

N° Ordre...../Faculté/UMBB/2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



**Faculté des Hydrocarbures et de la
Chimie**

**Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :**



MASTER

Présenté par :

**BENCHEIKH Mohammed Ezine
ANTEUR Fella**

Filière : Hydrocarbures

Option : Génie mécanique, Transport Et Distribution des
Hydrocarbures

Thème :

**Etude des Risques et Dangers Du tronçon de Gazoduc
GR4 (SC-CNDG) avec estimation de la probabilité
d'occurrence des défaillances de la ligne par fiabilité
structurale**

Mr. BOUHAFS Smail	MAA	UMBB	Examineur
Mr. TIKOBIANI Mourad	MAA	UMBB	Examineur
Mr. YOUNSI Karim	MCB	UMBB	Encadrant

REMERCIEMENT

En premier, on remercie Dieu qui nous à donner la force et la santé de terminer ce modeste travail.

En second, nos larges remerciements s'adressent à Monsieur K. YOUNSI, Docteur à la faculté des Hydrocarbures et de la chimie l'université de Boumerdes qui nous a donné son temps précieux d'être enseignant consultant. Tout au long de ce mémoire, ses conseils pertinents avec écoute, amabilité et patience ont permis à notre travail d'aboutir et de voir le jour

Je remercie également l'ensemble des membres du jury pour avoir examiné notre travail

Notre sincère reconnaissance à nos enseignants précisément Madame F. YAHI et tout l'ensemble administratif de la faculté des hydrocarbures et de la chimie, ainsi tous nos enseignants depuis l'école primaire

Enfin, nous souhaiterons remercier sur cette page tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, trouvent ainsi l'expression de nos profondes grâces et respects.

Dédicace

*Avec une fierté et joie, je dédiais ce modeste travail à celle qui m'a toujours soutenu, ma mère « **Louiza** » qui non seulement la cause que je suis en vie mais aussi d'être l'homme que je suis aujourd'hui, une référence et l'exemple de l'amour et du courage elle est toujours là pour moi, ces lignes ne sont pas sévissant pour décrire sa splendeur.*

*Ainsi à mon cher père « **Abdel Feteh** » qui a sacrifié des nuits de sa vie pour m'offrir tous mes désirs l'homme en métal qui rien ne la reculer ni les obstacles ni les chutes ni la santé. Pour moi c'est la source d'espoir, Que le bon Dieu les garde en plain santé et bonheur pour une longue vie.*

*À mon grand frère « **Abdel Malek** » la plus gentille personne au monde dans ces yeux je suis toujours le petit.*

*À ma grande sœur « **Nour** » ma deuxième mère toujours à mes coté ma référence et repère dans la vie mon ange gardien que je l'aime.*

*À ma jumelle « **Achouak** » sa douceur et son cœur blanc ajoute ce qu'il faut dans ma vie rien remplace sa présence dans mes moments de faiblesse.*

*À mes deux petits bijoux « **Oulfa et Wajden** » leurs sourires et bonne humeur auteur de moi c'est comme avoir une pierre précieuse en poche.*

*Sans oublier ma deuxième famille « **Hamouche** » qui ont été mon revu durent mes 5 ans d'étude précisément « **Mourad, Zola, Hakim, Rayen, wawi** ».*

En fin, à tous mes camarades et mes amis de la faculté qui ont partagé avec moi que des beaux souvenirs.

Mohamed Zine

Dédicace

À mon père « **Hocine** » mon exemple de sagesse, la générosité et du respect Merci de m'avoir tant aimé Merci pour ta tendresse et ta compréhension. Tu resteras toujours mon modèle et un repère essentiel de mon existence.

À ma mère « **Fatiha** » Tu es la constante et forte, inébranlable, ma consolatrice, mon réconfort, patiente, indulgente, bienveillante et compréhensive

Mes parents Merci pour votre amour inestimable, vos sacrifices, votre confiance, votre soutien et toutes les valeurs que vous m'avais appris,

À mes sœurs et à mon Frère

« **Leila** » Ma meilleure amie Mon exemple tu m'a toujours soutenu, encourager, pousser à réaliser mes objectifs et tu as cru en moi quand il n'y avait personne à mes cotés

« **Inès** » la sœur solide tu m'as appris la force, le caractère, Ma valeur et de ne jamais me contenter du moins

« **Yasmine** » Ma petite sœur qui me redonne le sourire, la joie et le bonheur dans mes jours les plus sombres

Mon frère unique « **Lahcen** » Mon ange gardien, Mon soldat, Mon pilier, loin des yeux près du cœur

Mes meilleures amies « **Saida, Youssra, Amira, Lamisse** » elles étaient là pour moi dans mes moments les plus difficiles et les bons jours aussi, elles me soutiennent toujours, s'élevant les unes les autres pour être une meilleure version de nous-mêmes, je ne remercierai jamais assez Dieu d'avoir ces personnes dans ma vie, je suis tellement reconnaissant et chanceuse elles sont un cadeau de dieu

Fella

SOMMAIRE

Introduction générale :.....	1
Chapitre I L'Objectif et la Démarche D'étude	3
I.1 Objectif :.....	3
I.2 Périmètre :	3
I.2.1 Logiciel de Modélisation :	6
Chapitre II : Données de L'étude	8
II.1.1 Caractéristique Du Tronçon :.....	8
II.1.2 Caractéristiques du produit transporté :.....	9
II.1.3 Profil en long et débits véhiculés:.....	10
II.1.4 Description de l'environnement :	12
II.1.5 Conditions météorologiques :.....	12
II.1.6 Vitesse du vent :.....	12
II.1.7 Température et Humidité moyennes :.....	13
II.1.8 Stabilité atmosphérique :	15
II.1.9 Population voisines et infrastructures adjacentes	16
CHAPITRE III	17
Chapitre III : Dangers Potentiels et Identification des Scenarios :.....	18
III.1 Identification des dangers potentiels :	18
III.1.1 Dangers liés au produit transporté :.....	18
III.1.2 Dangers liés au gazoduc :	19
III.2 Dangers liés à l'environnement. :.....	21
III.3 Identification des éléments sensibles :	21
III.4 .3 Revue HAZID	25
III.5 Scenarios D'accidents	26
III.6 Sélections Des Indicateurs De Risque :.....	28
CHAPITRE IV	31
Chapitre IV : Estimation des Fréquences D'occurrence :	32
IV.1 Fréquences Génériques :	32
IV.1.1 Fréquence d'occurrence en fonction de la taille des fuites	32
IV.1.2 Fréquences génériques suivant les causes.....	33
IV.2 Fréquences génériques des défaillances sur les équipements de robinetterie	34
IV.3 Adaptation de données génériques aux particularités de l'ouvrage	35
IV.4 Probabilités d'ignition	36

IV.4.1 Sources d'inflammation	36
IV.4.2 Inflammation immédiate	37
IV.4.3 Inflammation retardée	37
Chapitre V : Estimation des Conséquences D'accidents.....	39
V.1 Scenarios D'accidents Et Limites D'influences	39
V.1.1 Dispersion du nuage gazeux	39
V.1.2 Niveaux de rayonnements thermiques dangereux	40
V.2 Conséquences des scenarios d'accidents	42
V.3 Modèle de calcul des scénarios	43
Chapitre VI : Estimation Des Risques.....	53
VI.1 Risques individuels tenant en compte les scenarios d'accidents retenus	53
VI.1.1 Scénario S01 : Sortie station de compression GR4 au PK0+500.....	53
VI.1.2 Scénario S02 : Voisinage de la station de compression GR1/2 au PK01	54
VI.1.3 Scénario S03 : Croisement de la première route R01 au PK02	54
VI.1.4 Scénario S04 : Croisement de la deuxième route R02 au PK02 +500.....	55
VI.1.5 Scénario S05 : Voisinage de la torche au PK05 +280	55
VI.1.6 Scénario S06 : Voisinage de la torche au PK05 + 472	56
VI.1.7 Scénario S07 : Voisinage de l'administration du module 00 au PK05 + 800....	56
VI.1.8 Scénario S08 : Croisement de la route R03 au PK05 + 850	57
VI.1.9 Scénario S09 : Voisinage du site du module 00 au PK05 + 900.....	57
VI.1.10 Scénario S10 : Voisinage de la centrale électrique au PK05 + 960	58
VI.1.11 Scénario S11 : Voisinage du CNDG au PK06	58
VI.2 Effets domino sur les infrastructures voisines.....	60
VI.2.1 Effet domino sur la station de compression GR4 (Scénario S01).....	60
VI.2.2 Effet domino sur la station de compression GR1/GR2 (Scénario S02).....	61
VI.2.3 Effet domino sur le site du module 00, centrale électrique et CNDG (Scénario S09, S10, S11).....	62
VI.2.4 Effet domino sur la centrale électrique, CNDG et Site du module00 (Scénario S10, S11 et S09).....	63
VI.2.5 Effet domino sur le CNDG, centrale électrique et site du module 00 (Scénario S11, S10 et S09).....	64
Chapitre VII : Estimation du Taux de Défaillance de la Canalisation en Fonction du Temps et son Impact dans une Analyse QRA.....	66
VII.1 Analyse structurale probabiliste :.....	66
VII.1.1 Méthodologie :.....	67
VII.1.2 Méthode de calculs :	68

VII.2 : Analyse structurale probabiliste et risque de défaillance.....	68
VII.2.1 Paramètres de la courbe de charge:.....	68
VII.2.2 Ecart-type des défauts de corrosion (σcart1) :.....	68
VII.2.3 Les paramètres de la courbe de résistance:.....	69
- génération d'un échantillon de valeur de σ élastique par une loi normale:.....	70
VII.2.4 Indice de Cornel :.....	75
VII.3 Courbe de charge, de résistance et fonction d'état limite :.....	76
VII.3.1 Pour un défaut de 21% de l'épaisseur:.....	76
VII.3.2 Pour un défaut de 65% de l'épaisseur:.....	76
VII.3.3 Pour un défaut de 80% de l'épaisseur:.....	77
VII.3.4 Analyse des graphes :.....	77
VII.4 La probabilité de défaillance :.....	78
VII.4.1 La probabilité de défaillance annuelle de chaque défaut :.....	80
VII.4.2 La probabilité de défaillance annuelle d'un tronçon de pipeline:.....	80
VII.5 Evolution du Risque individuel en fonction du temps :.....	82
VII.5.1 Analyse des graphes :.....	84
VII.5.2 Effet de la vitesse du vent sur le risque individuel et le risque sociétal :	84
VII.5.3 Analyse :	85
CONCLUSION GENERALE :	87
BIBLIOGRAPHIE	88
ANNEXE.....	89

LISTE DES FIGURES

Figure I-1 Démarche de l'évaluation quantitative des risques.....	5
Figure II-1 Itinéraire du gazoduc de liaison GR4.....	8
Figure II-2 Profil en long et débits transporté	10
Figure II-3 Distribution fréquentielle des vents de la région HASSI R'MEL	12
Figure II-4 : Rose des vents annuelle de la région Hassi R'mel (Source ONM)	13
Figure II-5: Distribution de la température moyenne en °C (Source ONM).....	14
Figure II-6: Distribution de l'humidité relative (%) (Source ONM).....	14
Figure II-7 Schéma synoptique du gazoduc de liaison GR4 et des infrastructures voisines.	16
Figure III-1 le sort d'une fuite de gaz naturel d'un gazoduc de grand diamètre à des pressions élevées	21
Figure III-2 : Elément sensible 01 –	22
Figure III-3 Elément sensible 02 et 03 –	23
Figure III-4: Elément sensible 04 et 05 – Centrale électrique.....	23
Figure III-5 : Elément sensible 06 et 07 – Intersection avec deux routes Le croisement des routes est pris en compte lors de l'estimation des conséquences d'accidents. Les véhicules qui circulent sur ces routes seront considérés comme des sources potentielles d'inflammation ...	24
Figure III-6 : Elément sensible 08 et 09 –	24
Figure III-7: Elément sensible 09 – Lignes électriques Hautes tension	25
Figure III-8 Elément sensible 09 – Torches	25
Figure III-9 : Segment ESD entre la station de compression GR4 et le CNDG	27
Figure III-10 Exemple de résultats de RI	29
Figure V-1 Surface occupé par le nuage gazeux inflammable	40
Figure V-2: Segment ESD et vannes de sectionnement (Line Break valves)	41
Figure V-3 modélisation des conséquences des différents scénarios	42
Figure V-4 Radiations thermiques générées par un scénario d'accidents	44
Figure V-5 : Limites d'inflammation du même scénario d'accident	44
Figure VI-1 sortie station de compression GR4 PK0+500.....	53
Figure VI-2 Voisinage de la station de compression GR1/2 au PK01	54
Figure VI-3 Croisement de la première route R01 au PK02	54
Figure VI-4 Croisement de la deuxième route R02 au PK02 +500	55
Figure VI-5: Voisinage de la torche au PK05 +280	55
Figure VI-6 Voisinage de la torche au PK05 + 472	56
Figure VI-7 Voisinage de l'administration du module 00 au PK05 + 800	56
Figure VI-8 Croisement de la route R03 au PK05 + 850	57
Figure VI-9 Voisinage du site du module 00 au PK05 + 900	57
Figure VI-10 Voisinage de la centrale électrique au PK05 + 960.....	58
Figure VI-11 Voisinage du CNDG au PK06.....	58
Figure VI-12: Distribution du risque individuel le long du tracé GR4	59
Figure VI-13 VI.2.1 Effet domino sur la station de compression GR4.....	60
Figure VI-14 Effet domino sur la station de compression GR1/GR2	61
Figure VI-15 Effet domino sur le site du module 00, centrale électrique et CNDG.....	62
Figure VI-16 Effet domino sur la centrale électrique, CNDG et Site du module 00	63
Figure VI-17 Effet domino sur le CNDG, centrale électrique et site du module 00.....	64

Figure VII-1 Illustration d'une division du pipeline en section homogène en fonction des différentes vitesses de corrosion.....	67
Figure VII-2 Représentation d'une loi normale	70
Figure VII-3 Représentation des différentes courbes charge, résistance et état limite pour ..	76
Figure VII-4 Représentation des différentes courbes charge, résistance et état limite pour .	76
Figure VII-5 VII-6 Représentation des différentes courbes charge, résistance et état limite pour.....	77
Figure VII-7 Evolution du taux de défaillance sur une période de 30 ans	82
Figure VII-8 Evolution du RI en fonction des années pour des fuites de 50% 25 % 15% 10%	83
Figure VII-9 Evolution RS en fonction des années pour des fuites de 50% 25 % 15% 10 ..	83
Figure VII-10 RI pour une vitesse du vent $v=3,5$ m/s.....	84
Figure VII-11 RI pour une vitesse du vent $v=8.5$ m/s.....	84
Figure VII-13 RS pour une vitesse du vent $v=3.5$ m/s.....	85
Figure VII-14 RS pour une vitesse du vent $v=8.5$ m/s.....	85
Figure 0-1 composition chimique du gaz	90
Figure 0-2 Boite de dialogue Matériels	90
Figure 0-3 Conditions atmosphérique	91
Figure 0-4 Type de Scénario	92
Figure 0-5 Méthodes d'explosion et Jet-Fire.....	92
Figure 0-6 Une carte avec un model associer.....	95
Figure 0-7 Résultats sous forme de rapport.....	96
Figure 0-8 Résultats sous forme de graphes.....	96

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II-1 Information de base de la canalisation de liaison GR4	9
Tableau II-2 Caractéristique physico-chimiques du gaz naturel transporté	9
Tableau II-3 les quantités de gaz naturel transportées par la canalisation	10
Tableau II-4 Répartition des Pressions et Températures	11
Tableau II-5: Températures mensuelles moyennes (Période 2004-2009) (Source ONM)....	13
Tableau II-6: Humidité Relative (Période 2004-2009) (Source ONM)	13
Tableau III-1: Résumé des causes principales de défaillance de gazoducs (Source : EGIG, 7th rapport 1970-2007	19
Tableau III-2: Scénario d'accidents sélectionnés pour l'analyse QRA.....	28
Tableau IV-1: Fréquences génériques de défaillances d'une conduite enfouie	33
Tableau IV-2: Fréquences génériques pour différents diamètres de gazoduc (EGIG)	33
Tableau IV-3: Causes de défaillances de gazoducs en % (Source EGIG.....	34
Tableau IV-4 : Fréquences génériques de défaillances de différents types de vannes.....	34
Tableau IV-5 : Fréquences génériques de défaillances de différents types de brides	34
Tableau IV-6: Probabilité d'ignition en 1 minute (Purple book)	37
Tableau V-1 illustre l'inventaire des équipements et volume de gaz utilisé pour le calcul des impacts probables.....	41
Tableau V-2: Inventaire des segments ESD et équipements.....	41
Tableau V-3 Exemple de résultats de modélisation pour différentes défaillances.....	43
Tableau V-4 exemple de résultats de calcul d'un scénario d'accident.....	51
Tableau VII-11 échantillon des résultats d'inspection	68
Tableau VII-4 échantillon des valeurs générées de σ_e	71
Tableau VII-2 valeurs de pression d'opération exercée sur chaque défaut de corrosion	72
Tableau VII-5 valeurs de la PMS pour un certains nombres de défauts	73
Tableau VII-6 échantillon des valeurs de dcr.....	74
Tableau VII-7 Paramètres des courbes de charge et de résistance pour trois défauts différents	74
Tableau VII-8 l'indice de Cornel pour les défauts considérés	75
Tableau VII-9 évolution de la probabilité de défaillance d'un échantillon de défauts en fonction des années	80
Tableau VII-10 Echantillon des résultats de P_{of} ann ($t_j; t_{j+1}$).....	80
Tableau VII-11 Evolution du taux de défaillance par année	81
Tableau VII-12 RI dans la première année pour différents types de fuites et 2 vitesses du vent.....	82

Abbreviations

ALARP	As Low As Reasonably Practical
HAZID	Hazard Identification
LII	Limite Inférieure d'Inflammation
LSI	Limite Supérieure d'Inflammation
UVCE	Unconfined Vapor Cloud Explosion
CNDG	Centre National de Dispatching de Gaz Naturel
SC	Station de Compression
PHAST	Process Hazard Analysis Software Tool
POI	Plan d'Opération Interne
PPI	Plan Particulier d'Intervention
QRA	Quantitative Risk Assessment
RC	Risque Collectif
RI	Risque Individuel
ESD	Emergency Shut Down (Fermeture en cas d'urgence)
DNV	(Det Norsk Veritas).
UDM	Unified Dispersion Model
EGIG	European Gas pipeline Incident data Group
ONM	Office National de la Météorologie

Introduction Générale

Introduction générale :

Le transport par pipelines pour l'évacuation de grandes quantités de gaz naturel représente le mode le plus sécurisé en termes d'impact sur l'environnement et pour la population. Cependant, la réglementation Algérienne exige de mener une étude des risques et des dangers avant la phase de réalisation d'un projet.

L'analyse quantitative de risque QRA (Quantitative Risk Assessment) est une approche rigoureuse, basée sur une combinaison de deux modèles, probabiliste et thermo-hydrodynamique, autorisant une estimation chiffrée du risque, c'est une étude complexe, elle implique la modélisation des conséquences, et de probabilité d'occurrence des événements dangereux en tenant compte des données de probabilité, des modèles et des données de vulnérabilité, des données météorologiques et des données sur la population locale.

Les objectifs essentiels recherchés par une étude de dangers sont :

- La quantification du niveau de dangers découlant de l'exploitation d'un ouvrage sur la population environnante et sur les installations voisines ;
- L'estimation des niveaux de risques et l'analyse de leurs impacts en vue de prendre une décision sur la nécessité de préconiser des mesures réductrices ou non ;
- L'identification des paramètres influençant directement le risque, ce qui aide à la compréhension exhaustive de la nature des dangers et à suggérer les mesures correctes d'atténuation ;
- La définition des scénarios d'accidents possibles afin de préparer les mesures d'urgences nécessaires ;

L'objectif de notre mémoire est de réaliser une étude danger par une approche QRA sur le tronçon de gazoduc reliant la station de compression GR4 au centre national de dispatching gaz CNDG de manière à évaluer les risques individuel et collectif de sorte à définir les mesures nécessaires à préconiser.

Le second volet de notre travail portera sur une approche d'évaluation prévisionnelle de la probabilité d'occurrence des défaillances de gazoduc en présence de corrosion active évoluant dans le temps basé sur la fiabilité structurale et son impact sur l'estimation des risques individuel et collectif dans le cadre d'une étude de danger.

CHAPITRE I

Chapitre I L'Objectif et la Démarche D'étude

I.1 Objectif :

Le but est d'identifier et quantifier les risques que présentent des activités et installations industrielles pour le public. Le risque est une mesure qui sert à quantifier le danger.

Il comporte deux composantes principales :

- La probabilité qu'un danger survienne ;
- La conséquence de cet éventuel danger.

Le risque est le produit de ces deux composantes.

Les objectifs essentiels d'une étude de dangers :

- La quantification du niveau de dangers découlant de l'exploitation de l'ouvrage sur la population environnante et sur les installations voisines ;
- L'estimation des niveaux de risques et l'analyse de leurs impacts en vue de prendre une décision sur la nécessité de préconiser des mesures réductrices ou non ;
- L'identification des paramètres influençant directement le risque, ce qui aide à la compréhension exhaustive de la nature des dangers et à suggérer les mesures correctes d'atténuation ;
- La définition des scénarios d'accidents possibles afin de préparer les mesures d'urgences nécessaires ;
- Les recommandations pour diminuer le risque d'occurrence d'accidents à des niveaux acceptables (ALARP) pour le public.
- La fourniture des éléments nécessaires à la préparation des Plans d'Opération Interne (POI) et Plans Particuliers d'Intervention (PPI).

I.2 Périmètre :

Le gazoduc concerné par le présent travail est délimité par sa sortie de la gare racleur départ de la station de compression (GR4) et de son admission, au niveau de la gare racleur, au centre national de dispatching du gaz naturel (CNDG) existant. La longueur totale de ce tronçon de gazoduc est de 06 Km. Les risques inhérents à l'exploitation de la station de compression et au CNDG ne sont pas pris en compte dans cette étude.

I.1 Méthodologie de l'Etude :

I.1.1 Etapes principales de l'Etude :

Les principales étapes d'une étude quantitative des risques (QRA) sont :

A. La délimitation du système et collecte des données de base nécessaires :

Cette étape consiste à définir, dans un premier temps, les limites physiques du projet objet de l'étude, en particulier les points de départ et d'arrivée, et à identifier les structures et les activités à inclure ou à exclure de l'étude. Les données de base nécessaires à l'étude concernent principalement les caractéristiques techniques du projet et la description de son environnement

immédiat (conditions météorologiques, population et infrastructures publiques voisines, installation industrielles adjacentes, etc.).

B. L'identification des sources de danger et des scénarios d'accidents probables :

Cette étape consiste à établir, une liste des différents événements potentiellement dangereux et indésirables susceptibles d'être générés par le projet. Dans cet objectif il y a lieu de se référer à l'historique des incidents sur des installations similaires à travers le monde et à un inventaire des récepteurs sensibles situés dans la zone du projet. Sur la base de ces informations, après analyse lors d'un atelier HAZID, les scénarios d'accidents les plus probables, susceptibles de porter atteintes à la population et aux installations, sont sélectionnés pour une analyse quantitative du risque.

C. La sélection des indicateurs de risque les plus adaptés au projet et définition des seuils de risques acceptables :

Les indicateurs utilisés en analyse quantitative du risque sont le risque individuel (RI) et le risque collectif (RC). Le choix d'un indicateur par rapport à un autre ou des deux indicateurs à la fois, dépend de la nature, des caractéristiques et de l'environnement du projet ainsi que des recommandations relatives aux scénarios de l'atelier HAZID.

En l'absence de réglementation algérienne spécifiant les seuils de risque acceptables, les recommandations de L'UK Health and Safety Executive Board seront appliquées :

-Risque maximal acceptable par le public : 10^{-4} par an, soit une occurrence tous les 10 000 ans

- Risque négligeable : 10^{-6} par an, soit une occurrence tous les 1 million d'années

D. L'estimation des fréquences d'occurrence des événements :

L'estimation des fréquences d'accidents est basée sur des données génériques issues de bases de données internationales reconnues, suivie par une adaptation réaliste de ces dernières, basée sur des jugements d'experts relatifs aux particularités du projet objet de l'étude.

E. La modélisation des conséquences et la quantification du niveau de risque :

L'estimation de conséquences d'accidents probables est réalisée à l'aide de l'outil de simulation PHAST 6.51 (Process Hazard Analysis Software Tool) développé par DNV (Det Norsk Veritas). Les résultats, représentés sous forme de graphes de dispersion et de rapports, concernent principalement les limites d'inflammabilité inférieure (LII) et supérieure (LIS) du constituant dominant (le méthane pour le gaz naturel) et les niveaux de radiations thermiques et/ou de surpressions générées en fonction de la distance par rapport à la source. La quantification du risque est estimée en associant à chaque niveau de radiation ou de surpression sélectionné une probabilité de fatalité.

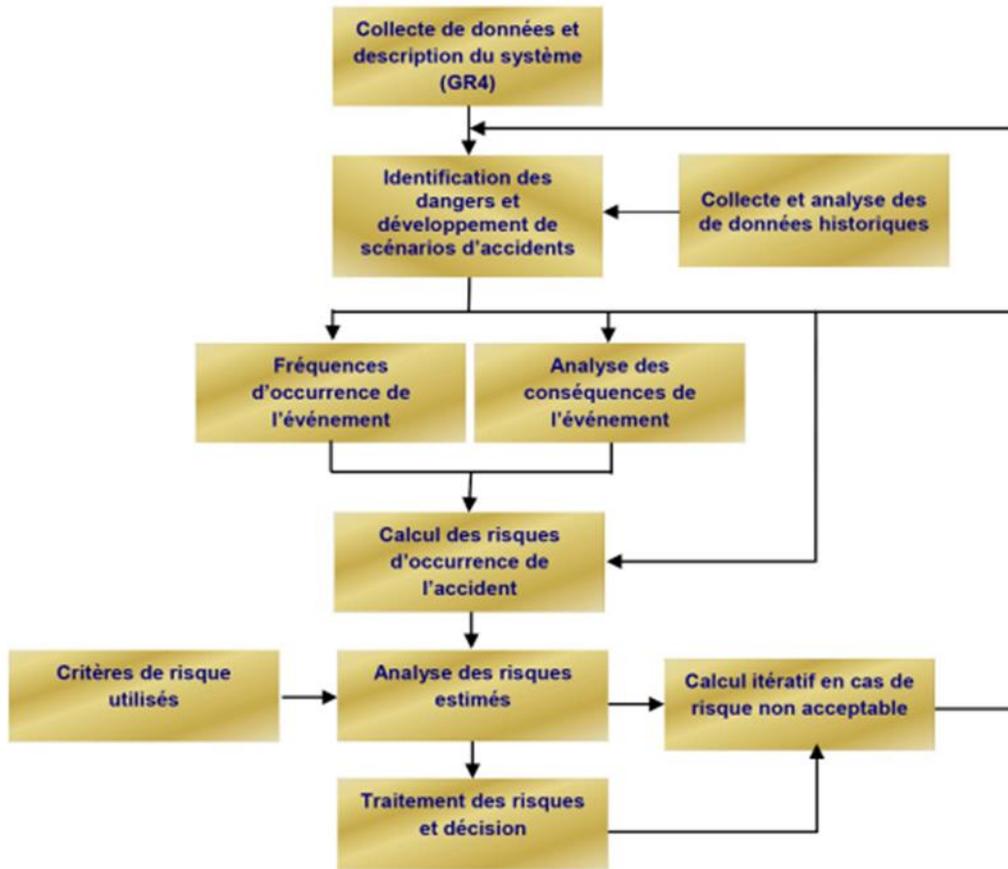


Figure I-1 Démarche de l'évaluation quantitative des risques

I.2.1 Logiciel de Modélisation :

A. SAFETI :

Le logiciel SAFETI (Logiciel pour l'évaluation des impacts des substances inflammables, explosives et toxiques) a été développé par DNV afin de réaliser des évaluations L'analyse quantitative de risque des usines terrestres dans les domaines de la transformation, de la chimie et de la pétrochimie. Le logiciel SAFETI analyse les conséquences complexes de scénarios d'accident, en tenant compte de la population locale, de l'utilisation du sol et des conditions météorologiques, afin de quantifier les risques associés au rejet de matières dangereuses, par exemple une fuite de gaz ou de GNL. SAFETI est un logiciel de premier plan pour l'AQR des activités terrestres. Il comprend le logiciel PHAST qui représente le standard pour l'évaluation des conséquences d'accidents.

B. PHAST :

Le logiciel PHAST est un outil informatique de modélisation intégré au logiciel SAFETI. PHAST a été rigoureusement validé et vérifié. La théorie et la performance du modèle unifié de dispersion (UDM) développé par DNV ont également été analysées de façon indépendante dans le cadre des projets financés par la Communauté européenne (SMEDIS, réf. /14/). Le modèle a excellé sur les plans de la théorie et de la performance.

C. MODÈLE DE DISPERSION UNIFIÉE :

Le modèle unifié de dispersion (UDM) qui est utilisé dans les logiciels PHAST et SAFETI permet de simuler la dispersion d'une fuite pressurisée en phase liquide et/ou gazeuse, au niveau du sol ou en hauteur. En effet, il est composé des modules liés suivants :

- Dispersion d'un jet turbulent ;
- Évaporation et déposition au sol des gouttelettes ;
- Formation et vaporisation de nappes de liquide ;
- Dispersion de gaz lourds (p. ex., dispersion d'une fuite de GNL) ;
- Dispersion passive.

