaux de [...] dragage ...* » au § 4.6 ;
- « *Rupture de barrage* » au § 4.6.

Pour décrire les facteurs de risques, un découpage de la canalisation sous-marine en plusieurs zones telles que décrites ci-après peut être pertinent (cf. figure 1) :

- la partie complètement immergée de la canalisation, située en zone de pleine mer,
- la partie complètement immergée de la canalisation, située en zone côtière⁸, dans laquelle la diminution de la profondeur du fond marin augmente la vulnérabilité de la canalisation par rapport aux impacts possibles des activités humaines,

⁸ La largeur de la zone côtière (à partir des lignes de base définissant le bord de la côte) pourra être définie en fonction des spécificités de la côte concernée pour la canalisation étudiée. La zone côtière pourra au maximum correspondre à la zone des eaux territoriales (ou mer territoriale) qui ne dépasse pas 12 milles marins, mesurés à partir des lignes de base (articles 3 et 4 de la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer de 1982).

- au départ de la canalisation ou à son arrivée (en zone côtière ou dans la zone dite de sécurité entourant la plateforme (périmètre de 500 m de diamètre autour de la plateforme)), deux parties de canalisation peuvent être distinguées :
 - une zone située entre le niveau de l'eau à marée basse et le niveau de l'eau à marée haute, qui est appelée zone de marnage et qui est alternativement immergée et submergée,
 - une zone située au-dessus du niveau des marées les plus hautes, qui n'est donc plus immergée mais soumise aux éclaboussures et aux embruns si elle est aérienne,
- la partie aérienne ou terrestre de la canalisation lors de son arrivée sur la partie terrestre n'ayant aucune interaction avec l'eau.

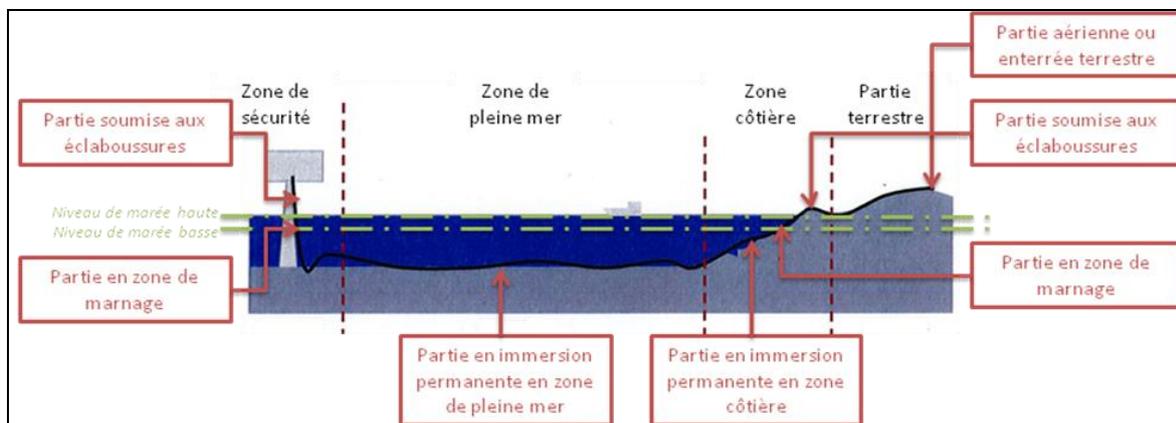


Figure 1 : Découpage d'une canalisation sous-marine

Les principaux facteurs de risques d'origine accidentelle mis en évidence dans un contexte sous-marin ou subaquatique sont récapitulés dans le tableau 1 suivant.

Ils ont été listés à partir des éléments fournis par les documents mentionnés en annexe 3 du présent guide.

Cette liste de facteurs de risques se veut la plus générique possible et permettra à chaque transporteur de sélectionner les dangers propres à une canalisation donnée. Elle ne permet pas de hiérarchiser ces risques en fonction de leur probabilité d'occurrence.

| Facteurs de risques communs aux canalisations sous-marines et subaquatiques | Facteurs de risques spécifiques aux canalisations sous-marines | Facteurs de risques spécifiques aux canalisations subaquatiques |
|--|--|--|
| Défauts de matériaux | | |
| Facteurs de risques dus à l'exploitation | | |
| Corrosion interne (pour les fluides corrosifs) | Corrosion externe en milieu marin (cf. note 1 ci-dessous) | Corrosion externe en milieu aquatique (cf. note 2 ci-dessous) |
| <i>Agression due à l'environnement naturel</i> | | |
| Température et pression du milieu aquatique | Courants marins, marées et tsunamis Vagues | |
| | Formation de glace sur la canalisation, notamment dans la zone de marnage ou la zone soumise aux éclaboussures | |
| Vents, tempêtes et ouragans | | |
| Sismicité (pouvant conduire aux risques suivants : <ul style="list-style-type: none"> • la liquéfaction du sol, • des glissements de terrain, • des failles, • des tsunamis, • des résurgences de boue, • des ondes de choc. | Dérives des glaces et iceberg | |
| Instabilité du talus, liquéfaction des sols, érosion et affouillement, affaissement de terrain ou subsidence | Concrétions marines Dépôts sédimentaires Affouillements dus au dégel printanier (en zone Arctique) | Dépôts sédimentaires ou alluvions |

| Facteurs de risques communs aux canalisations sous-marines et subaquatiques | Facteurs de risques spécifiques aux canalisations sous-marines | Facteurs de risques spécifiques aux canalisations subaquatiques |
|---|---|---|
| Facteurs de risques liés au trafic maritime (cf. note 3 ci-dessous) ou fluvial et aux chocs | | |
| Agression par choc avec un navire | Ancrage des navires ou des équipements offshore : agression par choc ou dérive d'une ancre | Ancrage des péniches : agression par choc ou dérive d'une ancre |
| Chute d'objet et chute de blocs (autres qu'une ancre) tels que : des matériaux de construction, des conteneurs, des équipements de construction et de maintenance de la canalisation elle-même, des équipements de construction et de maintenance d'autres ouvrages, des déchets immergés, des équipements d'une plateforme, etc. | Impact du remorquage des chaluts de pêche et autres interactions avec la pêche | |
| Echouage et naufrage | Dragage et curage des zones portuaires et des chenaux | Dragage, curage, élargissement, approfondissement des rivières |
| Autres facteurs de risques externes à la canalisation | | |
| | Présence de munitions et des matériels de guerre immergés, d'épaves, de débris ou d'obstacles | |
| Autres activités tels que l'utilisation sur la zone du tracé ou à proximité d'appareils de forage ou de sondeuse, la construction d'autres ouvrages (quels qu'ils soient : canalisations, câbles, ponts, installations offshore) | Activités de plongée sous-marine | |
| Existence d'autres câbles et canalisations | Existence d'autres ouvrages offshore | |

Tableau 1 : Principaux facteurs de risques des canalisations sous-marines ou subaquatiques

Note 1 (tableau 1) :

Pour la corrosion externe en milieu marin, les différentes parties de la canalisation décrites au paragraphe 3.1 sont affectées différemment par la corrosion marine, comme décrit ci-dessous par ordre croissant d'importance de la corrosion ([15]) :

- **les parties complètement immergées de la canalisation**, située en zone de pleine mer ou en zone côtière :
 - **lorsque la canalisation n'est pas enterrée** : le métal est en contact permanent avec l'eau : il subit une corrosion électrochimique mais aussi la corrosion due aux bio-films. Les micro-organismes tels que les bactéries, les champignons, les moisissures ou les algues présents dans l'eau forment des bio-films à la surface des matériaux qui isolent les matériaux du milieu extérieur et sont propices à la bio-corrosion ou la biodégradation : cette corrosion fait appel à « *des mécanismes électrochimiques où le voile biologique agit directement ou indirectement avec la formation de cellules de concentration d'oxygène dissous, pH,...ou avec la production de métabolites agressifs* » [16]. La corrosion par piqûres et la corrosion cavernueuse sont très présentes en milieu marin, en raison de la forte concentration en ions chlorure. La stagnation et le non-renouvellement de l'eau au contact du métal, au niveau de fentes ou d'interstices, peuvent favoriser la corrosion cavernueuse. [14]
 - **lorsque la canalisation est enterrée** : la corrosion est essentiellement due à l'activité biologique, qui comme précédemment, peut être associée à la bio-corrosion ou la biodégradation. En particulier, l'activité biologique appauvrit le milieu en oxygène et un cycle d'oxydoréduction du soufre peut s'établir à la limite entre les zones riches et les zones pauvres en oxygène, entraînant le développement de bactéries sulfato-réductrices et de bactéries thiosulfato-réductrices, associées à la biodégradation.
 - le mouvement marin induit aussi un **phénomène de corrosion-érosion**, dû au mouvement de l'électrolyte à la surface du métal : ce mouvement conduit à des phénomènes de frottement et d'usure de la surface favorisant la corrosion. De même, les particules en suspension peuvent endommager le matériau de la canalisation ou le film protecteur qui s'est formé à sa surface et favoriser la corrosion : on parle de corrosion-abrasion. [14]
- **la partie située dans la zone de marnage** : la canalisation y est alternativement immergée et submergée. La partie située juste sous la limite des plus basses eaux est une zone de corrosion préférentielle en raison de la pile dite d'aération préférentielle qui s'établit entre cette zone constituant l'anode qui sera corrodée et la zone de marnage constituant la cathode. Cette présence alternative d'eau est très favorable à la corrosion. Par ailleurs, comme indiqué ci-dessus, le mouvement marin induit aussi un phénomène de corrosion-érosion.
- **la partie de la canalisation située au-dessus du niveau des marées les plus hautes, qui n'est pas immergée mais soumise aux éclaboussures et aux embruns si elle est aérienne** : le métal y est donc en contact avec de l'eau bien aérée et donc riche en dioxygène. La corrosion peut être aggravée par l'abrasion des revêtements protecteurs sous l'action des vagues et du vent. La littérature [14] précise que, pour les matériaux non passivables, la corrosion est particulièrement active dans cette zone alors que pour les matériaux passivables, la forte aération du milieu favorise la formation d'un film protecteur d'oxyde en surface du métal.

- **les parties de la canalisation qui ne sont pas immergées et qui ne sont plus du tout en contact avec l'eau (pas d'embruns ou d'éclaboussures)** : la corrosion atmosphérique peut dégrader la canalisation. Une atmosphère humide due à la présence d'un milieu aquatique peut permettre de constituer un électrolyte à la surface de la canalisation dont le métal va alors réagir avec l'oxygène de l'air. Cette humidité relative de l'air dépend des conditions atmosphériques. Les chlorures de l'atmosphère marine favorisent également la corrosion. Certains polluants tels que le SO₂ présent dans les atmosphères des zones urbaines et industrielles, zones que peuvent traverser les canalisations, aggravent la vitesse de corrosion. Ainsi, l'atmosphère marine, humide et chlorurée, est corrosive. L'atmosphère à proximité d'eaux douces peut également l'être [14].

Note 2 (tableau 1) :

L'eau douce est moins corrosive que l'eau salée. Toutefois, une corrosion externe des canalisations peut être observée en eau douce, notamment en cas de proximité avec l'oxygène (zone de marnage notamment).

Note 3 (tableau 1) :

Le trafic maritime est source de plusieurs facteurs de risques pour une canalisation :

- directement en tant que cause, en cas d'impact (ex. par la coque d'un cargo, par du matériel de pêche – filet ou chalut -, par une ancre - choc lors de sa pose ou dérive -, par des appareils de forage), [6]
- indirectement car, en cas de brèche sur une canalisation, le trafic maritime peut accroître les conséquences de l'accident (ex. un navire peut être source d'inflammation).

Ces facteurs de risques sont accrus dans les zones côtières, dans les zones peu profondes, dans les chenaux, dans les zones de pêche.

Aussi, il apparaît que certaines données sur le trafic maritime sont pertinentes par rapport à l'analyse des risques de la canalisation et notamment :

- une description de l'activité maritime tout le long du tracé de la canalisation : une canalisation peut, en effet, traverser des zones de circulation maritime extrêmement dense et des zones de circulation maritime faible. Cette description précisera le volume du trafic ;
- le type de navires constituant ce trafic maritime (navires à passagers : ferries, navires à grande vitesse, navires de croisière, ... ; navires de pêche : bateaux de pêche, bateaux de pêche en haute mer, chalutiers,... ; navires cargos : porte-conteneurs, barges, cargos, pétroliers, gaziers, ... ; navires spécialisés : câbliers, dragues, ... ; navires de guerre ; navires de service, etc.).

Les conditions de trafic maritime doivent également être prises en compte par rapport aux conditions de pose de la canalisation, particulièrement dans une zone avec un trafic maritime dense.

3.2 LES TAILLES DE BRECHE

Dans le guide EDD, trois tailles de brèche de référence sont retenues comme devant être étudiées pour les canalisations terrestres : la petite brèche de taille inférieure à 12 mm, la brèche moyenne de taille comprise entre 12 et 70 mm, et la rupture totale.

Pour les canalisations sous-marines ou subaquatiques, les seules données disponibles sont celles du PARLOC 2001 qui distingue trois tailles de brèches principales :

- de 0 à 20 mm,
- de 20 à 80 mm,
- plus de 80 mm.

Les classes de tailles de brèche proposées dans le PARLOC 2001 sont donc comparables à celles du guide EDD.

L'INERIS propose de retenir, pour les canalisations sous-marines ou subaquatiques, les mêmes tailles de brèches que pour les canalisations terrestres.

3.3 LES MESURES COMPENSATOIRES ASSOCIEES AUX FACTEURS DE RISQUE DES CANALISATIONS SOUS-MARINES OU SUBAQUATIQUES

Les mesures de réduction de risques recensées dans la littérature et associées aux facteurs de risques répertoriés au chapitre précédent sont listées ci-après. Elles sont issues essentiellement de la norme EN 14161 [11], la norme DNV-RP-F107 [13], la norme DNV-OS-F111 [17] et de [18]. Elles sont classées par catégorie.

Le tableau 2 suivant récapitule les différentes mesures compensatoires et les facteurs de risques associés sur lesquelles elles agissent :

| Facteurs de risques | Facteurs de risques détaillés | Mesures compensatoires |
|----------------------|-------------------------------|---|
| Défauts de matériaux | / | <p>Inspections internes ou utilisation de racleur instrumenté (pour les canalisations à structure rigide et « raclables ») pour mesurer l'épaisseur et/ou vérifier l'état de la tuyauterie (recherche de fuite)</p> <p>Inspections externes sur les parties visibles et accessibles</p> <p>Inspections par des tests de pression</p> <p>Plan d'inspection, de réparation et de remplacement spécifique pour les canalisations flexibles</p> |
| Corrosion | / | <p>Pose en tranchées avec ou sans remplissage</p> <p>Inhibiteur de corrosion (pour les fluides corrosifs)</p> <p>Eviter l'accumulation des substances corrosives sur la surface de la tuyauterie</p> <p>Mesure du taux de fer dans le produit liquide transporté</p> <p>Revêtement organique (peinture)</p> <p>Revêtement métallique à base de zinc (galvanisation de la canalisation) ou d'aluminium</p> <p>Protection cathodique soit par anode sacrificielle, soit par courant imposé.</p> <p>Inspections internes ou utilisation de racleur instrumenté (pour les canalisations à structure rigide et « raclables ») pour mesurer l'épaisseur et/ou vérifier l'état de la tuyauterie (recherche de fuite)</p> <p>Inspections externes sur les parties visibles et accessibles</p> <p>Inspections par des tests de pression</p> <p>Plan d'inspection, de réparation et de remplacement spécifique pour les canalisations flexibles</p> |
| Evénements naturels | Vents, tempêtes, ouragans | <p>Protection mécanique</p> <p>Restriction des opérations en cas de mauvais temps</p> |
| | Vagues | Protection mécanique |
| | Courants, marées | <p>Protection mécanique</p> <p>Eviter les zones de courants intenses</p> |
| | Sismicité | Protection mécanique |
| | Instabilité du sol | Stabilisation du sol pour éviter les glissements de terrain |

| Facteurs de risques | Facteurs de risques détaillés | Mesures compensatoires |
|---|---|--|
| | | Surveillance subaquatique de l'environnement de la canalisation |
| | Dépôts sédimentaires ou concrétions marines excessifs, prolifération d'algues et de coquillages | Surveillance subaquatique de la canalisation |
| Impacts (similaires aux travaux de tiers pour les canalisations terrestres) | Ancrage | Tracé de canalisation évitant les zones d'ancrage et de mouillage Choix du tracé des canalisations évitant les voies de circulation maritimes, les croisements de canalisations et de câbles Interdiction de l'ancrage sur des zones de servitude autour de la canalisation Mise en place, à proximité des plateformes, de zones d'ancrage avec des ancrages permanents |
| | Impacts chaluts et pêche | Tracé de canalisation évitant les zones d'ancrage et de mouillage Choix du tracé des canalisations évitant les voies de circulation maritimes, les croisements de canalisations et de câbles |
| | Impact par un navire | Tracé de canalisation évitant les zones d'ancrage et de mouillage Choix du tracé des canalisations évitant les voies de circulation maritimes, les croisements de canalisations et de câbles |
| | Dragage / curage | Déclaration de travaux (dragage) Suivi spécifique des travaux déclarés Arrêt de la production pendant certaines opérations |
| | Chute d'objet / de blocs | Limiter les objets pouvant être emmenés dans certaines zones |
| | Forage ou autres opérations (grutage, levage) | Arrêt de la production pendant certaines opérations Suivi spécifique des travaux déclarés |
| | Construction d'autres ouvrages | Distance minimale de 0,3 m entre les ouvrages Suivi spécifique des travaux déclarés |
| | Tous | Pose en tranchées avec ou sans remplissage Protection par enrochement Revêtement externe en béton Pose de matelas en béton ou en bitume ou de sacs de béton, de sable ou de bitume |

| Facteurs de risques | Facteurs de risques détaillés | Mesures compensatoires |
|---------------------|-------------------------------|---|
| | | Structures de protection, pour le tracé de la canalisation ou pour les équipements, qui englobent complètement l'ouvrage à protéger Epaisseur de la couverture suffisante Surépaisseur de la canalisation Signalisation du tracé des canalisations sur les cartes marines Information sur l'existence des canalisations auprès des pêcheurs et des utilisateurs habituels de la zone Information des organisations maritimes assurant la gestion, la surveillance et le contrôle de la zone Information systématique des bateaux opérant à proximité des plateformes pétrolières Limiter l'accès à certaines zones Mettre en place des distances ou des zones de sécurité Surveillance subaquatique de la canalisation |

Tableau 2 : Mesures compensatoires et facteurs de risques sur lesquels elles agissent

Le guide professionnel « Surveillance, Maintenance, Inspection et Réparation des canalisations de transport » évoque à de nombreuses reprises le cas particulier des canalisations subaquatiques et sous-marines, par rapport notamment :

- aux objectifs et les modalités de la surveillance ;
- à la gestion des travaux à proximité ;
- à la surveillance de la protection cathodique et l'évaluation de l'état du revêtement ;
- au suivi spécifique des installations annexes ;
- au suivi spécifique des zones subaquatiques vis-à-vis des risques naturels qu'elles présentent ;
- et aux actions de maintenance et de réparation.

