

Analyse des risques technologiques

RAPPORT TECHNIQUE

PROJET RABASKA

ANALYSE DES RISQUES TECHNOLOGIQUES

GAZODUC

RAPPORT N° 2005-0431

NOVEMBRE 2005

DET NORSKE VERITAS

TABLE DES MATIÈRES

1. RÉSUMÉ	1
2. INTRODUCTION	3
2.1. Qu'est-ce qu'une évaluation des risques technologiques ?.....	3
2.2. Directives applicables au projet.....	3
2.3. Périmètre de l'étude	3
2.4. Qui est DNV ?.....	4
2.5. Structure du rapport	4
3. MÉTHODOLOGIE	6
3.1. Abréviations.....	6
3.2. Indicateurs de risque	7
3.3. Processus d'évaluation du risque.....	9
3.4. Méthodologie d'identification des dangers (HAZID)	10
3.5. Méthodologie d'évaluation des fréquences d'occurrence.....	11
3.6. Méthodologie d'évaluation des conséquences.....	11
3.7. Méthodologie d'évaluation des risques	12
3.8. Mesures de réduction des risques	12
3.9. Justification des outils informatiques de modélisation	14
3.9.1. SAFETI.....	14
3.9.2. PHAST	14
3.9.3. Modèle de dispersion unifiée	14
4. BASES DE L'ÉVALUATION DES RISQUES.....	16
4.1. Tracé du gazoduc	16
4.2. Données géographiques	18
4.3. Météorologie.....	18
4.4. Sources d'inflammation	21
4.5. Effets dominos	22
4.6. Limites de l'étude	24

RAPPORT TECHNIQUE

5.	IDENTIFICATION DES DANGERS ET DÉFINITION DES SCÉNARIOS	26
5.1.	Identification des dangers	26
5.1.1.	Risques associés aux gazoducs	26
5.1.2.	Dangers occasionnés par les activités d'exploitation	27
5.1.3.	Risques externes	27
5.2.	Identification des éléments sensibles	29
5.2.1.	Population	29
5.2.2.	Structures et infrastructures	30
5.3.	Données historiques	32
6.	ANALYSE DES FRÉQUENCES	33
6.1.	Introduction	33
6.2.	Scénarios d'accident touchant les équipements et l'exploitation du gazoduc	33
7.	ANALYSES DES CONSÉQUENCES	37
7.1.	Scénarios d'accident	37
7.2.	Conséquence de scénarios d'accident	38
8.	ÉVALUATION DES RISQUES	41
8.1.	Risque individuel	41
8.2.	Impacts sur les structures et les infrastructures	46
8.2.1.	Lignes de transport d'énergie électrique	46
8.2.2.	Franchissement de routes et de rivières	46
9.	MESURES DE SÉCURITÉ	47
10.	PRÉPARATION ET RÉPONSE AUX SITUATIONS D'URGENCE	49
10.1.	Introduction	49
10.2.	Objectif	49
10.3.	Politique de Rabaska en matière de santé et de sécurité	50
10.4.	Organisation et responsabilités	51
10.4.1.	Généralités	51
10.4.2.	Équipe de gestion des mesures d'urgence	51
10.4.3.	Équipes internes d'intervention d'urgence	53
10.4.4.	Ressources externes	53

RAPPORT TECHNIQUE

10.4.5.	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec	54
10.4.6.	Environnement Canada.....	55
10.4.7.	CANUTEC.....	55
10.5.	Planification des urgences	56
10.5.1.	Généralités	56
10.5.2.	Scénarios d'urgence.....	57
10.5.3.	Exigences de performance.....	58
10.5.4.	Mesures d'urgence.....	58
10.6.	Interventions d'urgence	60
10.7.	Programme de liaison des services d'urgence	62
10.8.	Exercices en intervention d'urgence.....	62
10.9.	Information et instructions destinées au public	63

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1	Identification des dangers
Annexe 2	Scénarios d'accident
Annexe 3	Fréquences des scénarios d'accident
Annexe 4	Paramètres pour l'évaluation des conséquences des scénarios d'accident
Annexe 5	Registre de préparation aux situations d'urgence
Annexe 6	Étude des données historiques
Annexe 7	Description du logiciel SAFETI

TABLES DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1 - Processus d'évaluation du risque	9
Figure 2 - Processus d'itération pour la mise en œuvre des mesures de réduction des risques	13
Figure 3 - Tracé du gazoduc	17
Figure 4 - Rose des vents à la station Lauzon - hiver	19
Figure 5 - Rose des vents à la station Lauzon - été	20
Figure 6 - Oléoduc longeant le gazoduc	23
Figure 7 - Population le long du tracé du gazoduc	29
Figure 8 - Risque individuel en fonction de la distance jusqu'au gazoduc	41
Figure 9 - Isocontours de risque individuel associés au gazoduc	42
Figure 10 - Isocontours de risque du gazoduc au point de raccordement au terminal	43
Figure 11 - Isocontours de risque à proximité de la vanne de sectionnement	44
Figure 12 - Isocontours de risque du gazoduc au poste de livraison	45
Figure 13 - Processus de maîtrise du danger	47
Figure 14 - Équipe de gestion des urgences	51
Figure 15 - Processus de la planification des urgences	56
Figure 16 - Processus de diffusion de l'alerte	60
Tableau 1 - Liste des abréviations	6
Tableau 2 - Indicateurs de risque	12
Tableau 3 – Distribution des classes de vent et de stabilité	21
Tableau 4 - Sources d'inflammation importantes liées aux routes qui croisent le tracé du gazoduc	22
Tableau 5 - Population le long du tracé du gazoduc (1 km de chaque côté)	30
Tableau 6 - Rivières et routes qui croisent le tracé du gazoduc	31
Tableau 7 - Fréquences de fuite sur des conduites terrestres enfouies	33
Tableau 8 - Fréquences de fuite sur des conduites selon la taille de la perforation	34
Tableau 9 - Fréquences de fuite sur des vannes	35
Tableau 10 - Fréquences de fuite sur des brides de raccordement	35
Tableau 11 - Fréquences de fuite sur des raccords de petit calibre	36
Tableau 12 - Description des segments ESD du gazoduc	37
Tableau 13 - Scénario d'accident - Rupture complète d'un gazoduc enfoui	39
Tableau 14 - Scénario d'accident - Fuite moyenne provenant d'un gazoduc enfoui	40
Tableau 15 - Scénario d'accident - Rupture complète d'un gazoduc hors sol	40
Tableau 16 - Mesures de sécurité	48
Tableau 17 - Équipe de gestion des mesures d'urgence de Rabaska	52
Tableau 18 - Équipes internes d'intervention d'urgence	53
Tableau 19 - Ressources externes d'intervention d'urgence	54
Tableau 20 - Scénarios d'urgence liés au gazoduc	57
Tableau 21 - Scénario minute par minute pour une intervention d'urgence en cas de fuite de gaz naturel	61

RAPPORT TECHNIQUE

1. RÉSUMÉ

Dans le cadre du projet de terminal méthanier Rabaska dans la ville de Lévis, Det Norske Veritas (DNV) a reçu le mandat de mener une évaluation des risques technologiques liés au gazoduc Rabaska.

Les directives suivantes ont été prises en compte dans l'évaluation des risques :

- Lignes directrices générales du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) en matière d'analyse des risques technologiques (réf. /15/).
- Exigences spécifiques pour le projet Rabaska :
 - Directives d'évaluation environnementale du MDDEP (réf. /9/).
 - Directives de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (réf. /16/).
 - Exigences de l'Office national de l'énergie en matière d'évaluation des dangers et d'analyse des risques (réf. /13/).

L'évaluation des risques concerne le gazoduc, qui se situe entre le terminal méthanier Rabaska et une interconnexion avec le Gazoduc TransQuébec & Maritime (TQM) située à l'ouest de la ville de Lévis. Le gazoduc, qui est enfoui sur toute la distance et se termine à un poste de livraison situé au point de raccordement avec le Gazoduc TQM, mesure environ 42 km de longueur.

L'évaluation technologique des risques a pour but d'identifier les risques pour le public que posent des accidents qui pourraient se produire sur le gazoduc. L'analyse évalue uniquement les risques pour la population, c'est-à-dire les personnes qui ne sont pas des employés de Rabaska.

Un certain nombre d'accidents liés à des gazoducs se sont produits au cours des 25 dernières années. Les données historiques montrent que les dégâts résultant de bris par des tiers, comme par exemple lors de travaux de creusage, ont provoqué plus d'incidents et d'accidents de gazoducs que toute autre catégorie de causes. L'annexe 6 présente une sélection d'accidents qui ont eu lieu au cours des 25 dernières années. L'un des deux tableaux de cette annexe présente les accidents de gazoducs qui ont eu lieu en Amérique du Nord et qui ont eu des conséquences mortelles, et l'autre présente des accidents de gazoducs qui ont eu lieu au Canada.

Les risques estimés respectent largement les critères d'acceptabilité fixés par des organismes de réglementation à travers le monde pour les installations de gaz et de pétrole, les installations des industries de procédé, les transports en commun ainsi que les ports.

Le risque individuel indique la probabilité de décès pour un individu situé en permanence à un certain emplacement. Il est représenté par des isocontours de risque à la section 8. Le niveau de risque maximum acceptable pour le public est 10^{-4} par an soit une occurrence tout

RAPPORT TECHNIQUE

les 10 000 ans. Les résultats montrent que les niveaux de risque sont acceptables même pour une personne qui se trouve continuellement au-dessus du gazoduc enfoui. Pour toute personne qui se trouve en tout temps à plus de 100 m du gazoduc, le risque est négligeable, ce qui signifie que la période de retour est supérieure à 10 millions d'années. Toutefois, dans le périmètre autour du poste de sectionnement situé à mi-parcours du gazoduc ainsi qu'aux points de raccordement avec le terminal méthanier et avec le Gazoduc TQM, le niveau de risque individuel augmente. La raison principale de cette augmentation locale est liée à la fréquence des fuites provoquées par la présence d'équipements tels que des vannes et des brides. Le risque se situe malgré tout au-dessous de la limite de 10^{-4} par année et représente un niveau acceptable, même dans ces zones.

L'impact des risques pour les infrastructures importantes et les éléments sensibles s'insère largement dans la plage acceptable, la période de retour étant au-delà de la limite de 10 000 ans.

2. INTRODUCTION

2.1. Qu'est-ce qu'une évaluation des risques technologiques ?

L'évaluation des risques technologiques est une analyse rigoureuse menée pour 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 :

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

Le risque est le produit de ces deux composantes :

$$\text{Risque} = \text{Probabilité} \times \text{Conséquence}$$

2.2. Directives applicables au projet

Les directives suivantes ont été prises en compte dans l'évaluation des risques :

- Lignes directrices générales du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) en matière d'analyse des risques technologiques (réf. /15/).
- Exigences spécifiques pour le projet Rabaska :
 - Directives d'évaluation environnementale du MDDEP (réf. /9/).
 - Directives de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (réf. /16/).
 - Exigences de l'Office national de l'énergie en matière d'évaluation des dangers et d'analyse des risques (réf. /13/).