L'UDM permet de simuler des relâchements continus ou instantanés, à débit constant et de durée finie, ou à débit variant en fonction du temps, et ce pour diverses sources telles que les tuyaux courts et longs, les valves de surpression, les contenants pressurisés et non pressurisés, et les disques de rupture.

L'UDM qui est utilisé dans les logiciels PHAST et SAFETI a été rigoureusement validé et vérifié dans un grand nombre d'expériences sur le terrain. Parmi celles-ci figurent des rejets continus et en hauteur de vapeur ou d'un mélange vapeur et liquide, des déversements de liquide au niveau du sol et des relâchements instantanés non pressurisés. Une partie de ces expériences a servi au projet SMEDIS financé par la Communauté européenne. Ce projet constitue une étude indépendante de la théorie et de la performance de plusieurs modèles de dispersion. L'UDM a excellé dans les deux volets de l'étude

CHAPITRE II

Chapitre II : Données de L'étude

II.1.1 Caractéristique Du Tronçon :

Une canalisation de liaison, d'une longueur d'environ 06 Km et 48'' de diamètre, entre la station de compression GR4 et le centre national de dispatching de gaz naturel (CNDG) existant à Hassi R'mel. Ce pipeline est en grande partie parallèle aux canalisations existantes (GR1, GR2). La canalisation GR4 permet l'évacuation du gaz naturel des champs gaziers de Rhourd Nouss et de Gassi Touil.



Figure II-1 Itinéraire du gazoduc de liaison GR4

La canalisation GR4 construite pour le compte de l'entreprise SONATRACH-TRC. Elle est conçue pour supporter des pressions de plus de 70 bars. La durée de vie de la totalité de l'Ouvrage est de 25 ans.

Chapitre II: Données de l'étude

L'ouvrage « 48" GR4 CNDG– Hassi R'mel » comprend essentiellement les installations ci-après :

PARAMETRES	DONNEE
Longueur de la canalisation	06 Km
Diamètre	48 pouces
Epaisseur moyenne	12.7 mm
Rugosité interne des tubes	15 microns
Pression maximale (PMS)	71 bar
Température de service	60 °C
Nombre de Gares racleurs	02
Nombre de Postes de sectionnement (PS)	00
Nombre de Pots de Purge (PP)	00
Nombre de postes d'injection (PI)	00

Tableau II-1 Information de base de la canalisation de liaison GR4

II.1.2 Caractéristiques du produit transporté :

Les caractéristiques physico-chimiques du gaz naturel à transporter sont données ci-après dans Tableau II 2 :

COMPOSANT	SYMBOLE	FRACTION (%)
Hélium	He	0.03
Azote	N2	0.57
Gaz carbonique	CO2	3.04
Méthane	C1	83.79
Ethane	C2	10.4
Propane	C3	1.86
i-Butane	i-C4	0.12
n-Butane	n-C4	0.15
i-Pentane	i-C5	0.02
n-Pentane	n-C5	0.02
i-Hexane	i-C6	0.00
n-Hexane	n-C6	0.00
Heptane +	C7	0.00
Eau	H2O	0.00

Masse molaire	19.07	Kg/Kmol
Masse volumique	0.808	Kg / Sm^3
Masse volumique	0.854	Kg / Nm^3
Viscosité dynamique	0.0128	cPo
PCS	40.71	Mj / Sm^3
PCI Massique	45.49	Mj / Kg
PCI	36.8	Mj / Sm^3
Indice de Woob(sup)	50.11	Mj / Sm^3

Tableau II-2 Caractéristique physico-chimiques du gaz naturel transporté

II.1.3 Profil en long et débits véhiculés:

Le long du tracé réservé pour la construction du gazoduc GR4, le terrain est pratiquement plat. Le profil en long est représenté sur la figure II y a lieu de remarquer que la dénivelée ne dépasse pas 20 m.

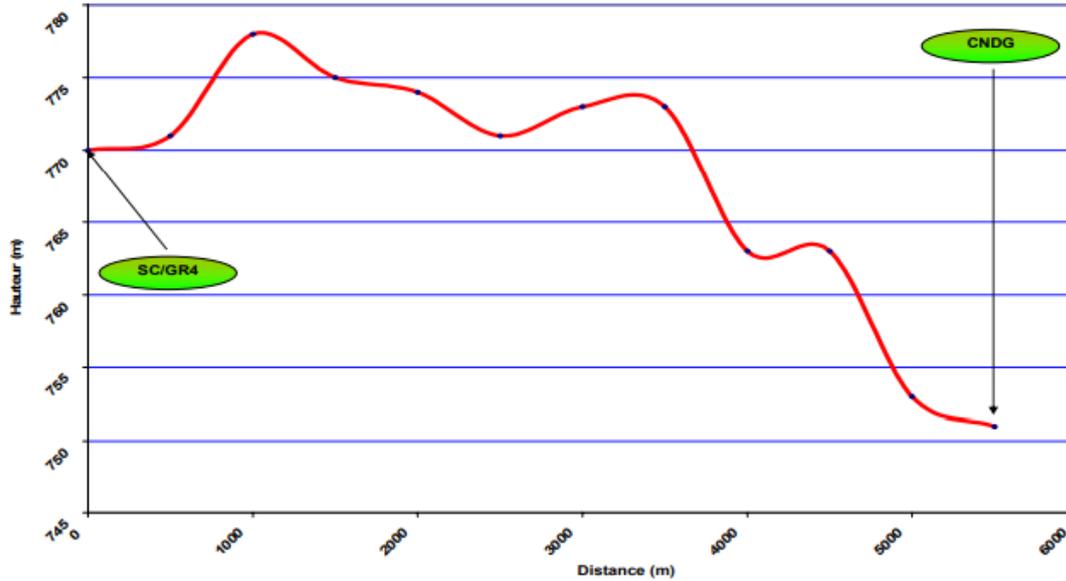


Figure II-2 Profil en long et débits transporté

Les quantités de gaz naturel à transporter via cette canalisation à l'horizon 2013 seront de l'ordre de 9,5 milliards de m³ par an avec un débit horaire 1 187 000 Sm³ /h.

Point d'injection	Gaz de	Débit (Million Sm ³ /an)	Débit (Sm ³ /h)
PK0 – Rhourde Nous	Quartzites Hamra	2 900	363 000
PK 72 – Gassi Touil	MLE (Menzel Ledjmet Est) + CAFC	2 967	371 000
	Gassi Touil Project	3 629	454 000
	Sous total	6 596	825 000
Total		9 496	1 187 000

Tableau II-3les quantités de gaz naturel transportées par la canalisation

Les paramètres définis précédemment seront utilisés lors de la modélisation des conséquences des différents scénarios d'accident.

Répartition de pression et température

L'importance de déterminer la répartition de pression et température le long du tracé, est d'avoir une bonne précision durant la modélisation des scénarios. Cette partie, consiste à déterminer la répartition le long du tronçon, en tenant compte la configuration hydraulique, la configuration thermique et la composition du gaz transporté. Tableau II 4 résume la répartition dans les points sensibles selon la Revue HAZID :

Longueur (m)	Pression (Pa)	Température (°K)
0	7100000	333
1000	7095390	332.6566541
2000	7090782	332.3164049
2500	7088480	332.1474329
5280	7075691	331.2217884
5472	7074808	331.1587163
5800	7073301	331.0512218
5850	7073071	331.0348635
5900	7072842	331.0185126
5960	7072566	330.9989014
6000	7072382	330.9858331

Tableau II-4 Répartition des Pressions et Températures

II.1.4 Description de l'environnement :

II.1.5 Conditions météorologiques :

Les conditions météorologiques ont une influence notable sur l'impact des différents scénarios d'accidents, notamment la vitesse du vent, sa direction et la stabilité atmosphérique du milieu. L'utilisation de la vitesse du vent et de la stabilité atmosphérique permet d'évaluer toutes les conséquences d'un accident probable le long du tracé. La rose des vents, en revanche, est utilisée pour l'estimation des risques technologiques qui peuvent être engendrés en exploitant cet ouvrage. Les données météorologiques utilisées pour les calculs sont obtenues de la station météorologique de la région Hassi R'mel.

II.1.6 Vitesse du vent :

La distribution fréquentielle et la rose des vents caractéristiques de cette région sont représentées sur Figure II 3et II 4.

On remarque une forte prévalence des vents Est (20%) et Nord Est (15%) et la prédominance dans les deux cas de deux intervalles de vitesse du vent à savoir:

- [1.0 – 6.0] avec un pourcentage de 34.9%
- [6.0 -11.0] avec un pourcentage de 35.8%

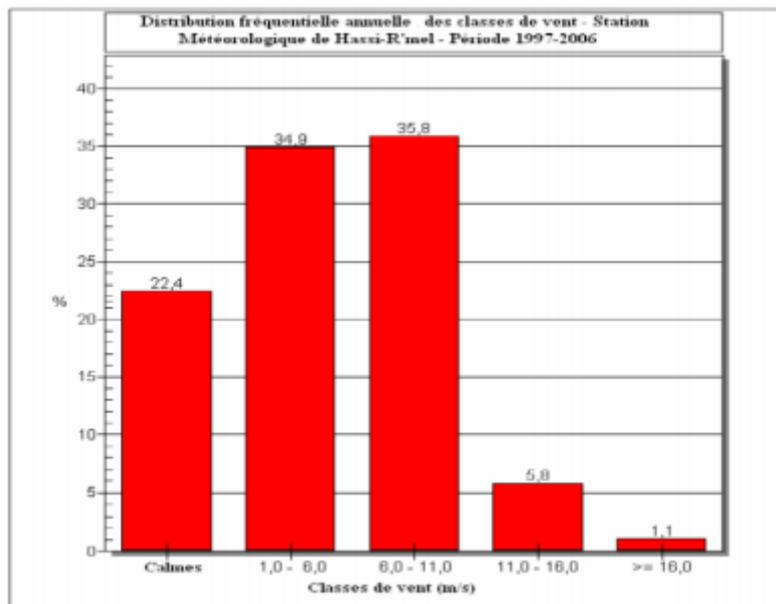


Figure II-3 Distribution fréquentielle des vents de la région HASSI R'MEL

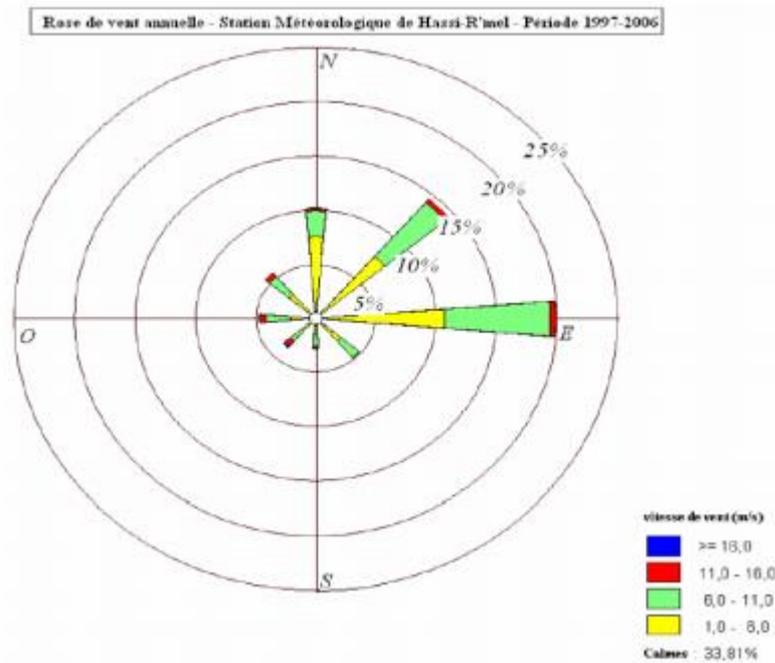


Figure II-4 : Rose des vents annuelle de la région Hassi R'mel (Source ONM)

Pour le premier intervalle, on utilise une vitesse de 3.5 m/s et pour le deuxième, on utilise la vitesse du vent de 8.5 m/s.

II.1.7 Température et Humidité moyennes :

Ces deux paramètres sont essentiels pour la définition de la stabilité atmosphérique, on les inclut pour le calcul des conséquences de différents accidents probables. La région est connue par son hiver froid et un été très chaud. Les températures peuvent atteindre -7°C en hiver et $+40^{\circ}\text{C}$

Mois	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
T (°C)	7.8	9.9	15	18.5	23.5	28.5	32.8	31.9	25.1	20.9	13.1	9.2

Tableau II-5: Températures mensuelles moyennes (Période 2004-2009) (Source ONM)

Mois	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
H (%)	66.5	54.25	43.75	39	43	37.5	30.25	32.5	41.25	47	56.25	65.5

Tableau II-6: Humidité Relative (Période 2004-2009) (Source ONM)

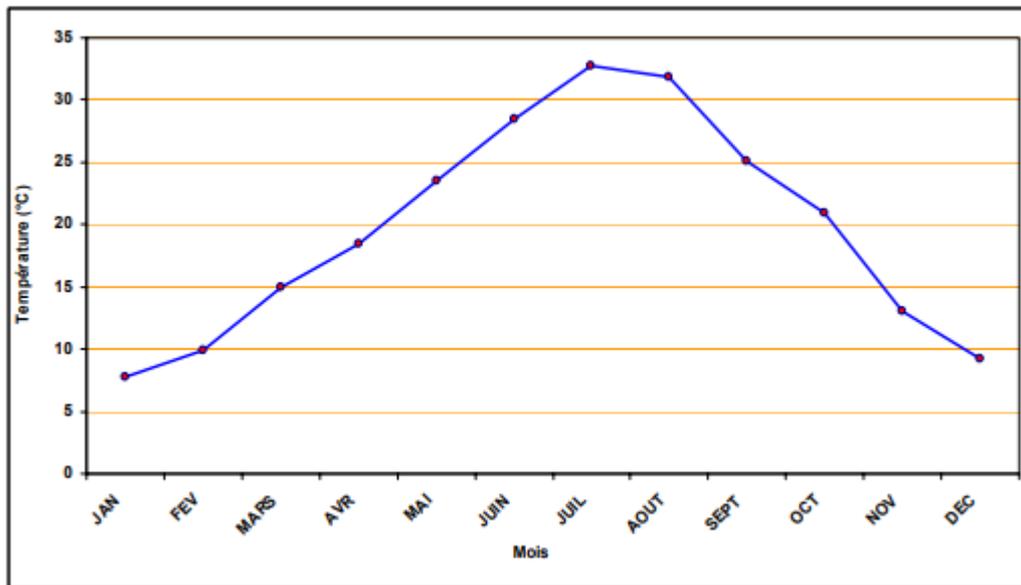


Figure II-5: Distribution de la température moyenne en °C (Source ONM)

La température moyenne a été prise en compte pour les calculs sous le logiciel PHAST 6.54.

La distribution de l'humidité relative de cette région pendant une période de 5 ans est représentée sur la figure

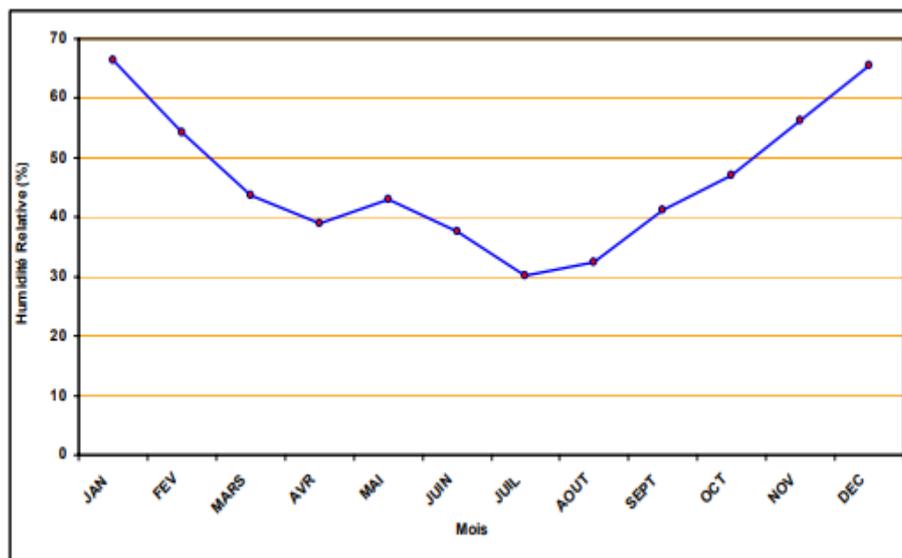


Figure II-6: Distribution de l'humidité relative (%) (Source ONM)

II.1.8 Stabilité atmosphérique :

La stabilité de l'atmosphère exprime le degré de turbulence dans l'atmosphère. Elle dépend principalement de la vitesse du vent et de sa direction, temps (jour ou nuit), rayons solaires et présence de nuage dans le ciel. Pasquill en 1961 a divisé la stabilité atmosphérique en 07 zones :

A : Très instable, ensoleillé.

B : Instable, moins ensoleillé ou plus de vent.

C : Moyennement instable, le vent dans ce cas est très fort et soleil fort.

D : Neutre, peu de soleil et un vent fort.

E : Moyennement stable, un vent moins fort dans la nuit.

F : Stable, nuit avec des nuages moyens et un vent moyen.

G : Très stable, avec possibilité de formation de brouillard.

Le vent fort peut transporter les substances dégagées d'une manière instantanée vers des endroits éloignés avant que le nuage ne forme une source de danger (dilution du nuage). Seules les personnes situées dans les directions des vents sont exposées aux dangers.

En raison de l'absence d'informations présentant les classes de stabilité atmosphérique pour la région de Hassi R'mel de la part des services météorologiques, la classe de stabilité C, caractéristique des régions à climat ensoleillé avec vents variables, a été adoptée dans cette étude pour la modélisation de la dispersion de nuage gazeux. Ce choix altère peu la qualité des résultats vu qu'il est admis que pour de grandes pressions, telles que celles régnant dans le gazoduc, la stabilité atmosphérique a un faible effet sur la dispersion du nuage gazeux.

Résumé des conditions météorologiques à utiliser

- Vitesses moyennes du vent : 3.5m/s et 8.5m/s.
- Stabilité atmosphérique : C
- Humidité relative : 45%.
- Température moyenne : 22.5°C.

II.1.9 Population voisines et infrastructures adjacentes

La visite sur site a permis la localisation des installations industrielles voisines au tronçon GR4 et la population environnante. Ceci à faciliter la délimitation des zones sensibles et les sources potentielles d'ignition.

II.1.9.1 Population

Tenant compte des informations fournies et des missions sur site, on ne trouve pas d'habitations fixes sur un rayon de plus de 01 Km. Sur une longueur de 06 Km aucune personne n'est dénombrée autour de l'ouvrage.

II.1.9.2 Installations industrielles voisines

La figure représente les installations voisines au gazoduc GR4 susceptibles d'être touchées par les conséquences directes ou par les effets dominos résultants d'accidents probables sur ce tronçon. La première installation voisine à noter sur le parcours de la canalisation de liaison GR4 est la station de compression de l'ouvrage GR1/GR2, à environ 300 m à l'ouest de l'axe de la conduite au PK01.

Le gazoduc croise deux routes principales (fréquentation élevée) au PK02 et PK02+ 427. Après ce point, aucune installation n'est rencontrée jusqu'au PK05. A cet endroit, des torches considérées comme sources nues d'ignition potentielle, sont présentes de part et d'autre du tracé du GR4 (environ 200 mètres).

Près du Centre Nationale de Dispatching du Gaz Naturel (CNDG), des infrastructures importantes sont à signaler, à l'instar du module de production du gaz naturel (Administration et stockage des produits) situé à moins de 200 m à l'ouest de la canalisation et la centrale de production d'électricité (Centrale et administration) située à moins de 300 mètres à l'est.

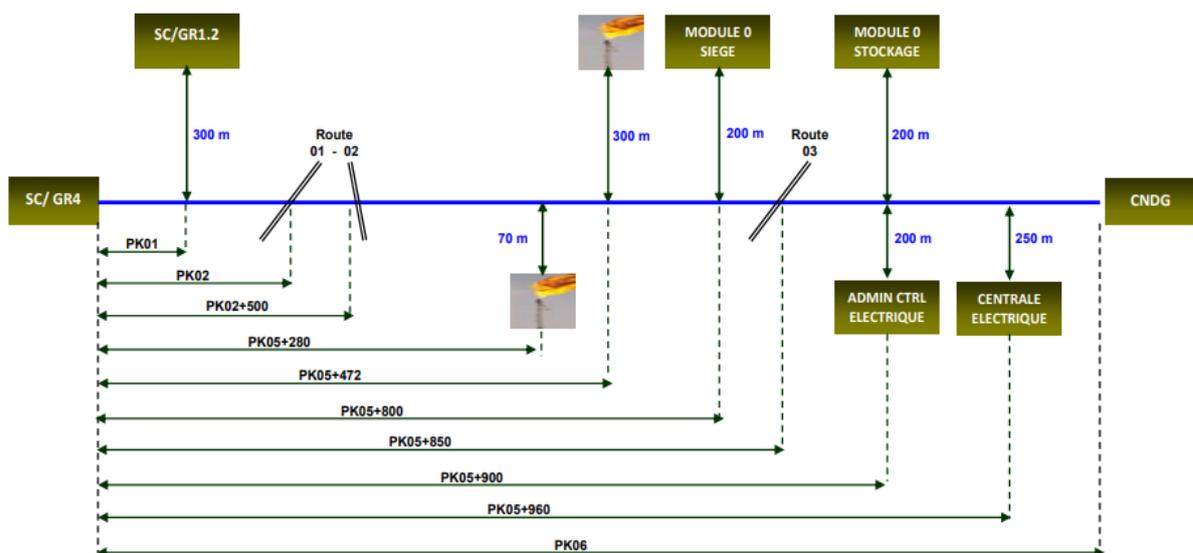


Figure II-7 Schéma synoptique du gazoduc de liaison GR4 et des infrastructures voisines.

CHAPITRE III

Chapitre III : Dangers Potentiels et Identification des Scenarios :

III.1 Identification des dangers potentiels :

L'identification des dangers vise principalement à dresser un inventaire qualitatif des dangers liés à la canalisation de liaison du projet GR4. Elle utilise comme source d'information le retour d'expérience, les jugements d'experts dans le domaine, la description des procédés et les codes en vigueur.

III.1.1 Dangers liés au produit transporté :

Les dangers liés au gaz naturel sont pratiquement les mêmes que ceux découlant du méthane (CH₄). Les effets nocifs de ce gaz sont :

- **Effet toxique** : pour des concentrations en dessous de la limite inférieure d'inflammabilité.
- **Asphyxie** : De fortes concentrations de méthane peuvent déplacer l'oxygène et provoquer des situations d'asphyxie.

Tenant compte de l'emplacement du gazoduc GR4, ces effets n'affecteront pas les personnes susceptibles de se trouver dans les zones environnantes. Le gaz naturel étant plus léger que l'air, l'air libre transporte le nuage gazeux et ne permet pas la formation d'un nuage asphyxiant ou d'un climat toxique.

- **Inflammation** : L'émission et la dispersion d'un panache de gaz naturel peuvent entraîner la formation d'un nuage inflammable ou explosif si la concentration en produit inflammable est comprise dans les limites d'inflammabilité inférieure et supérieure du fluide.

Limite Inférieure d'inflammabilité (LII) : pour que le gaz naturel s'enflamme, il doit atteindre la concentration minimale de 5% dans l'air ambiant. Au-dessous de cette limite, le mélange gazeux est trop faible en méthane pour s'enflammer.

Limite supérieure d'inflammabilité (LSI) : la concentration de 15% du gaz naturel dans l'air ambiant caractérise la limite supérieure d'inflammation. Au-dessus de cette concentration, le mélange gazeux devient riche en méthane et ne s'enflamme pas.

III.1.2 Dangers liés au gazoduc :

III.1.2.1 Causes de défaillance de pipeline :

Le retour d'expérience des accidents survenus sur des ouvrages de même nature indique que les sources de défaillances de canalisations sont dues à différentes causes :

- **Causes liées au facteur temps** : corrosion externe, corrosion interne, (en cas de présence d'agents corrosifs dans le produit, comme le H₂S) et érosion peuvent générer des défaillances sur le pipeline.

- **Causes indépendantes du temps** : systèmes d'exploitation, problèmes liés au climat, force tierce, glissement de terrain, type de sol (agressivité), etc.

- **Causes stables** : défauts d'usine sur le tube et les équipements, défauts de construction (soudage, revêtement, etc.) La base de données Européenne (EGIG) a fait une collecte d'information sur plus de 130 000 Km par an pendant la période entre 1970 et 2007. Les causes principales de défaillance de gazoducs sont résumées dans le tableau

Cause principale (1)	% du Total	Causes secondaires (2)	% cause (1)	Causes Tertiaire	% de (2)
Effets externes	49.6	Forage	38		
		Travaux	18		
		Agriculture	9		
		Drainage	8		
		autres	27		
Défaut de construction	16.5				
Corrosion	15.4	Externe	81	Par piqûre	68
				Galvanique	12
		Interne	15	stress et fissure	5
				Inconnues	15
Mouvement du terrain	7.3	Avalanche	55		
		Inondations	19		
		Inconnues	12		
		Mine/rivières, etc.	14		
Piquage en charge	4.6				
Autres	6.7	Eclair	25		
		Pas de détails	75		

Tableau III-1: Résumé des causes principales de défaillance de gazoducs (Source : EGIG, 7th rapport 1970-2007)

III.1.2.2 Impact des défaillances de la canalisation :

Le gazoduc GR4 est enfoui sur pratiquement la totalité de sa longueur, une fuite ou rupture au niveau de sa génératrice supérieur (cas le plus défavorable) crée un cratère de diamètre dépendant de la nature de la fuite.

Une fuite de gaz naturel cause l'émission et la dispersion d'un nuage de gaz engendrant une pollution de l'environnement. En outre, selon les conditions dans lesquelles elles surviennent, ce sont également les éléments déclencheurs d'un incendie ou d'une explosion.

Les fuites varient des petites décharges pour des petits diamètres à des décharges importantes (catastrophiques) pour une rupture totale de la canalisation. Durant et après l'occurrence d'une fuite, le produit rentre en interaction avec son milieu externe, ces interactions changent les propriétés thermodynamiques du produit.

Pour qu'un danger soit considéré, la concentration du nuage gazeux doit être comprise entre les limites inférieures et limites supérieures. Au-dessous de la limite inférieure d'ignition (5%), le gaz naturel est trop dilué et ne cause pas de problème d'inflammation. En revanche, si la concentration du nuage est au-dessus de la limite supérieure d'inflammabilité, le mélange dans ce cas est pauvre en oxygène et n'engendre pas d'inflammation.

La figure résume le sort d'une fuite de gaz naturel d'un gazoduc de grand diamètre à des pressions élevées

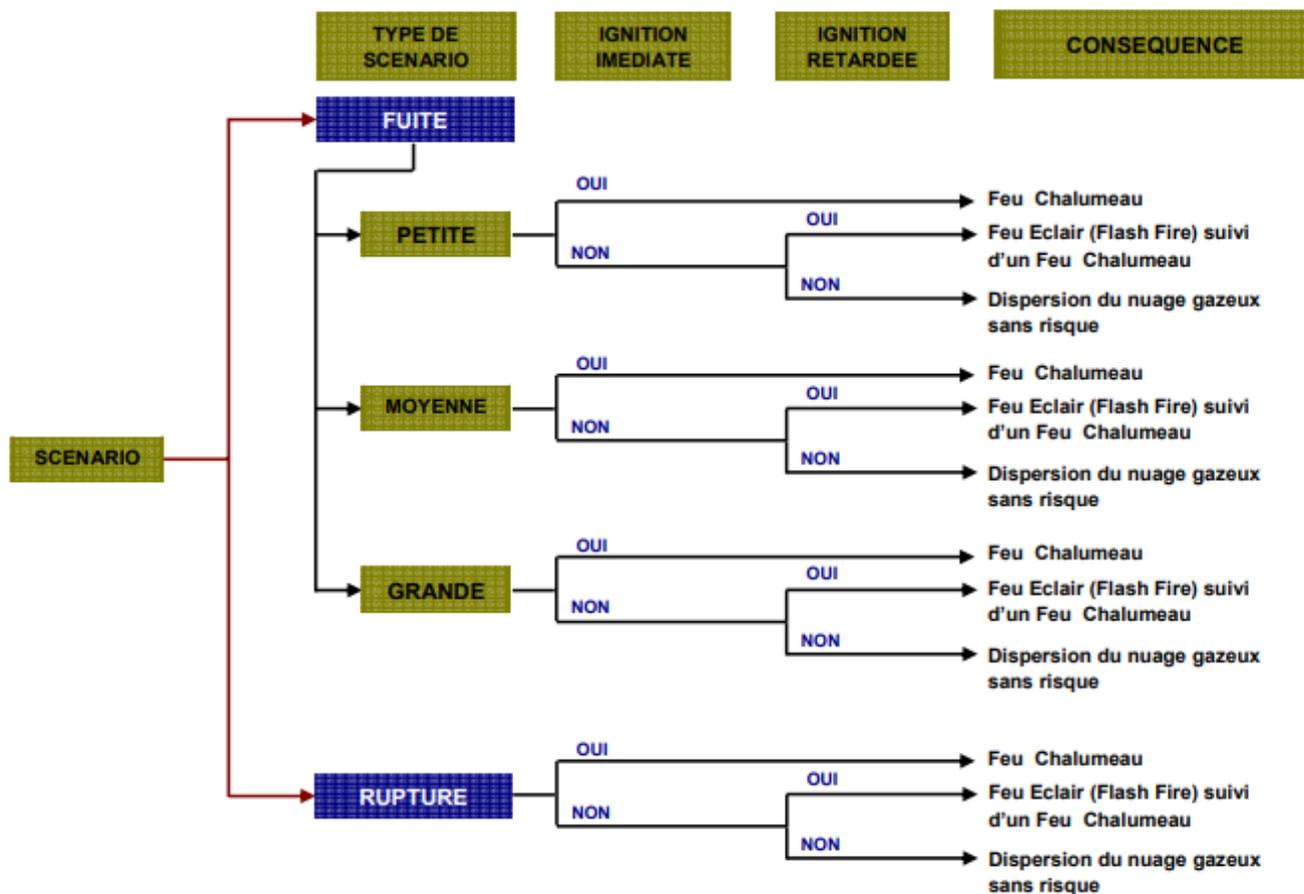


Figure III-11e sort d'une fuite de gaz naturel d'un gazoduc de grand diamètre à des pressions élevées

Néanmoins, le gazoduc de liaison GR4 se trouve dans un milieu non confiné, ceci induit à écarter l'hypothèse d'avoir une explosion. De plus, la nature du rejet conditionne l'étendu du nuage gazeux du point de fuite. Une petite fuite crée un nuage explosif à quelques mètres du rejet, par contre une rupture totale de la canalisation déplace le nuage explosif des dizaines de mètres.