Le lecteur est invité à se reporter à ce guide pour plus de précisions sur les mesures compensatoires adaptées au contexte subaquatique ou sous-marin.

3.4 LES ARBRES D'ÉVÉNEMENTS ASSOCIÉS AUX BRECHES

Les phénomènes dangereux résultant d'une fuite sur une canalisation sous-marine ou subaquatique peuvent être de plusieurs natures, et dépendent fortement des propriétés du fluide transporté :

- Si le fluide est inflammable ou toxique, et que ses propriétés sont telles qu'il peut remonter à la surface de l'eau, alors les phénomènes dangereux sont :
 - le **feu de nappe** pour les liquides inflammables,
 - le **flash fire** ou **l'explosion** (selon la réactivité du produit, la source d'inflammation et l'encombrement en surface) pour les gaz⁹ inflammables,
 - le **nuage toxique** pour les fluides toxiques.
- Si le fluide n'est ni inflammable ni toxique, mais qu'il génère des gaz inflammables ou toxiques au contact de l'eau, les phénomènes à envisager sont ceux décrits au point précédent ;
- Les produits liquides, telles que les hydrocarbures, peuvent également générer une **pollution** marine ou aquatique ;
- Enfin, une fuite importante sous forme gazeuse est susceptible de modifier les caractéristiques locales de l'eau en surface, avec en particulier un impact potentiel sur les **conditions de flottabilité des navires** (instabilité de la zone).

Un arbre des événements possibles suite à une fuite en milieu marin ou lacustre récapitule ces différents phénomènes ; il vise à compléter les arbres d'événements proposés en annexe 5 du guide EDD, qui sont spécifiques aux rejets en milieu terrestre.

Cet arbre des événements est proposé ci-après (cf Figure 2).

⁹ Fluide à l'état gazeux dans les conditions normales de température et pression, pouvant être transporté sous forme gazeuse, liquéfiée ou encore supercritique.

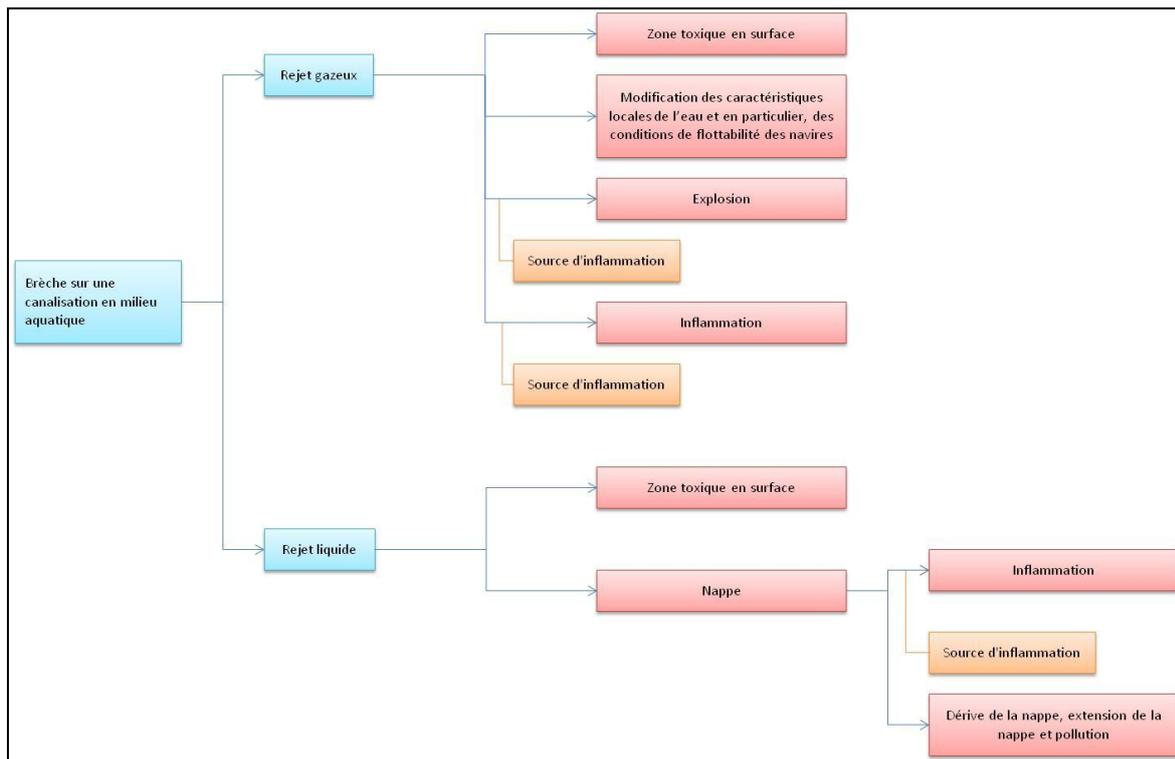


Figure 2 : Arbre des événements provenant d'une fuite sur une canalisation sous-marine ou subaquatique

4 DONNEES QUANTITATIVES

A l'issue de la phase qualitative et en application du guide EDD, sont identifiés les facteurs de risques, les conséquences associées sur l'ouvrage, et les mesures de réduction du risque existantes. Le guide EDD requiert également d'associer à chaque facteur de risque, une brèche de référence retenue selon le retour d'expérience.

Cette analyse qualitative des risques de la canalisation sous-marine ou subaquatique peut être complétée par une analyse quantitative, conformément au guide EDD.

Cette analyse quantitative des risques consiste à évaluer les scénarios en termes d'intensité, de probabilité et de gravité, en vue de les positionner dans les matrices de criticité définies dans le guide EDD et d'en déterminer ainsi leur acceptabilité.

Ce chapitre vise à proposer :

- des éléments de réflexion pour l'estimation de l'intensité des différents phénomènes dangereux, ainsi que de leur gravité (notamment la gravité environnementale),
- et des données adaptées au contexte marin ou subaquatique pour la quantification en termes de probabilités des différents phénomènes dangereux.

Il est rappelé que, conformément au guide EDD, des données et approches autres que celles proposées ci-dessous pourront être utilisées par les transporteurs sous réserve de justifications adaptées.

4.1 INTENSITE DES PHENOMENES DANGEREUX

Les phénomènes dangereux issus d'un rejet gazeux en milieu aqueux ont été évoqués qualitativement au § 3.4 du présent guide.

La modélisation de ces phénomènes fait l'objet d'une littérature spécifique et de modèles adaptés. On peut notamment citer les deux études suivantes :

- une étude du HSE sur la modélisation des panaches d'un rejet sous l'eau, pouvant provenir d'une canalisation sous-marine ou subaquatique (étude référencée [20]) ;
Cette étude concerne principalement le rejet de gaz. Elle décrit les effets à la surface d'un rejet gazeux se produisant sous l'eau, liste les outils disponibles existants pour modéliser ces effets et illustre par un exemple la modélisation de ces effets.
- une étude réalisée pour le compte de Ressources Corridor Inc. (société d'exploitation de pétrole et de gaz en Alberta, Canada). Cette étude détaille le comportement général du pétrole à travers les principaux types de scénarios de déversement susceptibles de survenir pendant des activités d'exploration en mer.

Il ressort de ces études que la modélisation des phénomènes dangereux résultant d'une fuite sous-marine ou subaquatique est spécifique, et ses résultats sont différents de ceux calculés pour une même fuite se produisant sur une partie terrestre de la canalisation (tracé courant).

Il est difficile de déterminer de manière générique laquelle des deux configurations (terrestre ou subaquatique) sera majorante ; par exemple, pour une fuite de liquide subaquatique, l'effet de dissolution et de dispersion dans l'eau est compensé par l'effet d'étalement et de fragmentation de la nappe.

4.2 GRAVITE DES PHENOMENES DANGEREUX

4.2.1 Gravité humaine

Les différentes catégories de personnes exposées aux effets d'une fuite sur une canalisation sous-marine ou subaquatique sont présentées dans le tableau 3 ci-dessous.

| Canalisation sous-marine | Canalisation subaquatique |
|--|--|
| passagers des navires naviguant au-dessus ou à proximité immédiate de la canalisation | |
| personnes présentes dans les bâtiments et sur les voies de communication de la zone côtière, lorsque le tracé de la canalisation suit le tracé de la côte, ainsi que dans la zone de transition entre la partie maritime et la partie terrestre de la canalisation | idem sur les rives du lac ou de l'étang |
| usagers des ponts surplombant la canalisation dans les zones côtières | idem sur les rives du lac ou de l'étang |
| pour une canalisation reliée à une infrastructure offshore (ex. plate-forme de production) ou terrestre en zone côtière (ex. dépôt), le personnel présent dans ces infrastructures | idem avec les infrastructures lacustres |
| personnes pratiquant des activités de loisir maritimes (plongée, plaisance, ...) | personnes pratiquant des activités de loisir lacustres (plongée, plaisance, ...) |

Tableau 3 : Catégories de personnes exposées aux effets d'une fuite sur une canalisation subaquatique ou sous-marine

Les règles pour le calcul de la gravité humaine sont détaillées dans l'annexe 7 du guide EDD ; ces règles peuvent être reprises, et si nécessaires adaptées, au calcul de la gravité des accidents envisagés sur une canalisation sous-marine ou subaquatique.

4.2.2 Gravité environnementale

L'évaluation quantitative des conséquences environnementales d'une fuite sous-marine ou subaquatique fait l'objet d'une littérature spécifique et de modèles adaptés, qui peuvent être exploités dans le cadre de l'étude de dangers d'une canalisation sous-marine ou subaquatique.

Il est également possible de conduire une estimation semi-quantitative, en adaptant la méthode proposée à l'annexe 11 du guide EDD au contexte maritime ou subaquatique.

4.3 PROBABILITES D'OCCURRENCE

Ce paragraphe vise à :

- recenser les éléments existants dans la littérature concernant la quantification de la probabilité d'un phénomène dangereux et notamment :
 - les fréquences de fuite,
 - les probabilités d'inflammation,
 - l'efficacité des mesures compensatoires spécifiques aux canalisations sous-marines ou subaquatiques.
- proposer des données de référence pour cette quantification, en complément des annexes 8 et 10 du guide EDD.

4.3.1 Fréquences de fuite

Note : Dans la suite de ce guide, sont notés :

- *N* : le nombre de fuites observées au cours d'une période d'observation donnée,
- *E* : l'expérience, exprimée en kilomètres.années (km.an), correspondant à la somme des longueurs de canalisations observées sur la même période d'observation.

Démarche adoptée

Afin de proposer des fréquences de fuite spécifiques aux canalisations sous-marines, l'INERIS a :

- recensé des valeurs ou des formules de calculs fournies par plusieurs sources de données fournissant des données propres au contexte sous-marin, telles que le rapport « Riser & Pipeline release frequencies » de l'OGP et le rapport du PARLOC 2001. Les différentes sources de données sont détaillées au paragraphe 1 de l'annexe 4,
- exploité les données du rapport PARLOC 2001 et les bases de données de l'US DOT relatives aux canalisations sous-marines transportant des produits dangereux liquides et aux canalisations transportant du gaz naturel.

Les valeurs de fréquences de fuite recensées dans la littérature et celles issues de l'exploitation des bases de données sont présentées de manière synthétique au paragraphe 2 de l'annexe 4 du présent guide.

Toutefois, l'absence d'informations sur les paramètres de choix des données retenus pour les calculs des fréquences de fuite, sur la fiabilité de données utilisées ou sur leur transposition aux configurations des côtes françaises conduit à écarter la plupart de ces données, comme indiqué au § 2 de l'annexe 4.

Les seules fréquences de fuite des canalisations sous-marines considérées comme suffisamment robustes sont celles calculées à partir des données brutes du rapport PARLOC 2001.

Proposition de fréquences de fuite pour les canalisations sous-marines

Les fréquences de fuite proposées par l'INERIS sont indiquées par facteur de risque, de la même manière que dans le guide EDD.

Il est rappelé que la base du PARLOC 2001 distingue 11 types de cause : ancrage, impact, corrosion interne, corrosion externe et autres corrosion, structure, défauts de matériaux, environnement naturel, feu/explosion, construction, maintenance, autres.

Les données retenues concernent les facteurs de risques suivants :

- structure, défauts de matériaux, construction sous l'appellation « Défauts de matériaux, de construction, de structure »,
- Corrosion interne,
- Corrosion externe,
- Environnement naturel,
- Ancrage, impact sous l'appellation « impacts d'ancrage et autres impacts ».

Les fréquences de fuite par cause proposées par l'INERIS sont construites sur les principes suivants :

- **pour la corrosion interne, les fréquences de fuite pourront :**
 - **soit être celles du transport terrestre, spécifique à chaque type de produit, en supposant que l'environnement aquatique n'a pas d'influence sur les mécanismes impliqués,**
 - **soit être spécifiques au contexte sous-marin, en retenant celles provenant de l'exploitation des données du PARLOC 2001 ;**
- **pour les autres causes (défauts de matériau ou de construction, corrosion externe, environnement naturel, impacts), les données spécifiques au contexte sous-marin sont retenues, sur la base de l'exploitation des données du PARLOC 2001, et donc indépendamment du produit transporté ;**
- **comme préconisé dans le guide EDD, si l'expérience est supérieure à 50 000 km.an, la fréquence retenue est prise égale à N / E ; sinon, la borne supérieure de l'intervalle de confiance unilatéral à 90% est calculée et retenue si l'écart entre la borne supérieure de cet intervalle et la fréquence N / E est supérieur à 40 %.**

Les tableaux en annexe 5 présentent les fréquences de fuite calculées à partir des données brutes du rapport PARLOC 2001 et rappellent les fréquences préconisées dans le guide EDD pour les canalisations terrestres. Dans ces tableaux, les fréquences que l'INERIS propose de retenir sur la base des principes précédemment énoncés sont les valeurs en gras surlignées en gris. Ces valeurs sont récapitulées dans le tableau 4 ci-après :

| Fréquence de fuite proposée par km et par an (iii) | | | | Source des données |
|--|----------------|----------------|----------------|---|
| Matériaux des canalisations | Acier | Flexible | Tous matériaux | |
| Défauts de matériaux et de construction | $2,60.10^{-5}$ | $2,38.10^{-3}$ | $6,34.10^{-5}$ | PARLOC 2001 |
| Corrosion interne (i) | $4,56.10^{-5}$ | $5,82.10^{-4}$ | $4,76.10^{-5}$ | PARLOC 2001 |
| | $6,80.10^{-5}$ | / | / | Annexe 10 du guide EDD pour les hydrocarbures |
| Corrosion externe (i) | $2,28.10^{-5}$ | $3,67.10^{-4}$ | $2,22.10^{-5}$ | PARLOC 2001 |
| Risques liés à l'environnement naturel | $9,75.10^{-6}$ | $3,67.10^{-4}$ | $9,50.10^{-6}$ | PARLOC 2001 |
| Impacts par ancrage ou autres impacts (ii) | $5,53.10^{-5}$ | $1,29.10^{-3}$ | $6,98.10^{-5}$ | PARLOC 2001 |

Tableau 4 : Proposition de fréquences de fuite par cause¹⁰

Notes (tableau 4) :

- i. Il existe des méthodes permettant d'estimer plus finement les fréquences de fuite par corrosion interne ou externe. Ces méthodes pourront être utilisées par les transporteurs en substitution aux données génériques proposées dans ces tableaux.
- ii. Il existe des méthodes permettant de calculer les fréquences de fuite par ancrage ou impact de chalut ([13], [17], [24]), qui font intervenir des données locales sur le trafic maritime ou l'activité de pêche par exemple. Ces formules pourront être utilisées par les transporteurs disposant de données d'entrée fiables en substitution aux données génériques proposées dans ces tableaux.

Par ailleurs, le mode de pose (canalisation posée sur le fond, ensouillée ou enterrée) a une influence sur la vulnérabilité de la canalisation aux impacts de chalut ou d'ancrage ; cette influence n'a toutefois pas pu être quantifiée au vu des données disponibles.
- iii. Les informations disponibles dans le rapport PARLOC 2001 ne permettent pas de calculer des fréquences de fuite par tailles de brèche.