2.3. Périmètre de l'étude

L'évaluation des risques concerne le gazoduc projeté, qui se situe entre la gare de lancement de racleurs située sur le terminal méthanier Rabaska et le point de raccordement au Gazoduc TQM. La longueur totale du gazoduc est d'environ 42 km. Ce périmètre délimite la zone d'étude. L'évaluation des risques technologiques a pour but d'identifier les risques pour le public que posent les accidents qui pourraient se produire dans ce périmètre. L'analyse évalue uniquement les risques pour la population, c'est-à-dire les personnes qui ne sont pas des employés de Rabaska.

2.4. Qui est DNV ?

Det Norske Veritas (DNV) est une fondation indépendante et autonome, établie en 1864, dont l'objectif est de protéger la vie, les biens et l'environnement. L'organisation compte 300 bureaux dans 100 pays et un total de 6 000 employés. En tant qu'organisation internationale, DNV sert des clients de l'industrie maritime et de transformation à travers le monde, ainsi que d'autres secteurs comme l'industrie automobile, l'aviation et le secteur public.

Depuis plus de 30 ans, DNV contribue activement au développement de la production, de l'entreposage, du transport et de la distribution de gaz naturel, de gaz naturel liquéfié (GNL) et d'autres dérivés du gaz par la recherche et le développement technologique, la classification, la certification, la vérification et le conseil aux entreprises. DNV se spécialise dans les secteurs suivants du développement du GNL :

- Production et liquéfaction terrestre et en mer ;
- Entreposage, déchargement et chargement terrestre et en mer ;
- Transport maritime ;
- Terminaux de réception terrestres, incluant les installations et les opérations de déchargement et de chargement ;
- Installations terrestres d'entreposage et de regazéification.

DNV a établi des règlements et des normes de classification pour les navires-méthaniers, les unités flottantes de production de GNL, les gazoducs et les systèmes annexes. DNV a acquis une solide expérience dans le domaine de l'évaluation des risques et de la gestion de la sécurité de la plupart des composantes de la chaîne de production et d'approvisionnement en gaz. De plus, DNV a participé à la gestion de la fiabilité des réseaux de transport de gaz alimentant l'Europe en gaz naturel provenant de la mer du Nord.

2.5. Structure du rapport

Ce rapport est divisé en huit sections principales.

Dans la section 3, on présente d'abord la méthodologie suivie, puis les indicateurs de risque et les critères d'acceptabilité.

Ensuite, on présente dans la section 4 les fondements de l'évaluation des risques et une description des installations.

La section 5 identifie les dangers et les éléments sensibles. De plus, on y présente les scénarios qui doivent être étudiés dans le cadre de l'évaluation quantitative des risques (EQR).

La section 6 analyse les fréquences d'occurrence des différents scénarios.

RAPPORT TECHNIQUE

Dans la section sur l'analyse des conséquences (section 7), les divers scénarios sont évalués et modélisés avec le programme d'analyse des risques SAFETI afin d'estimer les impacts pour la population.

Les risques quantifiés en termes de risque individuel, ainsi que l'impact sur les structures, sur les infrastructures et sur l'environnement, sont présentés dans la section 8 sur l'évaluation des risques.

Les mesures de sécurité prévues pour le gazoduc projeté sont présentées dans la section 9, qui constitue une transition entre l'analyse des risques et la section finale du rapport portant sur la préparation aux situations d'urgence (section 10).

Dans cette dernière section, on décrit les mesures préliminaires d'urgence prévues pour le gazoduc proposé, notamment l'organisation des intervenants et leurs responsabilités, les équipements et les procédures d'intervention en cas d'incident.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1. Abréviations

Le tableau 1 donne la liste des abréviations employées dans ce rapport.

TABLEAU 1 - LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACÉE	Agence canadienne d'évaluation environnementale
CANUTEC	Centre canadien d'urgence transport, offert par Transports Canada pour venir en aide aux intervenants lors d'urgences mettant en cause des marchandises dangereuses.
CCAIM	Conseil canadien des accidents industriels majeurs
DNV	Det Norske Veritas
EMT	Équipe de gestion des mesures d'urgence (Emergency Management Team)
EPA	Analyse de la préparation aux situations d'urgence (Emergency Preparedness Analysis)
EQR	Évaluation quantitative des risques
ESD	Arrêt d'urgence (Emergency Shutdown System)
GNL	Gaz naturel liquéfié
HAZID	Identification des dangers (Hazard Identification)
HSE	UK Health and Safety Executive Board (Comité exécutif de la santé et de la sécurité du Royaume-Uni)
LII	Limite inférieure d'inflammabilité
LSI	Limite supérieure d'inflammabilité
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP), auparavant ministère de l'Environnement du Québec (MENV)
ONÉ	Office national de l'énergie
PHAST	Outil logiciel pour l'analyse des dangers (Process Hazard Analysis Software Tool)
PPA	Plan de poursuite des activités
RI	Risque individuel
SAFETI	Logiciel pour l'évaluation des impacts des substances inflammables, explosifs et toxiques (Software for the Assessment of Flammable, Explosive and Toxic Impact)
SMEDIS	Scientific Model Evaluation of dense gas DISpersion models (évaluation scientifique des modèles de dispersion atmosphérique utilisés pour les accidents industriels)
TQM	Gazoduc TransQuébec & Maritimes
UDM	Modèle unifié de dispersion (Unified Dispersion Model)

RAPPORT TECHNIQUE

3.2. Indicateurs de risque

L'objectif de cette évaluation des risques est d'évaluer les niveaux de risque que pose le gazoduc. Le processus d'évaluation quantifie les risques selon deux indicateurs :

- Le risque individuel ;
- Le risque collectif.

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 isocontours 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 10 000 ans.

L'indicateur du risque collectif ne s'applique pas aux études sur le gazoduc et ne sera donc pas étudié dans la présente évaluation des risques. Le risque collectif et les critères d'acceptabilité associés ont été développés pour des installations industrielles comme des usines et non pour des ouvrages linéaires comme un gazoduc. En effet, le niveau de risque collectif dépend de la longueur de l'ouvrage. L'utilisation du risque individuel est par conséquent plus adaptée pour évaluer le risque autour d'un gazoduc.

Critères d'acceptabilité du risque individuel

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. Les isocontours de risque, qui sont semblables aux isobares des prévisions météorologiques, permettent de tracer les limites du risque sur une carte en divisant 1 par la période de retour.

L'UK Health and Safety Executive Board (réf. /10/) 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^{-7} par an soit une occurrence tous les 10 millions 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.

RAPPORT TECHNIQUE

Selon les critères du CCAIM (réf. /12/), qui a aujourd'hui cessé ses activités, aucune autre utilisation du territoire ne devrait être permise à l'intérieur d'une zone à risque individuel dont la période de retour correspond à 10 000 ans (10^{-4} par an). Il n'y a aucune restriction au-delà de 1 million d'années ou plus (10^{-6} par an ou moins).

De plus, voici d'autres exemples de niveaux de risque qui sont considérés comme négligeables par diverses autorités (réf. /11/) :

- Comté de Santa Barbara, Californie : 10^{-7} par an soit une occurrence tous les 10 millions d'années.
- UK Health & Safety Executive Board, Grande-Bretagne : 10^{-6} par an, soit une occurrence tous les millions d'années, pour des installations existantes.

Les critères suivants, qui sont basés sur les exemples précédents, ont été appliqués au projet Rabaska :

- Risque maximal acceptable pour le public : 10^{-4} par an soit une occurrence tous les 10 000 ans.
- Risque négligeable : 10^{-7} par an soit une occurrence tous les 10 millions d'années.

3.3. Processus d'évaluation du risque

Le processus d'évaluation du risque est illustré à la figure 1. L'évaluation du risque est réalisée dans quatre modules de travail. L'identification des dangers constitue le premier module. Les scénarios d'accident pouvant affecter le public sont déterminés dans l'identification des dangers. Ces scénarios sont ensuite soumis à des évaluations de la fréquence et des conséquences, qui sont effectuées dans les modules 2 et 3 respectivement. Les niveaux de risque sont déterminés à partir des valeurs correspondant à la fréquence et aux conséquences. Ces opérations sont réalisées dans le module 4. La méthode suivie dans chaque module est décrite dans les sections 3.4 à 3.7.

Le processus d'évaluation des risques et la méthodologie suivie sont conformes aux directives du MDDEP, de l'ACÉE et de l'ONÉ.

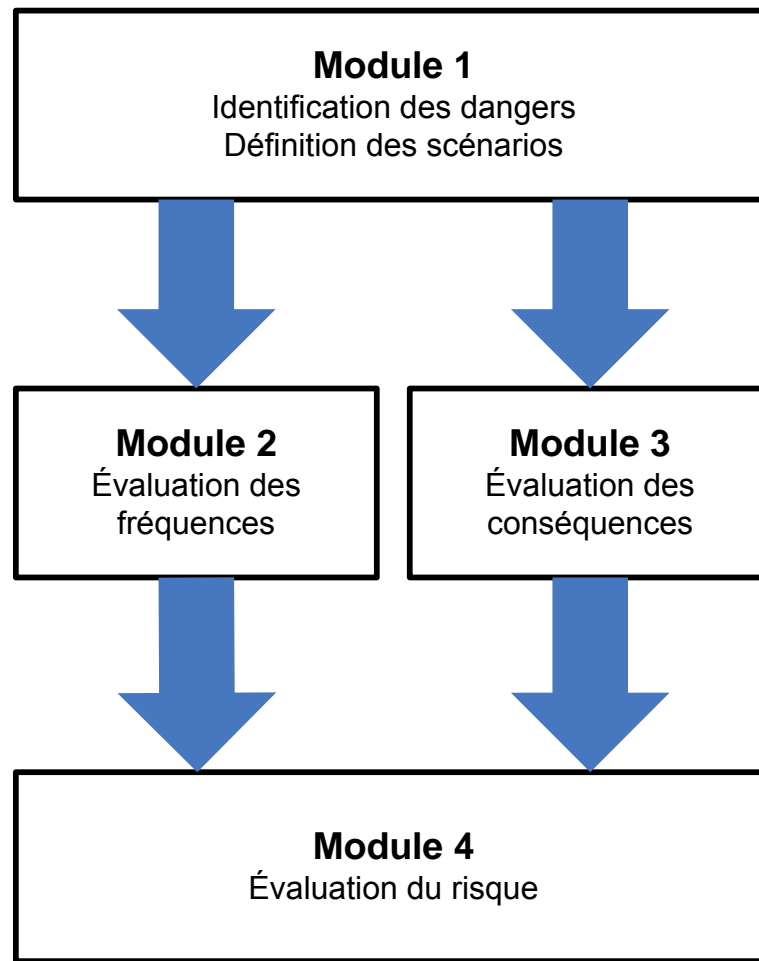
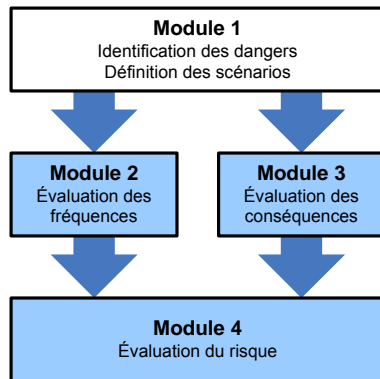


FIGURE 1 - PROCESSUS D'ÉVALUATION DU RISQUE

3.4. Méthodologie d'identification des dangers (HAZID)



Les dangers qui pourraient découler du projet ont été identifiés lors d'un atelier HAZID tenu à Montréal avec l'équipe de projet. Cette équipe HAZID était composée de membres qui connaissaient tous les aspects du projet, d'experts indépendants en risque et d'animateurs spécialisés en analyse du risque. L'objectif de l'atelier HAZID était d'identifier et d'évaluer les dangers potentiels correspondant au gazoduc projeté. Suite à l'identification des dangers, DNV a élaboré les scénarios d'accident qui ont servi à l'évaluation quantitative. Les scénarios ainsi définis ont été intégrés aux modules 2 et 3. Les scénarios d'accident qui ont été évalués comme étant négligeables

sont présentés de manière qualitative dans la section 5.