III.2 Dangers liés à l'environnement. :

Il est important de faire un recueil sur les événements naturels susceptibles de provoquer des accidents technologiques majeurs sur le gazoduc à construire. Ces dangers doivent être considérés lors de l'étude de dangers afin de les inclure dans les mesures de réduction de leur impact.

Les principaux dangers naturels sont : séisme, inondations, mouvement de terrain, foudre, précipitations abondantes. L'intensité de ces phénomènes au niveau de la région de Hassi R'mel est négligeable, leur impact est négligeable sur la canalisation GR4.

Un autre aspect lié à l'environnement du gazoduc est celui de la sécurité contre les actes de sabotages et de vandalisme. Le tronçon de gazoduc entre la station de compression GR4 et le CNDG se trouve dans une zone hautement sécurisée où des patrouilles de sécurité sont effectuées de jour comme de nuit.

III.3 Identification des éléments sensibles :

Les éléments sensibles du milieu sont des composantes pouvant potentiellement être affectées par les conséquences d'un accident sur le gazoduc ou susceptibles de concourir à l'occurrence des accidents. Les figures suivantes illustrent l'ensemble des éléments sensibles recensés autour du gazoduc GR4.



Figure III-2 : Élément sensible 01 –

La station de compression GR1/2 : La station de compression GR1/2 pourrait être affectée par les effets d'un accident sur le GR4. Il y a lieu de vérifier si elle est à l'abri d'un effet domino.



Figure III-3 Elément sensible 02 et 03 –

Module de traitement de Gaz naturel M00 : Le module de traitement du gaz naturel M00 (siège et bacs de stockage de différents produits) est susceptible d'être affecté par l'effet domino d'un accident sur le gazoduc GR4. Les radiations thermiques émanant d'un feu sur le gazoduc de liaison GR4 peuvent être la cause d'un autre accident sur les bacs de stockage de M00.



Figure III-4: Elément sensible 04 et 05 – Centrale électrique



Figure III-5 : Elément sensible 06 et 07 – Intersection avec deux routes Le croisement des routes est pris en compte lors de l'estimation des conséquences d'accidents. Les véhicules qui circulent sur ces routes seront considérés comme des sources potentielles d'inflammation

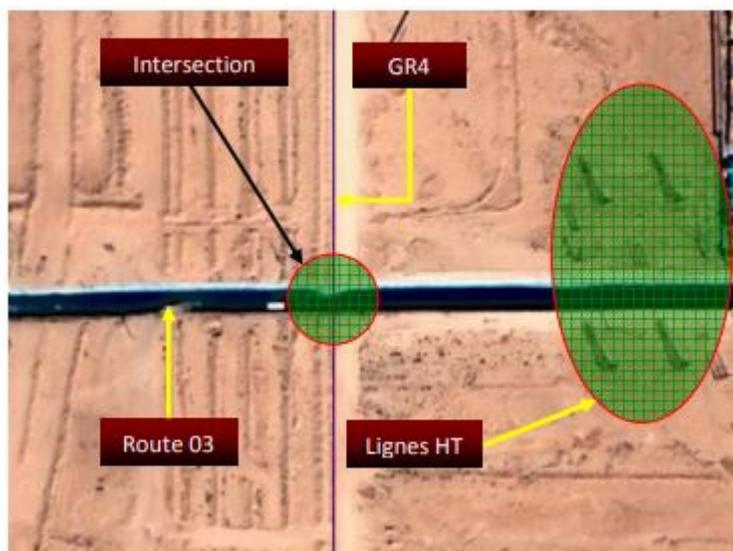


Figure III-6 : Elément sensible 08 et 09 –

Intersection avec route et ligne HT Les lignes électriques sont des sources linéaires d'inflammation, les figures 4.6 et 4.7 représente quelques endroits de leur implantation par rapport au gazoduc GR4

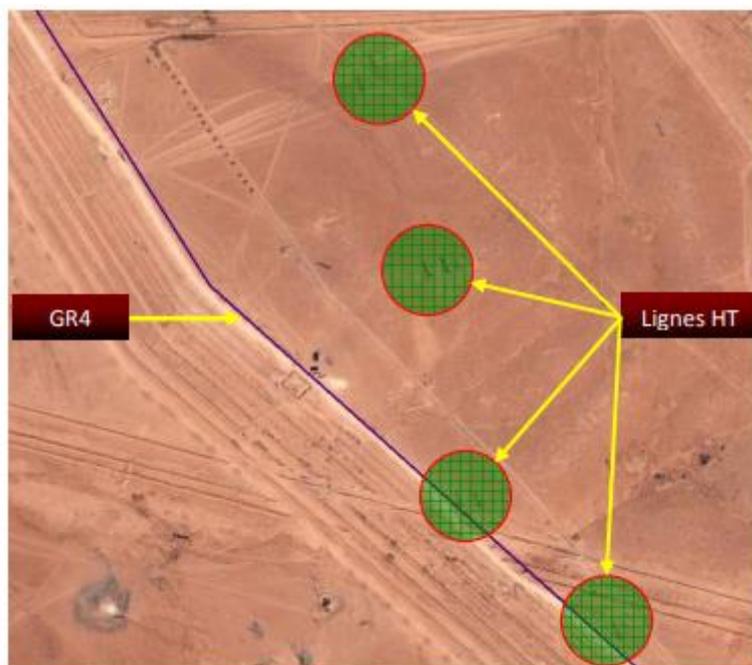


Figure III-7: Elément sensible 09 – Lignes électriques Hautes tension

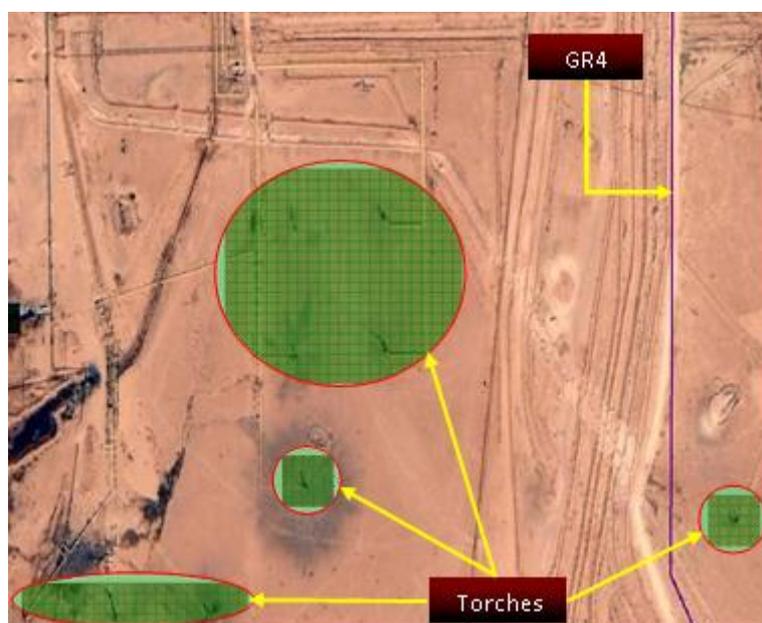


Figure III-8 Elément sensible 09 – Torches

Les torches sont des sources nues d'ignition sur un nuage gazeux, si celles-ci sont situées dans les limites d'inflammabilité.

III.4.3 Revue HAZID

L'atelier HAZID consiste à :

- Passer en revue toutes les catégories de dangers potentiels,
- Identifier les causes susceptibles d'être à l'origine de chaque catégorie,
- Estimer qualitativement leurs fréquences d'occurrence,
- Lister les principales mesures de sécurité prises pour les annihiler,
- Enumérer les conséquences potentielles de chaque danger,
- Prendre une décision, à la lumière des points précédents, quant à la nécessité d'une analyse QRA détaillée.

Lors de cet atelier, 19 catégories de danger ont été passées en revue :

- Corrosion externe, corrosion interne et érosion,
- Surpressions accidentelles,
- Fuites dans les vannes de sectionnement et les circuits de gare de racleurs
- Effet domino sur les sites industriels et les pipelines voisins,
- Fuites sur la canalisation à proximité de routes, de torches ou de lignes HT,
- Séismes, tempêtes de sable, inondations, glissements de terrain et ravinement de berges.

Les détails de la revue HAZID sont donnés en annexe 02.

Les conclusions de cette revue suggèrent que les fuites de gaz et les ruptures de canalisation près des installations sensibles et des sources potentielles d'inflammation représentent le risque principal. Les risques d'explosion sont considérés comme négligeables en raison de la configuration pratiquement plate du terrain et de l'absence de confinement.

III.5 SCENARIOS D'ACCIDENTS

En tenant compte de l'emplacement des éléments sensibles, 11 scénarios d'accidents ont été sélectionnés. Il y a lieu de noter que la canalisation de liaison du GR4 est constituée d'un seul segment ESD (figure 4.9)

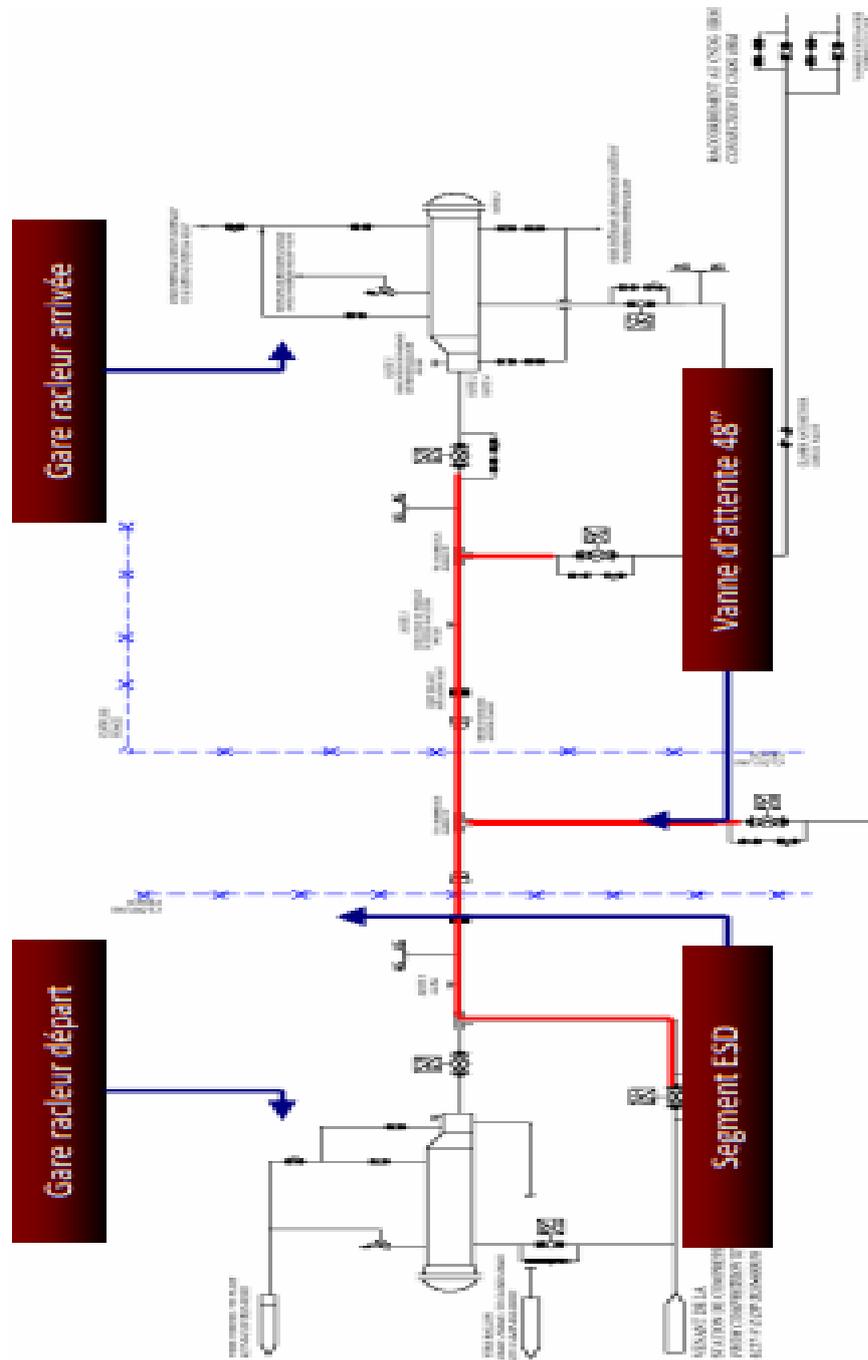


Figure III-9 : Segment ESD entre la station de compression GR4 et le CNDG

N° de Scenarior	Description	Critters
S01	Relâchement de gaz sortie SC GR4	RI + Effet domino sur SC GR4
S02	Relâchement de gaz à 300m de la sortie SC GR4 face à la SC GR1/2	RI + Effet domino sur SC GR1/2
S03	Relâchement de gaz au croisement route 01 au PK02	RI
S04	Relâchement de gaz au croisement route 02 au PK 02+500	RI
S05	Relâchement de gaz à proximité d' une torche située à 70 m de la canalisation au PK05+ 280	RI
S06	Relâchement de gaz à proximité d' une torche située à 200 m de la canalisation au PK05 +472	RI
S07	Relâchement de gaz à proximité des bâtiments de l' administration du module 00 située à 200 m de la canalisation au PK05 +800	RI + Effet domino sur bâtiments administration module 0
S08	Relâchement de gaz au croisement route 03 au PK 05 +850	RI
S09	Relâchement de gaz à proximité du site du module 0 située à 200 m de la canalisation au PK05 +900	RI + Effet domino sur site module 00
S10	Relâchement de gaz à proximité du site de la centrale électrique située à 200 m de la canalisation au PK05+960	RI + Effet domino sur site centrale électrique
S11	Relâchement de gaz sur circuit gare racleur arrivée au CNDG	RI + Effet domino sur site CNDG

Tableau III-2: Scénario d'accidents sélectionnés pour l'analyse QRA

Les relâchements à considérer sont des fuites de petite, moyenne et grande dimensions ainsi que des ruptures totales de la canalisation. On considère également deux vitesses de vent caractéristiques du site suivant la direction dominante donnée par la rose des vents. La direction du jet retenue pour chaque scénario et celle correspondant au cas le plus défavorable (worst case), autrement dit horizontale dans le cas général et orienté à 30° à proximité des torches.

III.6 SELECTION DES INDICATEURS DE RISQUE :

Les indicateurs utilisés en analyse quantitative du risque sont le risque individuel (RI) et le risque collectif (RC). Le choix d'un indicateur par rapport à un autre ou des deux indicateurs à la fois, dépend de la nature, des caractéristiques et de l'environnement du projet.

Risque individuel (RI): Avec le risque individuel, on évalue la probabilité de décès pour un individu qui se situe à un certain emplacement de façon permanente. Le risque individuel est calculé et exprimé par des iso-contours de risque tracés sur une carte. Par exemple, une personne située en permanence sur le contour de risque individuel 10^{-4} sera en moyenne exposée à un accident mortel une fois tous les 10000 ans.

Risque collectif (RC): dans ce cas, le danger est perçu par un groupe d'individu. Néanmoins, pour le cas de l'étude de dangers sur les gazoducs, le risque collectif n'est pas justifié. Ce genre de risques est applicables sur les ouvrages concentrés tels que les stations de compression, où des groupes de personnes sont formé par l'exigence de leur travail (salle contrôle, atelier de maintenance, etc.).

La canalisation de liaison du gazoduc GR4 est un ouvrage linéaire caractérisé par l'absence quasi-totale de population à moins de 1 km de part et d'autre de son tracé. Par conséquent, le risque individuel est le plus adapté pour l'évaluation des dangers autour de la conduite.

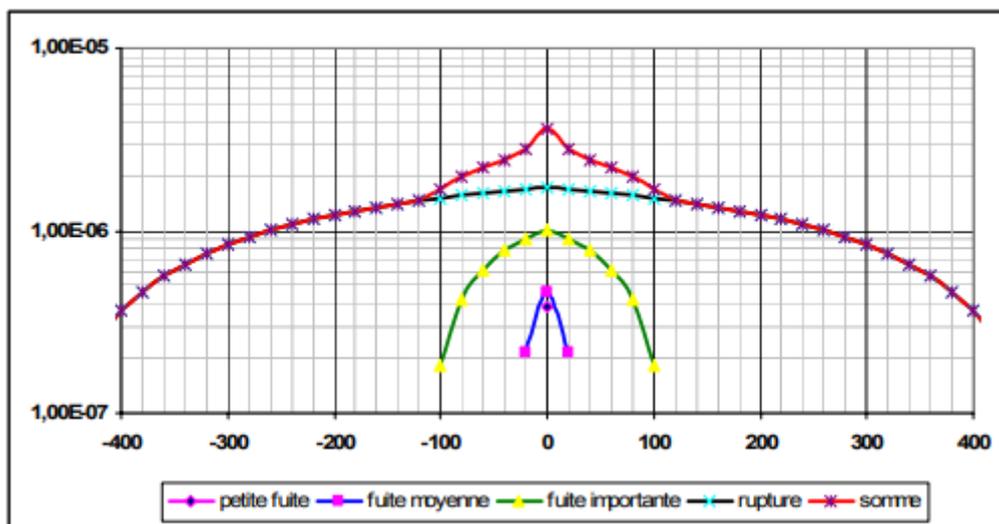


Figure III-10 Exemple de résultats de RI

Sous l'hypothèse couramment utilisée de probabilités d'inflammation génériques constantes le long du tracé, le RI est estimé une seule fois pour l'ensemble de la canalisation. Cependant, l'environnement le long du tracé du GR4 n'est pas uniforme. Il se caractérise en particulier par des potentialités d'inflammation différentes d'un endroit à un autre (croisements de routes, présence de torches et de ligne HT). En conséquence, le RI sera estimé tout le long de la canalisation, particulièrement au niveau des éléments sensibles.

Effets domino : Les effets domino découlent de la proximité relative d'éléments pouvant occasionner une réaction en chaîne à la suite d'un premier événement accidentel.

Un accident sur un gazoduc de haute pression pourrait entraîner des dommages notables sur un site voisin. Un effet thermique occasionné par un accident sur la canalisation de liaison GR4, près des bacs de stockage du module 00 (voir figure 3.7), peut entraîner le réchauffement du produit à l'intérieur et provoquer ainsi des conséquences néfastes.

Les distances d'effets thermiques de 8 KW/m² ont été estimées pour déterminer l'impact d'un accident potentiel sur les sites adjacents à la canalisation de liaison GR4.

Critères d'acceptabilité : Le risque individuel définit la probabilité de décès pour une personne qui se situe à un certain emplacement de façon permanente. Il est exprimé dans sa forme la plus simplifiée par la période de retour. Si une installation est assumée être présente sur une base infinie, la période de retour correspond au nombre statistique d'années qu'il faudrait pour que le type d'accident considéré se reproduise. On obtient aussi la fréquence annuelle en divisant 1 par la période de retour. Plus la période de retour est élevée, plus le niveau de risque est faible.

L'**UK Health and Safety Executive Board** recommande les critères suivants pour juger le risque individuel découlant de nouvelles activités :

- Risque maximal acceptable par le public : 10⁻⁴ par an soit une occurrence tous les 10 000 ans.

- Risque négligeable : 10⁻⁶ par an soit une occurrence tous les 1 million d'années.

Ces critères doivent être appliqués à la somme des risques industriels pour les individus qui sont le plus exposés, dont la vulnérabilité aux dangers est dans la moyenne, qui sont présents dehors pendant une partie réaliste du temps et qui tentent raisonnablement de s'échapper lors d'un éventuel accident. Les seuils limites suivants, seront appliqués au projet :

- Risque maximal acceptable pour le public : 10⁻⁴ par an
- Risque négligeable : 10⁻⁶ par an.

Dans le cas où le risque calculé dépasse les seuils limites, des mesures d'atténuation seront nécessairement préconisées et le processus de calcul est relancé (itération), sinon on passe à la conclusion et aux recommandations concernant ce cas

CHAPITRE IV

Chapitre IV : Estimation des Fréquences D'occurrence :

Les fréquences d'occurrence permettent d'établir la probabilité qu'un accident se produise et la possibilité que des éléments sensibles soient affectés par les conséquences générées par cet accident.

Ces fréquences sont estimées en deux étapes :

- Sélection de fréquences génériques tirées des accidents survenus dans le passé sur des ouvrages de même nature ;
- Adaptation de données génériques aux particularités de l'ouvrage objet de l'étude.

IV.1 Fréquences Génériques :

Plusieurs bases de données spécialisées peuvent être consultées, à l'instar de :

- US natural gas pipeline data.
- UK British natural gas pipeline data.
- The European gas pipeline incident data group
- Purple book, CPR18E – revision 2005
- Safety report assessment guide.
- ARIA; base de données sur les accidents de différentes industries dans le monde

Les données issues de différentes bases de données montrent des écarts importants quant à l'estimation des fréquences de défaillance de gazoduc. Ainsi, à titre d'exemple, The European Gas Pipeline Incident Report donne une moyenne de fréquence de défaillance de 7.75×10^{-4} / km.an estimée sur la base d'une longueur correspondant à 1.47×10^6 Km de gazoducs. L'US Gas Transmission Pipeline Data propose une valeur très proche de 7.4×10^{-4} / km.an. Par contre, British Gas Pipeline Data suggère une valeur nettement plus basse estimée à 1.1×10^{-4} / km.an basé sur une longueur de 250 000 Km de canalisations par an. CONCAWE, après une analyse faite sur 18000 Km d'oléoducs par an propose une valeur intermédiaire de 4.2×10^{-4} / km.an.

IV.1.1 Fréquence d'occurrence en fonction de la taille des fuites

La canalisation GR4 est constituée d'une partie enfouie et deux parties aériennes. La gare racleur de départ (SC/GR4) est aérienne, elle est constituée de vannes de 48'' de diamètre, des vannes 6'' et des brides de petits diamètres. A sa sortie de la station de compression, le gazoduc GR4 est enfoui sur une longueur de 06Km. Au niveau du CNDG, il sera aérien et raccordé à une gare racleur arrivée qui a les mêmes équipements que la gare racleur de départ. Une vanne d'attente de 48'' est placée en amont du CNDG, pour la liaison future du gazoduc GR4 avec le nouveau centre de dispatching du gaz naturel (CNDGN) (voir figure 4.9).

CHAPITRE IV : ESTIMATION DES FREQUENCES D'OCCURRENCE

Les catégories de fuites suivantes ont été prises en compte pour le calcul des risques technologiques découlant de l'exploitation de cet ouvrage :

- Petite fuite : 10mm
- Fuite moyenne : 25mm
- Grande fuite : 100mm
- Rupture totale de la conduite

Tenant compte du diamètre du gazoduc enfoui, de son épaisseur, des conditions d'exploitation et de qualité de l'acier utilisé pour sa construction, des fréquences génériques selon l'importance de la fuite sont données dans le Purple book, DNV. Elles sont présentées dans le tableau suivant :

Nature de la fuite	Fréquence par m et par an
Petite fuite (10mm)	1.5E-07
Fuite moyenne (25mm)	3.8E-07
Grande fuite (100mm)	3.7E-08
Rupture totale	2.6E-08

Tableau IV-1: Fréquences génériques de défaillances d'une conduite enfouie

La base de données EGIG propose des fréquences génériques selon l'importance de la fuite et pour différents diamètres de gazoducs (tableau IV 2)

Diamètre + Pression du Gazoduc	Fréquence de défaillance (par Km/an)			
	Petite fuite	Grande Fuite	Rupture	Total
42" et pression = 70 bar	1.1E-04	5.3E-05	2.4E-05	1.9E-04
24" et pression = 70, 16, 7 bar	2.6E-04	1.8E-04	6.1E-05	5.0E-04
16" et pression = 70 bar	3.0E-04	2.4E-04	7.8E-05	6.2E-04
6" et pression = 70, 16, 7 bar	4.6E-04	4.7E-04	1.6E-04	1.1E-03

Tableau IV-2: Fréquences génériques pour différents diamètres de gazoduc (EGIG)

IV.1.2 Fréquences génériques suivant les causes

Les accidents survenus sur des canalisations de transport du gaz naturel ont été rapportés par plusieurs agences, comme l'US natural gas pipeline data et l'EGIG (European Gas pipeline Incident Group).

L'EGIG a effectué, en collaboration avec plusieurs exploitants de canalisation européens, une étude sur les accidents survenus sur les gazoducs. Différents rapports ont été délivrés mettant en place des banques de données sur les types de défaillance les plus répandus et leurs fréquences d'apparition.

L'élaboration de ce rapport repose sur plusieurs conditions, parmi lesquelles on cite :

- Les canalisations sont en acier
- La base de données concerne les gazoducs enfouis

CHAPITRE IV : ESTIMATION DES FREQUENCES D'OCCURRENCE

- La pression maximale doit être supérieure à 15 bars

Une étude sur 130 000 Km de canalisation à fait ressortir, pour les gazoducs Européens, que 50 % des accidents sont dus à des travaux de tiers contre 15.4% lié au phénomène de corrosion. Le tableau 5.3 résume ces accidents en pourcentage d'apparition.

Causes	(%)
Interferences externes	49.6
Défauts de matériel et de construction	16.5
Corrosion	15.4
Mouvement du terrain	7.3
Erreurs d'exploitation	4.6
Autres causes	6.7

Tableau IV-3: Causes de défaillances de gazoducs en %
(Source EGIG)

IV.2 Fréquences génériques des défaillances sur les équipements de robinetterie

Les gares racleurs départ et arrivée sont constituées de plusieurs vannes (automatiques et manuelles) et brides. Les fréquences génériques de défaillances des vannes manuelles et automatiques sont représentées sur le tableau IV 4.

Nature de la fuite	Fréquence par année	
	Vannes manuelles	Vannes automatiques
Petite fuite (10mm)	2.7E-04	6.0E-04
Fuite moyenne (25mm)	4.9E-05	1.1E-04
Grande fuite (100mm)	1.3E-05	2.8E-05
Rupture totale	1.2E-05	2.6E-05

Tableau IV-4 : Fréquences génériques de défaillances de différents types de vannes

Les défaillances des brides ont été estimées par différents organismes. Les fréquences génériques de leur défaillance, tenant compte du diamètre, sont résumées dans le tableau 5.5.

Nature de la fuite	Fréquence par année	
	Bride 6"	Bride 24"
Petite fuite (10mm)	7.3E-05	3.1E-04
Fuite moyenne (25mm)	1.7E-05	7.1E-05
Grande fuite (100mm)	1.2E-05	2.2E-05
Rupture totale		2.7E-05

Tableau IV-5 : Fréquences génériques de défaillances de différents types de brides

IV.3 Adaptation de données génériques aux particularités de l'ouvrage

Pour les pipelines, la canalisation représente d'un point de vue risque l'élément prépondérant. Les probabilités de défaillance issues des bases de données représentent une estimation moyenne résultant d'un traitement statistique des historiques d'incidents:

- de canalisations de dimensions variables (diamètres, épaisseurs, etc.) constituées de tubes de nuances d'acier diverses ;
- de canalisations plus ou moins âgées, évoluant dans des environnements différents (Pression, température, agressivité du sol et du produit transporté, type de revêtement, etc.) ;
- de canalisations soumises à des politiques de maintenance diverses (programmes de surveillance de la protection cathodique, raclage périodique, etc.)
- recueillies sur un période assez longue (donc insensibles au biais induit par les progrès techniques dans le domaine de la gestion de l'intégrité des canalisations).

Il en résulte des valeurs de fréquences de dispersion statistique assez large et des estimations très variables d'une base de données à une autre.

En conséquence, l'usage d'une démarche classique basée sur des données génériques issues de bases de données et ne tenant pas compte des particularités de chaque ouvrage peut se traduire par des sous-estimations ou des surestimations importantes des risques.