Proposition de fréquences de fuite pour les canalisations subaquatiques

Un retour d'expérience qualitatif a pu être établi pour les canalisations subaquatiques (notamment à partir des événements identifiés dans la base CONCAWE par une localisation de type « traversée de rivière », ou d'événements recensés dans la base ARIA du BARPI). Toutefois, aucune exploitation statistique n'a été identifiée, ni aucune base de donnée dédiée à ces canalisations.

C'est pourquoi il est proposé par défaut de retenir les mêmes fréquences que pour les canalisations de transport terrestres.

¹⁰ Les données du PARLOC 2001 ont été exploitées par d'autres organismes ; l'une de ces exploitations a notamment été reprise dans le rapport n°434-4 de l'OGP [9]. Les fréquences proposées dans le rapport de l'OGP sont différentes de celles proposées par l'INERIS dans le présent document.

Il est toutefois précisé que, dans le cas de configurations similaires à celles des canalisations sous-marines, les transporteurs pourront utiliser les méthodes permettant de calculer les fréquences de fuite par ancrage, dans les zones avec un trafic de navires important.

4.3.2 Probabilité d'inflammation

L'inflammation d'un produit suite à la fuite d'une canalisation sous-marine ou subaquatique est due à la présence d'une source d'inflammation, qui peut être soit une source liée à la présence d'une plateforme, soit, le plus souvent, à celle d'un navire.

L'INERIS a recensé plusieurs sources de données concernant les probabilités d'inflammation lors d'une fuite dans le domaine sous-marin. Ces sources sont listées au paragraphe 1 de l'annexe 6 et les valeurs fournies sont synthétisées dans les tableaux du paragraphe 2 de l'annexe 6.

Pour ces probabilités d'inflammation, les propositions de l'INERIS sont :

- **Pour les canalisations subaquatiques (lacs, rivières) :**
Conserver les valeurs proposées dans la version actuelle du guide EDD d'une part pour les hydrocarbures, d'autre part pour le gaz naturel (faute de données spécifiques à cette configuration).
- **Pour les canalisations sous-marines :**
Retenir des valeurs spécifiques au domaine sous-marin, en fonction du produit transporté. L'INERIS propose les hypothèses suivantes :
 - Retenir comme référence statistique les données du rapport HSL correspondant aux probabilités d'inflammation différenciées par type de produit transporté ;
 - Appliquer un facteur correctif de 3 dans les zones d'ancrage ou de trafic maritime, par rapport aux zones hors zone d'ancrage ou de trafic maritime ;
 - Différencier les probabilités d'inflammation par types de brèches, sur la base des rapports existants entre les probabilités d'inflammation proposées dans le rapport OGP.

Moyennant ces hypothèses détaillées au paragraphe 2 de l'annexe 6, les valeurs proposées sont récapitulées dans le tableau 5 ci-après :

| Probabilités d'inflammation | Hors zone d'ancrage ou de trafic maritime | | | Zone d'ancrage ou de trafic maritime | | |
|-----------------------------|---|----------------|---------|--------------------------------------|----------------|---------|
| | Petite brèche | Brèche moyenne | Rupture | Petite brèche | Brèche moyenne | Rupture |
| Gaz | 0,003 | 0,010 | 0,020 | 0,009 | 0,030 | 0,060 |
| Pétrole | 0,004 | 0,015 | 0,030 | 0,013 | 0,045 | 0,090 |
| Pdt non traité | 0,047 | 0,165 | 0,330 | 0,141 | 0,495 | 0,990 |

Tableau 5 : Proposition de probabilités d'inflammation pour les canalisations sous-marines

Note :

Dans le cas de la rupture totale de canalisation dans des zones d'ancrages ou avec un fort trafic maritime, la probabilité d'inflammation est très élevée, voire quasiment égale à 100%.

4.4 FACTEURS CORRECTIFS ET EFFICACITE DES MESURES COMPENSATOIRES

Ce paragraphe donne des valeurs ou des méthodes de calcul pour déterminer :

- Des coefficients d'aggravation ou de réduction de la fréquence générique de fuite dits facteurs correctifs permettant de prendre en compte la configuration particulière d'une canalisation sous-marine et de son environnement. Par exemple, la zone d'emplacement de la canalisation (zone côtière, zone de sécurité, etc.) qui influe sur les facteurs de risque « impact » et « ancrage » peut avoir un caractère aggravant ou minorant par rapport à la zone de pleine mer ;
- L'efficacité de mesures compensatoires pouvant être mises en place pour réduire le risque et qui sont spécifiques à un des facteurs de risque pris en compte dans le calcul de la probabilité.

Ces éléments sont issus de la littérature ou de rapports, entre plusieurs fréquences de fuite différenciées selon certains facteurs, effectués par l'INERIS, à partir des données du PARLOC 2001.

Ils visent à compléter, dans le cas des canalisations sous-marines ou subaquatiques, la liste existante dans l'annexe 8 du guide EDD pour les canalisations terrestres.

4.4.1 Facteurs correctifs liés à l'environnement de la canalisation

La littérature montre que la fréquence générique de fuite spécifique au cas des canalisations sous-marines ou subaquatiques doit être corrigée par un facteur correctif lié à l'environnement, prenant en compte :

- les caractéristiques de la zone d'implantation de la canalisation (C_{env}) en termes d'activités maritimes, fluviales et de pêche,
- les zones concernées de la canalisation sous-marine ou subaquatique (C_{zone} - cf. Figure 1).

Les tableaux 6 et 7 suivants récapitulent les données recensées dans la littérature ou déterminés par l'INERIS, afin de quantifier ces facteurs correctifs.

| Facteurs de risques | Emplacement de la canalisation | C _{env} | Source |
|--|---|------------------|---|
| Ancrage, naufrage de navire, glissement de terrain, corrosion, fatigue due à l'espacement entre deux attaches d'ancrage, effort de flambage, présence de munitions immergées | Zones <u>avec</u> les risques suivants : ancrage, naufrage de navire, glissement de terrain, corrosion, fatigue due à l'espacement entre deux attaches d'ancrage, effort de flambage, présence de munitions immergées | 2 | Rapport « Riser & Pipeline release frequencies » de l'OGP [9] |
| | Zones <u>sans</u> les risques suivants : ancrage, naufrage de navire, glissement de terrain, corrosion, fatigue due à l'espacement entre deux attaches d'ancrage, effort de flambage, présence de munitions immergées | 1/2 | Rapport « Riser & Pipeline release frequencies » de l'OGP [9] |
| Impacts ancrage ou autres | Zone de navigation de chalutiers | 5 | Rapport « Riser & Pipeline release frequencies » de l'OGP [9] |

Tableau 6 : Proposition de facteurs correctifs liés à l'emplacement de la canalisation

| Facteurs de risques | Emplacement de la canalisation | C _{zone} | Source |
|--|---|--|--|
| Tous facteurs confondus | Zone de sécurité d'une plateforme | 13 à 47 pour les canalisations acier | Rapports calculés par l'INERIS entre les fréquences de fuite différenciées selon les zones du tracé et calculées sur la base des données du PARLOC 2001 |
| | Zone de sécurité d'un puits | 22 à 47 pour les canalisations acier 6 pour les canalisations flexibles | |
| | Pleine mer et autres zones (zones côtières, plateforme) | 1 | |
| Impacts ancrage ou autres pour les canalisations acier | Zone de sécurité d'une plateforme | 24 | Rapports calculés par l'INERIS entre les fréquences de fuite dues aux agressions par impact (ancrage ou autres) des canalisations sous-marines calculées en fonction de la zone du tracé et sur la base des données du PARLOC 2001 |
| | Zone de sécurité d'un puits | - | |
| | Pleine mer et autres zones (zones côtières, plateforme) | 1 | |

Tableau 7 : Proposition de facteurs correctifs liés aux zones étudiées de la canalisation

4.4.2 Efficacités de mesure compensatoires recensées dans la littérature

Le tableau 8 suivant fournit des efficacités de mesures compensatoires recensées dans la littérature pour les facteurs de risques suivants :

- Corrosion externe et défauts de matériaux : l'absence de protection cathodique vient accroître ce risque d'un facteur 46 ;
- Impact par ancrage ou autres impacts : la signalisation des canalisations sur les cartes maritimes réduit d'un facteur 0,1 le risque d'impact (sachant par ailleurs que cette signalisation doit être prise en compte avec une certaine imprécision, lié aux déplacements des canalisations sur les fonds marins ou aux modifications de ces derniers)

| Facteurs de risques | Mesure | E_{MC} | Source |
|--------------------------------------|---|----------|---|
| Corrosion externe | Absence de protection cathodique | 46 | publication issue de la 8 ^{ème} International Pipeline Conference (IPC) [22] |
| Impact par ancrage ou autres impacts | Signalisation du tracé des canalisations sur une carte maritime | 0,1 | publication issue de la 8 ^{ème} International Pipeline Conference (IPC) [22] |

Tableau 8 : Efficacités de mesures compensatoires recensées dans la littérature

Ces efficacités peuvent être complétées par des valeurs établies à partir des méthodes détaillées en annexe 7 du présent guide.

5 LISTE DES ANNEXES

| Repère | Désignation | Nombre de pages |
|---------------|---|------------------------|
| 1 | Glossaire | 1 |
| 2 | Méthode de collecte et d'analyse des données et Liste des références étudiées | 12 |
| 3 | Sources de données des facteurs de risque de canalisations sous-marines et subaquatiques | 1 |
| 4 | Fréquences de fuite des canalisations sous-marines : sources de données, données et choix des données retenues | 12 |
| 5 | Fréquences de fuite issues de l'exploitation des données du PARLOC 2001 et Fréquences de fuite fournies pour les canalisations terrestres dans le guide EDD | 5 |
| 6 | Probabilités d'inflammation : sources de données, données et choix des données retenues | 3 |
| 7 | Méthodes recensées pour la détermination de certaines efficacités et facteurs correctifs | 6 |

ANNEXE 1

GLOSSAIRE

| | |
|----------------|--|
| ALARP | As Low As Reasonably Practicable (Aussi Bas Que Raisonnablement Faisable) |
| API | American Petroleum Institute |
| AS | (Installation classée) à Autorisation avec Servitudes d'utilité publique |
| BSEI | Bureau de la sécurité des équipements industriels (MEDDE) |
| CETMEF | Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales |
| CONCAWE | CONservation of Clean Air and Water in Europe |
| DNV | Det Norske Veritas |
| DRA | Direction des Risques Accidentels |
| EGIG | European Gas Pipeline Incident Data Group |
| ELS | Effets létaux significatifs |
| GESIP | Groupe d'Etudes de Sécurité des Industries Pétrolières et chimiques |
| HSE | Health and Safety Executive |
| IC | Installation Classée |
| INERIS | Institut National sur l'Environnement Industriel et les RISques |
| MAPD | Major Accident Prevention Document |
| MEDDE | Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie |
| MEDDTL | Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement |
| PEL | Premiers Effets Létaux |
| PMS | Pression Maximale en Service |
| SGS | Système de Gestion de la Sécurité |
| SIG | Système d'Information Géographique |

ANNEXE 2

METHODE DE COLLECTE ET D'ANALYSE DES DONNEES ET LISTE DES REFERENCES ETUDIEES

1 METHODE DE COLLECTE ET D'ANALYSE DES DONNEES RECENSEES POUR LA REALISATION DE CE GUIDE

Le recensement des données présenté dans le rapport référencé [4] est basé sur une recherche bibliographique sur Internet. La recherche via Internet a permis, dans un premier temps, d'identifier des références pertinentes dans les documents recensés par les sites obtenus via des moteurs de recherche. Puis, ces textes et références ont été recherchés et enrichis d'informations provenant de sites de référence tels que celui du Health and Safety Executive (HSE). Enfin, après cette phase de recherche bibliographique, les informations ont été synthétisées dans ce rapport. Les textes et références étudiés sont principalement issus :

- de normes telles que celles publiées par Det Norske Veritas (DNV),
- de publications d'organismes reconnus tels que le HSE ou DNV,
- le rapport PARLOC 2001 [8] :

Le rapport PARLOC est publié par le HSE, l'Institut du Pétrole anglais (Institute of Petroleum – IP) et l'association anglaise des opérateurs offshore (Oil & Gas UK, anciennement United Kingdom Offshore Operators Association – UKOOA). La dernière version de ce rapport intitulée « PARLOC 2001 » [8], réalisée par le cabinet d'ingénierie Mott Mac Donald Ltd., couvre les incidents survenus sur des canalisations offshore situées en Mer du Nord, depuis les années 1960 jusqu'à 2000. Ce rapport est basé sur les données obtenues auprès des autorités administratives compétentes du Royaume-Uni, de la Norvège, des Pays-Bas, du Danemark et de l'Allemagne, et des opérateurs de canalisations sous-marines du Royaume-Uni, des Pays-Bas et du Danemark. Le rapport PARLOC 2001 ne présente pas directement les bases de données, utilisées mais uniquement l'exploitation qui en a été faite. Les données concernent les canalisations de transport sous-marines et les collectes.

- La base US DOT [7] :

Le bureau en charge de la sécurité des canalisations, appelé « Office of Pipeline Safety » (OPS) de la division en charge de la sécurité des canalisations de l'US DOT dénommée « Pipeline and Hazardous Material Safety Administration » (PHMSA)¹¹ collecte les données des accidents de canalisations de gaz naturel et liquides dangereux. Le site internet¹² de l'organisme permet de disposer de manière brute des bases de données concernant les accidents de canalisations terrestres ou sous-marines de gaz naturel et liquides dangereux, et d'en analyser les données. Les données utilisées dans le cadre de ce rapport ont été triées, dans ces fichiers Excel, de façon à ne retenir que les accidents concernant les tuyauteries des canalisations sous-marines (sans les installations annexes et les équipements), le contexte sous-marin (les canalisations terrestres sont exclues du champ de ce guide),

¹¹ Cette division de l'US DOT dispose d'un site Internet consultable à l'adresse suivante : <http://www.phmsa.dot.gov/>

¹² Cet organisme dispose d'un site Internet consultable à l'adresse suivante : <http://www.dot.gov/>

- de publications réalisées dans le cadre de colloques ou de conférences (tels que the International Pipeline Conference [22]),
- d'articles de revues spécialisées dans le domaine des risques ou du domaine offshore,
- d'études particulières.

Une attention particulière a été portée à la validité des sources des informations étudiées.

Note :

1. *Pour éviter tout risque d'imprécision pouvant être due à une perte de sens lors de la traduction des documents étrangers, seule une prise en compte de chaque document dans sa version originale est valable : le lecteur est donc invité à consulter les versions originales des textes et documents cités et référencés, qui sont, en grande majorité, disponibles sur Internet.*
2. *La plupart des données recensées dans la littérature sont relatives aux canalisations sous-marines. Aussi, lorsqu'une donnée est relative au domaine des canalisations subaquatiques, ceci est clairement notifié ; lorsqu'aucune précision n'est stipulée quant au domaine d'application des données, elles relèvent des canalisations sous-marines.*

2 LISTE DES REFERENCES CITEES DANS LE PRESENT GUIDE

- [1] Arrêté du 5 mars 2014 définissant les modalités d'application du chapitre V du titre V du livre V du code de l'environnement et portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz naturel ou assimilé, d'hydrocarbures et de produits chimiques (publié au Journal Officiel le 25 mars 2014)
- [2] Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de dangers concernant une canalisation de transport (hydrocarbures liquides ou liquéfiés, et produits chimiques), rapport n°2008/01 – Edition de janvier 2014
- [3] Rapport « Etat des lieux des exigences réglementaires et guides de bonnes pratiques relatifs à la conception, la construction, l'exploitation et les études de sécurité des canalisations sous-marines dans certains pays européens », INERIS - DRA-11-115926-08487A, INERIS, 16 décembre 2011
- [4] Rapport « Description des données et des pratiques relatives à l'analyse des risques des canalisations sous-marines et subaquatiques en Europe et en Amérique du Nord », INERIS - DRA-12-126164-03740A, INERIS, 31 janvier 2013

- [5] Julie Droit, Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF), Canalisations et câbles sous-marins - État des connaissances. Préconisations relatives à la pose, au suivi, et à la dépose de ces ouvrages sur le Domaine Public Maritime Français, rapport CETMEF : C 10.01, Juin 2010 <http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/canalisations-et-cables-sous-a317.html>.
- [6] Improving the safety of marine pipelines, National Research Council (U.S.), Committee on the Safety of Marine Pipelines, 1994
- [7] <http://www.boemre.gov/incidents/pipeline.htm>
- [8] PARLOC 2001: The Update of Loss of Containment Data for Offshore Pipelines, Mott MacDonald Ltd for The Health and Safety Executive, The UK Offshore Operators Association (UKOOA) and The Institute of Petroleum, 12 June 2003 <http://www.hse.gov.uk/pipelines/parloc-2001-report.pdf>
- [9] Riser & pipeline release frequencies, report n°434-4, OGP, mars 2010 <http://www.ogp.org.uk/pubs/434-04.pdf>
- [10] OREDA – Offshore Reliability Data Handbook., 4th édition, SINTEF, 2002
- [11] Norme NF EN 14161 « Industries du pétrole et du gaz naturel. - Systèmes de transport par conduites », août 2013
- [12] Det Norske Veritas, Offshore Standard DNV-OS-F101: Submarine Pipeline Systems, October 2007.
- [13] Det Norske Veritas, Offshore Standard DNV-RP-F107 : risk assessment of pipeline protection, October 2010