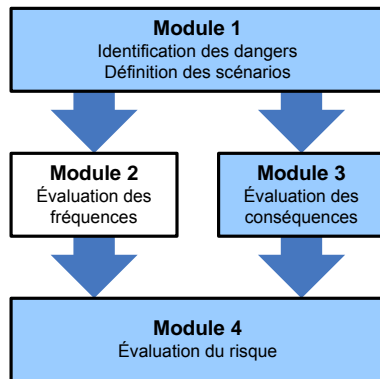
Une approche structurée a été utilisée. Un ensemble de mots-clés prédéfinis a servi à identifier les dangers potentiels pour chaque segment du gazoduc.

Le processus HAZID correspond aux 9 étapes suivantes :

- 1) Choisir un segment du gazoduc.
- 2) Définir, pour ce segment, sa fonction, son emplacement et les conditions normales de fonctionnement.
- 3) Sélectionner une source de danger ou un scénario d'accident pour le segment choisi.
- 4) Identifier et commenter les facteurs de probabilité pour la source ou le scénario. Identifier une déviation par rapport aux conditions normales de fonctionnement qui pourrait avoir un impact sur la vraisemblance du scénario. Des listes de vérification standard ont été utilisées pour stimuler la discussion.
- 5) Identifier et commenter les facteurs de conséquence pour la source ou le scénario. Identifier une déviation par rapport aux conditions normales de fonctionnement qui pourrait avoir un impact sur les conséquences de l'événement. Des listes de vérification standard ont été utilisées pour stimuler la discussion.
- 6) Pour la source ou le scénario, identifier des mesures de sécurité prises pendant la conception pour contrôler ou atténuer les conséquences de l'événement.
- 7) Enregistrer la discussion, les mesures prises et les commentaires.
- 8) Passer à la source ou au scénario suivant.
- 9) Passer au segment suivant.

RAPPORT TECHNIQUE

3.5. Méthodologie d'évaluation des fréquences d'occurrence



Les scénarios d'accident qui ont été sélectionnés dans le module 1 pour l'analyse quantitative ont été soumis à une évaluation de leur fréquence d'occurrence, selon diverses méthodologies. On a utilisé des fréquences génériques d'incidents qui se produisent dans des gazoducs enfouis ou sur des équipements annexes.

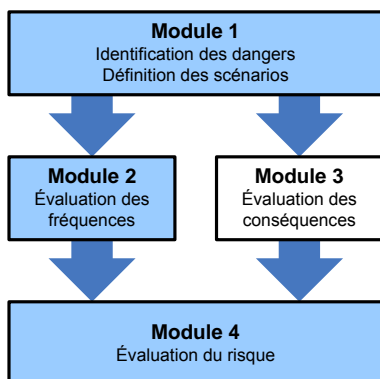
La première étape après la détermination de ces fréquences génériques consistait à adapter ces fréquences au projet.

On a utilisé les fréquences basées sur les caractéristiques du gazoduc, telles que la longueur, le diamètre et les dispositifs de mise à l'évent ainsi que les caractéristiques

de la zone où le gazoduc est enfoui.

Les scénarios d'accident tiennent compte de mesures d'atténuation telles que les systèmes d'arrêt d'urgence. En ce qui concerne les réseaux de canalisations, les fréquences de fuite ont été évaluées à l'aide de données pour des fuites pour des équipements de même type. Les fréquences de fuite spécifiques au projet ont été évaluées en tenant compte du nombre d'équipements (vannes, brides...) et de la longueur de canalisation pour chaque scénario étudié. Des arbres d'événements ont été développés dans le logiciel SAFETI, afin de déterminer la fréquence des inflammations immédiates, des inflammations retardées et de la dispersion sans inflammation.

3.6. Méthodologie d'évaluation des conséquences



Les scénarios d'accident identifiés dans le module 1 ont été soumis à une évaluation des conséquences. Les logiciels SAFETI et PHAST sont développés et mis à jour par DNV pour évaluer les conséquences des fuites de gaz, des incendies, des explosions, de la toxicité et des autres dangers technologiques reliés à diverses industries. Ces logiciels sont décrits à l'annexe 7 et la justification de leur utilisation est indiquée à la section 3.9. Une attention particulière a été portée aux facteurs identifiés dans le module 1 pour obtenir des valeurs spécifiques au projet. Parmi ces facteurs figurent les données météorologiques, atmosphériques et de population.

Les conséquences d'une fuite de gaz naturel sur le gazoduc dépendent aussi de divers facteurs tels que la pression d'exploitation, l'inventaire des segments ESD (c'est-à-dire la quantité de gaz qu'ils contiennent) et les conditions météorologiques.

3.7. Méthodologie d'évaluation des risques

Les résultats de l'évaluation des fréquences et des conséquences ont été combinés afin d'estimer le risque individuel que pose le gazoduc. Le risque collectif n'est pas considéré, parce que cet indicateur dépend de la longueur du gazoduc et que celle-ci varie d'un projet à l'autre. Les risques ont été classés de façon à établir un ordre de priorité des mesures d'atténuation des risques.

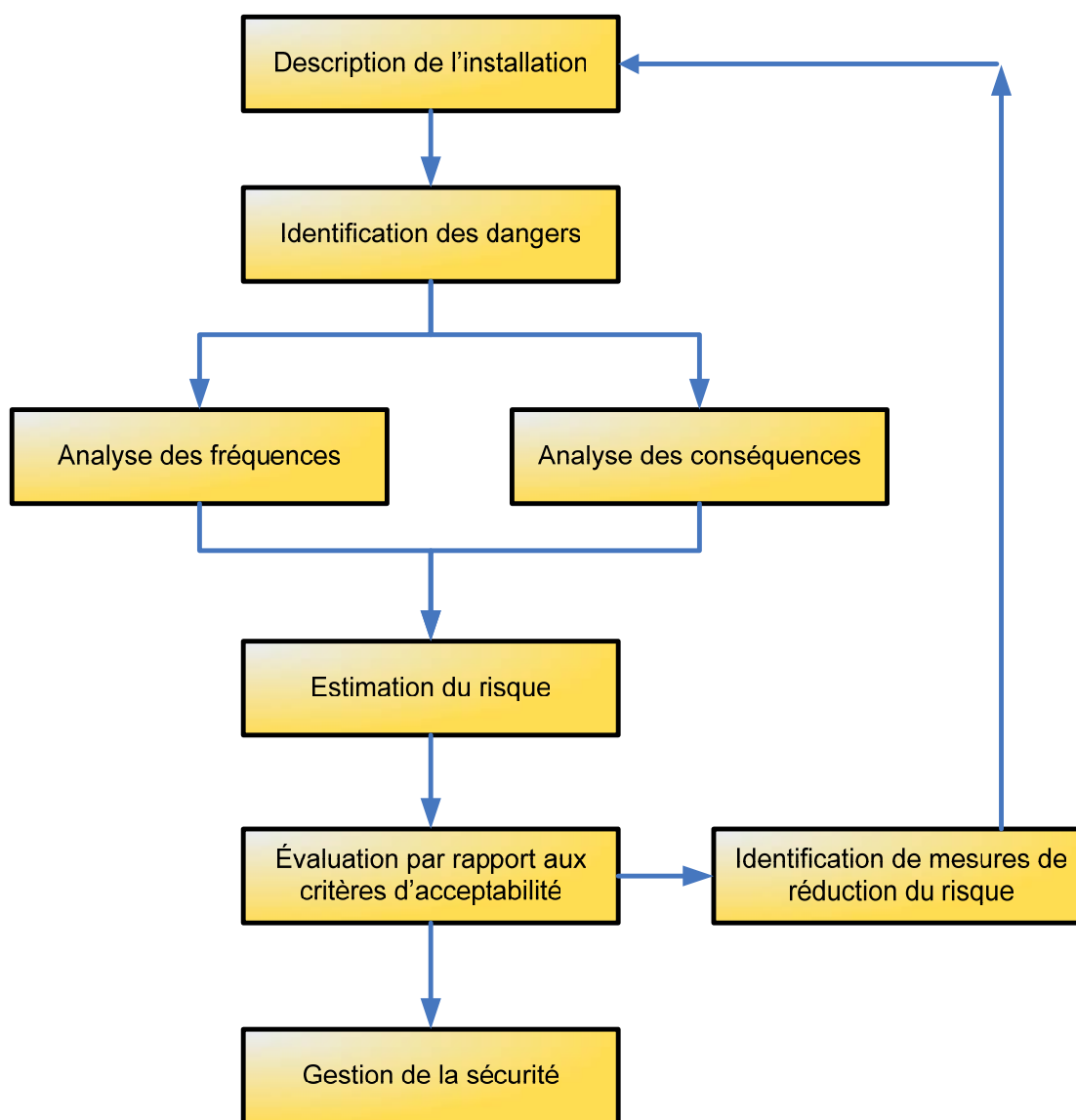
Les indicateurs de risque quantifiés sont le résultat de l'évaluation des risques. Les indicateurs de risque sont décrits plus en détail dans la section 3.2. Ces indicateurs comportent les éléments présentés dans le tableau suivant.