Dans ce qui suit, on considère que :

- Le tronçon de gazoduc objet de l'étude se trouve loin de toute zone urbaine ou agricole et dans un corridor ultra sécurisé (patrouilles quotidiennes). Sur la bases des règles d'adaptation recommandées par l'UKOPA (2008), la probabilité d'un accident consécutif à des travaux de tiers est de l'ordre de $1,2 \cdot 10^{-5}$ /km.an (annexe 03).
- La probabilité des défaillances dues à des défauts du matériel et à des vices de construction, estimée également sur la base des recommandations de l'UKOPA, est de l'ordre de $1,5 \cdot 10^{-5}$ /km.an (annexe 03).
- De ce fait, la principale source de défaillance proviendra des altérations susceptibles d'être provoquées par des phénomènes de dégradation dynamique de la canalisation (corrosion, érosion, fissuration) ;
- Le tronçon sera soumis, selon les meilleures pratiques de gestion de l'intégrité, à des inspections périodiques par racleurs instrumentés et les résultats d'inspection soumis à une analyse structurale probabiliste. L'analyse structurale probabiliste permet, par modélisation, d'associer à toute état de dégradation constaté après inspection une probabilité de défaillance (annexe 02) ;
- La norme DNV RP-F101, fixant le seuil limite de risque de défaillance d'une canalisation corrodée à 10^{-4} /km, sera appliquée et que tout dépassement de ce seuil sera suivi par des réparations immédiates.

En conséquence :

- Sous les hypothèses émises au paragraphe précédent, la probabilité de défaillance de la canalisation qui sera appliquée à ce projet sera de l'ordre de $1,27.10^{-4}/\text{km.an}$. Cette estimation est très proche de celle recommandée par British Gas Pipeline Data estimée à $1.1 \times 10^{-4}/\text{km.an}$.
- Les probabilités de défaillance des équipements annexes (vannes, brides, etc.) seront tirées des bases de données (tableaux 5.4 et 5.5).

IV.4 Probabilités d'ignition

IV.4.1 Sources d'inflammation

La visite sur site a indiqué la présence de plusieurs types de sources d'ignition réparties le long du tracé réservé pour le gazoduc GR4. On les divise comme suit :

- **Sources ponctuelles** : comme les torches qui sont distribuées sur une surface de plus de 25 000 m² près du CNDG. Au moins une torche est allumée tout le temps. Elle est nommée comme source nue et de probabilité égale à 1. Une autre source de ce genre est représentée par les véhicules qui sont présent le long du tracé (véhicules de maintenance et sécurité) et sur des zones bien définis (croisement des trois routes).

- **Source en ligne** : dans notre cas, les lignes électriques HT représentent ce genre de source.
- **Source en surface** : à l'exemple de la station de compression GR1/GR2, module 00 et centrale électrique (voir figure 3.7).

- **Population** : pas de résidence fixe à compter, uniquement des nomades sont supposés susceptibles d'être présents près du tracé de la canalisation.

La détermination et localisation des sources d'ignition est très importantes pour l'évaluation des dangers découlant de la dispersion d'un nuage gazeux. On distingue deux types d'inflammation, inflammation immédiate et retardée. Plusieurs sources d'ignition ont été recensées le long du tracé réservé pour la construction du gazoduc de liaison GR4.

Les conditions à prendre en compte lors du recensement des sources d'ignition sont : Présence

Le facteur de présence est la probabilité qu'une source d'inflammation soit présente dans la zone de propagation du nuage gazeux. La densité de circulation est donnée par la relation suivante :

$$d = \frac{[(\text{Nombre de véhicules par heure}) \times (\text{Longueur du tracé})]}{(\text{Vitesse moyenne des véhicules})}$$

Pour les véhicules de maintenance et sécurité ; la densité pour une vitesse moyenne de 30 Km/h est : 0.058.

En résumé, le facteur de présence est lié à la vitesse des véhicules, nombre de véhicule, longueur et largeur du nuage gazeux susceptible de créer un espace inflammable et longueur du tracé.

Efficacité de la source

Ce paramètre caractérise la capacité d'une source d'enflammer le nuage gazeux, il est dérivé des probabilités génériques d'ignition de certaines sources en une minute.

Quelques probabilités d'ignition sont données dans le tableau 5.6

Source	Probabilité d'ignition par minute
Véhicule	0.4
Torche	1
train diesel	0.4
train électrique	0.8
site chimique	0.9 par site
raffinerie	0.9 par site
population	0.01 par personne

*Tableau IV-6: Probabilité d'ignition en 1 minute
(Purple book)*

IV.4.2 Inflammation immédiate

Ce type est conditionné par la présence de sources d'ignition au moment de l'occurrence de la fuite. Les voitures sont les principales sources de ce type d'inflammation, on distingue les véhicules touristiques et ceux de sécurité et maintenance.

Les véhicules de maintenance et sécurité effectuent des rondes plusieurs fois par jour, ceci augmente le facteur de présence au moment de passage du nuage gazeux, surtout pour les petites fuites (le nuage gazeux est non loin de la source de fuite). En revanche, les véhicules touristiques se trouvent uniquement sur les routes croisées par le gazoduc GR4.

Une inflammation immédiate provoque un feu chalumeau dans le cas où toutes les conditions sont réunies.

IV.4.3 Inflammation retardée

Dans ce cas le gaz naturel est mélangé avec l'air ambiant et crée ainsi un nuage inflammable sur une certaine distance. Si une source d'inflammation est présente, un feu éclair peu prendre effet suivi d'un feu en chalumeau qui prend direction vers la source de la fuite.

CHAPITRE V

Chapitre V : Estimation des Conséquences D'accidents

V.1 Scenarios D'accidents Et Limites D'influences

Les accidents majeurs d'un gazoduc résultent d'une rupture de la conduite ou d'une fuite de gaz naturel suivies d'un feu ou d'une explosion. Les conséquences d'accidents peuvent se traduire en mortalités et blessures, en dommages aux bâtiments et aux biens. Les gazoducs sont dans la majorité des cas enfouis sur toute leur longueur. Pour définir les conséquences d'accidents, on divise le gazoduc en segments ESD (Emergency Shutdown) qui sont délimités par des vannes à fermeture automatiques (line break) qui se ferment suite à la détection d'une chute de pression pendant un bref intervalle de temps. L'importance d'une fuite de gaz naturel dépend des paramètres suivants :

- Taille de la fuite.
- Composition du gaz naturel et ses propriétés physiques.
- Pression, débit et température du gaz
- Volume géométrique du tronçon ESD.
- Le temps nécessaire à l'isolement du tronçon
- La possibilité d'avoir une condensation ou non.
- Le chemin et interaction possibles avec l'environnement, etc.

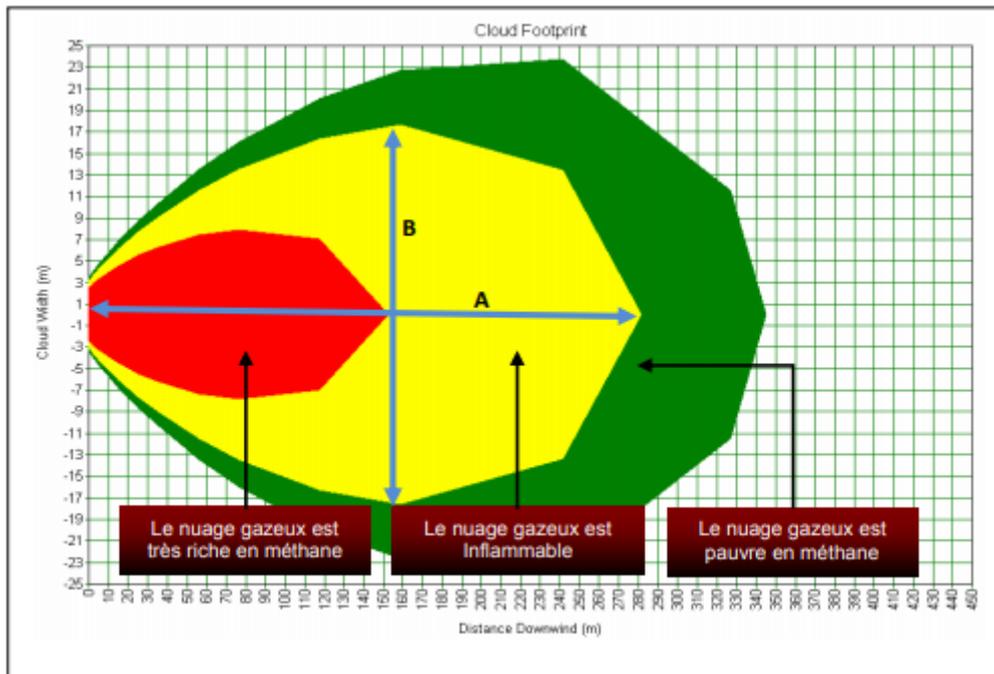
Une fuite sur un gazoduc enterré crée un cratère qui dépend de la taille de la perforation, de sa position, des mesures de sécurité sur place, de la nature du sol et des conditions d'exploitation. Dans le cas où la fuite survient en dessous de la canalisation (génératrice inférieure), le sol va jouer le rôle d'un amortisseur et le choc va être diminué.

V.1.1 Dispersion du nuage gazeux

La dispersion d'un nuage de gaz est influencée par plusieurs facteurs :

- Débit du gaz naturel à la brèche,
- La durée d'émission,
- Les conditions atmosphériques dominantes,
- L'environnement du point d'émission,
- Cinétique de l'émission (rejet continu ou instantané),
- Conditions météorologiques,
- Composition du gaz naturel,
- Pression du gaz naturel en amont du point de fuite,
- Le volume du gaz naturel existant dans un segment ESD,
- Existences d'obstacles sur le rayon de dispersion.

La surface occupée par le nuage gazeux inflammable varie d'un scénario d'accident à un autre, la figure 5.8 représente la forme de la dispersion du nuage gazeux issue d'une rupture totale de la canalisation



La distance A représenté le rayon d'impact dans le sens de la direction du vent le rayon B dans le sens perpendiculaire.

V.1.2 Niveaux de rayonnements thermiques dangereux

Lorsqu'un feu se propage suite à une ignition d'un nuage inflammable, des rayons thermiques dangereux et moins dangereux sont émis.

4Kw/m² : la limite de radiations thermiques à partir de laquelle une personne peut s'enfuir avec des vêtements de travail. Une exposition de plus de 1 minute peut causer des brûlures de second degré.

8Kw/m² : seuil des effets domino correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures.

12.5Kw/m² : la douleur est ressentie en moins de 30 secondes, une exposition directe à ce niveau de radiation correspond à atteindre la douleur limite en 04 secondes. Une exposition qui dépasse les 40 secondes, génère des brûlures de second degré. Les personnes demeurant à l'extérieur des bâtiments sont atteintes significativement, par contre celles qui y sont abritées sont, dans la majorité des cas, épargné de ce danger.

37.5Kw/m² : ce niveau correspond au décès immédiat des personnes percevant ce niveau de radiation.

Figure V-3 représente le seul segment ESD du tronçon GR4 et les vannes qui se ferment en cas de détection d'une rupture.

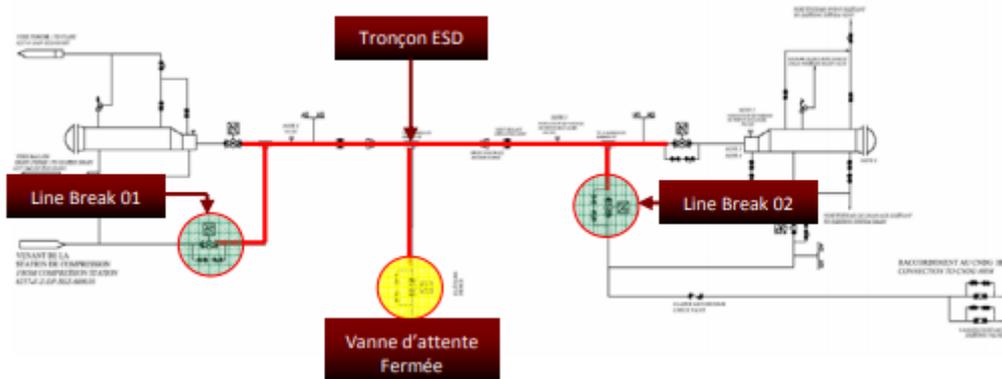


Figure V-2: Segment ESD et vannes de sectionnement (Line Break valves)

Fuite et rupture sur le tronçon GR4

Quatre types de relâchements sont pris en compte ; petite fuite (10mm), fuite moyenne (25mm), grande fuite (100mm) et rupture totale. On suppose que les quatre scénarios surviennent aux endroits où les éléments sensibles ont été identifiés.

La figure 3.8 illustre tous les éléments sensibles recensés sur le tracé. Des scénarios d'accidents juste à la sortie de la gare racleur départ GR4, juste avant la gare racleur arrivée CNDG et aux niveaux des vannes automatiques, manuelles et brides ont été pris en considération dans l'estimation des impacts d'accidents.

Inventaire du gaz naturel dans la ligne et équipements

Tableau V-1 illustre l'inventaire des équipements et volume de gaz utilisé pour le calcul des impacts probables.

Segment ESD		Vannes et brides	
Diamètre	48"	48" Automatiques	2
Epaisseur	12.7mm	48" Manuelles	3
Longueur	6 km	16" Manuelles	4
Volume Géométrique	6716 m3	Brides 16"	4

Tableau V-2: Inventaire des segments ESD et équipements

V.2 Conséquences des scénarios d'accidents

Les hypothèses suivantes ont été prises en compte pour calculer les effets des différents scénarios d'accidents.

- La direction des fuites et rupture est horizontale, elle représente le cas le plus défavorable (la majorité des éléments sensibles se trouve sur le sol)
- une direction de rejet de 30° sur la zones des torches (pour inclure les effets d'ignition dus aux torches) • Deux vitesse du vent ont été considérées (3.5 m/s et 8.5m/s).
- La fuite survient au niveau de la génératrice supérieure (le cas le plus défavorable).
- L'influence de la rugosité du sol est négligeable
- Seuls les effets d'inflammation sont pris en compte. Les effets d'asphyxie et toxicité sont écartés.
- Quatre types de relâchements sont à prendre en compte ; petite fuite, fuite moyenne, grande fuite et rupture totale de la canalisation
- Le temps de fermeture des vannes de sectionnement en cas de rupture est de 60 secondes.
- Le délai d'isolement du tronçon en cas de fuite est de 3600 secondes

Chaque scénario d'accident suit le circuit décrit sur la Figure V-3

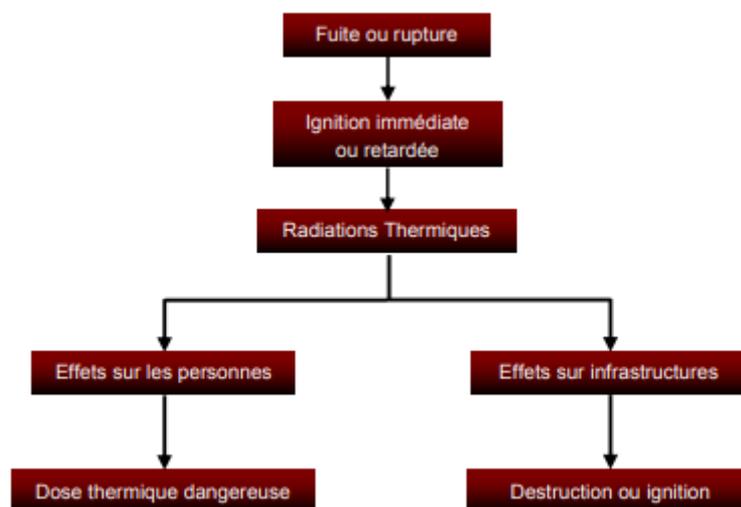


Figure V-3 modélisation des conséquences des différents scénarios

La modélisation des conséquences des différents scénarios d'accidents est représentée par les surfaces des concentrations dangereuses et les étendus des radiations thermiques engendrées. Le tableau 6.2 représente un exemple les distances des limites inférieures et supérieures d'inflammabilité (LII et LSI) ainsi que les niveaux de radiations thermiques générés pour deux vitesses de vent.

V.3 Modèle de calcul des scénarios

Pour calculer les risques de chaque scénario, tout d'abord, on aura besoin d'un modèle de calcul constitué de deux parties. La Première partie consiste à déterminer les facteurs qui influe sur la probabilité des risques tout dépend des zones traversées par le gazoduc, et la deuxième partie, sont les données obtenues par la modélisation des simulations des scénarios à l'aide du logiciel PHAST 6.51, tel que les zones de radiation et inflammation. De plus, les données fournies par les autorités de la région, nous ont permis de connaître les facteurs qui peuvent influencer les risques individuels et collectifs.

Tableau V 2 représente un exemple de résultats fournies par le PHAST 6.51 (pour plus de détail voire annexe 1) les distances des limites inférieures et supérieures d'inflammabilité (LII et LSI) ainsi que les niveaux de radiations thermiques générés pour deux vitesses de vent

RESULTATS DE MODELISATION	Vitesse du vent: 3,5m/s				Vitesse du vent: 8,5m/s			
	Petite	Moyenne	Grande	Rupture	Petite	Moyenne	Grande	Rupture
A LFL (5%) en m	21.820	53.035	186.963	359.584	22.823	54.511	199.019	630.301
B LFL (5%) en m	1.200	3.500	13.000	34.000	1.200	1.000	4.000	48.000
A UFL (15%) en m	4.393	10.949	43.707	170.503	4.753	11.844	47.391	205.306
B UFL (15%) en m	0.400	1.000	4.000	15.000	0.400	3.200	12.000	16.000
A 37,5 kw/m2 en m	16.500	36.800	132.960	546.640	16.500	36.800	132.960	546.640
B 37,5 kw/m2 en m	4.620	11.440	44.260	187.700	4.620	11.440	44.260	187.700
A 12,5 kw/m2 en m	16.500	36.800	134.380	557.300	16.500	36.800	134.380	557.300
B 12,5 kw/m2 en m	10.800	26.380	100.300	416.220	10.800	26.380	100.300	416.220
A 8 kw/m2 en m	16.500	37.440	138.540	574.420	16.500	37.440	138.540	574.420
B 8 kw/m2 en m	14.480	35.260	133.360	549.780	14.480	35.260	133.360	549.780
A 4kw/m2 m	17.080	39.720	147.160	609.900	17.080	39.720	147.160	609.900
B 4kw/m2 m	21.800	52.820	198.300	810.980	21.800	52.820	198.300	810.980

Tableau V-3 Exemple de résultats de modélisation pour différentes défaillances

Pour déterminer ces valeurs, il est nécessaire de voir les figures représentatives des zones de radiation et limites d'inflammation, obtenues de PHAST 6.51.

Figure V 4 représente les radiations thermiques générées par un scénario d'accident, et la Figure V 5 exprime les limites d'inflammation du même scénario.

Remarque :

Les distances des zones de radiation, on peut les tirées à partir des rapports de Jet-Fire.

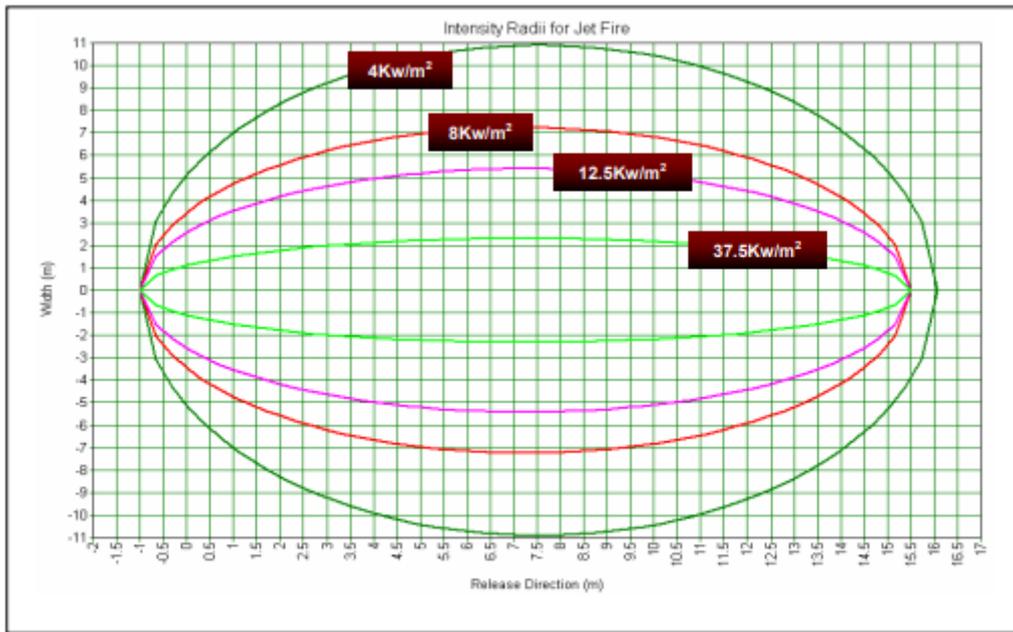


Figure V-4 Radiations thermiques générées par un scénario d'accidents

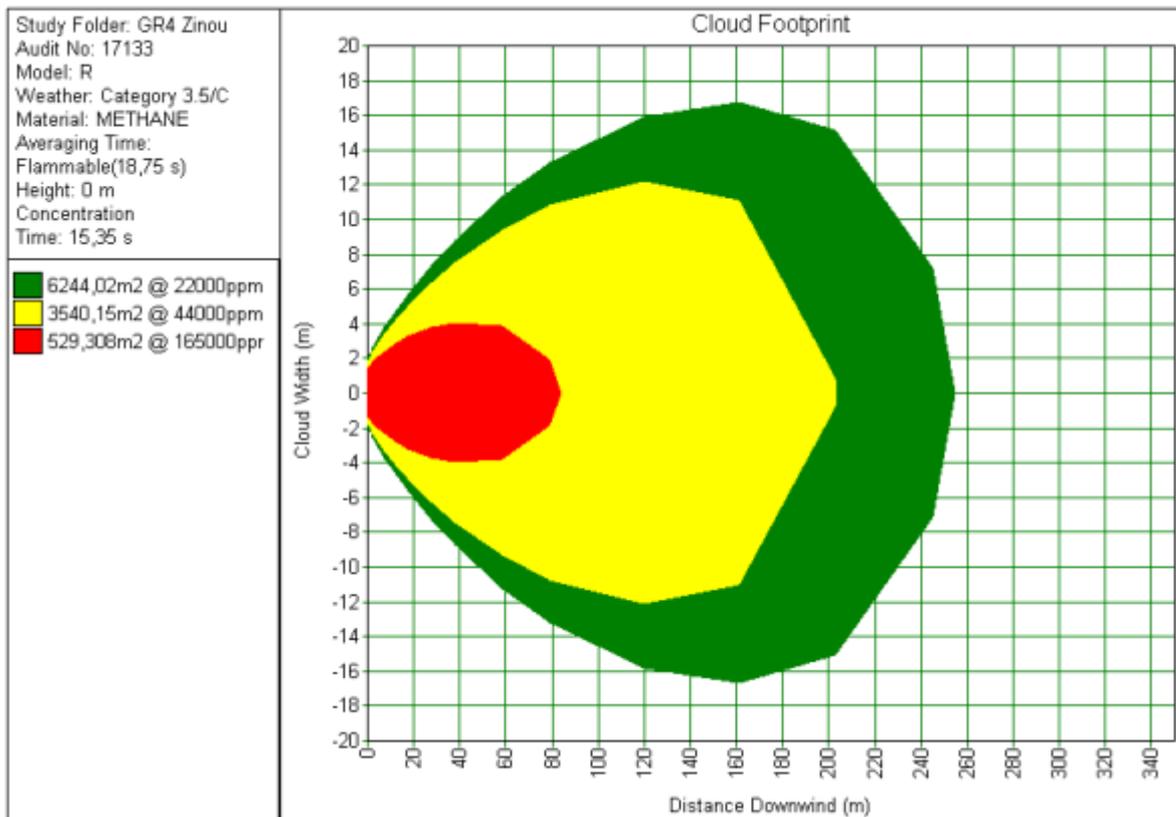


Figure V-5 : Limites d'inflammation du même scénario d'accident

En effet, après avoir tiré les distances de radiation thermique et limites d'inflammation on peut passer au calcul des risques de chaque scénario d'accident, en usant du modèle de calcul suivant :

- **Nombres de nomades** : 520
- **Nombre de nomades 2020** = Nombre de nomades*(1,03)¹²
- **Facteur de zone (1 à 3)** = 3
- **Nombre de nomades estimés** = Nombre de nomades*Facteur de zone
- **Superficielle de la commune** : 7300 km²
- **Nombre moyen de nomades par campement** : 4
- **Densité de campement au m²** :

$$= \frac{\text{nombre de nomades estimés}}{\text{superficielle de la commune} * \text{nombr moyen de nomades} * 10^6}$$

- **Nombre de véhicule de tourisme /jour** : 700
- **Nombre moyen de personnes /véhicule** : 3
- **Nombre de véhicule touristes/Diurne** :

$$= \frac{\text{nombre de véhicule /jour}}{7 * 8 * 3600}$$

- **Nombre de véhicules maintenance -sécurité/semaine** : 200
- **Nombre véhicules maintenance-sécurité/Diurne** :

$$= \frac{\text{nombre de véhicules maint - sécr /semaine}}{7 * 8 * 3600}$$

- **Nombre total véhicules/Diurne** :

$$= \text{Nbr véhicules touris/Diurne} + \text{Nbr véhicule maint - sécurité/diurne}$$

- **Nombre total véhicule/Nocturne** :

$$= 0,1 * (\text{Nombre total de véhicules /diurne})$$

- **Surface d'une zone de radiation (i= 4, 8, 12.5, 37.5)** :

$$S_i = 3,14/4 * A_i * B_i$$

- **Surface zone inflammable** :

$$= (3, 14/4) * (A_{LFL} * B_{LFL} - A_{UFL} * B_{UFL})$$

- **Longueur piste zone inflammable** :

= A LFL (5%)

- **Vitesse des véhicules** = 30 km/h

- **Durée de présence d'un véhicule dans la zone d'inflammation :**

$$= \frac{\text{Longueur piste zone inflamb}}{\frac{\text{Vitesse des véhicule}}{3600} * 1000}$$

- **Proba d'un véhicule en Z inflammation (Diurne) :**

= Nombre de véhicule (Diurne)* Durée de présence dans Z inflammation

- **Proba d'un véhicule en Z inflammation (Nocturne) :**

= Nombre de véhicule (Nocturne)*Durée de présence dans Z inflammation

- **Existence d'une torche** : 0 ou 1

- **Existence d'un pylône électrique** : 0 ou 1

- **Proba d'une inflammation (Diurne) :**

= Proba d'un véhicule en Z inflammation (Diurne) + proba d'un camp+0,3* existence d'un pylône +0,5*Existence d'une torche

- **Proba d'une inflammation (Nocturne) :**

= Proba d'un véhicule en Z i inflammation (Nocturne)+ proba d'un camp+0,4*existence d'un pylône

- **Surface Zone rad 37,5 Kw en m2** : S1

- **Surface Zone rad 12,5 Kw en m2** : S2 - S1

- **Surface Zone rad 4 Kw en m2** : S3 - S2

- **Durée de présence d'un véhicule dans Z 37,5 :**

$$\frac{A z \text{ rad } 37,5}{\frac{\text{Vitesse des véhicule}}{3600} * 1000}$$

- **Durée de présence d'un véhicule dans Z 12,5 :**

$$\frac{A Z \text{ rad } 12,5 - A z \text{ rad } 37,5}{\frac{\text{Vitesse des véhicule}}{3600} * 1000}$$

- **Durée de présence d'un véhicule dans Z 4 :**

$$\frac{A z \text{ rad } 4 - A Z \text{ rad } 12,5}{\frac{\text{Vitesse des véhicule}}{3600} * 1000}$$

- **Proba d'un véhicule en Z 37,5 :**

= Durée de présence d'un véhicule dans Z 37,5 * Nombre total véhicule (Diurne)

- Proba d'un véhicule en Z 12,5 :

= Durée de présence d'un véhicule dans Z 12,5 * Nombre total véhicule (Diurne)

- Proba d'un véhicule en Z 4 :

= Durée de présence d'un véhicule dans Z 4 * Nombre total véhicule (Diurne)

- Proba d'un camp en Z 37,5 :

= Surface Zone rad 37,5* densité de camp

- Proba d'un camp en Z 12,5 :

= Surface Zone rad 12,5* densité de camp

- Proba d'un camp en Z 4 :

= Surface Zone rad 4* densité de camp

- Nombre moyen de personne en Z 37,5 (Diurne) :

= Prob d'un véhicule en Z 37,5* Nombre moyen de perso par véhicule + Proba d'un camp en Z 37,5 * Nombre de nomades par camp

- Nombre moyen de personne en Z 12,5(Diurne) :

= Prob d'un véhicule en Z 12,5* Nombre moyen de perso par véhicule + Proba d'un camp en Z 12,5* Nombre de nomades par camp

- Nombre moyen de personne en Z 4(Diurne) :

= Prob d'un véhicule en Z 4 * Nombre moyen de perso par véhicule+ Proba d'un camp en Z 4* nombre de nomades par camp

- Nombre moyen de personne en Z 37,5 (Nocturne) :

= 0,1*Prob d'un véhicule en Z37,5* Nombre moyen de pers par véhicule + Proba d'un camp en Z 37,5 * Nombre de nomades par camp

- Nombre moyen de personne en Z 12,5 (Nocturne) :

= 0,1*Prob d'un véhicule en Z12,5* Nombre moyen de pers par véhicule + Proba d'un camp en Z 12,5 *Nombre de nomades par camp

- Nombre moyen de personne en Z 4 (Nocturne) :

=0,1*Prob d'un véhicule en Z 4*Nombre moyen de pers par véhicule + Proba d'un camp en Z 4 * Nombre de nomades par camp

- Prob de fuite ou rupture par Km par an :

= Proba de défaillance*% de fuite

- Risque sociétal (Diurne) :

=Prob de fuite*prob d'inflammation *(perso Z 37,5(diurne)+0,7*perso Z 12,5(diurne)+0,1*perso Z 4(diurne))

- Risque sociétal (Nocturne) :

=Prob de fuite*prob d'inflammation*(perso Z 37,5(Nocturne) +0,7*perso Z 12,5(Nocturne) +0,1*perso Z 4(Nocturne))

- Risque sociétal moyen/Km.an :

=0,33* Risque sociétal (Diurne) +0,66* Risque sociétal (Nocturne)

- Risque sociétal moyen ESD :

=Risque sociétal moyen/Km.an * Longueur ESD

- Risque individuel (Diurne)/km.an en Z 37,5 :

=Prob d'une fuite*proba d'une inflammation (Diurne)

- Risque individuel (Diurne)/km.an en Z 12,5 :

=Prob d'une fuite*proba d'une inflammation (Diurne)*0,7

- Risque individuel (Diurne)/km.an en Z 4 :

=Prob d'une fuite*proba d'une inflammation (Diurne)*0,1

- Risque individuel (Nocturne)/km.an en Z 37,5 :

=Prob d'une fuite*proba d'une inflammation (Nocturne)

- Risque individuel (Nocturne)/km.an en Z 12,5 :

=Prob d'une fuite*proba d'une inflammation (Nocturne)*0,7

- Risque individuel (Nocturne)/km.an en Z 4 :

=Prob d'une fuite*proba d'une inflammation (Nocturne)*0,1

- Risque individuel moyen/km.an en Z37,5 :

=0,33* Risque individuel (Diurne)/km.an en Z37,5+0,66* Risque individuel (Nocturne)/km.an en Z37,5

- Risque individuel moyen/km.an en Z 12,5 :

=0,33* Risque individuel (Diurne)/km.an en Z12,5+0,66* Risque individuel (Nocturne)/km.an en Z12,5

- Risque individuel moyen/km.an en Z 4 :

=0,33* Risque individuel (Diurne)/km.an en Z 4+0,66* Risque individuel (Nocturne)/km.an en Z 4

Chapitre V : ESTIMATION DES CONSEQUENCES D'ACCIDENTS

Tableau V 4 représente un exemple de calcul d'un scénario d'accident en utilisant le modèle ci-dessus.