Facteur de risques

- [14] Corrosion et protection des métaux en milieu marin, Ph. Refait, J. Creus, R. Sabot, Techniques de l'Ingénieur, 2004
- [15] Techniques de prévention des pathologies de corrosion des structures métalliques, report n°1-1, Steel in marine environment, SCHOEFS Franck, ANDRE Mathieu, BAZIN Julien, FOUACHE Cédric, PAYRAUDEAU Hugues, MEDACHS - Interreg IIIB Atlantic Space - Project N°197, http://www.medachs.u-bordeaux1.fr/projet/materiaux/acier/doc_acier/rapport1-1-fr.pdf
- [16] Biofilms en milieu marin, C. Compère, IFREMER, Techniques Sciences Méthodes, 1999 <http://archimer.ifremer.fr/doc/1999/publication-1698.pdf>
- [17] Det Norske Veritas, Offshore Standard DNV-RP-F111 : Interference Between Trawl Gear and Pipelines, octobre 2010
- [18] Advise offshore water operators of recurring safety problem involving marine vessel operations and crew safety, Pipeline safety alert notice ALN-90-01, US Department of Transportation, 1990 <http://phmsa.dot.gov/staticfiles/PHMSA/DownloadableFiles/Files/Advisory%20Bulletin%20Files/xALN-90-01.pdf>

Les effets en surface d'un rejet gazeux en milieu aquatique

- [19] Dispersion of subsea releases – review of Prediction Methodologies, P.J. Rew, P. Gallagher, D.M. Deaves, WS Atkins Safety and Reliability for Health and Safety Executive, OTH 95 465, 1995
<http://www.hse.gov.uk/research/othpdf/400-499/oth465.pdf>
- [20] Devenir et comportement des déversements de pétrole : Modélisation appuyant l'évaluation environnementale réalisée par Corridor Resources pour le site d'exploration de la zone prometteuse de Old Harry, S.L. Ross Environmental Research Ltd. (Ottawa (Ontario)) pour Corridor Resources Inc, octobre 2011 <http://www.cnlopbnl.ca/pdfs/corridorresinc/oilspillfr.pdf>

Fréquences de fuite

- [21] Riser/Pipeline Leak Frequencies, Technical Note T7, rev. 02, unpublished internal document, DNV, 2006
- [22] A model to estimate the failure rates of offshore pipelines, Proceedings of the 8th International Pipeline Conference IPC2010, International Petroleum Technology Institute and the Pipeline Division, Vania de Stefani (BP International, Sunbury on Thames, UK), Peter Carr (E-P-Consult LLC, Houston, USA), 2010
- [23] Natural Gas Transmission, Gas Distribution, and Hazardous Liquid Pipeline Annual Mileage :
<http://www.phmsa.dot.gov/portal/site/PHMSA/menuitem.ebdc7a8a7e39f2e55cf2031050248a0c/?vgnextoid=036b52edc3c3e110VgnVCM1000001ecb7898RCRD&vgnnextchannel=3430fb649a2dc110VgnVCM1000009ed07898RCRD&vgnnextfmt=print>
- [24] Environmental Impact Assessment (EIA) report for Liquefied Natural Gas (LNG) Receiving Terminal and Associated Facilities, Environmental Resources Management (Hong-Kong) for Castle Peak Power Company Limited (CAPCO), 2006
http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_1252006/html/index.htm

Probabilités d'inflammation

- [25] Classification of Hazardous Locations, Cox, Lees and Ang, 1990
- [26] Offshore ignition probability arguments, report number HSL/2005/50, HSL for the HSE, 2005 <http://www.hse.gov.uk/research/othpdf/400-499/oth465.pdf>
- [27] Ignition probabilities, report n°434-6.1, OGP, mars 2010
<http://www.ogp.org.uk/pubs/434-06.pdf>

3 LISTE DES REFERENCES COMPLEMENTAIRES ETUDIEES

- (1) Arrêté du 23 février 2001 fixant les prescriptions générales applicables aux rejets soumis à déclaration en application de l'article 10 de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau
- (2) Décret n° 93-743 du 29 mars 1993 relatif à la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de l'article 10 de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau
- (3) http://2.bp.blogspot.com/_a1CB2M_J06E/TH_OF12dUCI/AAAAAAAAAAM/eMkytO_jaZg/s1600/New+Picture.bmp
- (4) <http://aciers.free.fr/index.php/2009/03/23/technip-etabli-un-record-du-monde-en-installant-le-riser-en-acier-le-plus-profond-au-monde/>
- (5) Encyclopédie Universalis <http://www.universalis.fr/>
- (6) Hugh Howells, Challenge for ultra-deep water riser systems, 1997
<http://www.2hoffshore.com/documents/papers/pap015.pdf>
- (7) <http://www.bblcompany.com/project-bbl/offshore>
- (8) http://en.wikipedia.org/wiki/Langeled_pipeline
- (9) http://en.wikipedia.org/wiki/Nord_Stream
- (10) http://www.eegas.com/nord_en.htm
- (11) <http://www.nord-stream.com/>
- (12) <http://www.medgaz.com/medgaz/pages/index-fr.htm>
- (13) Etude d'impact Etude d'impacts sur l'environnement du gazoduc de MEDGAZ, ERM Iberia SA pour MEDGAZ, mai 2004
http://www.medgaz.com/medgaz/doc/EIA_algeria.pdf
- (14) <https://www.icmmed0ty.com/fps/site/aboutus/aboutus.asp>
- (15) <http://en.wikipedia.org/wiki/Franpipe>
- (16) <http://en.wikipedia.org/wiki/Norpipe>
- (17) <http://www.subsea.org/pipelines/allbyarea.asp?qArea=North+Sea>
- (18) <http://www.energie-algerie.com/energie-algerie/gazoduc/galsi>
- (19) <http://www.galsi.it/>
- (20) http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Cana_France_Cana_Mai.pdf
- (21) <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/les-canalisation-en-paca-a952.html>
- (22) http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/canalisation_cle0156f8.pdf
- (23) <http://www.spse.fr/fr/accueil/index.html>
- (24) <http://www.spmr.fr/html/main/trace/trace2.php?flash=flash>

- (25) Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du Nord-Est ("Convention OSPAR") de 1992
- (26) http://qsr2010.ospar.org/fr/ch07_01.html
- (27) <http://www.fabig.com/Accidents/Piper+Alpha.htm> and <http://www.fabig.com/NR/rdonlyres/286997DB-836D-480F-874E-A47E38151D1D/2605/PiperAlpha.pdf>
- (28) http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/barpi_site.gnc
- (29) Petroleum Safety Authority Norway, Annual Report 2006, 2007
<http://www.ptil.no/getfile.php/z%20Konvertert/Health%2C%20safety%20and%20environment/Facts%20and%20statistics/Dokumenter/faktadelengelskforpubliseringnett.pdf>
- (30) http://www.offshore-europe.co.uk/ExhibitorLibrary/96/Case_Study_-_BP_CATS_gas_pipeline_repair_4.pdf
- (31) Investigation of Amoco Pipeline Company High Island Pipeline System Leak Galveston Block A2, OCS Report MMS 89-0102, June 1990
<http://www.gomr.boemre.gov/PDFs/1989/89-0102.pdf>
- (32) http://nl.newsbank.com/nl-search/we/Archives?p_product=DM&p_theme=dm&p_action=search&p_maxdocs=200&p_topdoc=1&p_text_direct=0=0ED3D20F34A95B97&p_field_direct=0=document_id&p_perpage=10&p_sort=YMD_date:D&s_trackval=GooglePM
- (33) http://www.nts.gov/investigations/reports_pipeline.html
- (34) Preassessment data report the MP-69 / Hurricane Ivan oil discharges Mississippi River Delta, Louisiana, Research Planning Incorporated for Damage Assessment Center of the National Oceanic and Atmospheric Administration Silver Spring, 2005
http://www.darrp.noaa.gov/library/pdf/IvanPADR_FINAL.pdf
- (35) <http://www.boemre.gov/incidents/SigPoll2004HurricaneIvan.htm>
- (36) Pipeline damage assessment from Hurricanes Katrina and Rita in the Gulf of Mexico, Det Norske Veritas (DNV), 2007
http://www.boemre.gov/tarprojects/581/44814183_MMS_Katrina_Rita_PL_Final%20Report%20Rev1.pdf
- (37) Assessing the case for EU legislation on the safety of pipelines and the possible impacts of such an initiative, ENV.G.1/FRA/2006/0073, European Commission Directorate-General Environment, octobre 2011
http://ec.europa.eu/environment/seveso/pdf/study_report.pdf
- (38) Pipeline report special investigation, Evaluation of pipeline failures during flooding and of spill response actions, San Jacinto River near Houston, Texas, October 1994, National Transportation safety Board, 1996
<http://ncsp.tamu.edu/reports/NTSB/ntsbPipeStudy/SIR9604.pdf>
- (39) Pipeline report special investigation, Pipeline rupture and release of fuel oil into the Reedy river at Fork Shoals, South Carolina, 26 june 1996, National Transportation safety Board, 1998
<http://www.nts.gov/doclib/reports/1998/PAR9801.pdf>

- (40) Rapport d'enquête de pipeline P96H0012, Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST), 1996 <http://www.tsb.gc.ca/fra/rapports-reports/pipeline/1996/p96h0012/p96h0012.asp>
- (41) The OSSAI Pipeline Oil Spill: the Character and Weathering of the Spilled Oil, Gregory S Douglas, Edward H Owens, Jeffery Hardenstine, Roger C Prince, 2002
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353256102000464>
- (42) Gestion environnementale de l'exploitation de pétrole offshore et du transport maritime pétrolier, Sandra Kloff et Clive Wicks, Commission de l'UICN des Politiques Environnementales, Économiques et Sociales (CEESP), Octobre 2004
http://cmsdata.iucn.org/downloads/offshore_oil_fr.pdf
- (43) http://www.amsa.gov.au/marine_environment_protection/major_oil_spills_in_australia/Torungen/index.asp
- (44) www.ib-sm.org/CasePetrobras.pdf
- (45) Contingency Planning for Oil Spill Accidents in Brazil, Alvaro Bezerra de Souza Junior, Emilio Lèbre La Rovere, Silvia Blajberg Schaffel, Jacqueline Barboza Mariano
<http://www.epa.gov/oem/docs/oil/fss/fss02/souzapaper.pdf>
- (46) Msc. Patran as a main tool to increase productivity for model generation, Alejandro Andueza, Alvaro Maia da Costa, 2004
http://www.mscsoftware.com/events/vpd2004/na/proceedings/pdfs/full_papers/2004-079-FP_andueza_amaral_costa.pdf
- (47) Application of the ZIGZAG Concept to a Heated Pipeline in the Soft Soil of the Guanabara Bay, Claudio dos Santos Amaral, Alvaro Maia da Costa, Carlos de Oliveira Cardoso, 2002
<http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=ASMECP002002036207002071000001&idtype=cvips&gifs=yes&ref=no>
- (48) OCS Oil Spill Facts, U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service, 2002
- (49) Topical Report, Natural gas transmission pipelines, pipeline integrity, prevention, detection & mitigation, Gas Research Institute Pipeline Business Unit, 2000
- (50) The U;S. Oil Pipeline Industry's Safety Performance, Association of Oil Pipe Lines and the American Petroleum Institute's Pipeline Committee, 2003
- (51) A Guideline Framework for the Integrity Assessment of Offshore Pipelines, Technical Report No. 44811520, Rev. 2, submitted by Sergio Matos, Dan Powell, Ray Davies, Xiaolin Zhang, and Parimal Moore of Det Norske Veritas (DNV) for BOEMRE, December 20, 2006.
<http://www.boemre.gov/tarprojects/565.htm>
- (52) <http://www.unep.fr/scp/sp/disaster/database/>
- (53) <http://www.factsonline.nl/>
- (54) Western european cross-country oil pipelines 30-year performance statistics, Report n° 1/02, CONCAWE, February 2002
- (55) Performance of European cross-country oil pipelines - Statistical summary of reported spillages in 2008 and since 1971 – CONCAWE, report n°4/10 – June 2010

- (56) Spillages from oil industry cross-country pipelines in western Europe – statistical summary of reported incidents 1971, report n°7/73, CONCAWE, 1973
- (57) Spillages from oil industry cross-country pipelines in western Europe – statistical summary of reported incidents 1974, report n°7/75, CONCAWE, 1975
- (58) Spillages from oil industry cross-country pipelines in western Europe – statistical summary of reported incidents 1976, report n°9/77, CONCAWE, octobre 1977
- (59) Performance of oil industry cross-country pipelines in western Europe – statistical summary of reported spillages 1977, report n°3/78, CONCAWE, octobre 1978
- (60) Performance of oil industry cross-country pipelines in western Europe – statistical summary of reported spillages 1978, report n°6/79, CONCAWE, septembre 1979
- (61) Performance of oil industry cross-country pipelines in western Europe – statistical summary of reported spillages 1986, report n°8/87, CONCAWE, novembre 1987
- (62) Performance of oil industry cross-country pipelines in western Europe – statistical summary of reported spillages 1988, report n°9/89, CONCAWE, décembre 1989
- (63) Performance of oil industry cross-country pipelines in western Europe – statistical summary of reported spillages 1989, report n°6/90, CONCAWE, novembre 1990
- (64) « Petroleum and natural gas industries - Pipeline transportation systems » (ISO 13623:2000 modified), European Standard EN 14161:2003, 2003
- (65) International Standard Organization, “Petroleum and Natural Gas Pipelines – Pipeline Transportation Systems”, ISO 13623, 2009.
- (66) International Standard Organization, “Petroleum and Natural Gas Pipelines – Pipeline Transportation Systems”, ISO 13623, 2000.
- (67) Canalisations de transport : dispositions compensatoire, rapport n° 2008/02, GESIP, Edition du 18 décembre 2008

Corrosion en milieu marin ou aquatique

- (68) Effects of Seawater and Warm environment on Glass/Epoxy and Glass/Polyurethane Composites, Abdel-Hamid I. Mourad, Beckry Mohamed Abdel-Magid, Tamer El-Maaddawy, Maryam E. Grami, 2010

Environnement naturel

- (69) Industries du pétrole et du gaz naturel - Exigences spécifiques relatives aux structures en mer - Partie 1 : Dispositions océano-météorologiques pour la conception et l'exploitation, norme NF EN ISO 19901-1, Août 2006

Tempêtes et ouragans

- (70) Pipeline Damage Assessment from Hurricanes Katrina and Rita in the Gulf of Mexico, Report No. 44814183,, Det Norske Veritas for US Department of the Interior - Minerals Management Service, 2007
http://www.boemre.gov/tarprojects/581/44814183_MMS_Katrina_Rita_PL_Final%20Report%20Rev1.pdf
- (71) Assessment of Damage and Failure Mechanisms for Offshore Structures and Pipelines in Hurricanes Gustav and Ike, Energo Engineering for US Department of the Interior - Minerals Management Service, 2010 ,
http://www.boemre.gov/tarprojects/642/642AA_FinalReport.pdf
- (72) Evaluation of hurricane-induced damage to offshore pipelines, J. S. Mandke, Y.-T. Wu, R. S. Marlow, Southwest Research Institute, United States. Minerals Management Service. Technology Assessment and Research Branch, 1995
<http://www.boemre.gov/tarprojects/201/Hurricane%20Andrew.pdf>

Vagues et courants marins

- (73) An experimental study for wave-induced instability of pipelines: the breakout of pipelines, F.P. Gao, X.Y. Gu, D.S Jeng, H.T Teo, 2002
<http://www.isopec.org/publications/proceedings/ISOPE-PACOMS/PACOMS%202006/papers/P06BTL078gao.pdf>

Dérives des glaces et icebergs

- (74) Offshore pipeline protection against seabed gouging by ice: An overview, Paul Barrette, Cold regions science and technology, 2011
- (75) Seabed Scour and Buried-Pipeline Deformation Due to Ice Ridges, J.L. Tassoulas, 2009
- (76) Design Options for Offshore Pipelines in the US Beaufort and Chukchi Seas, Report R-07-078-519, MMS Contract M-07-PC-13015, C-CORE for US Department of the Interior - Minerals Management Service, April 2008
<http://www.boemre.gov/tarprojects/577/FinalReportR07-078-519v2.0.pdf>
- (77) L'exploitation des réserves de pétrole et de gaz au large de la côte Est, Sonya Dakers, Lynne C. Myers, Division des sciences et de la technologie, 2001 <http://publications.gc.ca/collections/Collection-R/LoPBdP/CIR/835-f.htm>

Sismicité

- (78) Industries du pétrole et du gaz naturel - Exigences spécifiques relatives aux structures en mer - Partie 2 : Procédures de conception et critères sismiques, norme NF EN ISO 19901-2, Avril 2005
- (79) Seismic analysis used in pipeline design, Qjang Bai, Wenjun Zneg, Li Tao, <http://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-64/issue-10/pipeline-transportation/seismic-analysis-used-in-pipeline-design.html>
- (80) Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 4 : Silos, réservoirs et canalisations, norme NF EN 1998-4, Mars 2007

Affaissement de terrain ou subsidence

- (81) Risk Assessment of Submarine Slope Stability – Hydroplaning, Stephen G. Wright, Hongrui Hu, 2007
<http://www.boemre.gov/tarprojects/556/556HydroplaningFinalReport%282%29.pdf>