TABLEAU 2 - INDICATEURS DE RISQUE

Indicateurs de risque	Présentation
Risque individuel (RI)	Les isocontours de RI superposés au plan du terrain de l'installation et des zones environnantes. Niveau de RI pour les individus les plus exposés ou à des emplacements déterminés, sur le site et à l'extérieur du site. Classement des risques et analyse des facteurs qui contribuent au RI.

3.8. Mesures de réduction des risques

La figure 2 illustre le processus d'itération pour la mise en œuvre des mesures de réduction des risques. Dans le cadre de cette évaluation, les mesures de réduction des risques ont été listées à la section 8. Cette liste présente à la fois les mesures de réduction des risques définies à partir de pratiques et de normes industrielles ainsi que des mesures identifiées lors du processus d'évaluation des risques. Dans ce rapport, on ne recommande aucune mesure additionnelle de réduction des risques parce que des mesures suffisantes ont déjà été mises en place à l'étape de l'ingénierie de base et intégrées au projet tel que décrit dans l'étude d'impact.

**FIGURE 2 - PROCESSUS D'ITÉRATION POUR LA MISE EN ŒUVRE DES MESURES DE RÉDUCTION DES RISQUES**

3.9. Justification des outils informatiques de modélisation

L'annexe 7 contient une description détaillée des logiciels SAFETI et PHAST.

3.9.1. 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 quantitatives du risque (EQR) 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'EQR des activités terrestres. Il comprend le logiciel PHAST qui représente le standard pour l'évaluation des conséquences d'accidents.

3.9.2. 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.

3.9.3. 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.

RAPPORT TECHNIQUE

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.

Voici des extraits du rapport SMEDIS sur l'UDM (réf. /14/) :

« Section 4.1.2 : Vérification entreprise

Les auteurs ont pris des mesures considérables, en utilisant toutes les ressources et techniques disponibles, pour vérifier la codification de leur modèle. »

« Section 5.1 : Validation déjà effectuée

Un document de validation élaboré a été produit pour l'UDM. Ce document comprend une description de chaque expérience de validation, les hypothèses détaillées sur la simulation de l'UDM ainsi qu'un commentaire approfondi sur les résultats obtenus à partir d'une comparaison statistique et graphique des données obtenues sur le terrain. Les comparaisons établies pour la validation ont été réalisées uniquement à partir d'expériences sur le terrain. Les expériences ont été choisies parcimonieusement et touchent une vaste série de phénomènes. »

4. BASES DE L'ÉVALUATION DES RISQUES

4.1. Tracé du gazoduc

Le gazoduc, dont la distance totale mesure 42 km, s'étend entre le terminal Rabaska et le point de raccordement au Gazoduc TQM. Un poste de livraison se situe au point de raccordement et un poste de sectionnement se trouve approximativement au milieu du gazoduc. Un lanceur de racleur est situé au terminal et un récepteur de racleur, au poste de livraison.

La figure 3 ci-dessous représente le tracé du gazoduc.

Le diamètre extérieur du gazoduc est de 610 mm (24 po). La température minimale de calcul est de -5 °C et la pression de calcul est de 125 bars. Le gazoduc est recouvert d'un revêtement époxydique et comporte une protection cathodique. Une étude sera menée sur les courants vagabonds, surtout en ce qui concerne les croisements avec d'autres réseaux.

Le gazoduc est enfoui jusqu'au poste de livraison, y compris la vanne de sectionnement. Il est enfoui au minimum à 1,2 m dans les terres agricoles et à 0,9 m dans les forêts. Une servitude sera établie sur une largeur de 23 m le long de la conduite et des panneaux indiqueront au public l'emplacement du gazoduc.

La servitude est réduite à 18 m lorsque le gazoduc chemine parallèlement à un oléoduc projeté. Cet oléoduc aura sa propre servitude, d'une largeur de 18 m. La distance entre le gazoduc et l'oléoduc sera de 18 à 20 m sur la plus grande partie de la distance.

Le gazoduc sera protégé par des dalles de béton aux traversées routières et un forage dirigé sera effectué à certains passages de cours d'eau et sous certains sites commerciaux (Pintendre Autos).

Pendant la pose du gazoduc, un ruban avertisseur sera placé au dessus du gazoduc. Il servira d'avertissement en cas d'activités de creusement ultérieures. Par ailleurs, des inspections visuelles par hélicoptère seront menées régulièrement.

RAPPORT TECHNIQUE

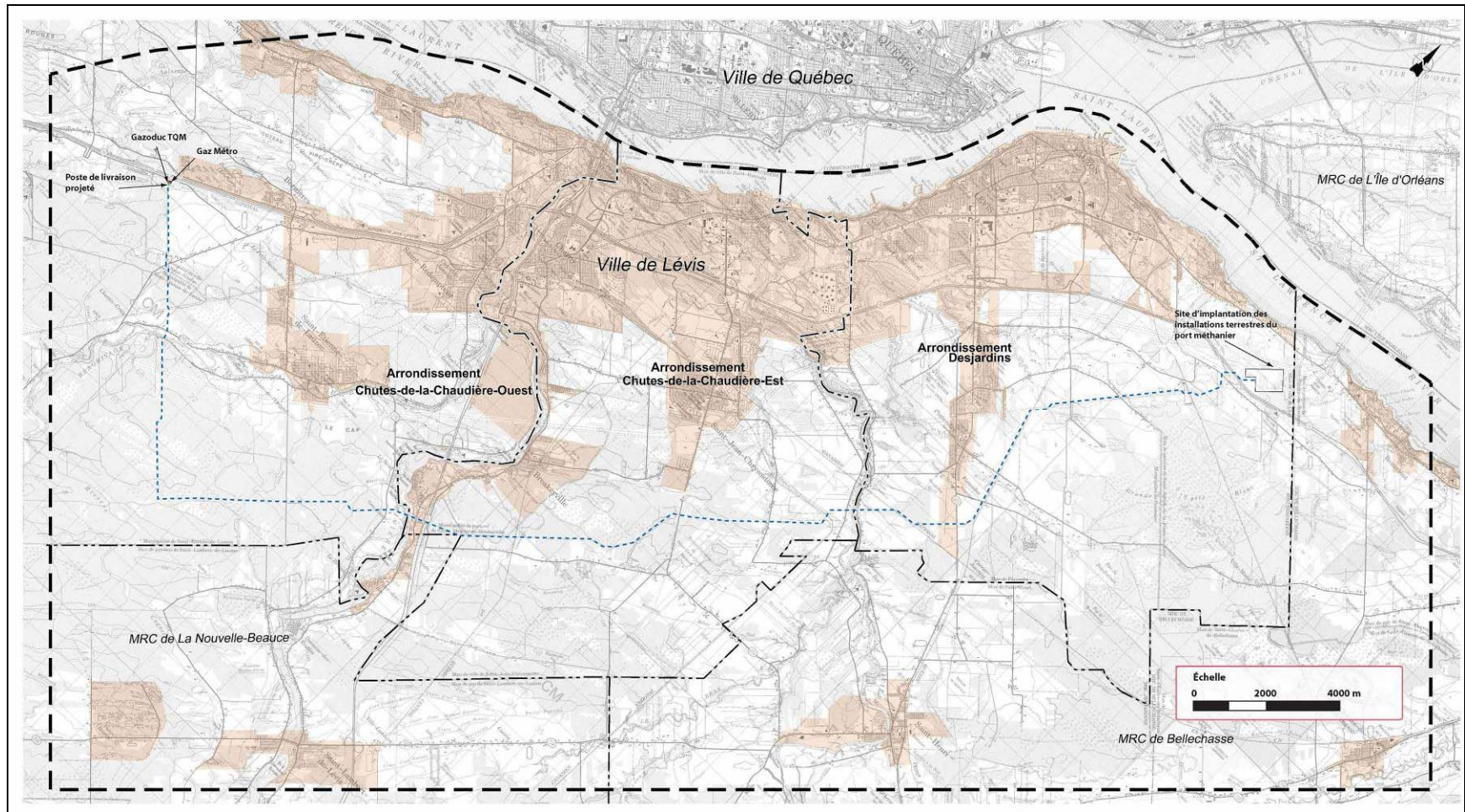


FIGURE 3 - TRACÉ DU GAZODUC

RAPPORT TECHNIQUE

Exploitation proposée du gazoduc

Le gazoduc sera exploité et constamment surveillé, de jour comme de nuit, à partir d'un centre de contrôle.

Les données d'exploitation (pression, température, volumes fournis et paramètres principaux des équipements) seront transmises en continu par télémétrie.

Il y a une vanne d'arrêt à la sortie du terminal (SV1), une vanne de sectionnement à mi-parcours (SV2), une vanne de sectionnement en amont du poste de livraison (SV3) et une vanne d'isolation en amont du point de raccordement au Gazoduc TQM. Les trois vannes de sectionnement (SV1, SV2 et SV3) seront équipées de dispositifs de fermeture automatique qui sont actionnés en situation de basse pression ou lorsque le taux de chute de pression dépasse un seuil pré-établi. Ces dispositifs sont autonomes, automatiques et ne requièrent aucune alimentation en énergie externe. Les vannes SV1 et SV3 seront équipées d'un dispositif de fermeture à distance qui permettra à l'opérateur, lorsque la situation l'exige, de commander la fermeture de ces vannes directement du centre de contrôle.

La température d'exploitation du gazoduc est normalement de 12 °C au terminal et de 0 °C au point de raccordement. La pression normale d'exploitation est de 99 bars au terminal et de 70 bars au point de raccordement.

4.2. Données géographiques

Le gazoduc commence au terminal Rabaska et traverse, avant de se rattacher au Gazoduc TQM, les trois arrondissements de Lévis suivants :

- Desjardins ;
- Chutes-de-la-Chaudière-Ouest ;
- Chutes-de-la-Chaudière-Est.

Le tracé du gazoduc traverse la plupart du temps des zones rurales, mais il franchit aussi plusieurs rivières et routes, qui sont identifiées à la section 5.2.

4.3. Météorologie

La dispersion d'un panache apparaissant suite à une éventuelle fuite de gaz naturel est gouvernée par la vitesse du vent, la direction du vent et la stabilité atmosphérique, et, dans une moindre mesure par l'humidité relative et la température. Dans le cas d'une émission continue, le nuage formé est dilué par un vent fort. Dans le cas d'une émission instantanée, un vent fort peut transporter plus loin le gaz libéré avant que la dilution ne rende le panache ininflammable. La direction du vent compte, dans la mesure où les individus qui se trouvent sous le vent sont directement exposés au nuage de gaz.

RAPPORT TECHNIQUE

Même si la stabilité atmosphérique n’a pas un effet aussi évident que celui de la vitesse et de la direction du vent, elle a un impact important sur la dispersion d’un nuage de gaz. En cas d’atmosphère instable, comme il arrive parfois par temps ensoleillé, les turbulences de l’atmosphère favorisent la dilution du nuage. À l’inverse, une atmosphère stable, fréquente pendant la nuit, présente peu de turbulences. Un nuage de gaz libéré dans une atmosphère stable se diluera plus lentement qu’un nuage libéré dans une atmosphère instable.