Nombre de nomades (réf :metlili 2008)	520
Nombre de nomades 2020 (croissance de3%)	741
Facteur de zone (1à 3 selon importance aire de nomadisme)	1.0
Nombre de nomades estimé	741
Superficie de la commune km2	7300
Nombre moyen de nomade par campement	4
Densité de campement au m2	2.54 E-08
Nombre véhicules De tourisme / jour	700
Nombre moyen de personnes par véhicule	3
Nombre véhicules tourisme /s(diurne)	2.43-E02
Nombre véhicule maintenance –sécurité / semaine	200
Nombre véhicule maintenance –sécurité / diurne	9.92E-04
Nombre totale véhicules/s diurne	2.53E-03
Nombre totale véhicules/s nocturne	2.53E-03
Longueur du tronçon ESD KM	6.0
A LFL (5%) en m	22.800
B LFL (5%) en m	1.490
A UFL (15%) en m	3.500
B UFL (15%) en m	0.332
A zone radiations 37.5 kw/m2 en m	16.320
B zone radiations 37.5 kw/m2 en m	4.560
A zone radiations 12.5 m	16.320
B zone radiations 12.5 m	10.680
A zone radiations 4Kw/m2 m	16.880

Chapitre V : ESTIMATION DES CONSEQUENCES D'ACCIDENTS

B zone radiations 4Kw/m2 m	21.540
S1 m2	58
S2 m2	137
S3 m2	286
Surface zone inflammation m2	26
Longueur piste dans zone d'inflammation m	23
Vitesse des véhicule Km/h	30
Durée présence d'1 véhicule dans z, inflammation s	2.736
Probabilité d'1 véhicule en inflammation diurne	6.92E-02
Probabilité d'1 véhicule en inflammation nocturne	6.92E-03
Probabilité d'1 campement en inflammation	6.54E-07
Existence d'une torche	0
Existence e linge électrique dans Z,	1
Probabilité d'une inflammation diurne	3.69E-01
Probabilité d'une inflammation nocturne	4.07E-01
Surface zone radiation 37.5KW en m2	58
Surface zone radiation 12.5KW en m2	78
Surface zone radiation 4KW en m2	149
Durée présence d'1 véhicule dans z,37.5s	2
Durée présence d'1 véhicule dans z,12.5s	0
Durée présence d'1 véhicule dans z,4s	0
% du type de fuite	60%
Probabilité fuite (ou rupture) par km et par an	6.00E-06
Risque sociétal (diurne) par km et par an	3.30E-07
Risque sociétal(nocturne) par km et par an	3.64 E-8
Risque individuel(diurne) par km et par an-Z,37.5	2.22 E-06
Risque individuel(diurne) par km et par an Z,12.5	1.55E-6
Risque individuel(diurne) par km et par an Z, 4	2.22 E-7
Risque individuel(nocturne) par km et par an Z, 37.5	2.44 E-6

Chapitre V : ESTIMATION DES CONSEQUENCES D'ACCIDENTS

Risque individuel(nocturne) par km et par an Z, 12.5	1.71 E-6
Risque individuel(nocturne) par km et par an-z4	2.44 E-7
Risque sociétal moyen par Km et par an	1.33 E-7
Risque individuel moyen par Km et par an,37.5	2.34 E-6
Risque individuel moyen par Km et par an,12.5	1.64 E-6
Risque individuel moyen par Km et par an,4	2.34 E-7
Risque sociétal moyen ESD	7.99E-07
Risque individuel moyen ESD	1.41 E-5
Probabilité d'1 véhicule en z,37.5	4.95 E-2
Probabilité d'1 véhicule en z,12.5	0.00E+00
Probabilité d'1 véhicule en z,4	1.7 E-3
Probabilité d'1 campement en z, 37.5	1.99 E-6
Probabilité d'1 campement en z,12.5	3.77E-6
Probabilité d'1 campement en z,4	1.49 E-6
Nombre moyen de personne en z,37.5 diurne	7.97 E-1
Nombre moyen de personne en z,12.5 diurne	5.12 E-6
Nombre moyen de personne en z,4 diurne	1.49 E-3
Nombre moyen de personne en z,37.5 nocturne	7.97 E-2
Nombre moyen de personne en z,12.5 nocturne	5.25 E-6
Nombre moyen de personne en z,4 nocturne	3.64 E-4
Probabilité fuite (ou rupture) par km et par an	1.00 E-5

Tableau V-4 exemple de résultats de calcul d'un scénario d'accident

Chapitre VI

Chapitre VI : Estimation Des Risques

L'évaluation des risques est l'étape la plus importante dans le processus d'estimation quantitative des risques. Ils sont par définition, le produit entre les probabilités d'occurrence et les conséquences générées.

Pour le projet de la canalisation de liaison GR4, les risques technologiques sont divisés en deux ;

- Risque individuel pour les personnes.
- Effets Dominos pour les installations voisines

VI.1 Risques individuels tenant en compte les scenarios d'accidents retenus

Les résultats de calcul du risque individuel sont représentés, pour chaque élément sensible, comme suit :

VI.1.1 Scénario S01 : Sortie station de compression GR4 au PK0+500

Distance (m)	PF	MF	GF	R	Somme
0	8,97E-09	1,08E-08	2,34E-08	3,83E-08	8,15E-08
50	0,00E+00	0,00E+00	1,63E-08	3,62E-08	5,25E-08
100	0,00E+00	0,00E+00	4,28E-09	3,34E-08	3,77E-08
150	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,01E-08	3,01E-08
200	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,62E-08	2,62E-08

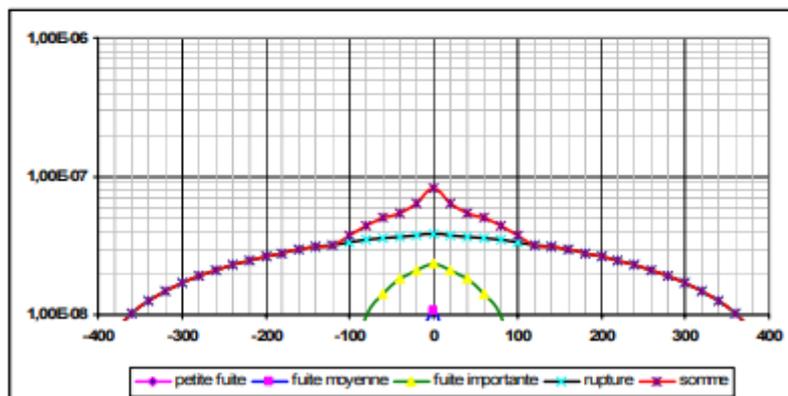


Figure VI-1 sortie station de compression GR4 PK0+500

VI.1.2 Scénario S02 : Voisinage de la station de compression GR1/2 au PK01

Distance (m)	PF	MF	GF	R	Somme
0	1,83E-06	9,22E-07	5,71E-07	4,07E-07	3,73E-06
50	0,00E+00	0,00E+00	3,99E-07	3,85E-07	7,83E-07
100	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-07	3,58E-07	4,62E-07
150	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,25E-07	3,25E-07
200	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,88E-07	2,88E-07

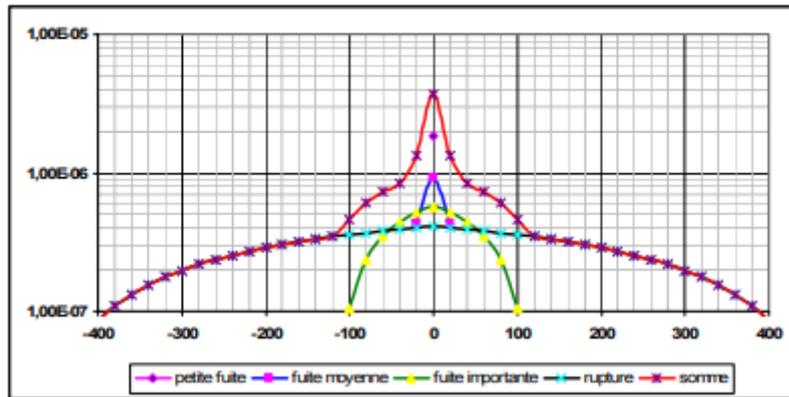


Figure VI-2 Voisinage de la station de compression GR1/2 au PK01

VI.1.3 Scénario S03 : Croisement de la première route R01 au PK02

Distance (m)	PF	MF	GF	R	Somme
0	1,87E-06	9,73E-07	6,82E-07	6,29E-07	4,15E-06
50	0,00E+00	0,00E+00	4,76E-07	6,00E-07	1,08E-06
100	0,00E+00	0,00E+00	1,25E-07	5,65E-07	6,90E-07
150	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,24E-07	5,24E-07
200	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,76E-07	4,76E-07

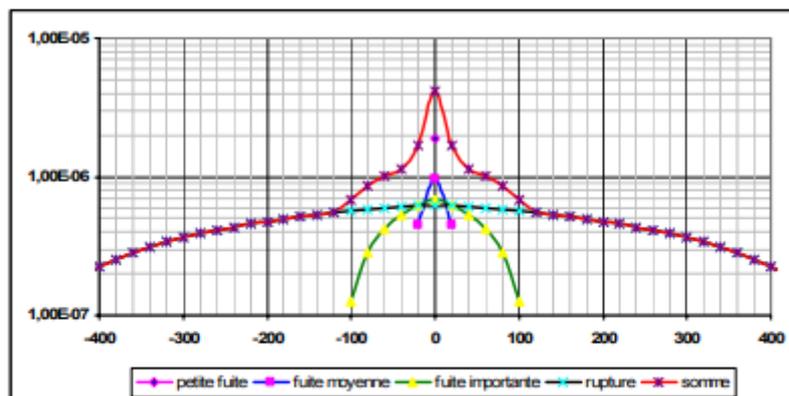


Figure VI-3 Croisement de la première route R01 au PK02

VI.1.4 Scénario S04 : Croisement de la deuxième route R02 au PK02 +500

Distance (m)	PF	MF	GF	R	Somme
0	1,87E-06	9,73E-07	6,82E-07	6,49E-07	4,17E-06
50	0,00E+00	0,00E+00	4,76E-07	6,21E-07	1,10E-06
100	0,00E+00	0,00E+00	1,25E-07	5,88E-07	7,13E-07
150	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,50E-07	5,50E-07
200	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,06E-07	5,06E-07

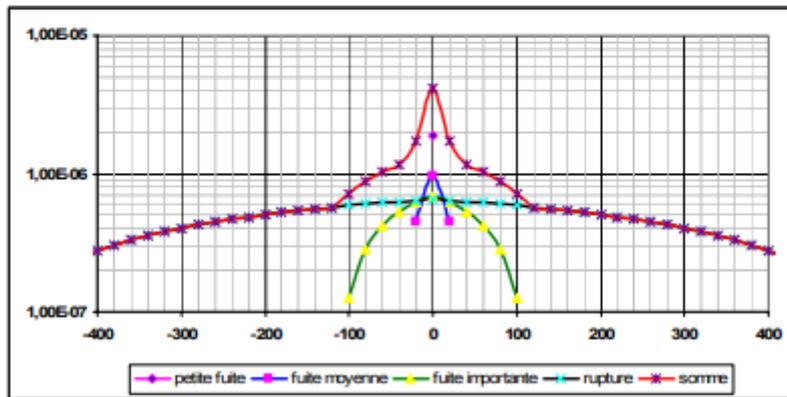


Figure VI-4 Croisement de la deuxième route R02 au PK02 +500

VI.1.5 Scénario S05 : Voisinage de la torche au PK05 +280

Distance (m)	PF	MF	GF	R	Somme
0	1,83E-06	9,22E-07	5,71E-07	4,09E-07	3,73E-06
50	0,00E+00	0,00E+00	3,99E-07	3,87E-07	7,86E-07
100	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-07	3,61E-07	4,66E-07
150	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,30E-07	3,30E-07
200	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,94E-07	2,94E-07

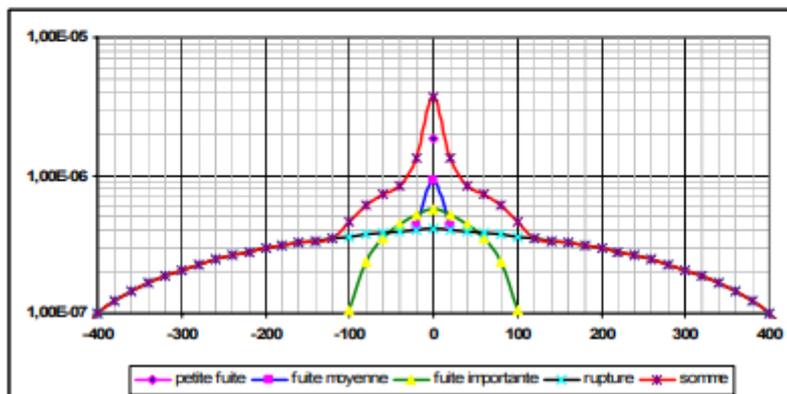


Figure VI-5: Voisinage de la torche au PK05 +280

VI.1.6 Scénario S06 : Voisinage de la torche au PK05 + 472

Distance (m)	PF	MF	GF	R	Somme
0	2,66E-06	1,34E-06	8,20E-07	5,75E-07	5,39E-06
50	0,00E+00	0,00E+00	5,73E-07	5,45E-07	1,12E-06
100	0,00E+00	0,00E+00	1,50E-07	5,08E-07	6,58E-07
150	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,64E-07	4,64E-07
200	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,14E-07	4,14E-07

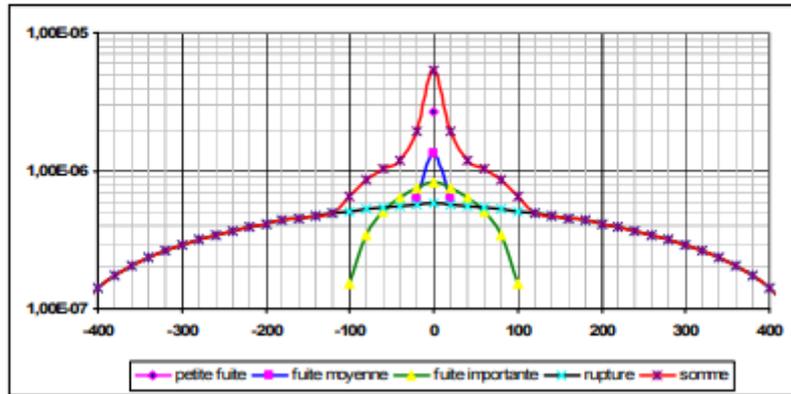


Figure VI-6 Voisinage de la torche au PK05 + 472

VI.1.7 Scénario S07 : Voisinage de l'administration du module 00 au PK05 + 800

Distance (m)	PF	MF	GF	R	Somme
0	1,83E-06	9,22E-07	5,71E-07	4,04E-07	3,73E-06
50	0,00E+00	0,00E+00	3,99E-07	3,79E-07	7,78E-07
100	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-07	3,48E-07	4,53E-07
150	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,11E-07	3,11E-07
200	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,67E-07	2,67E-07

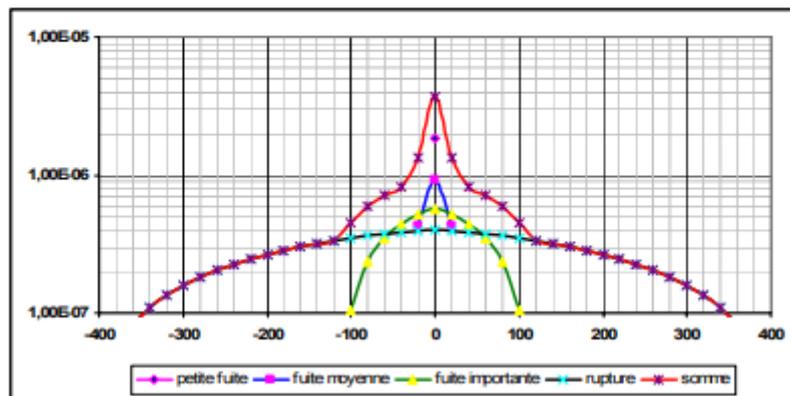


Figure VI-7 Voisinage de l'administration du module 00 au PK05 + 800

VI.1.8 Scénario S08 : Croisement de la route R03 au PK05 + 850

Distance (m)	PF	MF	GF	R	Somme
0	1,87E-06	9,73E-07	6,82E-07	5,79E-07	4,10E-06
50	0,00E+00	0,00E+00	4,76E-07	5,44E-07	1,02E-06
100	0,00E+00	0,00E+00	1,25E-07	4,99E-07	6,24E-07
150	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,45E-07	4,45E-07
200	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,81E-07	3,81E-07

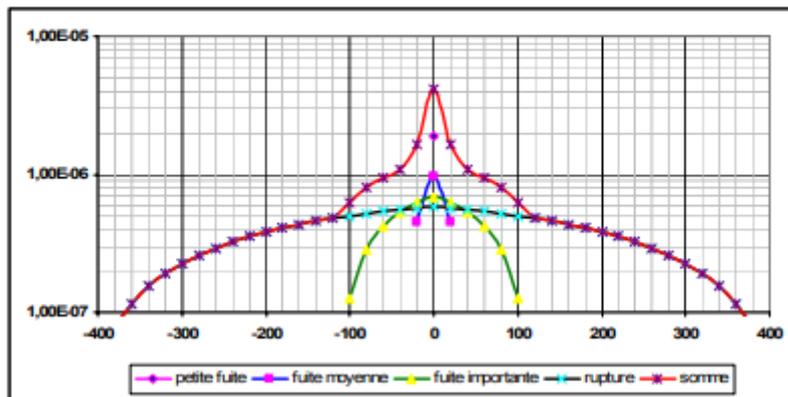


Figure VI-8 Croisement de la route R03 au PK05 + 850

VI.1.9 Scénario S09 : Voisinage du site du module 00 au PK05 + 900

Distance (m)	PF	MF	GF	R	Somme
0	1,83E-06	9,22E-07	5,71E-07	4,03E-07	3,72E-06
50	0,00E+00	0,00E+00	3,99E-07	3,78E-07	7,77E-07
100	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-07	3,47E-07	4,51E-07
150	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,09E-07	3,09E-07
200	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,64E-07	2,64E-07

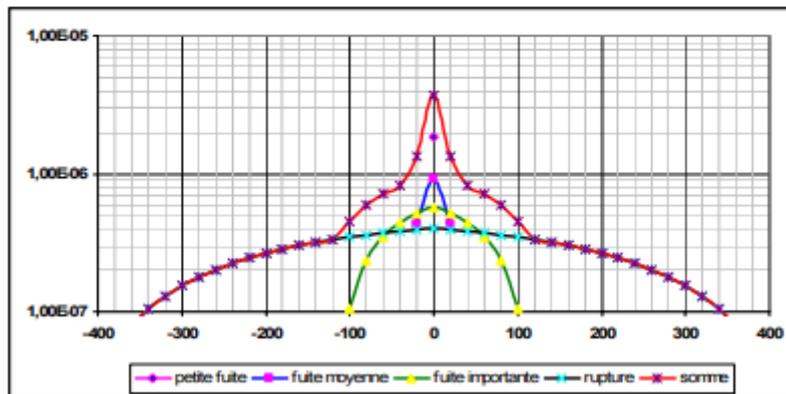


Figure VI-9 Voisinage du site du module 00 au PK05 + 900

VI.1.10 Scénario S10 : Voisinage de la centrale électrique au PK05 + 960

Distance (m)	PF	MF	GF	R	Somme
0	1,83E-06	9,22E-07	5,71E-07	4,03E-07	3,72E-06
50	0,00E+00	0,00E+00	3,99E-07	3,78E-07	7,76E-07
100	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-07	3,46E-07	4,50E-07
150	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,07E-07	3,07E-07
200	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,62E-07	2,62E-07

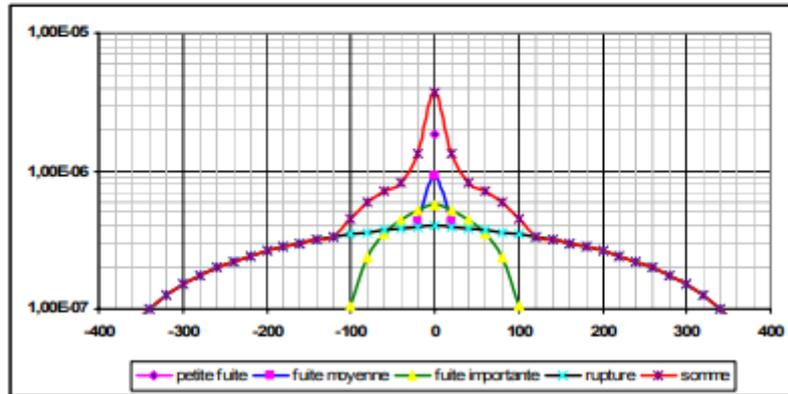


Figure VI-10 Voisinage de la centrale électrique au PK05 + 960

VI.1.11 Scénario S11 : Voisinage du CNDG au PK06

Distance (m)	PF	MF	GF	R	Somme
0	1,83E-06	9,22E-07	5,71E-07	3,93E-07	3,71E-06
50	0,00E+00	0,00E+00	3,99E-07	3,68E-07	7,67E-07
100	0,00E+00	0,00E+00	1,05E-07	3,37E-07	4,42E-07
150	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,99E-07	2,99E-07
200	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,55E-07	2,55E-07

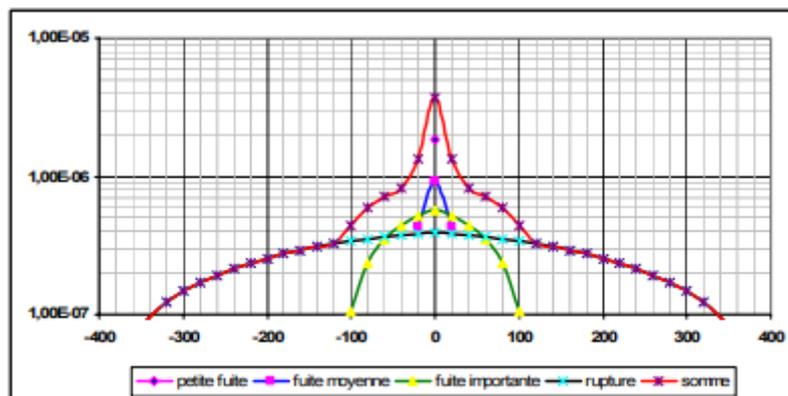


Figure VI-11 Voisinage du CNDG au PK06

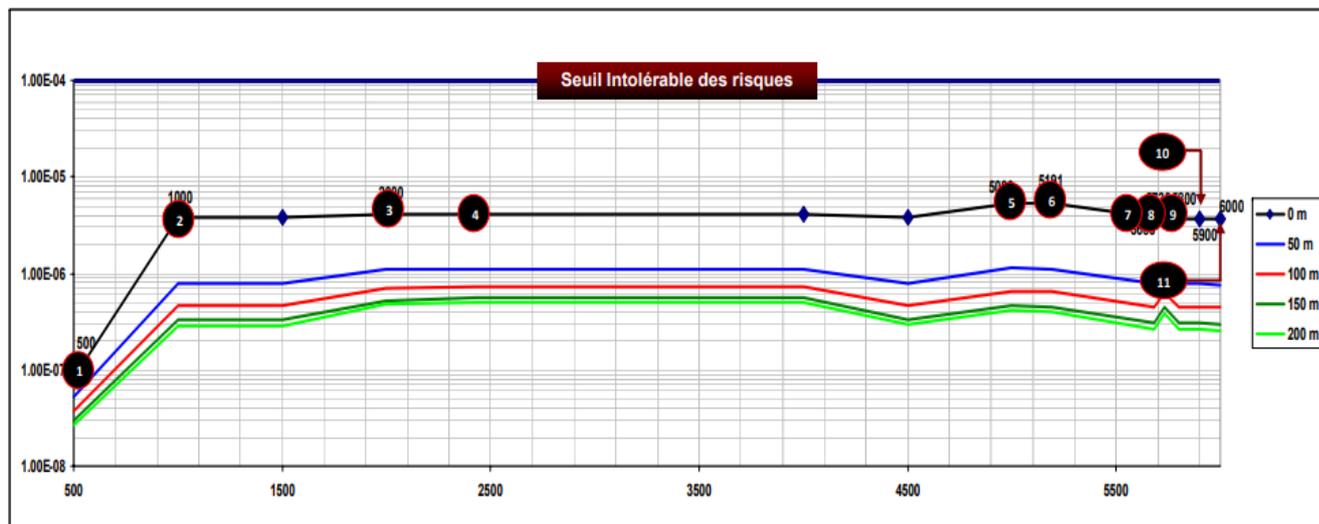


Figure VI-12: Distribution du risque individuel le long du tracé GR4

1 : Sortie station de compression GR4 2 : En face de la station de compression GR1/GR2, 3 : Croisement de route 01 avec un pylône à proximité, 4 : Croisement de route 02, 5 : Torche à proximité côté est. 6 : Torches côté ouest. 7 : Siège module 00 avec pylône à proximité. 8 : Croisement de route 03 avec pylône à proximité. 9 : Bacs de stockage du module 00. 10 : Centrale électrique avec pylônes à proximité. 11 : Gare racleur arrivée avec pylône à proximité.