Interactions avec d'autres activités

- (82) Convention des Nations Unies sur le droit de la mer de 1982
<http://www.un.org/french/law/los/unclos/closindx.htm>
- (83) Convention de Genève sur la Haute-Mer 1958
http://untreaty.un.org/ilc/texts/instruments/francais/traites/8_1_1958_haute_mer_francais.pdf

Ancrage des navires ou des équipements offshore : agression par choc ou dérive d'une ancre

- (84) Guidelines for pipeline operators on pipeline anchor hazards, Health and Safety Executive, 2009 <http://www.hse.gov.uk/pipelines/pipeline-anchor-hazards.pdf>
- (85) Assessment of Anchor Dragging on Gas Pipelines, T Sriskandarajah and R Wilkins, Proceedings of The Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference, 2002 <http://e-book.lib.sjtu.edu.cn/isope2002/pdf/Volume2/2004p024.pdf>
- (86) Anchor Manual 2010, The Guide to Anchoring, Vryh of Anchors BV, 2010
http://www.vryhof.com/anchor_manual.pdf

Dragage

- (87) Dragage en milieu marin, immersion et code de l'environnement : le guide des procédures préalables, Notice n° C 08.06, Centre d'Etudes techniques maritimes et fluviales (CETMEF), Septembre 2008
http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/C_08-06_cle2d68d1.pdf

Chute d'objet et chute de blocs (autres qu'une ancre)

- (88) A Potentially Devastating Offshore Geohazard – Submarine Debris Flow Impact on Pipelines, A. Zakeri, 2008
<http://www.touchoilandgas.com/potentially-devastating-offshore-geohazard-a8173-1.html>
- (89) Convention de 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets, dites convention de Londres
<http://www.imo.org/OurWork/Environment/SpecialProgrammesAndInitiatives/Pages/London-Convention-and-Protocol.aspx>
- (90) Protocole de 1996 à la Convention de 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets, fait à Londres le 7 novembre 1996
<http://www.imo.org/OurWork/Environment/SpecialProgrammesAndInitiatives/Pages/London-Convention-and-Protocol.aspx>
- (91) Underwater Rockfall Kinematics: A Preliminary Analysis, Advances in Natural and Technological Hazards Research, Jacques Locat and D. Turmel, 2007
<http://www.springerlink.com/content/n415734j54066005/fulltext.pdf>

Présence de munitions et des matériels de guerre immergés

- (92) Décret n° 77-1145 du 28 septembre 1977 portant publication de la convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets (ensemble trois annexes, ouverte à la signature à Londres, Mexico, Moscou et Washington du 29 décembre 1972 au 31 décembre 1973)
- (93) Loi n° 2003-985 du 16 octobre 2003 autorisant l'adhésion de la France au protocole de 1996 à la convention de 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion des déchets
- (94) Décret n° 2006-401 du 03/04/06 portant publication du protocole de 1996 à la Convention de 1972 sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets, fait à Londres le 7 novembre 1996

Terrorisme

- (95) Offshore oil & gas risk context statement, Office of Transport Security, Department of Transport and Regional Services, April 2005
http://www.infrastructure.gov.au/transport/security/maritime/pdf/Oil_Gas_Risk_Context_Statement.pdf

Mesures compensatoires

- (96) Common Guidelines for the Safe Management of Offshore Supply and Anchor Handling Operations, Oil & Gas UK, 2009
- (97) New methods for rapid leak detection in offshore pipelines, Southeast Research Institute for Minerals Management Service, 1992
<http://www.boemre.gov/tarprojects/175.htm>

Les effets en surface d'un rejet gazeux en milieu aquatique

- (98) Devenir et comportement des déversements de pétrole : Modélisation appuyant l'évaluation environnementale réalisée par Corridor Resources pour le site d'exploration de la zone prometteuse de Old Harry, S.L. Ross Environmental Research Ltd. (Ottawa (Ontario)) pour Corridor Resources Inc, octobre 2011 <http://www.cnlopb.nl.ca/pdfs/corridorresinc/oilspillfr.pdf>

Fréquences de fuite

- (99) The maritime environment, traffic and casualties", COST 301 Final Report, Annex to Main Report: Volume 2, C.C. Glansdorp, R. Tresfon, J.F. Kemp, V. Kostilainen, T. Eriksson, C. van der Tak, COST 301/FR 3.02(AN 1014), Issue B/03/87, 1987
- (100) DRA 71 - Opération B.2 - Note sur l'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience, rapport d'étude n° DRA-11-117406-02149B, INERIS, 2011
- (101) EGIG, 5th EGIG report (1970-2001), Doc. Number EGIG 02.R.0058, September 2002 <http://www.egig.eu/reports>
- (102) EGIG, 8th EGIG report (1970-2010), Doc. Number EGIG 11.R.0402, December 2011 <http://www.egig.eu/reports>
- (103) EGIG, 6th EGIG report (1970-2004), Doc. Number EGIG 05.R.0002, December 2005 <http://www.egig.eu/reports>
- (104) Performance of European cross-country oil pipelines - Statistical summary of reported spillages in 2010 and since 1971 – CONCAWE, report n°8/11 – December 2011
http://www.concawe.be/DocShareNoFrame/docs/1/PHGJMDADDFHJDIFEI/NEGKGCMVEVCWY9W9YBYB3BDWYG3/CEnet/docs/DLS/Rpt_11-8-2010-00114-01-E.pdf

Probabilités d'inflammation

- (105) IP Research report – ignition probability review, model development and look up correlations, UKOOA, January 2006
- (106) Évaluation des probabilités d'inflammation dans les analyses de risques, techniques de l'ingénieur Référence T112, Olivier IDDIR, 2010

ANNEXE 3

SOURCES DE DONNEES DES FACTEURS DE RISQUES DES CANALISATIONS SOUS-MARINES ET SUBAQUATIQUES

L'inventaire des facteurs de risques spécifique aux canalisations sous-marines et subaquatiques s'est appuyé sur :

- le rapport PARLOC 2001, relatif aux accidents des canalisations sous-marines existantes en Mer du Nord, et l'exploitation de ces mêmes données du PARLOC proposées par le rapport de l'OGP relatif aux fréquences de fuite des collectes et des canalisations de transport [9],
- les données qualitatives des bases de données américaines (USA) telles que la base de données du ministère en charge des transports, l'US DOT, ou la base de données du BSEE, service américain en charge de la sécurité et de la protection de l'environnement dans le cadre de l'exploitation des ressources minières offshore du ministère américain de l'Intérieur,
- la base CONCAWE relative aux accidents des canalisations terrestres européennes transportant des hydrocarbures et dans laquelle les tronçons subaquatiques des canalisations terrestres sont parfois identifiés,
- les données recensées dans certaines normes européennes relatives à la sécurité des canalisations sous-marines et mentionnant des facteurs de risques spécifiques pour ce type de canalisations :

- La norme NF EN 14161 intitulée « Industries du pétrole et du gaz naturel. - Systèmes de transport par conduites » d'août 2013 pour les autres produits [11]. Plusieurs titres de cette norme sont spécifiques aux conduites en mer et précisent des facteurs de risques applicables aux canalisations sous-marines et subaquatiques.

Note : Il est rappelé que cette norme est applicable en France via le guide GESIP intitulé « Normes canalisations de transport », référencé Rapport n°2007/09, édition du 19 novembre 2009, reconnu comme permettant de satisfaire cette exigence de l'article 3 de l'arrêté multi-fluide. Toutefois, ce guide, dans sa version de 2009 antérieure à l'introduction des canalisations subaquatiques ou sous-marines dans le champ de l'arrêté multi-fluide, précise que les conduites en mer sont hors champ de l'arrêté multi-fluide. Aussi, une modification de ce guide pourrait s'avérer nécessaire afin d'y inclure les titres de la norme concernant les conduites sous-marines.

- La norme DNV-OS-F101 relative aux systèmes de canalisations sous-marines (DNV-OS-F101: Submarine Pipeline Systems, version d'octobre 2007 [12]) de DNV (Det Norske Veritas). Cette norme fournit des critères et des principes pour l'avant-projet, la conception, la construction, l'exploitation et le démantèlement des canalisations sous-marines. La section 3 de la norme DNV-OS-F101 liste certains facteurs de risques affectant les canalisations sous-marines ; la section 4 liste les contraintes auxquelles sont soumises les canalisations sous-marines et pour lesquelles elles doivent être conçues.
- La norme DNV-RP-F107 relative à l'évaluation de la protection de la canalisation (DNV-RP-F107 : risk assessment of pipeline protection d'octobre 2010 [13]) de DNV (Det Norske Veritas), qui complète la norme DNV-OS-F101 pour l'évaluation des risques dus à des activités externes à la canalisation. Cette norme liste les facteurs de risque pour une canalisation sous-marine correspondant à des activités externes.

ANNEXE 4

FREQUENCES DE FUITE DES CANALISATIONS SOUS-MARINES : SOURCES DE DONNEES, DONNEES ET CHOIX DES DONNEES RETENUES

1 SOURCES DE DONNEES DE FREQUENCES DE FUITE

L'INERIS a étudié les sources de données suivantes fournissant des éléments concernant les fréquences de fuite des canalisations sous-marines ou subaquatiques :

- Le rapport « Riser & Pipeline release frequencies » de l'OGP [9]: ce rapport propose des fréquences génériques de fuite pour les canalisations terrestres et sous-marines. A partir d'une exploitation des données du rapport PARLOC 2001 faite par DNV en 2006 dans un document interne non publié et référencé dans le rapport OGP [21].
- Le recueil OREDA de 2002 [10] : ce recueil propose des taux de défaillance génériques pour les collectes sous-marines (« flowline »)¹³, les risers et les systèmes d'isolement des canalisations de transport. Des taux de défaillance sont proposés pour chaque tuyauterie ou chaque système, ainsi que pour ses équipements associés (ex. revêtement pour les collectes). Pour chaque taux de défaillance, le recueil OREDA propose la valeur de l'estimateur sans biais (N/E), une valeur d'un estimateur propre à l'OREDA¹⁴, ainsi qu'une valeur maximale et une valeur minimale correspondant aux valeurs de la borne supérieure et de la borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90%.
- Une publication de 2010, réalisée à l'occasion de la 8^{ème} International Pipeline Conference (IPC) [22] : cette publication propose :
 - des valeurs de fréquences de fuite issues de l'exploitation des données du PARLOC 2001 [8] et des données de l'US DOT [7],
 - des fréquences de fuite par cause obtenues à partir des fréquences de fuite obtenues par le retour d'expérience dites « fréquences de fuite génériques » et des paramètres d'amélioration ou d'aggravation de cette fréquence en fonction des caractéristiques de la canalisation (ex. épaisseur du tube), des éléments d'exploitation propres à cette canalisation (ex. passage de racleur, fluide transporté) et des facteurs de risques.

¹³ Rappel : Technip indique sur son site Internet (<http://www.technip.com/fr/espace-presse/glossaire#>) les définitions suivantes :

Flowline : conduite reposant sur le fond marin, permettant le transfert des hydrocarbures produits ou l'injection de fluides. Il s'agit généralement d'une conduite raccordant des structures sous-marines entre elles, ou raccordant une structure sous-marine à un équipement de production en surface. Sa longueur varie de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres.

Riser : conduite utilisée en tant que liaison fond-surface pour le transfert des hydrocarbures produits du fond marin vers l'unité de production en surface, et le transfert de fluides d'injection ou de contrôle de l'unité de production en surface vers les réservoirs sous-marins.

¹⁴ Cet estimateur est présenté dans le recueil OREDA. Il vise à prendre à compte la possibilité de calculer un taux de défaillance en s'appuyant sur un échantillon statistique non homogène en termes de conditions environnementales et de conditions opérationnelles. Il s'appuie sur des lois statistiques.

- La norme DNV-RP-F107 [13] : le chapitre 5 donne :
 - des formules de calcul de fréquences de fuite ou des éléments de calcul pour les causes suivantes d'interactions externes avec la canalisation :
 - Chute d'objet,
 - Collision d'un riser avec un navire.
 - des fréquences de fuite :
 - Impact par chalutage,
 - Impact d'une chaîne lors de la mise en place d'un appareil de forage,
 - Choc en cas de dérive d'une ancre d'un appareil de forage.
- La norme DNV-RP-111 relative aux interférences entre les chaluts et les canalisations (intitulée Interference Between Trawl Gear and Pipelines, ref [17]) : elle propose une formule pour déterminer une fréquence d'impact par un chalut sur une canalisation.
- Une étude réalisée par un consultant [24] : cette étude assimilable à une étude de dangers présente une méthode de calcul d'une fréquence de fuite pour la cause « ancrage » spécifique au contexte d'une canalisation donnée.

Par ailleurs, l'INERIS a réalisé une analyse des données des deux bases suivantes :

- Les données du rapport PARLOC 2001 : le rapport PARLOC 2001 [8] fournit des fréquences de fuite issues de l'exploitation du retour d'expérience couvrant la période des années 1960 jusque l'année 2000. Il fournit également le nombre d'accidents répartis par zone géographique et par cause. S'il ne donne pas accès directement aux données brutes qu'il exploite, il permet toutefois de refaire des calculs à partir des données compilées qui y sont fournies.
- Les bases de données de l'US DOT relatives aux canalisations transportant des produits dangereux liquides et aux canalisations transportant du gaz naturel.

Seuls les accidents concernant la tuyauterie sont conservés dans cette exploitation ; les événements sur les installations annexes sont écartés.

Les paragraphes suivants présentent les résultats obtenus pour les fréquences de fuite génériques et les fréquences de fuite par cause. Les causes présentées sont celles spécifiques au milieu aquatique et marin.

Il est supposé que pour la base de l'US DOT :

- Les événements ne concernent que des canalisations (et non des collectes) ;

- Les canalisations sous-marines, transportant aussi bien du gaz que des produits liquides dangereux, sont en majorité en acier. En effet, une analyse de la base de l'US DOT montre que, lorsque le champ de la base concernant le matériau de la collecte est rempli, il s'agit en majorité de nuance d'acier. Aussi, il est supposé que les canalisations transportant aussi bien du gaz que des produits liquides dangereux sont en acier¹⁵.

Il est précisé que l'exploitation des données des canalisations sous-marines est réalisée, pour chaque base, sur la totalité de la période concernée par le recensement de la base. Il est rappelé que le guide EDD [2] préconise, pour les canalisations terrestres, de considérer la période 1970-1990 comme période de référence pour le calcul des fréquences génériques, afin de permettre l'application des coefficients d'efficacité des mesures compensatoires. Dans ce même objectif, afin d'appliquer des coefficients d'efficacité des mesures compensatoires listées au Tableau 2, il sera souhaitable de :

- soit déterminer une période de référence permettant de calculer une fréquence de fuite qui pourrait être considérée comme une période sur laquelle les mesures compensatoires recensées n'étaient pas appliquées de façon généralisée,
- soit vérifier si l'écart entre une période de référence et la totalité des périodes d'observation des bases étudiées conduit à des valeurs du même ordre de grandeur et est donc sans conséquence sur l'évaluation des risques.

La période de référence devra ainsi être définie de manière à pouvoir appliquer sur la fréquence générique de fuite de cette période, les facteurs de réduction ou d'aggravation des risques et l'efficacité des mesures compensatoires.

¹⁵ Les données de la base de l'US DOT montrent que :

- pour les canalisations transportant du gaz, sur la période 1984-2010, l'acier est utilisé dans au moins 93% des canalisations sur lesquelles un événement s'est produit ;
- pour les canalisations transportant des produits liquides dangereux :
 - sur la période 2010, toutes les canalisations sur lesquelles un événement s'est produit sont en acier ;
 - sur la période 2002-2009, dans 54% des cas la nuance de l'acier est fournie et dans les 46% restants, le matériau n'est pas précisé
 - aucune donnée sur le matériau utilisé n'est précisée pour la période 1986-2002.

2 DONNEES DE FREQUENCES DE FUITE

2.1 FREQUENCES GENERIQUES DE FUITE ISSUES DE LA LITTERATURE

Les fréquences génériques de fuites issues du rapport OGP, du recueil OREDA et de la publication de l'IPC sont présentées dans le tableau 9 ci-dessous :

| Données | Rapport OGP | | | OREDA | Publication IPC | Publication IPC |
|---|--|--|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | | | Données PARLOC | Données PARLOC |
| Produit transporté | Huile ou gaz traité | Huile ou gaz traité | Tous produits confondus | Non précisé | Tous produits confondus | Tous produits confondus |
| Type de tuyauterie | Canalisation sous-marine : zone de pleine mer diamètre ≤ 24" | Canalisation sous-marine : zone de pleine mer diamètre > 24" | Canalisation sous-marine flexible | Collectes | Canalisation sous-marine | Canalisation sous-marine |
| Matériau | Acier | Acier | Flexible | Non précisé | Acier | Flexible |
| Période d'observation | Années 1960 à 2000 | Années 1960 à 2000 | Années 1960 à 2000 | Non précisé | Années 1960 à 2000 | Années 1960 à 2000 |
| N | 3 | 2 | 11 | Non précisé | Non précisé | Non précisé |
| E (km.an ou riser.an) | 59 003 | 147 608 | 3 447 | Non précisé | 307 246 | 8 155 |
| F _{estimateur sans biais} (km ⁻¹ .An ⁻¹ ou riser ⁻¹ .An ⁻¹) | 5,1. 10 ⁻⁵ | 1,4. 10 ⁻⁵ | 3,2. 10 ⁻³ ¹⁶ | 4,20.10 ⁻³ | 8,79.10 ⁻⁵ | 1,01.10 ⁻³ |

Tableau 9 : Fréquences de fuites génériques issues de la littérature

2.2 FREQUENCES DE FUITE ISSUES DE L'EXPLOITATION DE BASES DE DONNEES PAR L'INERIS

2.2.1 Fréquences génériques

Les fréquences de fuite génériques obtenues à partir de l'exploitation des données du PARLOC 2001 et de l'US DOT/PHMSA, toutes causes confondues, sont présentées dans le tableau 10 ci-après. Les fréquences de fuites des canalisations sont en (km.an)⁻¹ et les fréquences de fuites des risers, dont les conséquences, contrairement aux canalisations, impactent la même zone située au-dessus du riser, sont exprimées en (riser.an)⁻¹.