Les données météorologiques qui ont servi à cette étude ont été obtenues à la station Lauzon. Les figures 4 et 5 montrent la distribution des vents observées à Lauzon en hiver et en été, sur laquelle cette étude est basée.

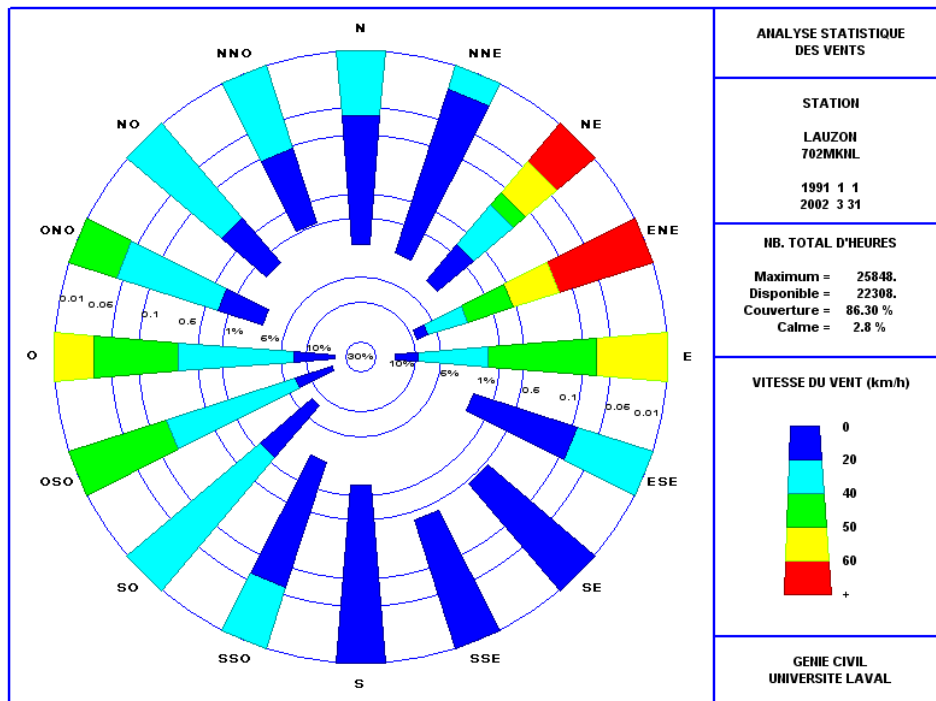


FIGURE 4 - ROSE DES VENTS À LA STATION LAUZON - HIVER

RAPPORT TECHNIQUE

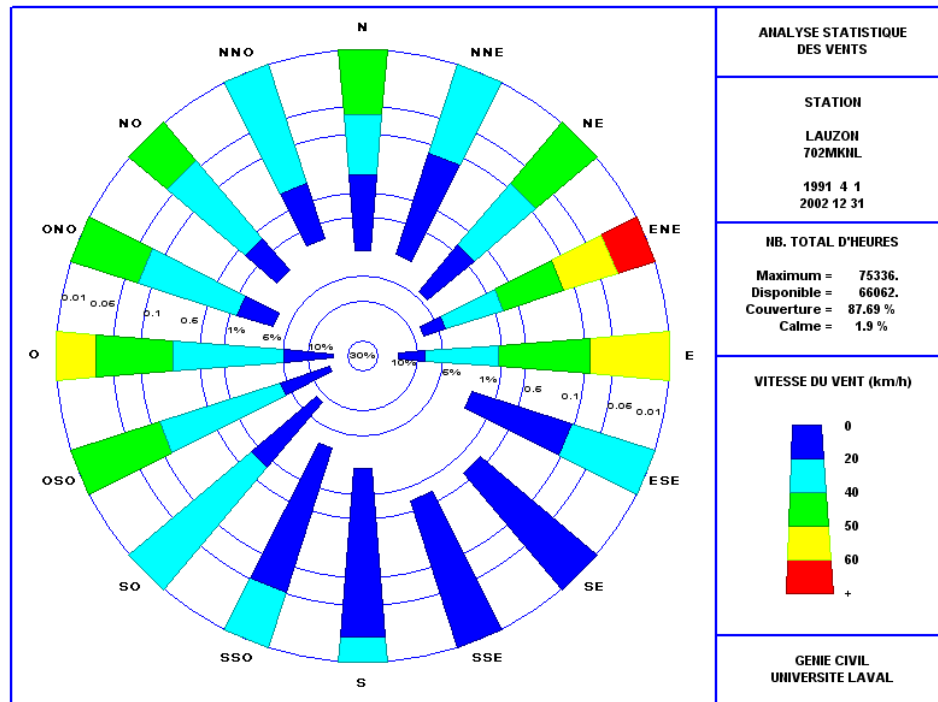


FIGURE 5 - ROSE DES VENTS À LA STATION LAUZON - ÉTÉ

Les autres paramètres météorologiques importants sont basés sur des moyennes annuelles. Les données sont basées sur les données climatologiques de la station Beauséjour, qui se trouve à Saint-Jean-Chrysostome. Ces données ont été enregistrées sur une période de 24 ans entre 1975 et 2000. Les moyennes obtenues sont les suivantes :

Moyenne quotidienne annuelle : 4 °C
 Moyenne quotidienne minimale : -12,9 °C (janvier)
 Moyenne quotidienne maximale : 18,9 °C (juillet)
 Moyenne d'humidité relative : 70 %

Les données météorologiques sont ensuite réparties suivant la direction du vent, la vitesse du vent, la classe de stabilité et la période (jour/nuit). Pour la stabilité, une répartition typique en fonction de la vitesse du vent et du facteur jour nuit a été utilisée. Le tableau 3 présente la distribution en termes de pourcentage du temps des différentes conditions météorologiques.

RAPPORT TECHNIQUE

TABLEAU 3 – DISTRIBUTION DES CLASSES DE VENT ET DE STABILITÉ

Vitesse du vent	Classe de stabilité	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
1 m/s	1A-jour	0.27 %	0.20 %	0.38 %	0.22 %	0.32 %	0.37 %	0.53 %	0.20 %
1 m/s	1B-jour	0.27 %	0.20 %	0.38 %	0.22 %	0.32 %	0.37 %	0.53 %	0.20 %
3 m/s	3A-jour	0.20 %	0.33 %	0.51 %	0.08 %	0.20 %	0.86 %	1.17 %	0.13 %
3 m/s	3B-jour	0.61 %	1.03 %	1.59 %	0.24 %	0.62 %	2.67 %	3.66 %	0.41 %
3 m/s	3C/D-jour	0.42 %	0.70 %	1.08 %	0.16 %	0.42 %	1.82 %	2.49 %	0.28 %
5 m/s	5B-jour	0.13 %	0.59 %	1.82 %	0.02 %	0.03 %	0.88 %	1.86 %	0.27 %
5 m/s	5C/D-jour	0.38 %	1.76 %	5.47 %	0.05 %	0.10 %	2.64 %	5.57 %	0.81 %
1 m/s	1D-nuit	0.54 %	0.41 %	0.76 %	0.45 %	0.64 %	0.73 %	1.06 %	0.40 %
3 m/s	3D-nuit	0.41 %	0.69 %	1.06 %	0.16 %	0.42 %	1.78 %	2.44 %	0.27 %
3 m/s	3E-nuit	0.41 %	0.69 %	1.06 %	0.16 %	0.42 %	1.78 %	2.44 %	0.27 %
3 m/s	3F-nuit	0.41 %	0.69 %	1.06 %	0.16 %	0.42 %	1.78 %	2.44 %	0.27 %
5 m/s	5D-nuit	0.43 %	1.97 %	6.13 %	0.06 %	0.11 %	2.95 %	6.24 %	0.90 %
5 m/s	5E-nuit	0.08 %	0.38 %	1.17 %	0.01 %	0.02 %	0.56 %	1.19 %	0.17 %

Note : La répartition entre les classes de stabilité correspond à des données météorologiques typiques.

4.4. Sources d'inflammation

Afin de calculer le niveau de risque, il est nécessaire d'avoir des renseignements sur les sources d'inflammation qui se trouvent dans les zones où un nuage inflammable pourrait être transporté.

Les sources d'inflammation qui se trouvent le long du gazoduc et qui pourraient avoir un impact sur un éventuel nuage de gaz proviennent de l'activité humaine, des véhicules aux traversées routières, de l'électricité statique, de la foudre ou d'une inflammation spontanée. Aucune source d'inflammation provenant d'une flamme nue n'a été identifiée (p. ex., torchères, fours) sur le tracé du gazoduc.

Pour des raisons de simplification, la densité de la circulation sur les routes principales qui passent le long du gazoduc a été divisée en deux catégories (22 000 passages par jour pour les autoroutes et 4 200 passages par jour pour les routes). Les tendances réelles de la circulation ont ainsi été simplifiées, mais la différence, minime, a été jugée comme étant sans importance pour l'évaluation de l'ensemble du risque.

Les données relatives à la circulation routière comme source d'inflammation sont présentées dans le tableau 4.

RAPPORT TECHNIQUE

TABLEAU 4 - SOURCES D'INFLAMMATION IMPORTANTES LIÉES AUX ROUTES QUI CROISENT LE TRACÉ DU GAZODUC

Sources d'inflammation	Facteur de présence [% par an]	Probabilité d'inflammation en cas de présence de gaz inflammable [%]	Durée d'exposition [s]	Commentaire
Autoroutes 20 et 73	100	10	60	On estime que des automobiles sont présentes 100 % du temps. Il passe 22 000 voitures par jour.
Routes 116, 175, 275, 173	100	10	60	On estime que des automobiles sont présentes 100 % du temps. Il passe 4 200 voitures par jour.

4.5. Effets dominos

Les accidents qui peuvent survenir sur le tracé du gazoduc ou au poste de livraison pourraient se propager à d'autres équipements ou d'autres installations industrielles. Les effets dominos potentiels suivants ont été évalués.

Effet domino vers une autre installation industrielle

Il n'y a pas d'installation industrielle située dans la zone d'impact potentiel en cas d'accident sur le gazoduc, à l'exception du terminal méthanier et du poste de livraison de Saint-Nicolas. Une propagation d'un accident vers le terminal pourrait être possible si une fuite enflammée se produisait sur le point de raccordement au terminal. Cependant, la contribution au risque des accidents sur le gazoduc est négligeable par rapport aux autres risques sur le terminal lui-même et n'a pas été quantifiée dans la suite de l'étude. Une propagation vers le poste existant de Saint-Nicolas est évaluée de manière identique.