VI.2 Effets domino sur les infrastructures voisines

VI.2.1 Effet domino sur la station de compression GR4 (Scénario S01)

Nature du scénario	Distance 8kw/m2		Fréquence de fuite	P_infl	P_domino		P_domino-T
	3.5m/s	8.5m/s			3.5m/s	8.5m/s	
PF	3.5	8.5	4.50E-05	0.027	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MF	14.48	14.48	2.25E-05	0.027	6.08E-07	6.08E-07	3.04E-07
GF	35.26	35.26	1.35E-05	0.027	3.65E-07	3.65E-07	1.82E-07
R	133.36	133.36	9.00E-06	0.353	3.18E-06	3.18E-06	1.59E-06
P-dom-Total							2.07E-06

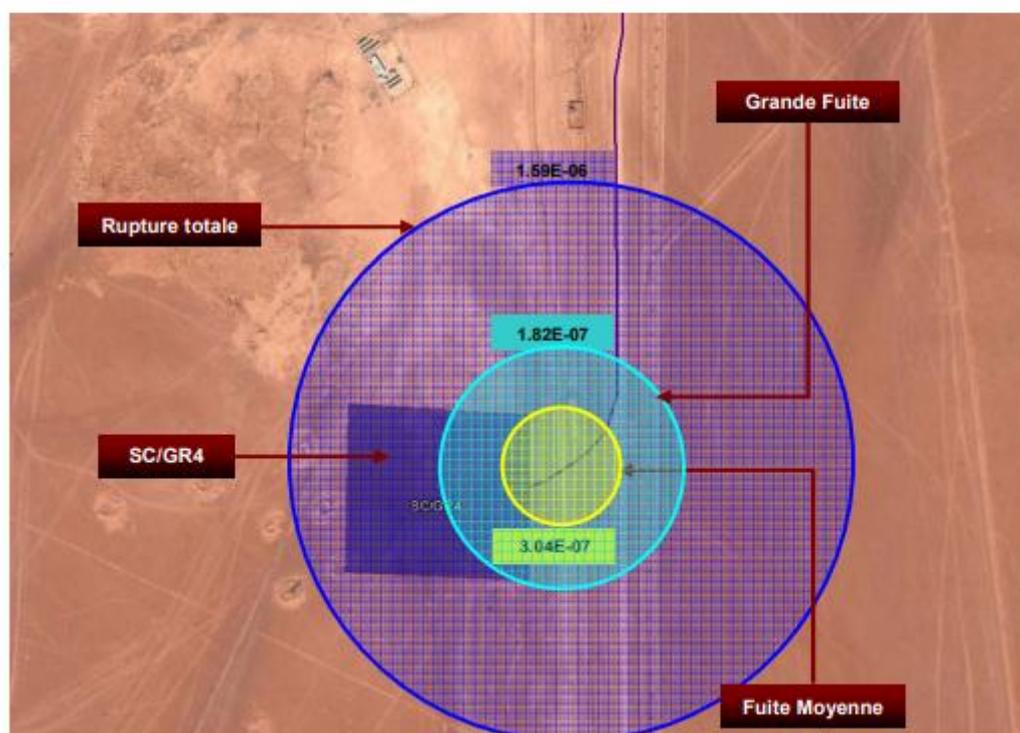


Figure VI-13 VI.2.1 Effet domino sur la station de compression GR4

VI.2.2 Effet domino sur la station de compression GR1/GR2 (Scénario S02)

Nature du scénario	Distance 8kw/m2		Fréquence de fuite	P_infl	P_domino		P_domino-T
	3.5m/s	8.5m/s			3.5m/s	8.5m/s	
PF	14.48	14.48	2.40E-04	0.027	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MF	35.26	35.26	1.20E-04	0.027	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
GF	133.36	133.36	7.20E-05	0.027	1.94E-06	1.94E-06	9.72E-07
R	549.78	549.78	4.80E-05	0.353	1.69E-05	1.69E-05	8.47E-06
P-dom-Total							9.44E-06

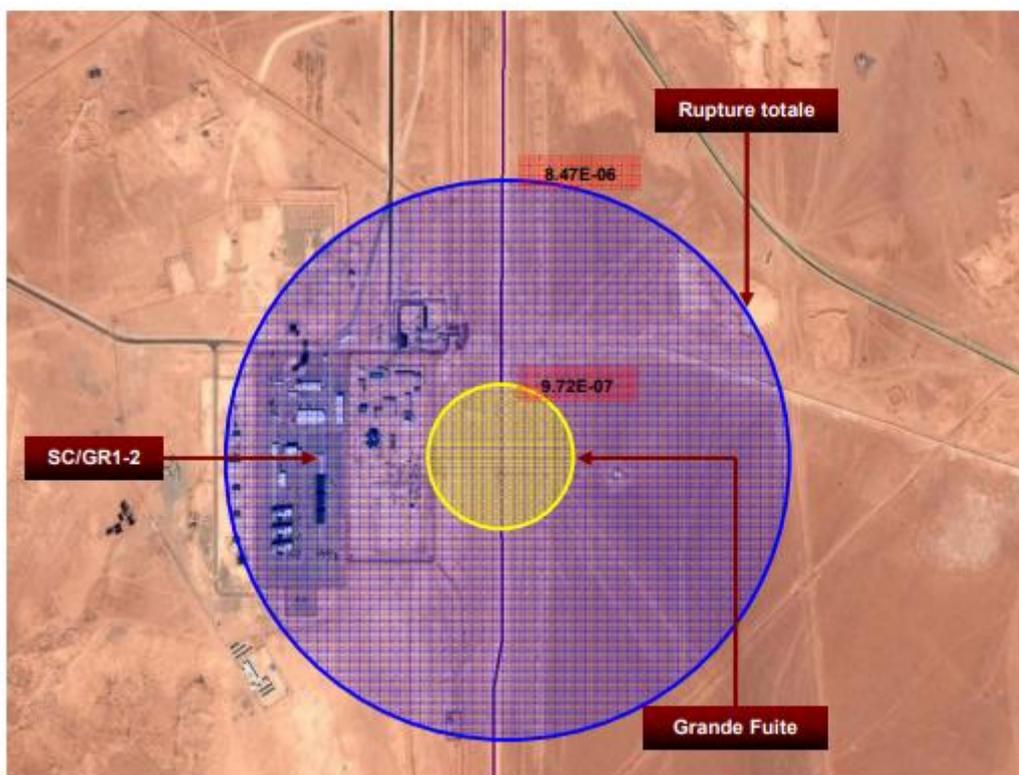


Figure VI-14 Effet domino sur la station de compression GR1/GR2

VI.2.3 Effet domino sur le site du module 00, centrale électrique et CNDG (Scénario S09, S10, S11)

Nature du scénario	Distance 8kw/m2		Fréquence de fuite	P_infl	P_domino		P_domino-T
	3.5m/s	8.5m/s			3.5m/s	8.5m/s	
PF	16.5	16.5	2.25E-04	0.027	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MF	37.44	37.44	1.13E-04	0.027	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
GF	138.54	138.54	6.75E-05	0.027	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
R	485.5	485.5	4.50E-05	0.353	1.59E-05	1.59E-05	7.94E-06
P-dom-Total							7.94E-06

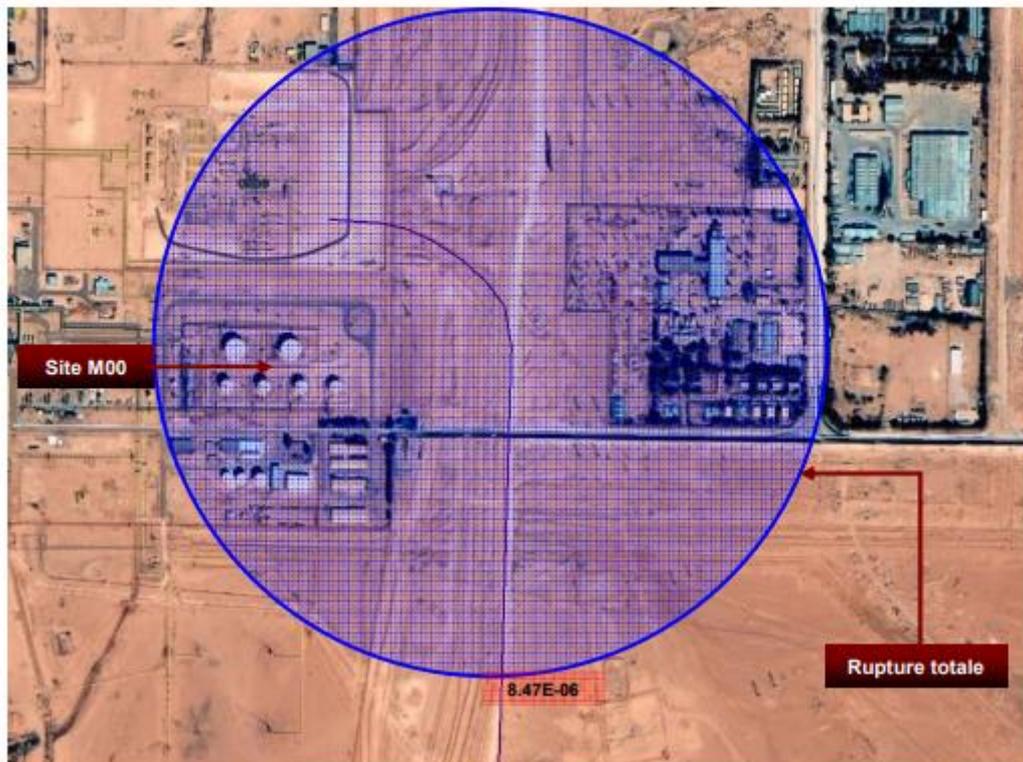


Figure VI-15 Effet domino sur le site du module 00, centrale électrique et CNDG

VI.2.4 Effet domino sur la centrale électrique, CNDG et Site du module00 (Scénario S10, S11 et S09)

Nature du scénario	Distance 8kw/m2		Fréquence de fuite	P_infl	P_domino		P_domino-T
	3.5m/s	8.5m/s			3.5m/s	8.5m/s	
PF	16.5	16.5	2.10E-04	0.027	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MF	37.44	37.44	1.05E-04	0.027	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
GF	138.54	138.54	6.30E-05	0.027	1.70E-06	1.70E-06	8.51E-07
R	506.54	506.54	4.20E-05	0.353	1.48E-05	1.48E-05	7.41E-06
P-dom-Total							8.26 E-06

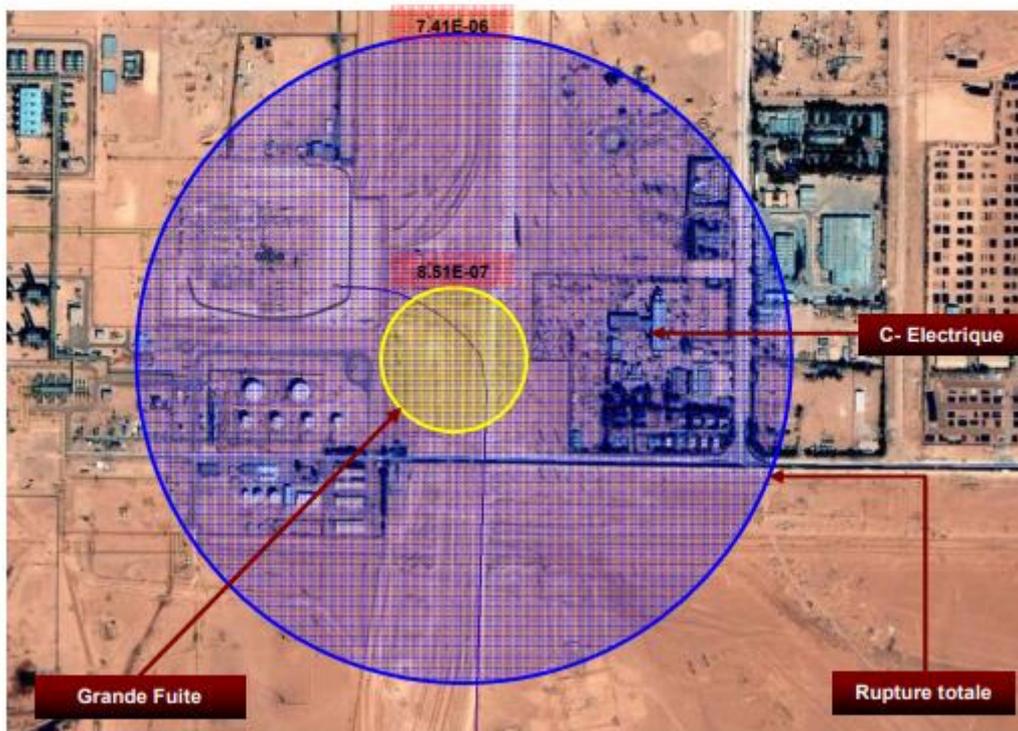


Figure VI-16 Effet domino sur la centrale électrique, CNDG et Site du module00

VI.2.5 Effet domino sur le CNDG, centrale électrique et site du module 00 (Scénario S11, S10 et S09)

Nature du scénario	Distance		Fréquence de fuite	P_infl	P_domino		P_domino-T
	3.5m/s	8.5m/s			3.5m/s	8.5m/s	
PF	16.5	16.5	2.10E-04	0.027	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MF	37.44	37.44	1.05E-04	0.027	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
GF	138.54	138.54	6.30E-05	0.027	1.70E-06	1.70E-06	8.51E-07
R	479.74	479.74	4.20E-05	0.353	1.48E-05	1.48E-05	7.41E-06
P-dom-Total							8.26 E-06

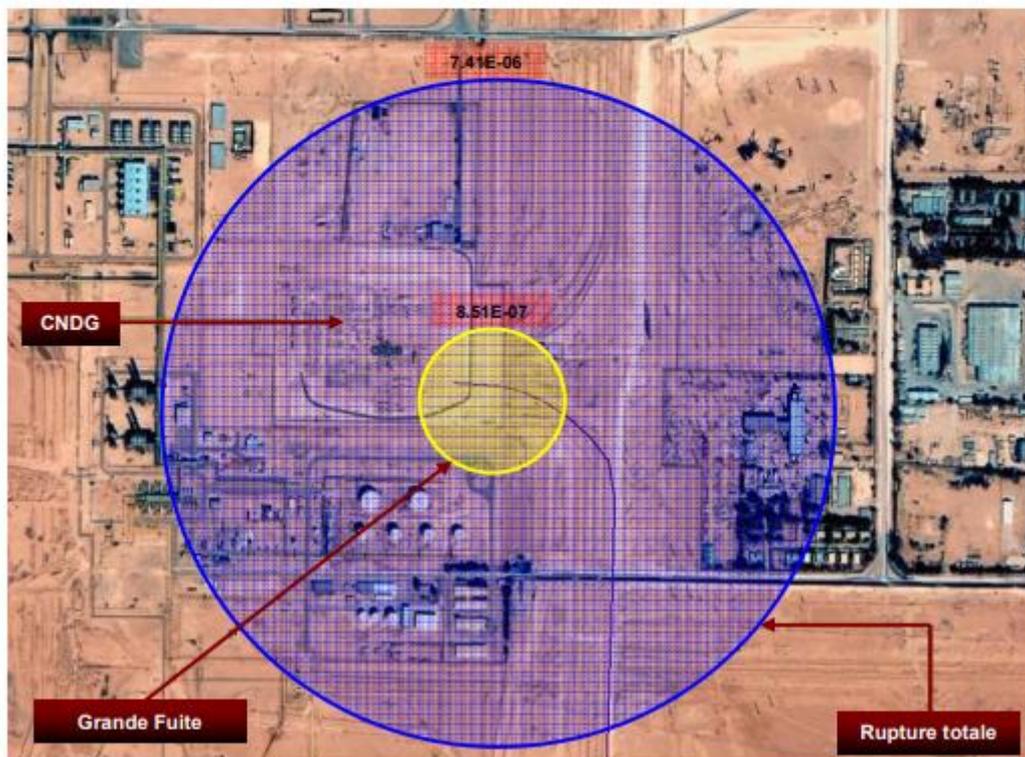


Figure VI-17 Effet domino sur le CNDG, centrale électrique et site du module 00

Chapitre VII

Chapitre VII: Estimation du Taux de Défaillance de la Canalisation en Fonction du Temps et son Impact dans une Analyse QRA

Les gazoducs étant des structures en acier, ils sont souvent affectés par des phénomènes de corrosions qui agissent directement sur leur intégrité. L'inspection périodique des pipelines par outils intelligent est une tâche importante de la maintenance de ces ouvrages elle a lieu tous les dix ans en moyenne. Les progrès accomplis dans ce domaine permettent à l'heure actuelle la détection et la localisation de pratiquement tous les défauts de corrosion avec une précision de plus en plus importante. Les résultats bruts de ces inspections sont fournis sous la forme de tableaux ou sont répertoriés essentiellement les positions géodésiques des points de corrosions et leurs dimensions. C'est à partir des résultats de ces inspections que nous allons pouvoir estimer le taux de défaillance de la canalisation et son évolution dans le temps par une analyse structurale probabiliste. Cette démarche permet une estimation dynamique de la fréquence de défaillance du pipeline qui évolue dans le temps ce qui autorise une évaluation du risque sur un pipeline en fonction des années.

VII.1 Analyse structurale probabiliste :

L'analyse structurale probabiliste peut être définie comme une méthode de formuler un problème via un modèle mathématique par l'intermédiaire duquel il devient possible de calculer la probabilité qu'une structure se retrouve dans un état spécifique sachant qu'une ou plusieurs de ses propriétés de résistance sont aléatoires ou mal connues et /ou les charges sur cette structure sont aléatoires ou mal connues.

L'égalité de la charge et la résistance caractérise l'état limite. Quand la charge devient supérieure à la résistance, la défaillance se produit. Ainsi, si l'on suppose que :

$$G(r, c) = R - C$$

R : représente la résistance de la structure.

C : la charge appliquée, il vient.

$G(r, c)$: La fonction d'états limite

En considérant que la charge C et la propriétés de résistance R sont respectivement définies par les fonctions de densité de probabilité $f_c(c)$ et $f_r(r)$, la probabilité de défaillance est alors donnée par l'expression :

$$p_f = P(G = R - C \leq 0) = \iint f_{RCi}(r, c) drdc$$

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

$f_{RC}(r, c)$: Fonction de probabilité jointe

Ramené au cas d'un pipeline corrodé, il paraît judicieux de considérer comme charge la dimension de perte de métal et comme condition de résistance la profondeur admissible du défaut. Autrement dit :

$$f_c(c) = f_d(d), f_r(r)$$

VII.1.1 Méthodologie :

L'analyse des défauts de corrosion nécessite plusieurs paramètres tels que les caractéristiques du pipeline : géométrie du pipeline, propriétés des matériaux, pression de service, date de mise en service ; mais aussi les propriétés des défauts : caractéristiques des défauts (longueur, largeur et profondeur).

La valeur des paramètres énumérés ci-dessus est souvent entachée d'une incertitude qui doit être prise en compte

Au lieu de considérer des valeurs prudentes pour ces paramètres, l'approche probabiliste considère des variables aléatoires définies par des fonctions de distribution statistique.

L'utilisation d'une approche probabiliste offre plusieurs avantages :

L'approche est plus conforme à la réalité en évitant un conservatisme excessif, elle offre la possibilité de définir un niveau commun de fiabilité sur les infrastructures gazières, et la possibilité d'intégrer ces paramètres pour évaluer le risque de défaillance.

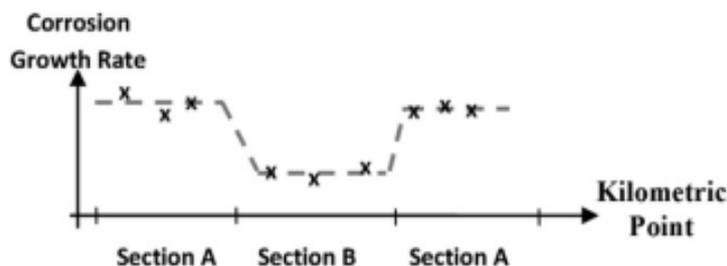


Figure VII-1 Illustration d'une division du pipeline en section homogène en fonction des différentes vitesses de corrosion

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

VII.1.2 Méthode de calculs :

Dans ce qui suit un exemple de la méthodologie de calcul a été présenté. On a choisi à titre illustratif un échantillon de neuf valeurs. Sachant que l'inspection nous a fourni 5307 points de corrosion et que notre travail s'est fait en considérant tous les résultats d'inspection :

Résultats de l'inspection du gazoduc :

L'inspection en ligne d'un gazoduc par outil intelligent nous a permis d'obtenir un tableau dans lequel est répertorié l'ensemble les défauts de corrosion comme suit :

N° de défauts	1	18	95	200	1000	2200
x(m)	3244,7	8982,9	87901,3	24673,7	24695,2	25130,5
t(mm)	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7
d(%)	21,0	65,0	80,0	11,0	16,0	8,0
L(mm)	256	256	256	256	256	256

Tableau VII-11 échantillon des résultats d'inspection

VII.2 : Analyse structurale probabiliste et risque de défaillance

VII.2.1 Paramètres de la courbe de charge:

La courbe de charge représentant la perte de métal enregistré est obtenue en tenant compte de la variabilité de l'erreur de mesure.

- Profondeur de corrosion et erreur de mesure associée :

La profondeur de corrosion (d) est donnée dans les résultats d'inspections pour chaque point en pourcentage (%) par rapport à l'épaisseur de la canalisation (t). De même pour l'erreur de mesure (ϵ) qui est de 10% de l'épaisseur de la canalisation :

$$d_1 = d(\%) \times t$$
$$\epsilon = 10\% \times t$$

Exemple de calcul sur le premier défaut permettant de déduire les paramètres de la loi de distribution de la courbe de charge:

$$d_1 = 21\% \times 12,7 \text{ et } \epsilon = 10\% \times 12,7$$

$$d_1 = 2,667 \text{ mm} \quad \epsilon = 1,27 \text{ mm}$$

VII.2.2 Ecart-type des défauts de corrosion (σ_{ecart1}) :

Pour déterminer l'écart-type on trouve d'abord la valeur maximale de la profondeur corrosion (d_{max}) en rajoutant à la profondeur de corrosion (d) l'erreur de mesure (ϵ) :

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

$$d_{\max 1} = d_1 + \varepsilon \dots$$

L'écart-type est ensuite obtenu comme suit :

$$\sigma_{\text{ecart1}} = \frac{d_{\max 1} - d_{\text{moy1}}}{2} \dots \dots \dots$$

Exemple de calcul sur le premier défaut :

$$d_{\max 1} = 2,667 + 1,27 = 3,937 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{ecart1}} = \frac{3,937 - 2,667}{2} = 0,635 \text{ mm}$$

Paramètre de la courbe de charge pour quelques données d'inspection:

N° de défauts	1	18	95	120	200	1000	2200	3500	4000
x(m)	3244,7	8982,9	87901,3	24673,7	24695,2	25130,5	64514,1	70615,5	72172,1
L(mm)	256	256	256	256	256	256	256	256	256
μ	2.667	8.255	10.160	1,27	7.250	3.680	7.490	2.790	5.585
d_{max} (mm)	3,937	9.525	11.43	2,6669	3,3019	2,2859	5,7149	7,7469	5,4609
σ_{ecar}	0,635	0,635	0.635	0.635	0.635	0.635	0,635	0,635	0,635

Tableau VII 4 résultats σ_{ecart} pour échantillon considéré

VII.2.3 Les paramètres de la courbe de résistance:

La résistance de la canalisation est représentée par la profondeur critique ou (limite) de corrosion au-delà de laquelle il y a rupture de la canalisation. Elle est donnée par la norme ANSI / ASME B31G comme suit :

Si $G \leq 4$:

$$d_{\text{cr}} = \left(\frac{1.1\text{PMS} - P_{\text{op}}}{\frac{2}{3} \left(1.1\text{PMS} - \frac{P_{\text{op}}}{M_1} \right)} \right) * t$$

Si $G \geq 4$:

$$d_{\text{cr}} = \left(\frac{1.1\text{PMS} - P_{\text{op}}}{1.1\text{PMS}} \right) * t$$

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

t : épaisseur (mm)

P_{op} : Pression opérationnelle (bar)

M= Facteur de Folias qui est égale :

$$M_1 = \sqrt{1 + G_1^2} \quad \text{et} \quad G_1 = 0.893 \frac{L}{\sqrt{Dt}}$$

La courbe de résistance représentant la perte de métal critique est obtenue en tenant compte de la variabilité de la limite d'élasticité et de la pression d'opération s'exerçant au niveau du défaut. La démarche permettant de la construire est la suivante :

- génération d'un échantillon de valeur de σ élastique par une loi normale:

Pour tenir compte de la variabilité de la contrainte d'élasticité on procèdera à la génération d'un échantillon de cinquante valeurs de la limite d'élasticité selon une loi normale de manière à obtenir un échantillon de valeurs probabilistes de la perte de métal critique. C'est avec cet échantillon de valeur que sera construite la courbe de résistance.

La loi normale : En théorie des probabilités et en statistique, la loi normale est l'une des lois de probabilité les plus adaptées pour modéliser des phénomènes naturels issus de plusieurs événements aléatoires. Elle est donnée comme suit :

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

x : La variable contrainte d'élasticité

μ : est la moyenne

σ : est l'écart-type

La représentation d'une loi normale est la suivante :

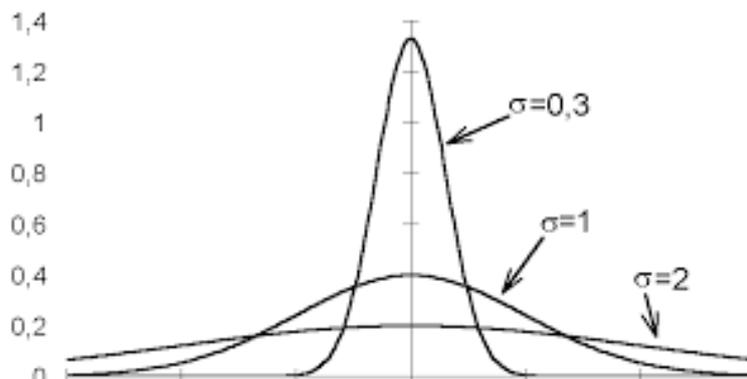


Figure VII-2 Représentation d'une loi normale

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

Sur la base les données suivantes du pipeline:

➤ Type d'acier X52; D = 1016 mm; $\sigma_{e \min} = 3590$ bar; $\sigma_{e \max} = 5310$ bar.

- On calcul σ_{moy} et σ_{ecart} :

$$\sigma_{moy} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad ; \quad \sigma_{ecart} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{moy}}{1.96}$$

$$\sigma_{moy} = \frac{5310 + 3590}{2} = 4450 \text{ bar} \quad ; \quad \sigma_{ecart} = \frac{5310 - 4450}{1.96} = 430 \text{ bar}$$

On génère alors un échantillon de contrainte d'élasticité suivant une loi normale:

N° de défauts	σ_e bar
1	4108.86
18	4850.08
95	4333.10
120	4722.68
200	4368.10
1000	3498.99
2200	4311.71
3500	3281.6
4000	4074.66

Tableau VII-2 échantillon des valeurs générées de σ_e

Détermination de la distribution de la pression d'opération :

La pression d'opération est la pression exercée par le gaz véhiculé à travers le pipeline sur chacun des points de corrosion. Par définition cette pression est différente d'un point à un autre étant donné que la pression à l'intérieur du pipeline n'est pas constante, elle évolue suivant l'expression ci-dessous :

$$P_{op} = \sqrt{P_i^2 - (P_i^2 - P_f^2) * \frac{x}{L}}$$

P_{op} : Pression d'opération exercée sur chaque point de corrosion située à une distance x.

P_i : Pression initiale.

P_f : Pression finale.

L : longueur du pipeline

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

Exemple de calcul de P_{op} sur le premier défaut :

$$P_{op} = \sqrt{70^2 - (70^2 - 48^2) * \frac{3244,7}{112250,8}}$$

$$P_{op} = 69,4619417 \text{ bars}$$

Résultats de pression exercée sur chaque point de corrosion :

N° de défauts	1	18	95	120	200	1000	2200	3500	4000
x(m)	3244,7	8982,9	87901	24673,7	2469,2	25130,5	64514,1	70615,5	72172,1
P_{op} (bar)	69,461	68,499	68,498	65,798	65,794	65,717	58,378	57,156	56,840

Tableau VII-3 valeurs de pression d'opération exercée sur chaque défaut de corrosion

Pression maximale de service :

C'est la pression maximale de fonctionnement avec laquelle on peut exploiter le gazoduc elle déterminée comme suit :

$$PMS = \frac{2t\sigma_e}{D}$$

t = épaisseur du conduite

σ_e = limite d'élasticité de l'acier

D = diamètre extérieur de la conduite

Exemple de calcul pour le premier défaut :

$$Pms = \frac{2 \times 12,7 \times 4108,86}{1016} = 102,721551 \text{ bar}$$

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

Les valeurs de la PMS pour différents défauts sont mentionnées comme suit :

N° de défauts	X(m)	PMS (bar)
1	3244.7	102.72151
18	8982.9	121.25215
95	87901,3	108.3277725
120	24673.7	118.067067
200	24695.2	109.202725
1000	25130.5	87.474934
2200	64514.1	107.79279
3500	70615.5	82.0400774
4000	72172.1	101.8665

Tableau VII-4 valeurs de la PMS pour un certains nombres de défauts

Construction de la courbe de résistance par la norme ANSI/ASME B31G :

Exemple de calcul perte de métal critique pour le premier défaut:

On a :
$$G_1 = 0,893 \frac{256}{\sqrt{1016*12,7}} = 2.012531607$$

Et :
$$M_1 = \sqrt{1 + 2.012531607^2} = 2.247283576$$

On aura alors :

$$d_{cr} = \left[\frac{1,1*102,7215 - 694619417}{\frac{2}{3}(1,1*102,7215 - \frac{69,4619417}{1,05559115})} \right] \times 12,7 = 11.9827 \text{ mm}$$

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

Les résultats suivants sont obtenus pour le reste de l'échantillon:

N° de défauts	x(m)	PMS (bar)	G ₁	M ₁	dcr1 (mm)
1	3244,7	102,721551	0,3	1,05559115	11,982
18	8982,9	121,25215	0,7468379	1,2481053	12,0995431
95	87901,3	108,327728	0,13364468	1,00889093	12,0995807
120	24673,7	118,067067	0,14936758	1,0110938	12,0995816
200	24695,2	109,202725	0,22012064	1,02393999	12,0995819
1000	25130,5	87,474934	0,2279821	1,02565873	12,0995822
2200	64514,1	107,79279	0,19653629	1,01913027	12,0995913
3500	70615,5	82,0400774	0,2279821	1,02565873	12,0995973
4000	72172,1	101,866584	0,30659661	1,04594526	12,0996074

Tableau VII-5 échantillon des valeurs de dcr

En associant à chaque défaut non pas une valeur de contrainte d'élasticité comme c'est le cas dans le tableau précédent mais un échantillon de 50 valeurs de contraintes d'élasticité générées suivant une loi normale comme vu précédemment, on obtient alors un échantillon de perte de métal limite pour chaque défaut enregistré permettant de déduire les paramètres de la courbe de résistance à savoir moyenne et écart-type.