¹⁶ Le rapport de l'OGP donne une fréquence de 2,3 10⁻³ km⁻¹.an⁻¹ alors que le calcul à partir des données précisées dans le même rapport de l'OGP donne cette fréquence de 3,2 10⁻³ km⁻¹.an⁻¹.

| Données | PARLOC 2001 | | | | | | US DOT/PHMSA | | | |
|--|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| | Tous produits confondus | | | | | | Produits dangereux liquides | Gaz naturel | | Tous produits confondus |
| Type de tuyauterie | Canalisations | | | Collectes | | | Canalisations | | | |
| Matériau | acier | flexible | Tous matériaux | acier | flexible | Tous matériaux | Acier | | | |
| Période d'observation | Années 1960 à 2000 | | | Années 1960 à 2000 | | | 2004-2010 | 1984-2010 | 2004-2010 | 2004-2010 |
| N | 53 | 26 | 79 | 12 | 5 | 17 | 33 | 332 | 160 | 193 |
| E (km.an ou riser.an) | 307 246 | 8 155 | 315 401 | 16 776 | 1 052 | 17 828 | 57 600 | 303 711 | 66 635 | 124 235 |
| F borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (km ⁻¹ . An ⁻¹ ou riser ⁻¹ . An ⁻¹) | 1,38.10 ⁻⁴ | 2,34.10 ⁻³ | 2,09.10 ⁻⁴ | 4,58.10 ⁻⁴ | 2,48.10 ⁻³ | 6,53.10 ⁻⁴ | 4,24.10 ⁻⁴ | 9,98.10 ⁻⁴ | 2,11.10 ⁻³ | 1,38.10 ⁻³ |
| F estimateur sans biais (km ⁻¹ . An ⁻¹ ou riser ⁻¹ . An ⁻¹) | 1,73.10 ⁻⁴ | 3,19.10 ⁻³ | 2,50.10 ⁻⁴ | 7,15.10 ⁻⁴ | 4,75.10 ⁻³ | 9,54.10 ⁻⁴ | 5,73.10 ⁻⁴ | 1,09.10 ⁻³ | 2,40.10 ⁻³ | 1,55.10 ⁻³ |
| F borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (km ⁻¹ . An ⁻¹ ou riser ⁻¹ . An ⁻¹) | 2,17.10 ⁻⁴ | 4,42.10 ⁻³ | 3,02.10 ⁻⁴ | 1,16.10 ⁻³ | 9,99.10 ⁻³ | 1,43.10 ⁻³ | 7,66.10 ⁻⁴ | 1,20.10 ⁻³ | 2,74.10 ⁻³ | 1,75.10 ⁻³ |

Tableau 10 : Proposition de fréquences de fuite génériques issues des données du PARLOC 2001 et des bases de données de l'US DOT/PHMSA

Note :

Les fréquences de fuite obtenues à partir des données du PARLOC 2001 pour les canalisations en acier sont 2,5 fois plus faibles que celles du rapport de l'EGIG (période 1970-2001) et 1,5 fois plus faibles que celles du rapport du CONCAWE (période 1971-2000). **L'exploitation des données du PARLOC 2001 montre donc que les accidents sur les canalisations sont moins fréquents sur les canalisations sous-marines que sur les canalisations terrestres.**

2.2.2 Fréquences par causes

Les tableaux 11, 12 et 13 suivants présentent les fréquences de fuite par causes calculées par l'INERIS à partir des données du PARLOC 2001 et de l'USDOT/PHMSA.

| | F (km ⁻¹ .an ⁻¹ ou riser ⁻¹ .an ⁻¹) | Ancrage | Impact | Corrosion interne | Corrosion externe et autres | Structure | Défaut de matériaux | Environ- nement naturel | Feu/ Explosion | Construc- tion | Mainte- nance | Autres | TOTAL |
|------------------------------------|--|----------|----------|----------------------|-----------------------------------|-----------|------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------|----------|
| Canalisations acier | F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90%} | 1,53E-05 | 1,77E-05 | 3,01E-05 | 1,30E-05 | 1,67E-07 | 1,53E-05 | 1,67E-07 | 1,67E-07 | 1,67E-07 | 1,67E-07 | 1,30E-05 | 1,38E-04 |
| | F _{estimateur sans biais} | 2,60E-05 | 2,93E-05 | 4,56E-05 | 2,28E-05 | 0,00E+00 | 2,60E-05 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,28E-05 | 1,73E-04 |
| | F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90%} | 4,70E-05 | 5,11E-05 | 7,12E-05 | 4,28E-05 | 9,75E-06 | 4,70E-05 | 9,75E-06 | 9,75E-06 | 9,75E-06 | 9,75E-06 | 4,28E-05 | 2,17E-04 |
| Canalisations flexibles | F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90%} | 4,36E-05 | 2,42E-04 | 4,36E-05 | 6,29E-06 | 1,00E-04 | 7,56E-04 | 6,29E-06 | 6,29E-06 | 1,00E-04 | 4,36E-05 | 3,20E-04 | 2,34E-03 |
| | F _{estimateur sans biais} | 1,23E-04 | 4,90E-04 | 1,23E-04 | 0,00E+00 | 2,45E-04 | 1,23E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,45E-04 | 1,23E-04 | 6,13E-04 | 3,19E-03 |
| | F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90%} | 5,82E-04 | 1,12E-03 | 5,82E-04 | 3,67E-04 | 7,72E-04 | 2,08E-03 | 3,67E-04 | 3,67E-04 | 7,72E-04 | 5,82E-04 | 1,29E-03 | 4,42E-03 |
| Risiers acier | F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90%} | 3,06E-06 | 3,06E-06 | 3,06E-06 | 1,56E-04 | 2,12E-05 | 4,87E-05 | 3,06E-06 | 3,06E-06 | 3,06E-06 | 3,06E-06 | 1,17E-04 | 4,58E-04 |
| | F _{estimateur sans biais} | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,98E-04 | 5,96E-05 | 1,19E-04 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,38E-04 | 7,15E-04 |
| | F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90%} | 1,79E-04 | 1,79E-04 | 1,79E-04 | 6,27E-04 | 2,83E-04 | 3,75E-04 | 1,79E-04 | 1,79E-04 | 1,79E-04 | 1,79E-04 | 5,46E-04 | 1,16E-03 |
| Risiers flexibles | F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90%} | 4,88E-05 | 4,88E-05 | 4,88E-05 | 4,88E-05 | 4,88E-05 | 7,77E-04 | 4,88E-05 | 4,88E-05 | 4,88E-05 | 4,88E-05 | 1,30E-03 | 2,48E-03 |
| | F _{estimateur sans biais} | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 1,90E-03 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,85E-03 | 4,75E-03 |
| | F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90%} | 2,85E-03 | 2,85E-03 | 2,85E-03 | 2,85E-03 | 2,85E-03 | 5,98E-03 | 2,85E-03 | 2,85E-03 | 2,85E-03 | 2,85E-03 | 7,37E-03 | 9,99E-03 |

Tableau 11 : Fréquences de fuite par cause des canalisations sous-marines et des risiers, calculées sur la base des données du PARLOC 2001

| | Causes | Corrosion interne | Corrosion externe | Corrosion autre | Événement naturel | Travaux de tiers | Dompage externe autre que les travaux de tiers | Défaut d'équipement | Défaut de matériel | Erreur opérationnelle | Autres causes | TOTAL |
|------------------------------------|--|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|--|---------------------|--------------------|-----------------------|---------------|----------|
| Gaz naturel | Nombre de fuites | 181 | 19 | 2 | 37 | 37 | 14 | 0 | 6 | 4 | 16 | 316 |
| | E (km.an) | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 |
| | F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 5,40E-04 | 4,63E-05 | 2,69E-06 | 9,94E-05 | 9,66E-05 | 3,04E-05 | 1,69E-07 | 1,08E-05 | 6,49E-06 | 5,72E-05 | 1,00E-03 |
| | F _{estimateur sans biais (*)} | 6,09E-04 | 6,59E-05 | 6,59E-06 | 1,28E-04 | 1,25E-04 | 4,61E-05 | 0,00E+00 | 1,98E-05 | 1,32E-05 | 7,90E-05 | 1,09E-03 |
| | F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 6,88E-04 | 9,57E-05 | 2,07E-05 | 1,68E-04 | 1,64E-04 | 7,21E-05 | 9,86E-06 | 3,90E-05 | 3,01E-05 | 1,11E-04 | 1,20E-03 |
| Produits dangereux liquides | Nombre de fuites | 1 | 5 | 27 | 15 | 19 | 8 | 5 | 6 | 0 | 15 | 101 |
| | E (km.an) | 187 956 | 187 956 | 187 956 | 187 956 | 187 956 | 187 956 | 187 956 | 187 956 | 187 956 | 187 956 | 187 956 |
| | F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 1,89E-06 | 1,39E-05 | 1,06E-04 | 5,34E-05 | 7,05E-05 | 2,50E-05 | 1,39E-05 | 1,75E-05 | 2,73E-07 | 5,34E-05 | 4,57E-04 |
| | F _{estimateur sans biais (*)} | 5,32E-06 | 2,66E-05 | 1,44E-04 | 7,98E-05 | 1,01E-04 | 4,26E-05 | 2,66E-05 | 3,19E-05 | 0,00E+00 | 7,98E-05 | 5,37E-04 |
| | F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 2,52E-05 | 5,59E-05 | 1,98E-04 | 1,23E-04 | 1,48E-04 | 7,68E-05 | 5,59E-05 | 6,30E-05 | 1,59E-05 | 1,23E-04 | 6,34E-04 |
| Tous produits confondus | Nombre de fuites | 182 | 24 | 29 | 52 | 56 | 22 | 5 | 12 | 4 | 31 | 417 |
| | E (km.an) | 467 412 | 467 412 | 467 412 | 467 412 | 467 412 | 467 412 | 467 412 | 467 412 | 467 412 | 467 412 | 467 412 |
| | F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 3,45E-04 | 3,72E-05 | 4,62E-05 | 8,90E-05 | 9,67E-05 | 3,36E-05 | 5,59E-06 | 1,65E-05 | 4,22E-06 | 4,98E-05 | 8,24E-04 |
| | F _{estimateur sans biais (*)} | 3,89E-04 | 5,13E-05 | 6,20E-05 | 1,11E-04 | 1,20E-04 | 4,71E-05 | 1,07E-05 | 2,57E-05 | 8,56E-06 | 6,63E-05 | 8,92E-04 |
| | F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 4,40E-04 | 7,22E-05 | 8,46E-05 | 1,40E-04 | 1,50E-04 | 6,72E-05 | 2,25E-05 | 4,16E-05 | 1,96E-05 | 8,95E-05 | 9,67E-04 |

(*) Fréquences exprimées par km et par an.

Tableau 12 : Fréquences de fuite par cause sur la période 1986-2010, estimées à partir des données des bases de données de l'US DOT/PHMSA

| | causes | Corrosion interne | Corrosion externe | Corrosion autre | Événement naturel | Travaux de tiers | Dompage externe autre que les travaux de tiers | Défaut d'équipement | Défaut de matériel | Erreur opérationnelle | Autres causes | TOTAL |
|------------------------------------|--|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|--|---------------------|--------------------|-----------------------|---------------|----------|
| Gaz naturel | Nombre de fuites | 90 | 9 | 0 | 28 | 1 | 13 | 0 | 5 | 0 | 14 | 160 |
| | E (km.an) | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 | 279 455 |
| | F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 2,72E-04 | 1,94E-05 | 1,84E-07 | 7,42E-05 | 1,27E-06 | 3,03E-05 | 1,84E-07 | 9,35E-06 | 1,84E-07 | 3,31E-05 | 5,04E-04 |
| | F _{estimateur sans biais (*)} | 3,22E-04 | 3,22E-05 | 0,00E+00 | 1,00E-04 | 3,58E-06 | 4,65E-05 | 0,00E+00 | 1,79E-05 | 0,00E+00 | 5,01E-05 | 5,73E-04 |
| | F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 3,84E-04 | 5,62E-05 | 1,07E-05 | 1,37E-04 | 1,70E-05 | 7,40E-05 | 1,07E-05 | 3,76E-05 | 1,07E-05 | 7,83E-05 | 6,53E-04 |
| Produits dangereux liquides | Nombre de fuites | 1 | 3 | 2 | 11 | 0 | 5 | 4 | 1 | 0 | 6 | 33 |
| | E (km.an) | 57 600 | 57 600 | 57 600 | 57 600 | 57 600 | 57 600 | 57 600 | 57 600 | 57 600 | 57 600 | 57 600 |
| | F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 6,17E-06 | 2,37E-05 | 1,42E-05 | 1,20E-04 | 8,91E-07 | 4,54E-05 | 3,42E-05 | 6,17E-06 | 8,91E-07 | 5,70E-05 | 4,34E-04 |
| | F _{estimateur sans biais (*)} | 1,74E-05 | 5,21E-05 | 3,47E-05 | 1,91E-04 | 0,00E+00 | 8,68E-05 | 6,94E-05 | 1,74E-05 | 0,00E+00 | 1,04E-04 | 5,73E-04 |
| | F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 8,24E-05 | 1,35E-04 | 1,09E-04 | 3,16E-04 | 5,20E-05 | 1,83E-04 | 1,59E-04 | 8,24E-05 | 5,20E-05 | 2,06E-04 | 7,66E-04 |
| Tous produits confondus | Nombre de fuites | 91 | 12 | 2 | 39 | 1 | 18 | 4 | 6 | 0 | 20 | 193 |
| | E (km.an) | 337 055 | 337 055 | 337 055 | 337 055 | 337 055 | 337 055 | 337 055 | 337 055 | 337 055 | 337 055 | 337 055 |
| | F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 2,28E-04 | 2,28E-05 | 2,43E-06 | 8,96E-05 | 1,05E-06 | 3,69E-05 | 5,85E-06 | 9,75E-06 | 1,52E-07 | 4,17E-05 | 5,09E-04 |
| | F _{estimateur sans biais (*)} | 2,70E-04 | 3,56E-05 | 5,93E-06 | 1,16E-04 | 2,97E-06 | 5,34E-05 | 1,19E-05 | 1,78E-05 | 0,00E+00 | 5,93E-05 | 5,73E-04 |
| | F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (*)} | 3,21E-04 | 5,77E-05 | 1,87E-05 | 1,51E-04 | 1,41E-05 | 7,92E-05 | 2,72E-05 | 3,51E-05 | 8,89E-06 | 8,62E-05 | 6,45E-04 |

(*) Fréquences exprimées par km et par an.

Tableau 13 : Fréquences de fuite par cause sur la période 2004-2010, estimées à partir des données des bases de données de l'US DOT/PHMSA

3 CHOIX DES DONNEES RETENUES : DEMARCHE

L'INERIS propose d'écarter certaines sources de fréquences de fuite :

- Le rapport de l'OGP [9] :

Les données présentées dans ce rapport de l'OGP et issues du rapport PARLOC 2001 diffèrent des données présentées par l'INERIS avec les données brutes du PARLOC 2001. Ces différences peuvent provenir d'une différence dans les données exploitées ou dans la méthodologie de calcul. En l'absence d'informations sur les paramètres de choix des données retenus pour les calculs des fréquences de fuite, l'INERIS propose de ne pas s'appuyer sur les données du rapport OGP ;

Note : l'INERIS a proposé, dans le cadre de l'élaboration de la présente note, de contacter DNV pour analyser les écarts entre les résultats de l'INERIS et ceux du rapport OGP.

- Le recueil OREDA [10] :

Le recueil OREDA fournit des taux de défaillance et non des fréquences de fuite et les critères permettant de retenir les accidents pris en compte pour définir le nombre de fuites observées et considérées dans le calcul du taux de défaillance ne sont pas indiqués. En l'absence d'informations sur ces critères, l'INERIS propose de ne pas s'appuyer sur les taux de défaillance du recueil OREDA.

- La publication de 2010, réalisée à l'occasion de la 8^{ème} International Pipeline Conference (IPC) [22] :

Cette publication, de même que le rapport OGP, présente des fréquences de fuite issues de l'exploitation des données du PARLOC 2001. Les résultats de cette exploitation diffèrent de ceux de l'INERIS. En l'absence d'informations sur les paramètres de choix des données retenus pour les calculs des fréquences de fuite, l'INERIS propose de ne pas s'appuyer sur ces données.

- Les fréquences de fuite issues de l'exploitation des données du PARLOC 2001 et fournies dans le rapport PARLOC 2001 :

Le PARLOC 2001 ne fournit pas de bases de données brutes sous forme de listes d'événements ayant affectés les canalisations sous-marines étudiées. Il fournit, d'une part, une expérience et des tableaux de synthèse des événements, d'autre part, des fréquences de fuite provenant de l'exploitation des données de ces tableaux sous forme de graphes. Les données sous forme de tableaux ont été utilisées par l'INERIS pour réaliser sa propre exploitation des résultats. Les résultats graphiques donnent accès à des données lues sur le graphique, donc présentant un manque de précision.