Effet domino interne d'un accident

Cet élément a été partiellement pris en compte lors des estimations des fréquences d'accident. Cependant, l'étude des propagations internes d'un accident est importante pour la conception du poste de livraison et pour l'évaluation des risques pour le personnel. Les accidents qui résultent d'un effet domino interne ont moins d'impact potentiel sur la population environnante, parce que seuls les accidents les plus graves pourraient avoir un impact et parce que le délai après l'accident initial permettrait très probablement aux gens d'évacuer les lieux.

RAPPORT TECHNIQUE

Effet domino entre le gazoduc et un oléoduc

Un oléoduc longera le gazoduc sur une distance 15,7 km, comme le montre la figure 6.

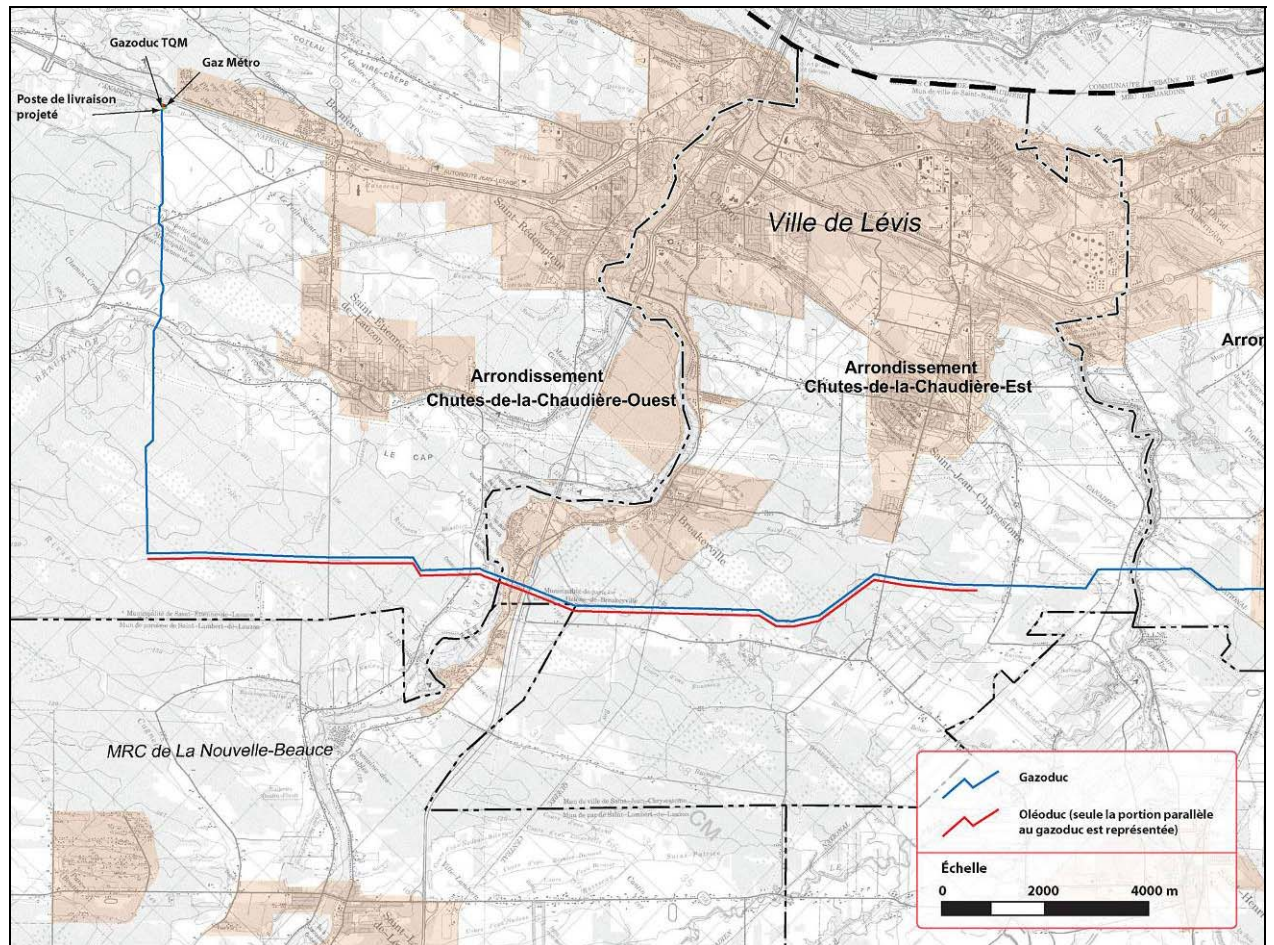


FIGURE 6 - OLÉODUC LONGEANT LE GAZODUC

Les deux pipelines sont enfouis et généralement éloignés de 18 m l'un de l'autre sur le plan horizontal.

On a évalué qu'une rupture de taille importante dans le gazoduc est plus dangereuse pour le public que les feux en nappe provenant de l'oléoduc. Selon l'évaluation, une éventuelle progression d'un incident touchant le gazoduc vers l'oléoduc ne pose pas de risque additionnel pour le public.

On estime qu'un feu en nappe à la surface pose un risque négligeable en termes de progression vers un gazoduc enfoui. En revanche, une rupture de taille importante de l'oléoduc causant une excavation, exposant ainsi le gazoduc voisin, pourrait provoquer une propagation de l'accident de l'oléoduc vers le gazoduc. Toutefois, étant donné que le liquide

RAPPORT TECHNIQUE

est pratiquement incompressible, le taux d'émission et la vitesse linéaire chuteront rapidement après le dégagement initial et la zone touchée sera petite par rapport à une émission semblable à partir du gazoduc. On a donc évalué que le risque d'une potentielle propagation de l'accident de l'oléoduc vers le gazoduc est négligeable par rapport au risque initial que pose la fréquence des fuites à partir du gazoduc lui-même.

4.6. Limites de l'étude

Les données et les modèles disponibles ont imposé l'utilisation de certaines hypothèses, comme c'est le cas pour toute évaluation des risques. Les éléments les plus importants pour l'étude sont présentés et commentés ci-dessous.

Estimations de la fréquence

Diverses bases de données sur les fréquences de fuite ont été consultées pour estimer la fréquence de ces accidents sur des gazoducs et divers équipements. La fréquence est basée sur des événements historiques et constitue uniquement une estimation du nombre prévisible d'accidents par année.

Obstacles et dispersion sur le terrain

Le logiciel utilisé pour simuler la dispersion atmosphérique (PHAST) ne prend pas en compte l'effet de certains éléments du terrain comme les collines, les bâtiments et les autres obstacles dans le calcul de la dispersion. Des outils de modélisation plus complexes (p. ex., outils de modélisation 3D) pourraient être utilisés afin de tenir compte de ces effets, mais cela n'a pas été possible dans cette étude.

Dénombrement des personnes exposées

Le nombre des personnes exposées (autres que les employés du gazoduc) est basé sur le comptage des résidences et des bâtiments dans la région, qui a été réalisé par Roche-Johnston-Vermette. Le comptage des résidences était limité à un corridor d'une largeur de 400 m le long du gazoduc. On a extrapolé ce nombre afin d'évaluer le nombre de résidences sur une largeur allant jusqu'à un 1 km. De fait, la population n'a pas été dénombrée avec exactitude et le nombre de personnes exposées résulte d'une estimation.

Aucune distinction n'a été faite entre le jour et la nuit.

Surpression provoquée par une explosion

On sait que le modèle d'estimation de la surpression provoquée par des explosions en milieu confiné qui est intégré au logiciel PHAST n'est pas très sophistiqué. En revanche, puisque cette étude porte sur les risques pour la population, la surpression provoquée par des explosions n'a pas été retenue comme un élément important, puisque la population se trouve

RAPPORT TECHNIQUE

à bonne distance du gazoduc. Si on doit évaluer les risques pour le personnel d'exploitation du gazoduc et prendre certaines décisions au sujet de la conception et de la construction de bâtiments, des outils plus performants doivent être utilisés.

Classes de stabilité atmosphérique

Des classes typiques de stabilité atmosphérique en fonction de la vitesse du vent et du facteur jour/nuit ont été utilisées dans cette étude parce qu'aucune information précise n'était disponible. La modélisation des conséquences serait plus précise si ces classes de stabilité pouvaient s'appuyer sur des données locales. Cependant, pour les rejets à haute pression, dominés par la forte impulsion du jet, la stabilité atmosphérique a un très faible impact sur la dispersion.

5. IDENTIFICATION DES DANGERS ET DÉFINITION DES SCÉNARIOS

5.1. Identification des dangers

L'identification des dangers a été menée lors d'une réunion de travail, dont les résultats et les participants sont présentés à l'annexe 1. Les feuilles de travail HAZID sont également incluses dans l'annexe 1. Les dangers identifiés ont été soumis à une sélection préliminaire afin de définir les scénarios qui pourraient contribuer au niveau de risque global et être inclus dans l'évaluation quantitative des risques. Les dangers sont présentés à la section 5.1.1. Ces dangers sont commentés et approfondis dans les évaluations ci-dessous.

Les dangers suivants ont été inclus dans l'évaluation quantitative des risques :

- fuites sur la canalisation ;
- fuites au poste de sectionnement ;
- fuites au poste de livraison situé au point de raccordement avec le Gazoduc TQM.

Les différents scénarios sont présentés au chapitre 5.1.1. Les scénarios prennent en compte des défaillances typiques comme la corrosion, les défauts de construction, les impacts externes, les défauts mécaniques, les erreurs de manœuvre ou de maintenance, fragilisation, etc. L'évaluation des conséquences est réalisée au chapitre 7.

5.1.1. RISQUES ASSOCIÉS AUX GAZODUCS

Le gaz naturel est composé principalement de méthane, qui est plus léger que l'air. La plupart des fuites survenant dans des gazoducs enfouis sont provoquées par un impact externe et la corrosion, mais certaines fuites sont aussi dues aux défauts de fabrication, aux défauts mécaniques, aux erreurs de manœuvre, aux travaux d'entretien, à la fragilisation, etc.

Une fuite qui se déclare dans un gazoduc enfoui provoquera la formation d'un cratère autour du point de fuite. La taille du cratère dépend du type de fuite, de la vitesse et de la direction de l'émission, des conditions du sol autour du point de fuite, etc.

Une fuite de gaz naturel forme un nuage, qui dépend de la force d'impulsion du jet de gaz naturel, de la vitesse du vent, de la direction du vent et de la stabilité atmosphérique. Le vent peut diluer le nuage, mais un vent fort peut transporter le gaz libéré sur une certaine distance avant que sa dilution rende le panache ininflammable.

Le gaz naturel n'est inflammable que dans une plage étroite de concentration dans l'air (5 % à 15 %). Aux concentrations supérieures à 15 %, il n'y a pas assez d'oxygène pour entretenir la combustion. Aux concentrations inférieures à 5 %, le gaz est trop dilué pour

RAPPORT TECHNIQUE

pouvoir s'enflammer. Si un jet de gaz s'enflamme, le feu se propagera jusqu'à la source de la fuite. L'inflammation retardée d'un nuage de gaz provoquera un feu de nuage.