Les paramètres de la courbe de charge représentant la perte de métal enregistré en tenant compte de la variabilité de l'erreur de mesure et ceux de la courbe de résistance représentant la perte de métal critique tenant compte de la variabilité de la limite d'élasticité permettent de déduire les paramètres de la fonction d'état limite à l'origine de l'estimation de la probabilité de rupture du défaut.

Trois défauts différents issus des résultats d'inspection ont été sélectionnés pour calculer leur probabilité de défaillance

D (%)	D(mm)	σ	σ_{cr}	μ	μ_{cr}
21	2.667	0.635	0,693	2.667	11.896
65	8.255	0.635	0,690	8.225	11,925
80	10.60	0.635	0,690	10.6	11,925

Tableau VII-6 Paramètres des courbes de charge et de résistance pour trois défauts différents

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

Pour tracer la courbe de la fonction d'état limite permettant de déterminer la probabilité de défaillance du défaut considéré, il est nécessaire de calculer l'écart type σ et la moyenne (μ) de cette fonction.

Ces paramètres permettent de déterminer l'Indice de Cornell β

VII.2.4 Indice de Cornell :

L'indice de Cornell permet d'obtenir la probabilité de défaillance d'un défaut comme suit :

$$\beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G} = \frac{\mu_{cr} - \mu}{\sqrt{\sigma_{cr}^2 + \sigma^2}}$$
$$\beta = \frac{11.89652506 - 2,667}{\sqrt{0,693494735^2 + 0,635^2}} = 9,815534066$$

D (%)	D(mm)	σ	σ_{cr}	μ	μ_{cr}	B
21	2.667	0.635	0,693	2.667	11.896	9,815
65	8.255	0.635	0,690	8.225	11,925	3,913
80	10.6	0.635	0,690	10.6	11,925	1,882

Tableau VII-7 'indice de Cornell pour les défauts considérés

VII.3 Courbe de charge, de résistance et fonction d'état limite :

VII.3.1 Pour un défaut de 21% de l'épaisseur:

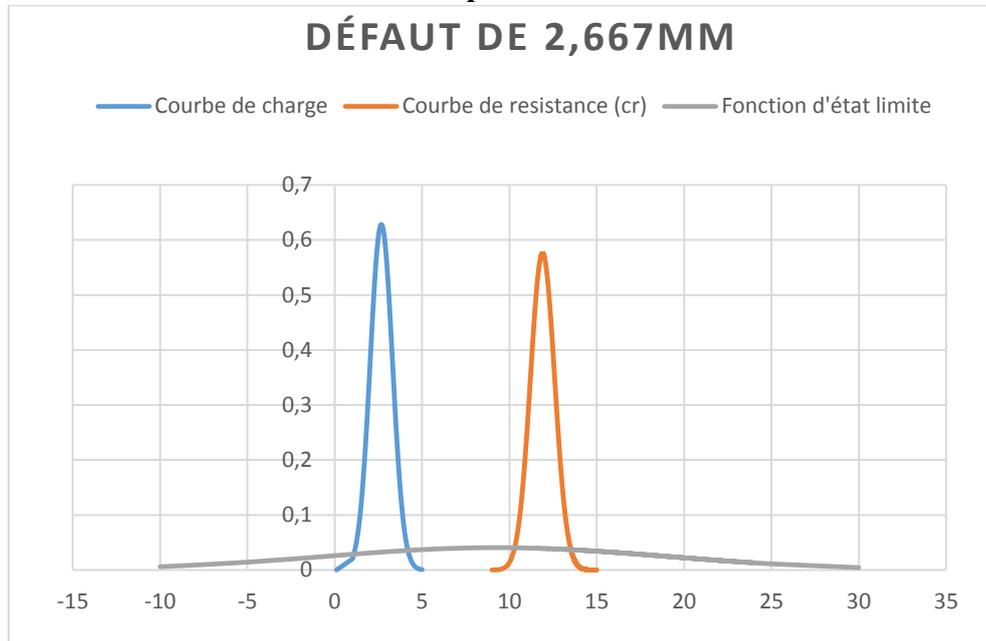


Figure VII-3 Représentation des différentes courbes charge, résistance et état limite pour un défaut de 21%

VII.3.2 Pour un défaut de 65% de l'épaisseur:

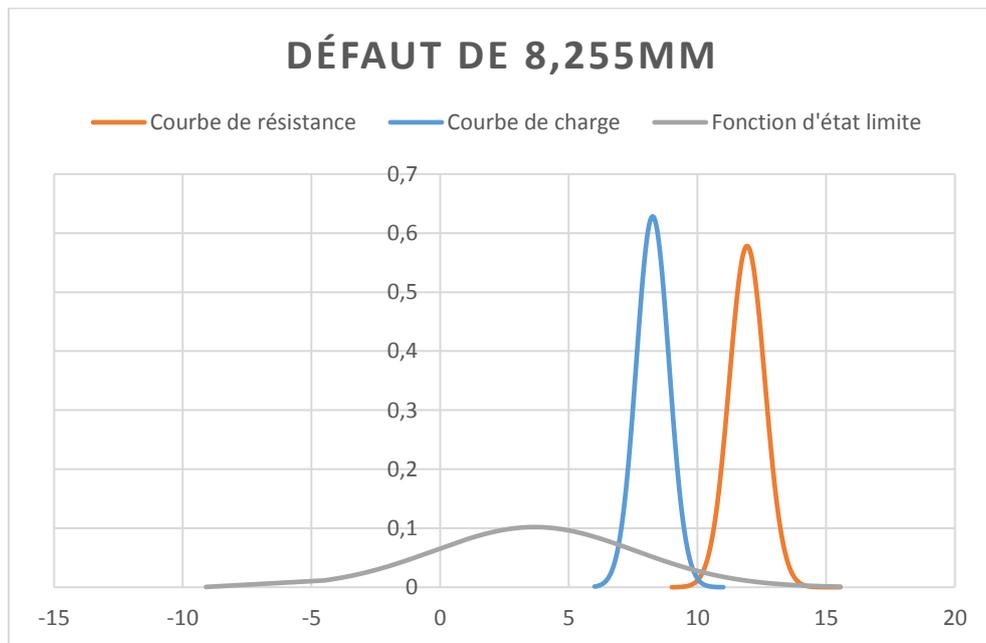


Figure VII-4 Représentation des différentes courbes charge, résistance et état limite pour Un défaut de 65%

VII.3.3 Pour un défaut de 80% de l'épaisseur:

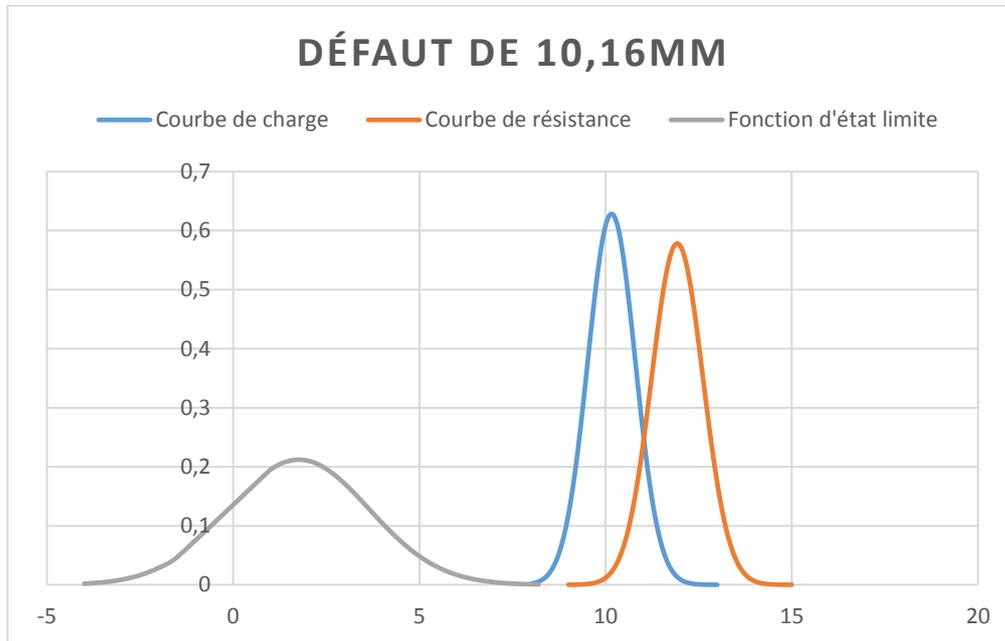


Figure VII-5 VII-6 Représentation des différentes courbes charge, résistance et état limite pour
Un défaut de 80%

VII.3.4 Analyse des graphes :

- Pour le défaut de 2.667mm qui est relativement faible, on remarque que la courbe de charge et la courbe de résistance ne se croisent que légèrement par conséquent l'aire sous la courbe de la fonction d'état limite de moins l'infini à zéro est faible.
- Pour le défaut de 8.255 mm qui est un peu plus important, on remarque que la courbe de charge et la courbe de résistance se croisent d'une manière plus prononcées par conséquent l'aire sous la courbe de la fonction d'état limite de moins l'infini à zéro augmente.
- Pour le défaut de 10.16 mm qui peut être considéré comme un défaut sévère, on remarque l'intersection de la courbe de charge et la courbe de résistance est encore plus importante par conséquent l'aire sous la courbe de la fonction d'état limite de moins l'infini à zéro augmente encore plus.

VII.4 La probabilité de défaillance :

Elle est donnée par l'expression suivante (Cornell 1969) ou les valeurs de la probabilité de défaillance de chaque point sont obtenues sur base d'une loi normale standard :

$$P_{fij} = \varphi(-\beta_c)$$

Si l'on considère que la profondeur des défauts de corrosion évolue linéairement avec une vitesse de corrosion de 0.14mm/an

Alors : $d(t)=d_0+vt$

On peut alors obtenir la probabilité de défaillance du défaut en fonction du temps

Φ : est la fonction cumulative de la loi normale standard.

- Probabilité de défaillance pour la première année :

$$P_{f_{11}} = \varphi(-\beta_{c1})$$

$$P_{f_{11}} = \varphi(-13,4) = 3,064687E - 41$$

- Probabilité de défaillance pour la deuxième année :

$$P_{f_{12}} = \varphi(-\beta_{c2})$$

$$P_{f_{12}} = \varphi(-13,2) = 6,38828E-40$$

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

On obtient alors les valeurs suivantes pour les sept premières années :

p7(z<0)s tat	1,886 3E-32	4,918 5E-44	2,538 3E-22	2,342 3E-40	1,340 4E-35	5,253 1E-17	8,067 9E-20	1,009 3E-16	5,161 E-19	4,189 5E-25	3,099 6E-32	4,053 4E-44	1,852 7E-34	1,355 4E-41
p6(z<0)s tat	1,218 E-33	2,061 E-45	2,723 9E-23	1,014 5E-41	7,019 E-37	7,572 7E-18	9,852 7E-21	1,527 9E-17	6,652 6E-20	3,695 3E-26	1,887 5E-33	1,539 2E-45	1,019 4E-35	5,611 7E-43
p5(z<0)s tat	7,466 2E-35	8,288 1E-47	2,759 5E-24	4,182 E-43	3,483 1E-38	1,027 E-18	1,133 5E-21	2,181 E-18	8,079 4E-21	3,071 3E-27	1,086 6E-34	5,584 4E-47	5,311 E-37	2,213 9E-44
p4(z<0)s tat	4,348 8E-36	3,203 8E-48	2,639 3E-25	1,642 8E-44	1,639 7E-39	1,309 9E-19	1,228 3E-22	2,934 4E-19	9,243 2E-22	2,406 1E-28	5,918 4E-36	1,938 9E-48	2,622 4E-38	8,335 E-46
p3(z<0)s tat	2,409 2E-37	1,192 4E-49	2,384 E-26	6,159 3E-46	7,331 2E-41	1,570 6E-20	1,253 6E-23	3,720 3E-20	9,960 5E-23	1,777 3E-29	3,052 6E-37	6,452 8E-50	1,228 5E-39	2,999 E-47
p2(z<0)s tat	1,270 7E-38	4,280 3E-51	2,034 E-27	2,207 3E-47	3,116 9E-42	1,770 2E-21	1,205 2E-24	4,443 8E-21	1,011 E-23	1,238 5E-30	1,492 5E-38	2,062 2E-51	5,466 1E-41	1,032 9E-48
p1(z<0)s tat	6,388 3E-40	1,484 5E-52	1,639 9E-28	7,573 3E-49	1,261 8E-43	1,875 E-22	1,091 5E-25	4,999 9E-22	9,665 5E-25	8,145 9E-32	6,924 9E-40	6,340 2E-53	2,313 1E-42	3,411 3E-50
p0(z<0)s tat	3,064 9E-41	4,983 6E-54	1,25E- 29	2,492 E-50	4,870 5E-45	1,866 2E-23	9,313 6E-27	5,298 9E-23	8,705 1E-26	5,06E- 33	3,052 5E-41	1,878 8E-54	9,321 3E-44	1,082 2E-51
Défaut en mm T=0	2.67	1.40	4.06	2.03	2.54	5.08	4.57	5.08	4.70	3.81	2.92	1.65	2.67	14.19

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

Tableau VII-8 évolution de la probabilité de défaillance d'un échantillon de défauts en fonction des années

VII.4.1 La probabilité de défaillance annuelle de chaque défaut :

La probabilité de défaillance annuelle du défaut de corrosion i est donnée par la relation suivante :

$$pof_j(T_i; T_{i+1}) = \frac{p_j(T_{i+1}) - p_j(T_i)}{1 - p_j(T_i)}$$

Pof (tj+1) : Probabilité de défaillance du défaut de corrosion 1 année après inspection.

Pof (tj) : Probabilité de défaillance du défaut de corrosion au moment de l'inspection.

Ce tableau représente les Résultats de calcul de la probabilité de défaillance annuelle pour les 10 premiers défauts entre T=0 et T=1 an

POFj[Ti ; Ti+1]	6,0817 9E-40	1,4347 E-52	1,5149 E-28	7,3241 E-49	1,2131 E-43	1,6884 E-22	9,9835 E-26	4,47E -22	8,795E -25	7,6399 E-32
------------------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	--------------	---------------	----------------

Tableau VII-9Echantillon des résultats de P_of ann (tj;tj+1)

VII.4.2 La probabilité de défaillance annuelle d'un tronçon de pipeline:

La probabilité annuelle de défaillance par kilomètre d'une conduite est calculée :

$$POF[T_i; T_{i+1}] = 1 - \prod_j (1 - pof_j[T_i; T_{i+1}])$$

Le résultat correspond à la probabilité qu'une panne se produise sur un kilomètre pendant une période de [Ti ; Ti+1]. Dans cette formule, (j) représente tous les défauts qui appartiennent au kilomètre considéré

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

VII.4.2.1 Taux de défaillance de la canalisation :

Le taux de défaillance de la conduite par kilomètre est déterminé par la formule suivante :

$$\lambda(t_j, t_{j+1}) = \frac{\sum_{j=1}^n P_{of}^{ann}(t_j, t_{j+1})}{L_{pipe}}$$

L_{pipe} : La longueur du pipe ou du tronçon inspecté.

P_{of}^{ann} : Probabilité de défaillance annuelle totale du pipeline.

On obtient par cette relation l'évolution du taux de défaillance annuel pour une période de 15 ans:

Années	Taux de défaillance
0-1	8,02959E-06
1-2	1,5458E-05
2-3	2,8706E-05
3-4	5,1489E-05
4-5	8,9299E-05
5-6	0,00014989
6-7	0,00024372
7-8	0,0005869
8-9	0,00086969
9-10	0,00124971
10-11	0,00174095
11-12	0,0023503
12-13	0,00307344
13-14	0,00389141
14-15	0,00476934

Tableau VII-10 Evolution du taux de défaillance par année

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

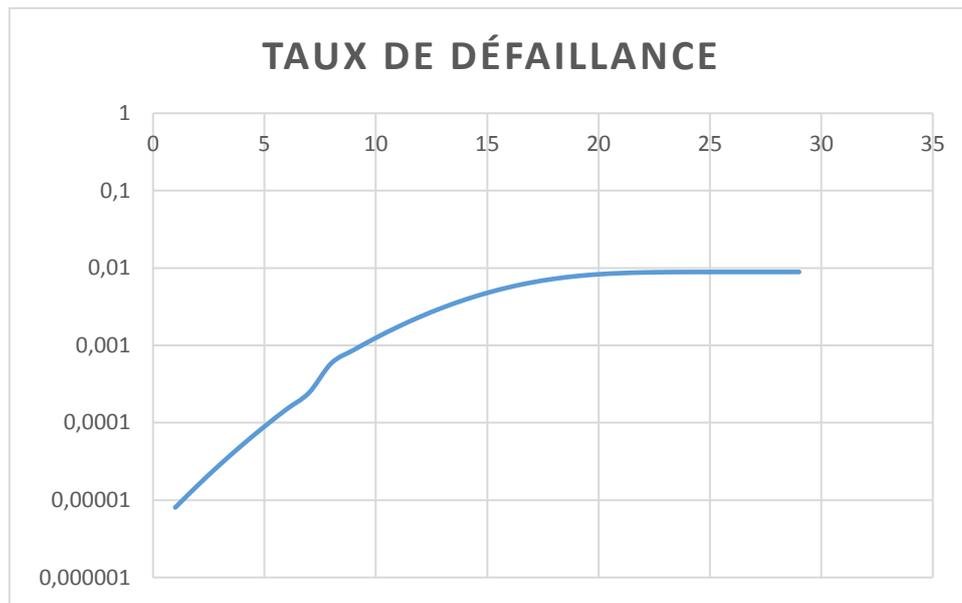


Figure VII-7 Evolution du taux de défaillance sur une période de 30 ans

VII.4.2.2 Analyse des résultats :

Le taux de défaillance par kilomètre augmente avec le temps du fait de l'évolution des corrosions, Après une période de 10 ans le taux de défaillance atteint la valeur limite ($> 10^{-3}$)

VII.5 Evolution du Risque individuel en fonction du temps :

Le tableau suivant présente les résultats des risques individuels pour un taux de défaillance estimé à la première année

Vitesse du vent m/s	3.5				8.5			
	50	25	15	10	50	25	15	10
Fuite %	50	25	15	10	50	25	15	10
risque individuel moyen ESD	2,928E-05	1,474E-05	9,106E-06	6,263E-06	2,929E-05	1,474E-05	9,129E-06	6,258E-06

Tableau VII-11 RI dans la première année pour différents types de fuites et 2 vitesses du vent

Chapitre VII : Estimation du taux de défaillance de la canalisation en fonction du temps et son impact dans une analyse QRA

La figure suivante illustre l'évolution de risque individuel en fonction du temps pour différents pourcentages de fuite

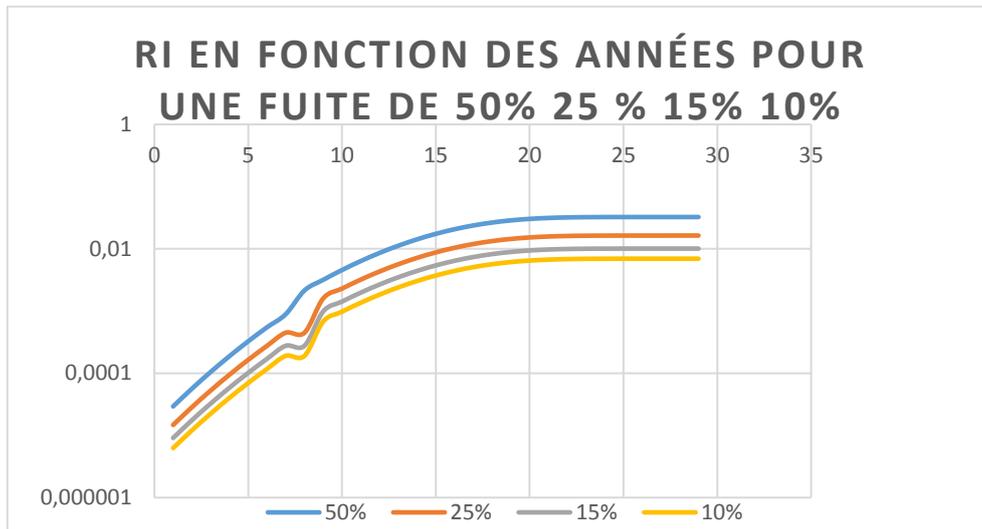


Figure VII-8 Evolution du RI en fonction des années pour des fuites de 50% 25 % 15% 10%

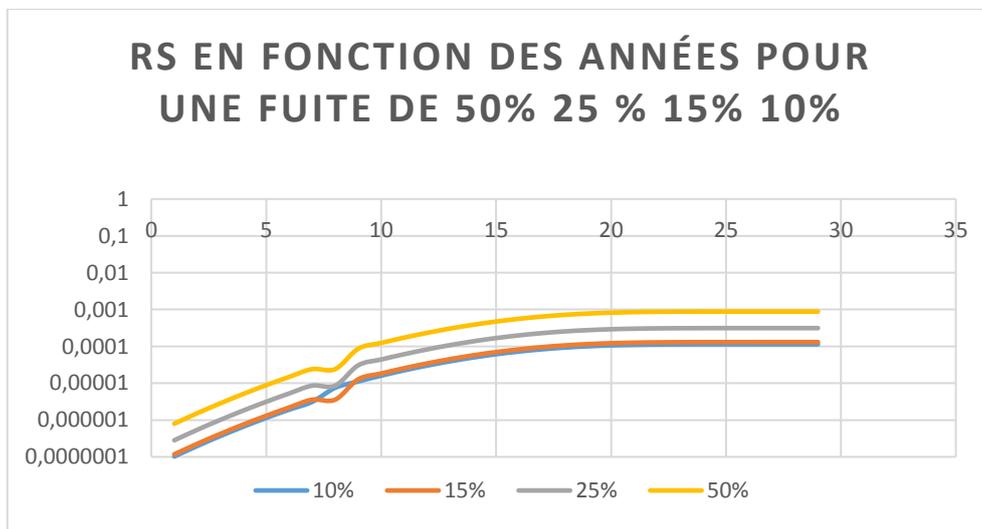


Figure VII-9 Evolution RS en fonction des années pour des fuites de 50% 25 % 15% 10%

VII.5.1 Analyse des graphes :

On remarque que :

Plus le pourcentage de la fuite est grand plus le RI et le RS sont plus important

L'augmentation du risque individuel est due à l'augmentation du taux de défaillance.

Après 5 années le RI atteint la valeur limite de 10^{-4} pour une fuite de 50%

Après 10 années le RS atteint la valeur limite de 10^{-4} pour une fuite de 50 %

VII.5.2 Effet de la vitesse du vent sur le risque individuel et le risque sociétal :

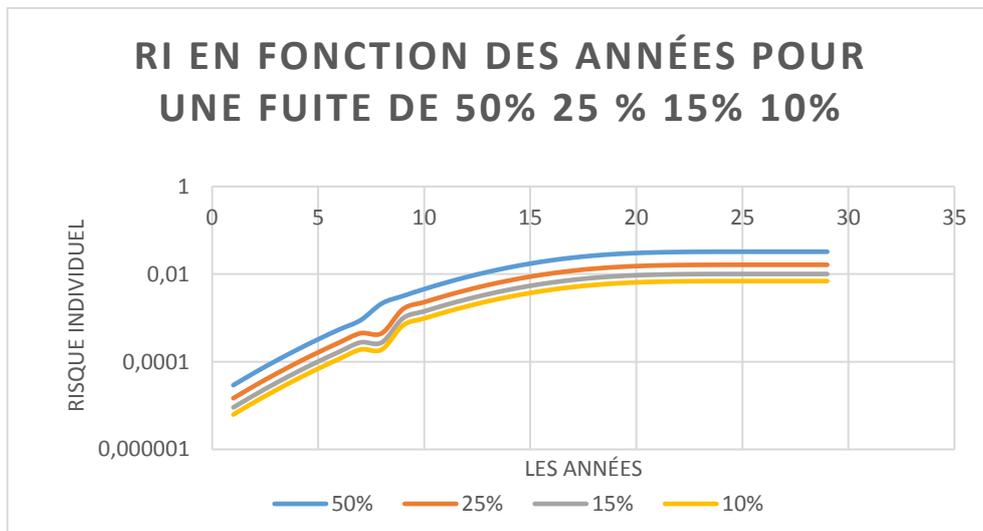


Figure VII-10 RI pour une vitesse du vent $v=3,5$ m/s

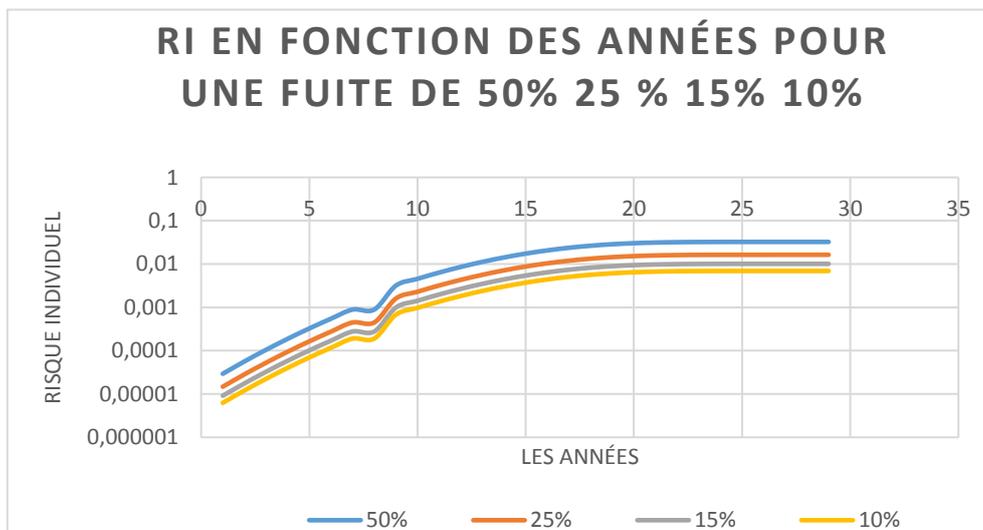


Figure VII-11 RI pour une vitesse du vent $v=8.5$ m/s

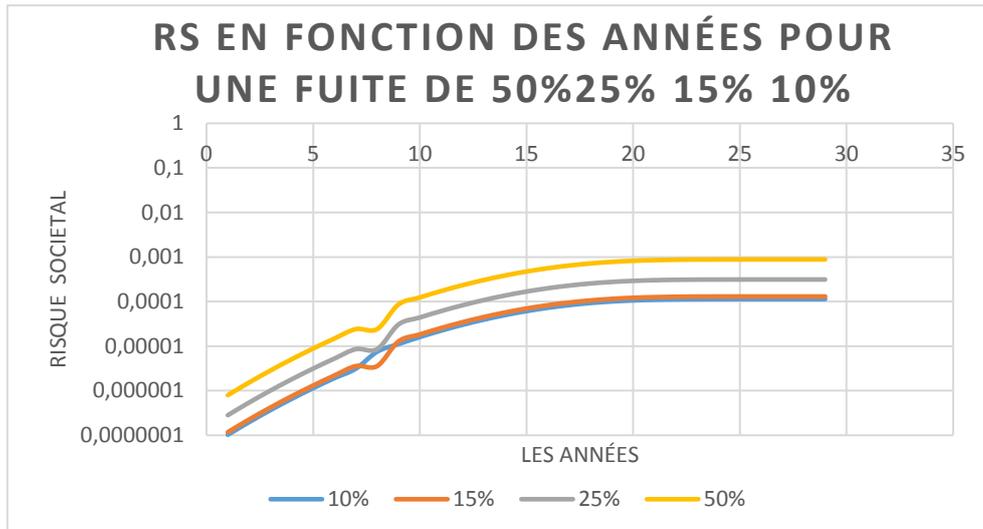


Figure VII-12 RS pour une vitesse du vent $v=3.5m/s$

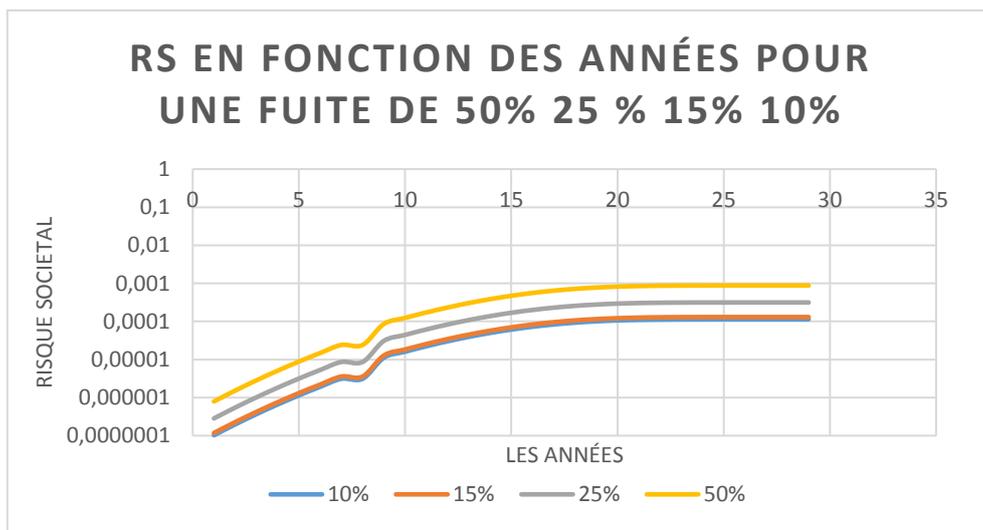


Figure VII-13 RS pour une vitesse du vent $v=8.5m/s$

VII.5.3 Analyse :

On remarque que l'augmentation de la vitesse du vent accroît le RI et le RS mais d'une façon négligeable.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

L'évaluation quantitative des risques techniques liés à l'exploitation du gazoduc reliant la station de compression GR4 au CNDG repose sur deux critères, à savoir l'impact sur l'individu (risque personnel) et l'effet domino (impact du scénario accidentel sur les ouvrages adjacents). Les conclusions générales tirées de cette étude indiquent que le niveau de risque prévu est encore bien inférieur au seuil du risque acceptable.