Par ailleurs, ces graphes fournissent des fréquences de fuite différenciées selon de nombreux paramètres croisés. Il est donc difficile de disposer de fréquences de fuite selon les paramètres choisis par l'INERIS (fréquences génériques ou fréquences par facteur de risques). Pour ces raisons, l'INERIS a privilégié sa propre exploitation des données du PARLOC 2001 issues des tableaux de synthèse et a écarté l'utilisation des fréquences de fuite fournies dans le guide.

- Par ailleurs, les résultats de l'exploitation par l'INERIS des données de l'US/DOT [7] sont également écartés en raison de :

- Différence de standard de construction, de mesures de surveillance et d'exploitation existante entre l'Europe et les Etats-Unis :

Les données de l'US DOT sont celles de canalisations construites et exploitées selon les normes et les standards applicables aux Etats-Unis, qui peuvent différer de ceux applicables en Europe. Ces différences peuvent avoir une influence sur les fréquences de fuite calculées.

- Manque de fiabilité des données des bases :

Les bases de données sont disponibles sur internet et sont remplies à partir des déclarations des transporteurs, qui sont exigées par la réglementation. Toutefois, le remplissage des champs des déclarations d'incidents est variable d'un transporteur à l'autre, parfois incomplet et inégal selon les champs du formulaire de déclaration (certains champs sont prédéfinis mais ne sont pas pour autant remplis de manière systématique ; les champs libres sont remplis de manière inégale). Enfin, le formulaire de déclaration a évolué dans le temps avec des modifications de certains champs.

- Manque de fiabilité de l'inventaire annuel des canalisations transportant des produits dangereux liquides [23] :

Si les longueurs totales de canalisations observées annuellement et recensées par l'US DOT sont disponibles sur le site internet de l'US DOT, ce n'est pas le cas pour toute la période d'observation des canalisations transportant des produits dangereux liquides. Des hypothèses arbitraires sont donc faites par l'INERIS. Les fréquences de fuite calculées ne constituent alors que des approximations des fréquences de fuite et ne peuvent être prises et utilisées comme des valeurs absolues.

- Particularités de la zone du golfe du Mexique :

Cette zone est celle dans laquelle se trouve une grande partie des canalisations de transport sous-marines.

Or, cette zone présente une configuration particulière en termes de densité de canalisations (due à l'exploitation pétrolière importante) et de facteurs de risques (trafic maritime intense, zone de pêche importante, ouragans, zones de courants maritimes dus à la forme du golfe). Il a été considéré que cette configuration particulière ne se retrouve pas sur les côtes françaises et le retour d'expérience qui en est issu n'est donc pas applicable.

Les seules fréquences de fuite des canalisations sous-marines considérées comme suffisamment robustes sont donc celles calculées à partir des données brutes du rapport PARLOC 2001.

ANNEXE 5

**FREQUENCES DE FUITE ISSUES DE L'EXPLOITATION DES
DONNEES DU PARLOC 2001 ET FREQUENCES DE FUITE
FOURNIES POUR LES CANALISATIONS TERRESTRES
DANS LE GUIDE EDD**

1 DEFAUTS DE MATERIAUX, DE CONSTRUCTION, DE STRUCTURE

| Cause | Défauts de matériau, de construction, de structure | | | | |
|--|--|----------|----------------|--|-------------------------------|
| | Fréquence proposée pour les canalisations sous-marines | | | Fréquence de l'annexe 10 du guide EDD pour les canalisations terrestres | |
| Source des données | PARLOC 2001 | | | Gaz : données des transporteurs français Hydrocarbures : données CONCAWE (Europe et France) | |
| Produit transporté | Tous produits confondus | | | Gaz | Hydrocarbures |
| Type de tuyauterie | Canalisations | | | Canalisations | Canalisations |
| Matériau | Acier | Flexible | Tous matériaux | Acier | Acier |
| Période d'observation | Années 1960 à 2000 | | | Années 1970 à 1990 | Années 1970 à 1990 |
| N | 8 | 12 | 20 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |
| E (km.an ou riser.an) | 307 246 | 8 155 | 305 401 | 438 003 | Non précisé dans le guide EDD |
| F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 1,53E-05 | 9,43E-04 | 4,46E-05 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |
| F _{estimateur sans biais (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 2,60E-05 | 1,47E-03 | 6,34E-05 | < 1,4E-04 (*) | 7,55E-05 |
| F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 4,70E-05 | 2,38E-03 | 9,21E-05 | Non précisé dans le guide EDD | 8,90E-05 |

(*) Il s'agit de la fréquence indiquée dans le guide EDD pour la petite brèche liée aux facteurs de risques autres que les travaux de tiers. Le guide EDD précise par ailleurs (annexe 4) que les principaux facteurs de risques pour cette petite brèche sont les travaux de tiers, les défauts de construction, les défauts matériau, la corrosion, et autre (foudre, érosion). La proportion respective de chacun des facteurs de risques autres que les travaux de tiers n'est cependant pas mentionnée dans le guide EDD.

Tableau 14 : Proposition de fréquences de fuite génériques pour les défauts de matériau, de construction, de structure

3 CORROSION INTERNE

| Cause | Corrosion interne | | | | |
|--|--|--------------|----------------|--|-------------------------------|
| | Fréquence proposée pour les canalisations sous-marines | | | Fréquence de l'annexe 10 du guide EDD pour les canalisations terrestres | |
| Source des données | PARLOC 2001 | | | Gaz : données des transporteurs français Hydrocarbures : données CONCAWE (Europe et France) | |
| Produit transporté | Tous produits confondus | | | Gaz | Hydrocarbures |
| Type de tuyauterie | Canalisations | | | Canalisations | Canalisations |
| Matériau | Acier | Flexible (*) | Tous matériaux | Acier | Acier |
| Période d'observation | Années 1960 à 2000 | | | Années 1970 à 1990 | Années 1970 à 1990 |
| N | 14 | 1 | 15 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |
| E (km.an ou riser.an) | 307 246 | 8 155 | 305 401 | 438 003 | Non précisé dans le guide EDD |
| F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 3,01E-05 | 4,36E-05 | 3,18E-05 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |
| F _{estimateur sans biais (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 4,56E-05 | 1,23E-04 | 4,76E-05 | < 1,4E-04 (*) | 4,20E-05 |
| F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 7,12E-05 | 5,82E-04 | 7,32E-05 | Non précisé dans le guide EDD | 6,80E-05 |

(*) Il s'agit de la fréquence indiquée dans le guide EDD pour la petite brèche liée aux facteurs de risques autres que les travaux de tiers. Le guide EDD précise par ailleurs (annexe 4) que les principaux facteurs de risques pour cette petite brèche sont les travaux de tiers, les défauts de construction, les défauts matériau, la corrosion, et autre (foudre, érosion). La proportion respective de chacun des facteurs de risques autres que les travaux de tiers n'est cependant pas mentionnée dans le guide EDD.

Tableau 15 : Proposition de fréquences de fuite génériques pour la corrosion interne

Note :

(*) Les événements recensés dans le PARLOC 2001 pour les canalisations flexibles sont peu nombreux et donc remettent en cause la représentativité des résultats.

4 CORROSION EXTERNE ET AUTRES : CORROSION EN MILIEU AQUATIQUE ET MARIN

| Cause | Corrosion externe | | | | |
|--|--|-----------------|-----------------|--|-------------------------------|
| | Fréquence proposée pour les canalisations sous-marines | | | Fréquence de l'annexe 10 du guide EDD pour les canalisations terrestres | |
| Source des données | PARLOC 2001 | | | Gaz : données des transporteurs français Hydrocarbures : données CONCAWE (Europe et France) | |
| Produit transporté | Tous produits confondus | | | Gaz | Hydrocarbures |
| Type de tuyauterie | Canalisations | | | Canalisations | Canalisations |
| Matériau | Acier | Flexible | Tous matériaux | Acier | Acier |
| Période d'observation | Années 1960 à 2000 | | | Années 1970 à 1990 | Années 1970 à 1990 |
| N | 7 | 0 | 7 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |
| E (km.an ou riser.an) | 307 246 | 8 155 | 305 401 | 438 003 | Non précisé dans le guide EDD |
| F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 1,30E-05 | 6,29E-06 | 1,26E-05 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |
| F _{estimateur sans biais (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 2,28E-05 | 0,00E+00 | 2,22E-05 | < 1,4E-04 (*) | 3,70E-05 |
| F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 4,28E-05 | 3,67E-04 | 4,17E-05 | Non précisé dans le guide EDD | 6,50E-05 |

(*) Il s'agit de la fréquence indiquée dans le guide EDD pour la petite brèche liée aux facteurs de risques autres que les travaux de tiers. Le guide EDD précise par ailleurs (annexe 4) que les principaux facteurs de risques pour cette petite brèche sont les travaux de tiers, les défauts de construction, les défauts matériau, la corrosion, et autre (foudre, érosion). La proportion respective de chacun des facteurs de risques autres que les travaux de tiers n'est cependant pas mentionnée dans le guide EDD.

Tableau 16 : Proposition de fréquences de fuite génériques pour la corrosion externe

Note :

Il existe des méthodes permettant d'estimer plus finement les fréquences de fuite par corrosion interne ou externe. Ces méthodes pourront être utilisées par les transporteurs en substitution aux données génériques proposées dans ces tableaux.

5 ENVIRONNEMENT NATUREL

| Cause | Risques liés à l'environnement naturel | | | | |
|--|--|----------|----------------|--|-------------------------------|
| | Fréquence proposée pour les canalisations sous-marines | | | Fréquence de l'annexe 10 du guide EDD pour les canalisations terrestres | |
| Source des données | PARLOC 2001 | | | Gaz : données des transporteurs français Hydrocarbures : données CONCAWE (Europe et France) | |
| Produit transporté | Tous produits confondus | | | Gaz | Hydrocarbures |
| Type de tuyauterie | Canalisations | | | Canalisations | Canalisations |
| Matériau | Acier | Flexible | Tous matériaux | Acier | Acier |
| Période d'observation | Années 1960 à 2000 | | | Années 1970 à 1990 | Années 1970 à 1990 |
| N | 0 | 0 | 0 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |
| E (km.an ou riser.an) | 307 246 | 8 155 | 305 401 | 438 003 | Non précisé dans le guide EDD |
| F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 1,67E-07 | 6,29E-06 | 1,63E-07 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |
| F _{estimateur sans biais (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 2,50E-05 (*) | Non précisé dans le guide EDD |
| F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 9,75E-06 | 3,67E-04 | 9,50E-06 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |

(*) Fréquence des ruptures totales provoquées par des mouvements de terrain.

Tableau 17 : Proposition de fréquences de fuite génériques pour l'impact de l'environnement naturel

6 IMPACTS ET ANCRAGE

| Cause | <i>Impacts d'ancrage et autres impacts (travaux de tiers et autres dommages externes)</i> | | | | |
|---|---|-----------------|-----------------|--|-------------------------------|
| | Fréquence proposée pour les canalisations sous-marines | | | Fréquence de l'annexe 10 du guide EDD pour les canalisations terrestres | |
| Source des données | PARLOC 2001 | | | Gaz : données des transporteurs français Hydrocarbures : données CONCAWE (Europe et France) | |
| Produit transporté | Tous produits confondus | | | Gaz | Hydrocarbures |
| Type de tuyauterie | Canalisations | | | Canalisations | Canalisations |
| Matériau | Acier | Flexible | Tous matériaux | Acier | Acier |
| Période d'observation | Années 1960 à 2000 | | | Années 1970 à 1990 | Années 1970 à 1990 |
| N | 17 | 5 | 22 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |
| E (km.an ou riser.an) | 307 246 | 8 155 | 305 401 | 438 003 | Non précisé dans le guide EDD |
| F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 3,79E-05 | 3,20E-04 | 4,98E-05 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |
| F _{estimateur sans biais (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 5,53E-05 | 6,13E-04 | 6,98E-05 | 4,35E-04 | 1,55E-04 |
| F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹. An⁻¹ ou riser⁻¹. An⁻¹)} | 8,30E-05 | 1,29E-03 | 9,96E-05 | Non précisé dans le guide EDD | Non précisé dans le guide EDD |

Tableau 18 : Proposition de fréquences de fuite génériques pour les impacts d'ancrage et autres impacts (travaux de tiers et autres dommages externes)

Note :

Il existe des méthodes permettant de calculer les fréquences de fuite par ancrage ou impact de chalut ([13], [17], [24]), qui font intervenir des données locales sur le trafic maritime ou l'activité de pêche par exemple. Ces formules pourront être utilisées par les transporteurs disposant de données d'entrée fiables en substitution aux données génériques proposées dans ces tableaux.

ANNEXE 6

PROBABILITE D'INFLAMMATION : SOURCES DE DONNEES, DONNEES ET CHOIX DES DONNEES RETENUES

1 SOURCE DE DONNEES

L'inflammation d'un produit suite à la fuite d'une canalisation sous-marine ou subaquatique est due :

- à la présence d'une plateforme offshore au-dessus du point de rejet ou à proximité immédiate,
- aux navires passant soit au-dessus de la canalisation, soit à proximité (navires de la zone). Selon [19], le risque d'inflammation est encore plus à considérer dans le cas où le navire est à l'origine de la fuite de la canalisation (collision, ancrage), car « *dans ce cas, la concentration de gaz en surface devient critique* ».

L'INERIS a recensé plusieurs sources de données concernant les probabilités d'inflammation lors d'une fuite dans le domaine offshore :

- Publication « Classification of Hazardous Locations » de Cox, Lees and Ang (1990) [25] :

Cette publication fournit des valeurs de probabilités d'inflammation en fonction du produit et de la taille de la brèche et des valeurs de probabilités d'explosion sachant qu'il y a eu inflammation (probabilité conditionnelle) en fonction de la taille de brèche. Ces valeurs ont été publiées dans le document "Loss Prevention in the Process Industries" 2nd Ed. par Frank P. Lees au chapitre 16.10 "Ignition Models".

- Rapport HSL/2005/50 intitulé « Offshore ignition probability arguments » du HSL pour le HSE HSL [26] :

Cette étude concerne les probabilités d'inflammation dans le contexte offshore [26]. Cette étude est davantage orientée sur les plateformes pétrolières offshore. Elle est basée sur une exploitation des données de la base recensant les fuites de pétrole offshore depuis 1992 et intitulée « Hydrocarbon Releases (HCR) Database » ou base OIR/12 du nom du formulaire de déclaration d'accident. L'exploitation des données de la base dans le rapport du HSL concerne la période de 1992 à 2004. La probabilité d'inflammation est différenciée selon le zonage ATEX de l'emplacement dans lequel la fuite se produit. La probabilité d'inflammation est d'autant plus faible que la zone est classée en zone ATEX et bénéficie donc des contrôles, des certifications d'équipements et des précautions adaptées. Sont également fournies des probabilités d'inflammation en fonction du type de produit transporté (pétrole brut liquide, gaz, produit biphasique, condensats, produit non traité) et des tailles de fuite (grosse fuite, moyenne fuite et petite fuite, définies soit en fonction de la quantité de produit libéré, soit en fonction des phénomènes dangereux engendrés par cette fuite).

- Rapport OGP n°434-6.1 sur les probabilités d'inflammation intitulé « Ignition probabilities » [27] :

Les probabilités d'inflammation concernent les collectes (la terminologie de « risers » est utilisée dans le rapport OGP). Les probabilités d'inflammation sont données en fonction des débits de fuite. Plus le débit de fuite est important, plus la probabilité d'inflammation augmente.

Par ailleurs, l'INERIS a calculé des probabilités d'inflammation, à partir des événements ayant conduit soit à une inflammation, soit à une explosion, soit à une inflammation et une explosion recensés dans la base de données de l'US DOT/PHMSA. Aucun événement ne conduisant à une inflammation n'a été recensé dans le cas des canalisations transportant des produits liquides. Seul le transport de gaz naturel a conduit à des explosions et des inflammations.

2 DONNEES DE PROBABILITES D'INFLAMMATION

Les résultats de ces différentes sources sont synthétisés dans les tableaux 19 et 20 ci-après.

| Type de fuite | Définition (en fonction du débit de fuite) | Probabilité d'inflammation | | | | | | | |
|---------------|--|----------------------------|---------|-------------------------------|---------------|---------|------|--------------------|--------------------|
| | | Cox, Lees and Ang (1990) | | OGP | HSL pour HSE | | | | |
| | | Gaz | Pétrole | Collectes - Tous produits (*) | Tous produits | Pétrole | Gaz | Produit non traité | Produit biphasique |
| Grosse fuite | Plus de 50 kg/s | 0,3 | 0,08 | 0,0250 | 0 | 0,02 | 0,03 | 0,33 | 0,06 |
| Fuite moyenne | Entre 1 et 50 kg/s | 0,07 | 0,03 | 0,0121 | 0,03 | | | | |
| Petite fuite | Moins de 1 kg/s | 0,01 | 0,01 | 0,0035 | 0,10 | | | | |

(*) Les valeurs proposées correspondent respectivement à des fuites de 100 kg/s et plus, 10 kg/s et 1 kg/s.