5.1.2. DANGERS OCCASIONNÉS PAR LES ACTIVITÉS D'EXPLOITATION**Raccordement en charge au gazoduc existant**

Le gazoduc projeté sera relié, au point de raccordement, au Gazoduc TQM. Cette opération de raccordement en charge suivra des procédures strictes. Le personnel et l'ensemble de l'organisation sont très vigilants pendant de telles opérations. Il y a donc peu de chances pour qu'un incident survienne pendant le raccordement en charge. Cette opération n'est effectuée qu'une fois pendant toute la durée d'exploitation du gazoduc. Ainsi, ce risque est négligeable et contribue peu à la fréquence d'accident. Il n'a donc pas été inclus dans la suite de l'évaluation.

Fuite pendant les opérations de raclage

La gare de lancement des racleurs est située à l'extrémité du gazoduc, du côté du terminal méthanier. Une gare de réception est située au poste de livraison. Les opérations de raclage présentent un risque de rejet d'hydrocarbures, puisque cela implique l'ouverture de la porte de la gare de raclage. En revanche, ces opérations sont menées en suivant de strictes procédures et la gare de racleur a été conçue pour éviter les dégagements dans l'atmosphère (p. ex., sas). La porte sera équipée d'un dispositif de verrouillage qui prévient l'opérateur de la présence d'une pression résiduelle dans le réceptacle et qui permet de vidanger le réceptacle à l'atmosphère avant toute manœuvre d'ouverture. Cependant, des erreurs de procédure peuvent provoquer des fuites. On estime qu'une éventuelle émission aurait une durée limitée et qu'elle n'aurait probablement pas d'impact sur la population. Ce scénario n'a donc pas été inclus dans l'évaluation quantitative des risques.

5.1.3. RISQUES EXTERNES**Séisme**

L'Est canadien (Ontario, Québec et Maritimes) se trouve dans une région continentale stable des plaques tectoniques de l'Amérique du Nord, dont l'activité sismique est modérée. La plupart des séismes dans la région sont provoqués par la réactivation de failles existantes ou d'anciens points faibles de la croûte terrestre.

Les conditions sismiques sur le tracé du gazoduc seront intégrées dans le coefficient de sécurité et dans les exigences de flexibilité du gazoduc. Les émissions accidentelles de gaz naturel provoquées par des séismes sont ainsi considérées comme un risque négligeable pour la collectivité. Ce scénario n'a donc pas été inclus dans l'évaluation quantitative des risques.

RAPPORT TECHNIQUE

Glissement de terrain

Le tracé du gazoduc traverse une région géologique stable, où les glissements de terrain sont improbables. Ce scénario n'a donc pas été inclus dans l'évaluation quantitative des risques.

Inondation

Il y a parfois des inondations le long des cours d'eau ou dans les terrains marécageux, surtout pendant la fonte des neiges, mais aussi en cas de pluie torrentielle. Parmi les risques, le gazoduc pourrait être déterré par le ruissellement ou perdre ses fondations.

Dans le cadre des études techniques détaillées, les impacts d'une éventuelle inondation seront inclus dans la conception du gazoduc. On considère que ce scénario contribue très peu à la fréquence d'accident et il n'a donc pas été inclus dans l'évaluation.

Ravinement et érosion de berges

Le gazoduc traverse trois rivières principales. L'installation du gazoduc dans les rivières Etchemin, Chaudière et Beaurivage se fera par forage dirigé. Plusieurs mesures de sécurité seront prévues sur le tracé en cas de ravinement ou d'érosion des berges de rivière. La probabilité d'une émission accidentelle est donc très faible, c'est pourquoi ce scénario n'a pas été inclus dans l'évaluation quantitative des risques.

Croisement de gazoducs existants

Le tracé proposé du gazoduc ne croise aucun autre gazoduc de transport de gaz naturel, mais croise des canalisations de distribution, de plus faible diamètre. La probabilité qu'un incident lié aux canalisations existantes se répercute sur le gazoduc Rabaska est considérée comme négligeable par rapport à la fréquence d'accident totale. Le scénario n'a donc pas été inclus dans l'évaluation quantitative des risques.

Terrorisme et sabotage

Les plus graves conséquences de tels événements ne sont pas plus importantes que celles des autres incidents étudiés dans l'évaluation des risques. Ces types de dangers n'ont pas été quantifiés dans cette étude parce qu'ils ont été classés comme actes intentionnels très peu probables. Ils n'ont donc pas été évalués davantage.

RAPPORT TECHNIQUE

5.2. Identification des éléments sensibles

5.2.1. POPULATION

Dans le cadre de l'évaluation des risques, les limites de recensement de la population ont été fixées à une distance de 1 km de chaque côté du gazoduc. Les données sur la population constituent une estimation approximative, basée sur une extrapolation à partir de renseignements fournis pour une bande de 200 m de chaque côté du gazoduc.

La figure 7 et le tableau 5 présentent les données sur la population.

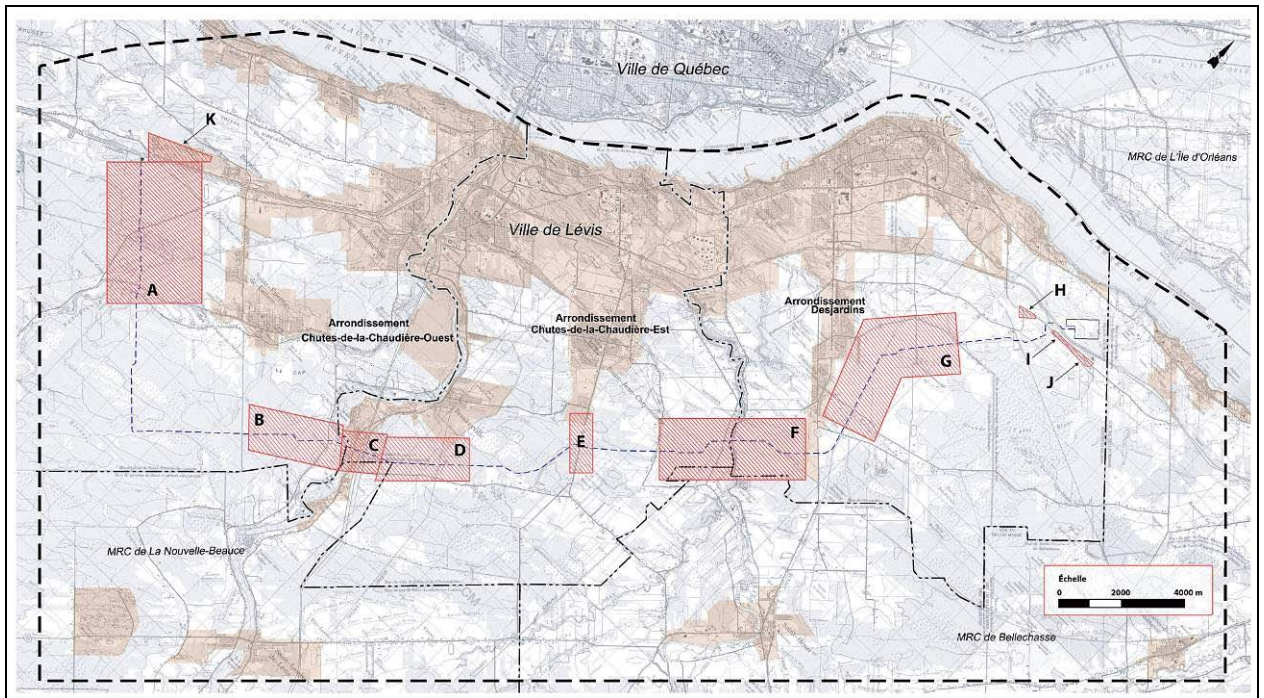


FIGURE 7 - POPULATION LE LONG DU TRACÉ DU GAZODUC

RAPPORT TECHNIQUE

TABLEAU 5 - POPULATION LE LONG DU TRACÉ DU GAZODUC (1 KM DE CHAQUE CÔTÉ)

Zone	Nombre de résidences	Nombre de personnes
A	75	375
B	50	250
C	225	1125
D	50	250
E	50	250
F	50	250
G	50	250
H	9	45
I	14	70
J	24	120
K	NA	Densité moyenne ¹ : 175 personnes/km ²

5.2.2. STRUCTURES ET INFRASTRUCTURES

La présente section concerne les infrastructures importantes, les hôpitaux, les sites naturels ou les autres zones d'intérêt qui pourraient être affectées par un accident lié au gazoduc. On y montre les risques pour les zones résidentielles et la population en général.

Le tableau 6 présente les éléments sensibles qui pourraient être affectés par un accident lié au gazoduc. Comme l'indique le tableau, le tracé du gazoduc croise plusieurs routes à grande circulation. L'accroissement de la probabilité d'inflammation à cause de la circulation routière a été inclus dans le modèle SAFETI.

¹ La densité de population dans cette région est tirée de *L'atlas du Canada* (<http://atlas.gc.ca>).

RAPPORT TECHNIQUE

TABLEAU 6 - RIVIÈRES ET ROUTES QUI CROISENT LE TRACÉ DU GAZODUC

Routes	Rivières
Autoroute 20	Etchemin
Chemin Saint-Roch	Chaudière
Chemin Sainte-Hélène	Beaurivage
Avenue des Ruisseaux	
Rue Monseigneur Bourget	
Chemin Ville-Marie	
Chemin des Sables	
Route 173 (du Président Kennedy)	
Chemin des Îles	
Chemin Terrebonne	
Chemin Penin	
Route 275	
Autoroute 73	
Route 175	
Route 171	
Chemin de la Savane	
Chemin Sainte-Anne Ouest	
Route 116	
Chemin Saint-Jean	

Lignes de transport d'énergie électrique

En partant du terminal, le gazoduc passe à 360 m de trois lignes de transport d'énergie électrique d'une tension de 735 kV. Le gazoduc longe ou croise d'autres lignes électriques au cours de son parcours jusqu'à Saint-Nicolas. L'impact et les conséquences potentielles d'un accident sur ces lignes sont abordés à la section 8.2.1.

5.3. Données historiques

Les données sur les accidents liés aux gazoducs ont été étudiées à partir de bases de données publiées. Les données historiques sur les gazoducs de transport sont les seules à avoir été jugées pertinentes pour cette étude. Les gazoducs de transport sont des conduites à haute pression (> 10 bar [150 PSI]) de grand diamètre (> 152 mm [6 po]) et de grande longueur (> 1,6 km) qui partent d'installations de traitement du gaz pour se rendre à des postes de détente ou aux consommateurs. Ils passent principalement dans des zones rurales, souvent le long de routes principales.