Quatre types de scénarios d'accidents ont été envisagés, des petites fuites aux ruptures complètes de canalisations. Pour chaque cas, la zone de concentration dangereuse du nuage de gaz est modélisée (détermination des limites LII et LSI) et le niveau de rayonnement thermique pouvant être généré en cas d'incendie. La fréquence générale, la probabilité d'inflammation, la probabilité d'existence nomade et le nombre de véhicules sur la route sont pris en compte pour estimer la probabilité de scénarios d'accidents.

La valeur de risque individuel la plus élevée est estimée à l'intersection du pipeline et de la deuxième route (PK02) avec une valeur de $4,03 \text{ E-}05/\text{km}/\text{an}$. Ceci est dû à l'augmentation de la probabilité d'inflammation sur cette zone causée par un grand nombre de véhicules circulant sur cette route et la présence de pylônes de lignes électriques à haute tension qui contribue à l'augmentation de la probabilité globale d'occurrence. Cependant, ce niveau élevé reste inférieur au seuil critique.

Le risque d'effet domino sur les ouvrages adjacents à la canalisation GR4 est inférieur à la limite ($1 \cdot \text{E-}4$). Les iso-contours tracés pour chaque récepteur sensible illustrent les types de scénarios pouvant avoir un effet domino (généralement des fuites importantes et des ruptures totales) et le niveau de risque estimé. Ainsi, du point de vue de l'impact des risques techniques sur les individus et les infrastructures, l'exploitation du gazoduc de raccordement est sûre

Cette étude indique que les niveaux de risque prévus demeurent nettement en dessous des seuils de risque acceptables dans les périodes étudiées. Cependant, avec le temps un pipeline aura tendance à subir des dégradations du revêtement, des insuffisances de la protection cathodique ce qui favorise des phénomènes de corrosion entraînant des défaillances.

Par conséquent, le taux de défaillance augmente au cours du temps se traduisant par une augmentation des risques individuel et sociétal qui à terme atteindront la valeur seuil de (10^{-4}) nécessitant une atténuation obtenue en intervenant par des réparations suite à une opération d'inspection en ligne.

A la lumière des résultats obtenus, on constate que la fréquence de défaillance d'un pipeline de gaz influe directement sur le RI et RS. Par conséquent, les études de danger effectuées et les résultats obtenus au stade du projet seront appelés à être révisés au cours du temps, vu que les risques individuel et sociétal sont étroitement liés à la fiabilité des différents équipements du pipeline.

BIBLIOGRAPHIE

- Rapport technique projet RABASKA Analyse des Risque Technologique [Rapport N° 2005-0431]
- DNV Report Corrib Onshore Pipeline QRA [Report no/DNV Reg No.: 01/ 12LKQW5-2]
- Guidelines for Quantitative Risk Assessment [Purple Book CPR 18E]
- DNV PHAST 6.54 Tutorial [DNV]
- QRA's for Dutch Installations [DNV]
- QRA in the Process Industries: Methodology, Case Studies, and Cost-Benefit Analysis [Pierre Palmberg, Pantektor AB (Sweden) & Neil Prophet, ioMosaic Corporation (USA)]
- DNV MANAGING RISK Appendix 3 Safety Risk HAZID Workshop [DNV ref.: PP061307-2, Rev 01]
- Methods for the calculation of Physical Effects [Yellow book CPR 14E]
- Jet Fires: a "Minor" Fire Hazard? [A publication of AIDIC The Italian Association of Chemical Engineering]
- Cours Sécurité Industrielle [2^{ème} Année Master]
- Cours Transport et Distribution du Gaz Naturel [3^{ème} Année Licence]

ANNEXE

PHAST 6.51

L'analyse complète de risque d'un scénario choisi est une tâche complexe qui exige des logiciels spécifique (PHAST, EFFECT, SAFETI) et la formation intense dans la théorie et la pratique de l'analyse des risques pour une interprétation correcte des résultats.

Définition et objectif du logiciel PHAST

Le logiciel PHAST (**P**rocess **H**azard **A**nalysis **S**oftware **T**ool) commercialisé par la société DNV (**D**et **N**orske **V**eritas) est un outil complet d'analyse des risques d'une installation industrielle. Il utilise les propriétés thermodynamiques issues de la banque de données DIPPR (**D**esign **I**nstitute for **P**hysical **P**roperties) des produits et il détermine lui-même, en fonction des conditions de pression et de température, les caractéristiques de l'écoulement du fluide ; que ce soit un débit liquide, gazeux ou biphasique. Ensuite, il calcule automatiquement les différentes étapes (formation éventuelle d'une flaque, dispersion des vapeurs, ...) propres au déroulement d'un accident type.

PHAST simule l'évolution d'un rejet accidentel d'un produit toxique et/ou inflammable depuis la fuite initiale jusqu'à la dispersion atmosphérique en champ lointain, incluant la modélisation de l'épandage et de l'évaporation de flaque. PHAST est capable de modéliser les scénarios de rejet à partir des divers termes source (fuite sur la paroi d'un réservoir, rupture d'une canalisation...) qui est ensuite combiné avec le modèle de dispersion de PHAST de type intégré appelé UDM (Unified Dispersion Model) pour obtenir par exemple, les distances de sécurité correspondant au seuil toxique et l'empreinte du nuage au sol à un instant donné.

Dans cette étude nous avons utilisé la version 6.51 de PHAST. L'outil comporte un grand nombre de paramètres ajustables, dont l'impact sur les résultats dans différentes situations, est parfois mal connu par les utilisateurs. L'objectif de modéliser les effets d'explosion de gaz et de comprendre cet impact, en s'appuyant sur l'exécution d'un grand nombre de simulation.

Pour exécuter une modélisation, une description de ses outils est nécessaire pour mieux comprendre son application, et pour la réussite de résultats.

Substances utilisés (la section Matériel)

Il n'est pas toujours saisi de modéliser des mélanges complexes afin de simuler les effets d'un accident majeur, car le logiciel PHAST contient une liste limitée des produits purs dont les propriétés sont issues de la banque DIPPR.

Pour pallier cet inconvénient, les méthodes suivantes sont appropriées :

- Choisir le composant dominant dans le mélange et la substance uniquement avec ce composant.
- Choisir un composant pur dans la base de données dont les propriétés ressemblent à celle du mélange.

- Choisir le composant dominant dans le mélange et ajuster ses propriétés afin de prendre compte l'effet des autres composants.

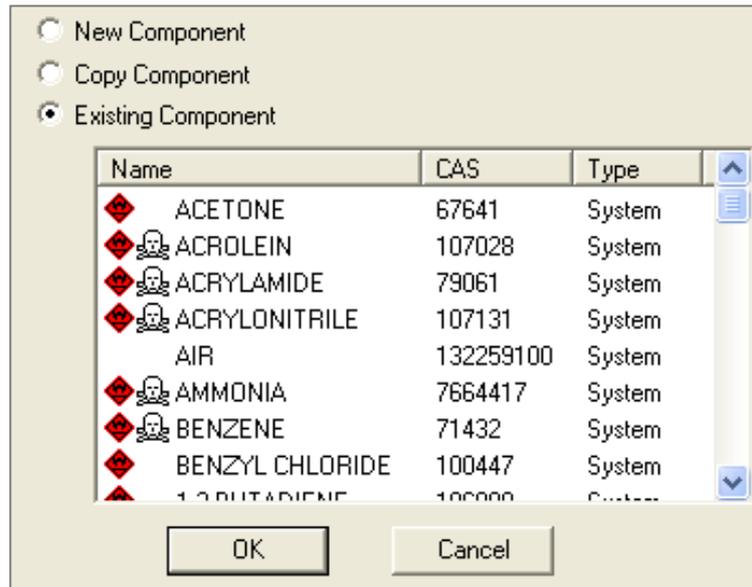


Figure 0-1 composition chimique du gaz

Par exemple, si on prend le GN comme mélange, le Méthane présente (83,79 %), donc, on peut utiliser le Méthane comme fraction dominante dans l'analyse des scénarios.

La figure suivante illustre l'insertion de matériel et de ces données dans la boîte de dialogue Materials :

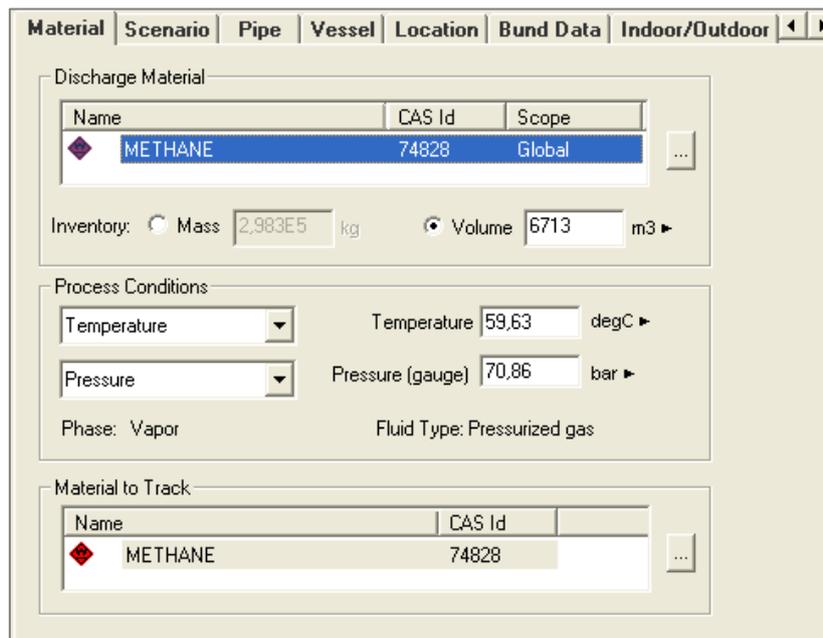


Figure 0-2 Boîte de dialogue Matériels

Les conditions atmosphériques (Section Weather)

PHAST contient aussi une boîte de dialogue d'entrée (Weathers) pour définir les données d'entrée météorologiques spécifiques à une saison particulière (été, hiver...), pour chaque saison on introduit les paramètres suivants :

- Vitesse de vent
- La stabilité de l'air (Pasquill)
- La température atmosphérique et l'humidité relative de l'air
- Le flux du rayonnement solaire

The image shows two screenshots of the 'Weather Data' dialog box in PHAST. The top screenshot shows the 'Atmospheric Parameters' tab with 'Wind Speed' set to 3,5 m/s and 'Pasquill Stability' set to 'C moderately unstable - very windy/sunny or overcast/light wind'. The bottom screenshot shows the 'General atmospheric parameters' section with 'Atmospheric Temperature' at 22,5 degC, 'Relative Humidity' at 0,45 fraction, and 'Solar Radiation Flux' at 0,5 kW/m2.

Figure 0-3 Conditions atmosphérique

Les modèles étudiés (la section Models)

Pour effectuer l'analyse des conséquences, PHAST utilise des modèles qui représentent des événements dangereux souvent rencontrés dans l'industrie, tels que les fuites de réservoirs ou de pipelines.

Dans notre étude on s'intéresse au modèle de **Jet-Fire**, et pour cela on fait introduire les données suivantes :

L'onglet « Materials » du Jet-Fire

On introduit le produit qu'on va l'utiliser pour la modélisation, quel que soit corps pur ou bien mélange de produits (mixture), dans notre cas le produit utilisé est le méthane.

L'onglet « Scenario »

On Introduit le type d'accident qui peut se produire, qui peut être une fuite ou une rupture totale.

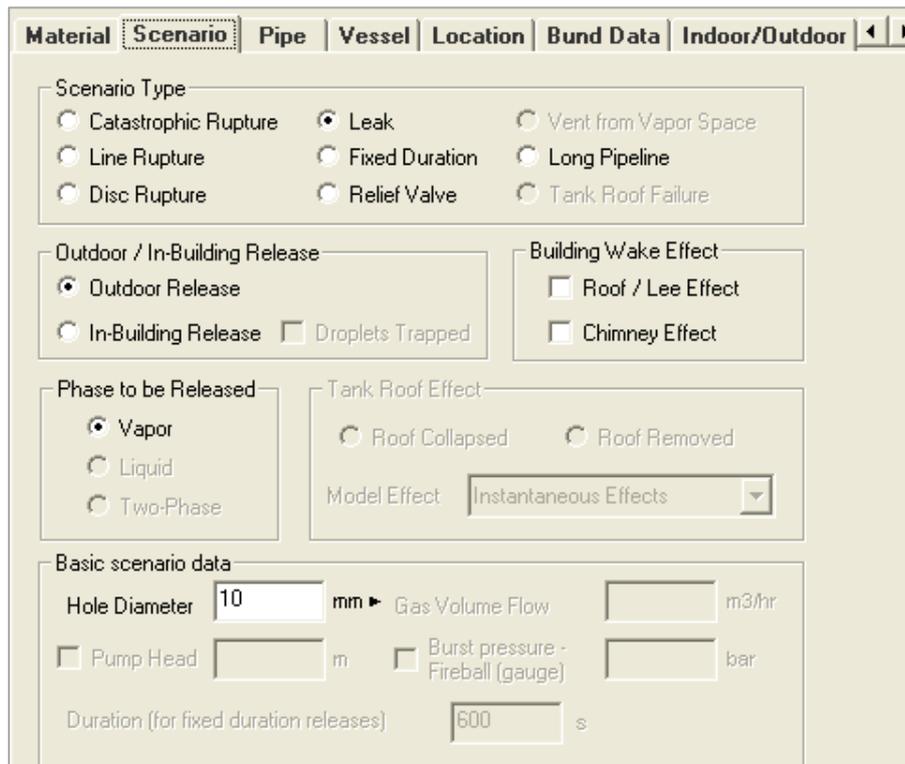


Figure 0-4 Type de Scénario

L'onglet « Flammable »

On Introduit la méthode de l'explosion et du **Jet-Fire**. Dans notre cas, pour l'explosion on prend **TNT** et **API** pour le **Jet-Fire**.

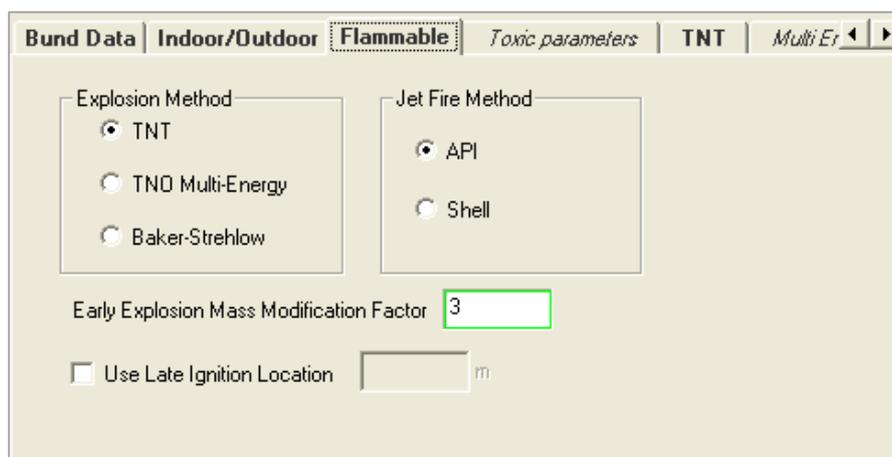


Figure 0-5 Méthodes d'explosion et Jet-Fire

La méthode de calcul

Il existe trois corrélations disponibles dans le programme de calcul du Jet-Fire.

Les corrélations disponibles sont :

- La méthode de DNV (DNV Recommended)
- La méthode de Cook et al
- La méthode Chamberlain

Dans notre cas, on choisit la méthode de DNV, et pour cela on doit introduire :

- La masse de produit ainsi et le coefficient de correction de masse
- La durée maximale d'exposition.
- Les niveaux de l'intensité de radiation

Remarque : la durée maximale d'exposition c'est le temps maximum que quelqu'un reste dans la gamme du niveau de rayonnement avant d'essayer de s'échapper, elle ne doit pas être supérieure à environ de 90 secondes, le programme utilise cette donnée pour le calcul de létalité. Dans notre cas cette durée est de 20 secondes.

Jet Fire Parameters

Radiation Levels | Constants

Radiation levels to report

	Radiation Intensity kW/m ²	Radiation Dose [W/m ²] ⁿ .s	Radiation Probit	Radiation Lethality fraction
Level 1	4	1,27E6	2,73	0,01
Level 2	12,5	5,8E6	3,72	0,1
Level 3	37,5	2,51E7	7,5	1
Level 4				
Level 5				

Rate Modification factor: 3 Max Exposure Duration: 20 s

SHELL model options

Crosswind angle: 0 deg This angle only applies to standalone jet fires. Linked fires always use 0.0

Correlation: DNV Recommended

Horizontal options: Use Johnson

Cartographie (Map et Graphes)

Le logiciel PHAST nous a permis de voir les différents graphes et contours des effets pour chaque niveau de radiation, Probit et létalité, il nous donne par exemple :

- Les courbes de radiation en fonction de la distance.
- Les contours de l'intensité de radiation.
- La largeur du nuage du mélange Gaz-Air

D'autre part, on peut illustrer les différents contours de seuils de radiation sur une image ou bien plan bien défini de site en suivant les étapes suivantes :

Lors de remplissage de différentes cases, on peut aller vers la fenêtre de « Map » en cliquant double cliques ensuite, un clic droit sur « Raster Image Set » après on insert une image.

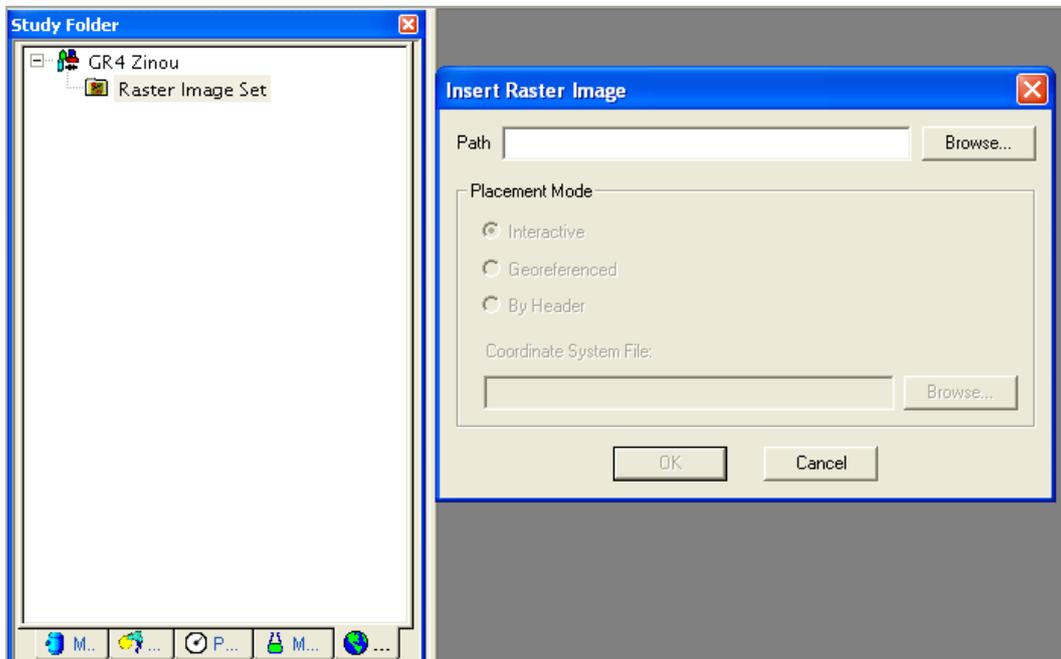


Figure 0.6 : L'insertion d'une Carte

Cette nouvelle fenêtre contient deux cases, la première « raster image » permet de parcourir à choisir l'image ou bien le plan de site, et la deuxième permet de définir la géométrie, la surface et les coordonnées de point d'étude ou de l'installation concernée.

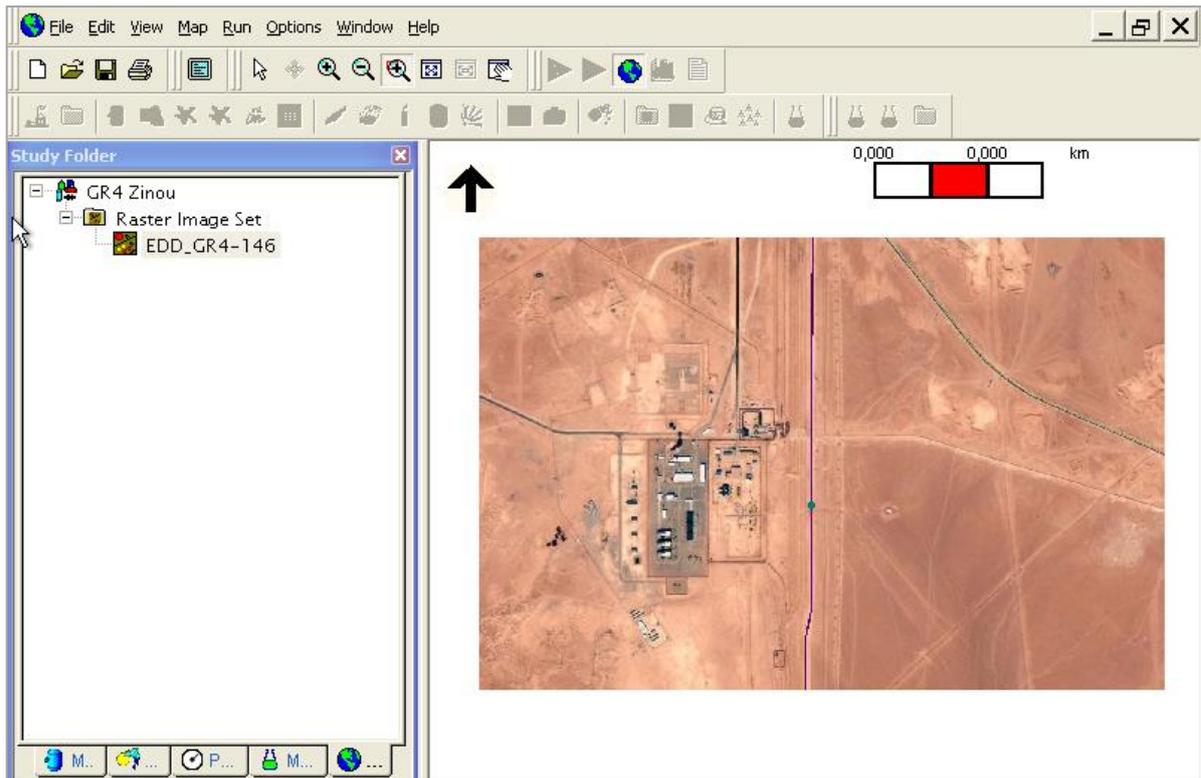


Figure 0-6 Une carte avec un model associer

Présentation de résultats

Les résultats seront repris sous forme de tableaux pour chaque événement et pour chaque météo. En plus des tableaux de valeurs, un plan du site comprenant la zone d'effet de l'événement sera repris à chaque fois. Dans un souci de clarté et pour ne pas alourdir ce rapport, ces zones d'effets ne seront affichées que pour une seule météo, celle ayant les zones d'effets les plus grandes.

Remarque : On peut garder les résultats sous forme PDF ou EXCEL.

Quelques formes de résultats

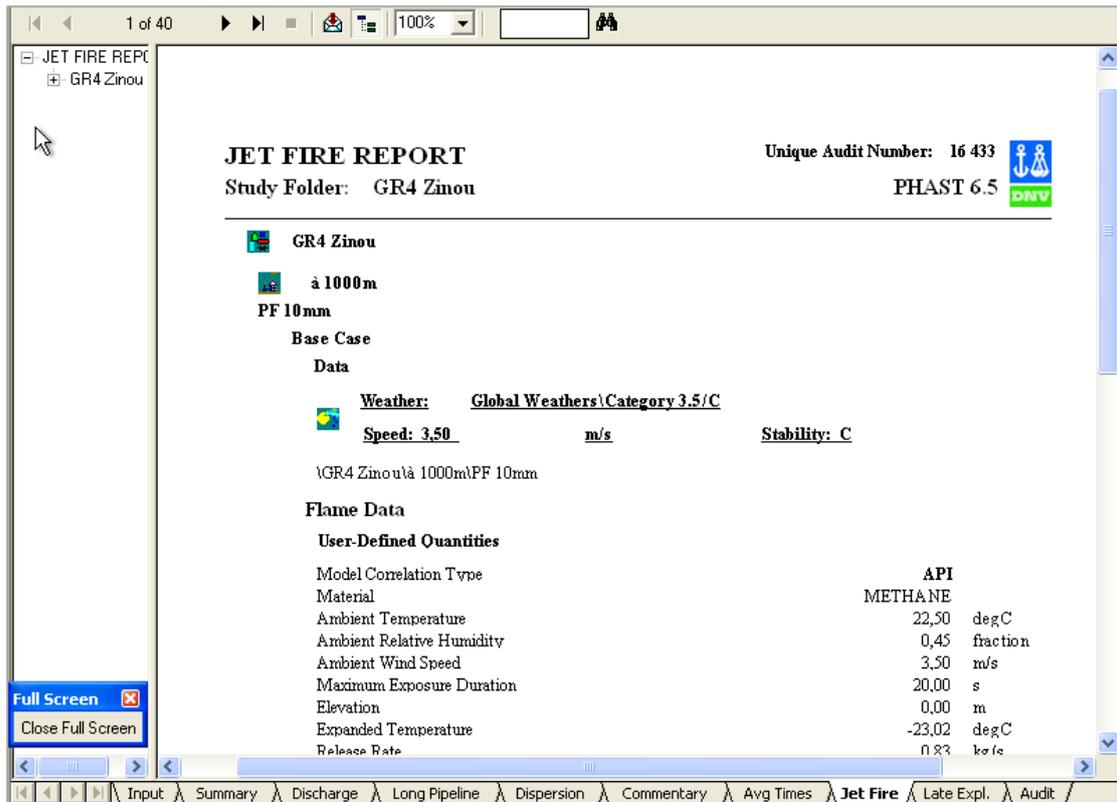


Figure 0-7 Résultats sous forme de rapport

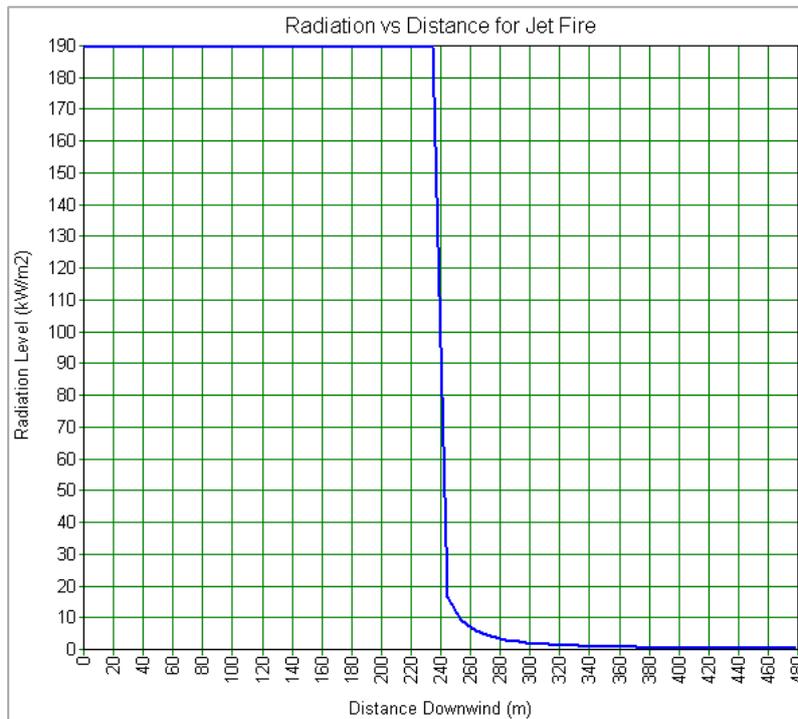


Figure 0-8 Résultats sous forme de graphes