Tableau 19 : Probabilités d'inflammation recensées dans la littérature, applicables pour le contexte subaquatique ou sous-marin

| Produit | PhD | N _{PhD} | N _{fuites} | Probabilité d'inflammation |
|-----------------------------|---------------------------|------------------|---------------------|----------------------------|
| Produits liquides dangereux | Inflammation | 0 | 101 | 0 |
| | Explosion | 0 | 101 | 0 |
| | Inflammation et explosion | 0 | 101 | 0 |
| Gaz | Inflammation | 4 | 332 | 0,0120 |
| | Explosion | 1 | 332 | 0,0030 |
| | Inflammation et explosion | 2 | 332 | 0,0060 |

Tableau 20 : Probabilités d'inflammation calculées par l'INERIS, applicables pour le contexte sous-marin, issues des données des bases de l'US DOT/PHMSA

Note :

La probabilité d'inflammation est liée à la présence d'un navire et aussi au trafic maritime : plus il est dense, plus la probabilité de présence d'un navire augmente et plus la probabilité d'inflammation augmente. Toutefois, dans la littérature exploitée dans le cadre de ce guide, il n'a pas été recensé de formule faisant le lien entre la probabilité d'inflammation et la probabilité de présence d'un navire, qui correspondrait donc à une probabilité de présence de la source d'inflammation.

2 CHOIX DES DONNEES RETENUES : DEMARCHE

Pour les probabilités d'inflammation des canalisations sous-marines, l'INERIS propose de retenir des valeurs spécifiques au domaine offshore, en fonction du produit transporté. L'INERIS propose les hypothèses suivantes :

- Retenir comme référence statistique les données du rapport HSL correspondant aux probabilités d'inflammation différenciées par type de produit transporté ;
- Appliquer un facteur correctif pour prendre en compte les zones d'ancrage :
- Dans le cas des canalisations terrestres, sont distinguées les zones rurales et les zones urbaines avec l'application d'un facteur correctif de 2 pour passer des probabilités en zones rurales à celles en zones urbaines, où les sources d'inflammation sont plus nombreuses.
- De même, il est considéré que les probabilités d'inflammation hors zone d'ancrage ou chenal de transport maritime identifié seront plus faibles que les probabilités retenues dans le cadre du contexte terrestre.
- D'après les données du HSL sur les activités sous-marines, il est constaté que les probabilités d'inflammation sont multipliées par un facteur d'au moins 3 entre des zones non classées et des zones ATEX. De manière arbitraire, il est décidé que les probabilités retenues venant du rapport HSL sont les probabilités hors zone d'ancrage ou de trafic maritime et que les probabilités dans ces zones particulières seront obtenues en multipliant par ce même facteur 3.
- Différencier les probabilités d'inflammation par types de brèches :

Dans les données du rapport OGP, plus le débit de fuite augmente, plus la probabilité d'inflammation augmente (ce qui est identique au cas des probabilités d'inflammation retenues dans le cas des canalisations terrestres dans le guide EDD, mais ce qui n'est pas le cas dans l'étude HSL qui souligne toutefois que l'absence d'ignition recensée en cas de fuite importante ne signifie pas que l'ignition d'une telle fuite est impossible). La probabilité d'inflammation dans le cas de la fuite la plus importante (débit de fuite supérieur à 1000 kg/s) est de 0,025, soit une valeur semblable à celles pour le pétrole et le gaz proposées dans le rapport HSL. Il est donc proposé de considérer que les valeurs proposées dans le rapport HSL correspondent à une fuite importante et que celles de la petite et de la moyenne fuite sont obtenues en appliquant un facteur correctif identique à celui existant entre les valeurs du rapport OGP, soit de 2 entre la rupture et la fuite moyenne et de 7 entre la rupture et la petite fuite.

ANNEXE 7

METHODES RECENSEES POUR LA DETERMINATION DE CERTAINES EFFICACITES ET FACTEURS CORRECTIFS

La littérature fournit des éléments pour la détermination de l'efficacité de certaines mesures, sans fournir de valeur. Ces éléments concernent :

- L'efficacité d'une épaisseur suffisante de la canalisation et d'un diamètre élevé par rapport aux risques d'impact par ancrage ou autres impacts,
- L'efficacité du diamètre de la canalisation par rapport au risque d'impact par chalut,
- L'influence de la longueur de canalisation par rapport aux risques de corrosion et de défauts de matériaux.

Ces éléments n'ont pas été exploités dans le cadre de cette note et sont fournis à titre d'information.

1 EPAISSEUR DE LA CANALISATION

Il est supposé qu'une épaisseur de tube supérieure à celle définie par les règles de conception normalement appliquées permet d'augmenter la résistance de la canalisation à un impact.

Ainsi, pour les canalisations terrestres, une efficacité de 0,01 est appliquée en cas d'épaisseur de tube supérieure à l'épaisseur dites « travaux de tiers », soit 11 à 15 cm selon la nuance d'acier.

De la même manière, pour les canalisations sous-marines, il est supposé qu'une surépaisseur apporte une protection de la canalisation contre les impacts d'ancrage ou autres et qu'une efficacité pourra être attribuée à cette mesure.

Toutefois, les données disponibles de retour d'expérience ne permettent pas de mettre en évidence l'efficacité de cette mesure.

Une efficacité pour la surépaisseur du tube pourrait être proposée au regard du facteur de risque « impact par ancrage ou autres impacts ». Une épaisseur de référence doit être déterminée, afin d'attribuer un facteur aggravant ou atténuateur du risque pour une épaisseur différente de cette épaisseur de référence. L'INERIS propose les éléments suivants pour la définition de cette épaisseur de référence.

La norme DNV-OS-F101 relative aux systèmes de canalisations sous-marines [12] propose des épaisseurs minimales en fonction du diamètre de la canalisation, de sa classe de sécurité et de la catégorie de localisation.¹⁷

¹⁷ Ces deux paramètres de classe de sécurité et de catégorie de localisation sont définies par la norme DNV-OS-F101 et sont explicitées dans le rapport « Etat des lieux des exigences réglementaires et guides de bonnes pratiques relatifs à la conception, la construction, l'exploitation et les études de sécurité des canalisations sous-marines dans certains pays européens » référencé [4].

La classe de sécurité est déterminée en fonction des conséquences d'une fuite : 4 classes (faible, moyen, élevé, très élevé) sont proposées selon l'importance des effets sur l'homme et l'environnement. Ces 4 classes dépendent notamment de la dangerosité du produit transporté et de la localisation de la canalisation par rapport à l'activité humaine.

La localisation de la canalisation dépend de la fréquentation de la zone et de la fréquence des activités humaines. La norme définit 2 catégories de localisation pour les canalisations sous-marines et affine cette classification en 5 catégories pour les segments des zones côtières et les segments terrestres, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

Ces épaisseurs sont rappelées dans le tableau 21 ci-après :

| Diamètre nominal | Classe de sécurité | Catégorie de localisation | Epaisseur minimale |
|------------------|--------------------|---------------------------|---|
| ≥ 219 mm (8") | Elevé | 2 | 12 mm sauf si une protection équivalente contre les efforts en cas d'accidents, les autres contraintes externes et la corrosion excessive est apportée par un autre moyen |
| | Faible et moyenne | Toutes | - |
| < 219 mm (8") | Elevé | 2 | Une évaluation spécifique des efforts en cas d'accidents ou des autres contraintes externes et de la corrosion excessive doivent être pris en compte dans la détermination d'une épaisseur minimale du tube |
| | Faible et moyenne | Toutes | - |

Tableau 21 : Epaisseurs minimales requises selon la norme DNV-OS-F101

La norme NF EN 14161 intitulée « Industries du pétrole et du gaz naturel. - Systèmes de transport par conduites » applicable aux canalisations sous-marines ne donne pas d'indication quant à une épaisseur minimale de tube.

2 DIAMETRE DE LA CANALISATION

Généralement, plus le diamètre d'une canalisation est important, plus l'épaisseur du matériau utilisé augmente. Or, comme rappelé au paragraphe ci-avant, une surépaisseur de tube permet d'augmenter la résistance de la canalisation à un impact.

Les données du rapport PARLOC 2001 permettent de calculer les fréquences de fuite dues au facteur de risque d'impact par ancrage ou autres impacts, en fonction du diamètre.

L'influence du diamètre sur la fréquence de fuite est présentée dans le tableau 22 ci-après, pour les accidents sur des agressions dus à des impacts sur des canalisations en acier en zone de pleine mer.

| | Diamètre (") | 2 à 9 | 10 à 16 | 18 à 24 | 26 à 40 |
|--------------------------------------|--|----------|----------|----------|----------|
| Canalisations en acier Pleine mer | N | 7 | 1 | 1 | 1 |
| | E (km.an) | 45679 | 44286 | 56728 | 146052 |
| | F _{borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹.an⁻¹)} | 8,71E-05 | 8,02E-06 | 6,26E-06 | 2,43E-06 |
| | F _{estimateur sans biais (km⁻¹.an⁻¹)} | 1,53E-04 | 2,26E-05 | 1,76E-05 | 6,85E-06 |
| | F _{borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90% (km⁻¹.an⁻¹)} | 2,88E-04 | 1,07E-04 | 8,36E-05 | 3,25E-05 |

Tableau 22 : Influence du diamètre sur les fréquences de fuite pour des événements dus à l'ancre ou à un impact sur des canalisations en acier en zone de pleine mer

Il apparaît que la fréquence de fuite pour des canalisations de diamètre élevé (plus de 10") est plus faible d'un facteur compris entre 6 et 22 par rapport à celle pour des canalisations de petit diamètre (moins de 10").

Le rapport « Riser & Pipeline release frequencies » de l'OGP fournit des fréquences de fuite selon les zones (zone de pleine mer et zone de sécurité) traversées par les canalisations de transport et selon leur diamètre comme présenté dans le tableau 23 ci-dessous :

| Zone | Caractéristiques de la tuyauterie | N | E | Fréquence de fuite | Unité |
|---|---|---|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Zone de pleine mer | Huile ou gaz traité, diamètre ≤ 24" (60 cm) | 3 | 59 003 km.an | 5,1. 10 ⁻⁵ | km ⁻¹ .an ⁻¹ |
| | Huile ou gaz traité, diamètre > 24" (60 cm) | 2 | 147 608 km.an | 1,4. 10 ⁻⁵ | km ⁻¹ .an ⁻¹ |
| Endommagement par des charges externes dans la zone de sécurité | Diamètre ≤ 16" (40 cm) | 7 | 8 836 canalisation.an | 7,9. 10 ⁻⁴ | (canalisation.an) ⁻¹ |
| | Diamètre > 16" (40 cm) | 7 | 3 734 canalisation.an | 1,9. 10 ⁻⁴ | (canalisation.an) ⁻¹ |

Tableau 23 : Fréquences de fuite recommandées par l'OGP en fonction du diamètre pour les canalisations de transport

Les fréquences de fuite pour les diamètres les plus faibles sont :

- 3,6 fois plus élevées que pour les diamètres plus grands (plus de 60 cm) pour les canalisations en zone de pleine mer,
- 4 fois plus élevées que pour les diamètres plus grands (plus de 40 cm) pour les canalisations en zone de sécurité pour la cause d'endommagement par des charges externes.

Ce résultat peut s'expliquer par l'épaisseur plus importante des tubes de diamètre plus élevé.

La réduction du risque due à une surépaisseur de tube au regard du facteur de risque « impact par ancrage ou autres impacts », comme indiqué au paragraphe ci-avant, pourrait être pris en compte par une efficacité.

Par ailleurs, une efficacité propre au diamètre pourrait également être proposé au regard du facteur de risque « impact par ancrage ou autres impacts » en fonction du diamètre de la canalisation, en considérant qu'un diamètre inférieur à une certaine valeur aggrave la situation par rapport à ce facteur de risque d'impact (avec une épaisseur de tube identique).

Pour le facteur de risque « impact par chalut » spécifiquement, l'influence du diamètre est précisée au paragraphe ci-après.

3 DIAMETRE DE LA CANALISATION ET FACTEUR DE RISQUE « IMPACT PAR CHALUT »

Ce paragraphe complète la partie ci-dessus relative à l'influence du diamètre par rapport au facteur de risque « impact par ancrage ou autres impacts » en précisant l'influence dans le cas d'un impact causé par un chalut.

La norme DNV-OS-F101 (titre E503 de la section 5) propose un critère d'acceptabilité d'un impact par chalut. Elle définit une profondeur de la dent qui provoquerait un impact équivalent à celui causé par le chalut sur la canalisation et elle préconise qu'un impact due à un chalut est acceptable si la profondeur de cette dent équivalente par rapport au diamètre de la canalisation respecte le critère suivant :

$$\frac{H_p}{D} < 0,05 \times \eta$$

Avec :

- H_p : la profondeur d'une dent équivalente à l'impact causée par un chalut
- D : le diamètre de la canalisation
- η : un facteur dépendant de la fréquence d'impact dont les valeurs sont :
 - 0 pour une fréquence d'impact $>100 \text{ km}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$
 - 0,3 pour une fréquence d'impact comprise entre 1 et $100 \text{ km}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$
 - 0,7 pour une fréquence d'impact comprise entre 10^{-4} et $1 \text{ km}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$

(η dépend du trafic de chalutiers dans la zone d'étude.)

Au regard de ce critère d'acceptabilité, un facteur correctif C pour le diamètre de la canalisation pourrait être proposée au regard du facteur de risque « impact par chalut » en fonction du diamètre de la canalisation.

4 PROFONDEUR D'ENFOUISSEMENT ET EPAISSEUR DE LA CANALISATION

La fréquence de fuite pour les impacts par ancrage ou autres impacts est supposée diminuer lorsque la profondeur d'enfouissement augmente. En effet, plus une canalisation est enterrée profondément et moins elle est susceptible d'être atteinte par des impacts dus à un ancrage, une chute d'objet, un naufrage ou autre.

Pour les canalisations terrestres, un facteur correctif C est appliqué pour prendre en compte la protection apportée par l'enfouissement contre les agressions par travaux de tiers. La valeur du facteur correctif augmente ou diminue avec la profondeur d'enfouissement, lorsque celle-ci respectivement augmente ou diminue par rapport à une profondeur d'enfouissement de référence.

De la même manière, pour les canalisations sous-marines, il est supposé qu'une profondeur d'enfouissement plus importante apporte une protection à la canalisation.

Toutefois, les données disponibles de retour d'expérience ne permettent pas de mettre en évidence l'efficacité de cette mesure.

Un facteur correctif C pour la profondeur d'enfouissement pourrait être proposé au regard du facteur de risque « impact par ancrage ou autres impacts ». Une profondeur d'enfouissement de référence doit être déterminée, afin d'attribuer un facteur aggravant ou atténuateur du risque pour une profondeur d'enfouissement différente de cette valeur de référence. Il est souligné que :

- La norme NF EN 14161 intitulée « Industries du pétrole et du gaz naturel. - Systèmes de transport par conduites » fournit des épaisseurs minimales de couvertures pour les conduites à terre, mais ne fournit pas de profondeur d'enfouissement pour les conduites en mer. Cette norme souligne toutefois que les conduites en mer « *doivent être placées dans des tranchées, enterrées ou protégées (...) pour prévenir ou réduire l'interférence avec d'autres activités ; Les autres utilisateurs de la zone doivent être consultés pour déterminer les exigences de réduction ou de prévention de cette interférence* ».
- La norme DNV-OS-F101 relative aux systèmes de canalisations sous-marines (DNV-OS-F101: Submarine Pipeline Systems, version d'octobre 2010) rappelle l'importance du principe d'enfouissement de la canalisation pour assurer sa protection vis-à-vis des activités, mais ne donne pas de profondeur minimale d'enfouissement.
- le MMS et de l'OPS ont émis des préconisations en en termes de profondeur d'enfouissement (notamment dans le titre 49 du CFR (paragraphe 192, 194 et 195 de l'OPS). Ils recommandent des profondeurs d'enfouissement minimales selon les zones traversées (zones portuaires, rivières, plateau continental), la profondeur des eaux et l'existence d'une protection de la canalisation par enrochement.

5 FACTEUR DE RISQUE « CORROSION ET DEFAUTS DE MATERIAUX » ET LONGUEUR DE LA CANALISATION

Le rapport PARLOC 2001 donne les fréquences de fuite dues au facteur de risque de corrosion et de défaut de matériau, en fonction de la longueur de canalisation. Il précise que le facteur de risque de corrosion et de défaut de matériau dépend de la longueur de la canalisation : plus la longueur de canalisation augmente, plus la probabilité de fuite diminue. Le tableau 24 ci-après reprend les données du rapport PARLOC 2001 (sans calcul de l'INERIS).

| Caractéristiques de la tuyauterie | Longueur | E (km.an) | N | Fréquence de fuite (km ⁻¹ .an ⁻¹) |
|-----------------------------------|-----------------|--------------|----|---|
| Canalisations en acier | < 2 km | 1434 | 9 | 6,28.10 ⁻³ |
| | Entre 2 et 5 km | 11 850 | 11 | 9,28.10 ⁻⁴ |
| | > 5 km | 456 814 | 19 | 4,16.10 ⁻⁵ |
| Canalisations flexibles | < 2 km | 915 | 5 | 5,46.10 ⁻³ |
| | Entre 2 et 5 km | 1 533 | 4 | 2,61.10 ⁻³ |
| | > 5 km | 5 925 | 0 | 0 |

Tableau 24 : Fréquences de fuite du PARLOC 2001, pour le facteur de risque de corrosion et de défaut de matériau, en fonction de la longueur

Pour les canalisations en acier, les fréquences de fuite données par le PARLOC 2001 sont :

- 22 fois plus élevées pour des canalisations entre 2 et 5 km que pour des canalisations de plus de 5 km ;
- 150 fois plus élevées pour des canalisations de moins de 2 km que pour des canalisations de plus de 5 km.

Un facteur correctif C pourrait donc être proposé au regard du facteur de risque « corrosion et défauts de matériaux » en fonction de la longueur de la canalisation de transport qui aggrave ou améliore la situation par rapport à ce facteur de risque.



INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

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

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

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