Un certain nombre d'accidents se sont produits dans des gazoducs au cours des 25 dernières années. Les données historiques montrent que les dégâts résultant de bris par des tiers lors de travaux de creusage par exemple, ont provoqué plus d'incidents et d'accidents dans des gazoducs que toute autre catégorie de cause.

L'annexe 6 présente une sélection d'accidents qui ont eu lieu dans des gazoducs au cours des 25 dernières années en Amérique du Nord.

6. ANALYSE DES FRÉQUENCES

6.1. Introduction

Le gazoduc projeté, long d'environ 42 km, s'étend entre le terminal Rabaska et le point de raccordement au Gazoduc TQM. Un poste de livraison se situe au point de raccordement et un poste de sectionnement se trouve approximativement au milieu du gazoduc.

Le gazoduc est enfoui jusqu'au poste de livraison, incluant la vanne de sectionnement. Il y a une vanne d'arrêt à la sortie du terminal (SV1), une vanne de sectionnement à mi-parcours (SV2), une vanne de sectionnement en amont du poste de livraison (SV3) et une vanne d'isolation en amont du point de raccordement au Gazoduc TQM. Chaque vanne est reliée aux conduites par une bride.

Des conduites, des vannes et des brides se trouvent à la surface près du poste de livraison. Des conduites et des équipements se trouvent également dans le bâtiment du poste de livraison.

6.2. Scénarios d'accident touchant les équipements et l'exploitation du gazoduc

Conduites

Le gazoduc est entièrement enfoui, à l'exception des installations qui se trouvent aux deux extrémités du gazoduc. En ce qui concerne la portion enfouie du gazoduc, les fréquences de fuite sont tirées de la référence /1/, qui décrit les fréquences de fuite dans les conduites terrestres enfouies. Le tableau 7 présente les fréquences de fuite dans les conduites terrestres enfouies.

TABLEAU 7 - FRÉQUENCES DE FUITE SUR DES CONDUITES TERRESTRES ENFOUIES

Épaisseur de la paroi (mm)	Fréquence de fuite (par mètre et par an)
≤ 5	$5,3 \times 10^{-7}$
5-10	$3,2 \times 10^{-7}$
10-15	$8,2 \times 10^{-8}$
> 15	$2,9 \times 10^{-8}$

RAPPORT TECHNIQUE

La distribution suivante entre les diverses catégories de fuites a été appliquée aux conduites enfouies :

- Petite fuite (5 mm) : 46%
- Fuite moyenne (25 mm) : 20%
- Grande fuite (100 mm) : 20%
- Rupture complète : 14%

Le gazoduc comporte un poste de livraison, qui se trouve près du point de raccordement au Gazoduc TQM. Plusieurs conduites et équipements se trouvent à la surface, près du poste de livraison, lui-même situé dans un bâtiment.

Les données sur les fréquences de fuite des conduites de surface, à l'intérieur et à l'extérieur, sont tirées des données de Gulf Oil. Ces données proviennent principalement d'installations terrestres, et la fréquence de fuites est semblable à celle des conduites de transport. DNV a analysé les données de Gulf Oil et en a déduit une fréquence de fuite pour chaque diamètre de conduite. Le tableau 8 illustre les données sur les fréquences de fuite calculées par DNV et basées sur les données de Gulf Oil.

TABLEAU 8 - FRÉQUENCES DE FUITE SUR DES CONDUITES SELON LA TAILLE DE LA PERFORATION

Diamètre de la conduite		Diamètre de perforation (mm)	Fréquence de fuite (par mètre et par an)
(po)	(mm)		
8	200	5 mm (0-10 mm)	$9,0 \times 10^{-7}$
		25 mm (10-50 mm)	$1,1 \times 10^{-6}$
		100 mm (50-150 mm)	$2,5 \times 10^{-7}$
		Rupture complète (> 150 mm)	$5,6 \times 10^{-8}$
16	400	5 mm (0-10 mm)	$2,9 \times 10^{-7}$
		25 mm (10-50 mm)	$7,5 \times 10^{-7}$
		100 mm (50-150 mm)	$7,6 \times 10^{-8}$
		Rupture complète (> 150 mm)	$5,0 \times 10^{-8}$
24	600	5 mm (0-10) mm	$1,9 \times 10^{-7}$
		25 mm (10-50) mm	$5,0 \times 10^{-7}$
		100 mm (50-150) mm	$5,0 \times 10^{-8}$
		Rupture complète (> 150 mm)	$3,4 \times 10^{-8}$
32	800	5 mm (0-10) mm	$1,5 \times 10^{-7}$
		25 mm (10-50) mm	$3,8 \times 10^{-7}$
		100 mm (50-150) mm	$3,7 \times 10^{-8}$
		Rupture complète (> 150 mm)	$2,6 \times 10^{-8}$

RAPPORT TECHNIQUE

Vannes

Les fréquences de fuite pour les industries de procédé ont été utilisées dans la présente étude. DNV a analysé les fréquences de fuite liées à différents types de vannes mentionnées dans la base de données de l'UK Health and Safety Executive Board (HSE). Les résultats indiquent que les fréquences pour les vannes manuelles sont plus basses que pour les vannes automatisées et qu'elles dépendent davantage de la taille de la vanne ; c'est-à-dire, la fréquence de fuite augmente avec la taille des vannes manuelles, mais pas pour les vannes automatisées. Le tableau 9 indique les fréquences de fuite pour les vannes manuelles et automatisées

TABLEAU 9 - FRÉQUENCES DE FUITE SUR DES VANNES

Diamètre de la perforation		Fréquence de fuite (par année)	
Catégorie	Nominal	Vannes manuelles	Vannes automatisées
0-10 mm	5 mm	$2,73 \times 10^{-4}$	$6,10 \times 10^{-4}$
10-50 mm	25 mm	$4,90 \times 10^{-5}$	$1,10 \times 10^{-4}$
50-150 mm	100 mm	$1,30 \times 10^{-5}$	$2,80 \times 10^{-5}$
>150 mm	Rupture complète	$1,20 \times 10^{-5}$	$2,60 \times 10^{-5}$

Brides de raccordement

La meilleure estimation des fréquences de fuite provenant des brides est tirée de la base de données du HSE sur les rejets d'hydrocarbures (HSE, 2000). DNV a ajusté une fonction à ces données pour lisser les variations de la fréquence de fuite selon le diamètre de la bride et la taille de la fuite. Le tableau 10 indique les fréquences de fuite pour les diamètres de bride typiques et les catégories de diamètre de la fuite.

TABLEAU 10 - FRÉQUENCES DE FUITE SUR DES BRIDES DE RACCORDEMENT

Diamètre de la fuite		Fréquence de fuite (par année) selon le diamètre de la bride		
Catégorie	Nominal	50 mm (2 po)	150 mm (6 po)	600 mm (24 po)
0-10 mm	5 mm	$5,90 \times 10^{-5}$	$7,30 \times 10^{-5}$	$3,06 \times 10^{-4}$
10-50 mm	25 mm	$2,40 \times 10^{-5}$	$1,68 \times 10^{-5}$	$7,05 \times 10^{-5}$
50-150 mm	100 mm	-	$1,18 \times 10^{-5}$	$2,24 \times 10^{-5}$
> 150 mm	Rupture complète	-	-	$2,70 \times 10^{-5}$

RAPPORT TECHNIQUE

Ces valeurs s'appliquent aux liquides, aux gaz et aux gaz liquéfiés, pour les industries terrestres ou maritimes. En l'absence de données plus spécifiques, elles sont considérées comme convenables pour tous les types de joints d'étanchéité et pour les autres types de raccords mécaniques de conduites (par exemple, avec un collier de serrage).

Raccords de petit calibre

La meilleure estimation disponible des fréquences de fuite aux raccords de petit calibre (de diamètre inférieur à 50 mm) est tirée de la base de données du HSE sur les rejets d'hydrocarbures (HSE, 2000). DNV a ajusté une fonction à ces données pour lisser les variations de la fréquence de fuite selon la grosseur du raccord et la taille de la fuite. Le tableau 11 indique les fréquences de fuite utilisées dans la présente étude pour les raccords de petit calibre.

TABLEAU 11 - FRÉQUENCES DE FUITE SUR DES RACCORDS DE PETIT CALIBRE

Diamètre de la fuite		Fréquence de fuite (par année et par raccord)
Catégorie	Nominal	
0-10 mm	5 mm	$4,80 \times 10^{-4}$
10-50 mm	25 mm	$1,20 \times 10^{-4}$

7. ANALYSES DES CONSÉQUENCES

7.1. Scénarios d'accident

Le gazoduc et le poste de livraison, situé en amont du point de raccordement au Gazoduc TQM, sont divisés en plusieurs segments ESD. On appelle segment ESD (Emergency Shutdown) un tronçon ou un ensemble d'équipements qui peut être isolé par des vannes. Pour chacun de ces segments, des scénarios d'accident représentatifs sont développés et modélisés dans SAFETI afin d'évaluer les répercussions sur la population.

Le tableau 12 présente un aperçu des principaux segments ESD du gazoduc.

TABLEAU 12 - DESCRIPTION DES SEGMENTS ESD DU GAZODUC

Segment ESD	Description
1	Segment situé entre le terminal et la vanne d'isolement (à mi-chemin du gazoduc).
2	Segment situé entre la vanne d'isolement et le poste de livraison.
3	Poste de livraison.

L'annexe 2 présente le détail de ces segments ESD et leurs scénarios d'accident représentatifs. Les scénarios ont été incorporés au logiciel SAFETI en incluant des paramètres tels que la pression, la température, la taille de la brèche, la direction et la durée de la fuite, etc. Les calculs de fuite et de dispersion sont effectués par SAFETI, en plus des évaluations du risque qui sont basées sur la contribution de chaque scénario d'accident. Les hypothèses importantes relativement au développement de ces scénarios d'accident dans SAFETI sont présentées ci-dessous.

Les résultats de la simulation des conséquences, comme la dispersion et la rayonnement thermique, sont présentés à la section 7.2.

Fuite à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment : Certains équipements du poste de livraison sont situés à l'intérieur d'un bâtiment. Par rapport aux émissions à l'air libre, des fuites provenant des équipements de mesure se comportent différemment en ce qui a trait à la dispersion, étant donné que les rejets à l'intérieur sont déviés par impact et qu'ils perdent de la vitesse. On considère que le gaz sortira du bâtiment par un puits de ventilation de 1 m².

Taille de la fuite : Les statistiques disponibles sur les fréquences de fuite sont divisées en plusieurs catégories selon la taille de la fuite. Les catégories de taille de fuite appliquées à chaque segment ESD sont les suivantes : petite (5 mm), moyenne (25 mm), grande (100 mm) et rupture complète (diamètre de la canalisation).

Isolement et purge : Les vannes d'isolement du gazoduc sont prévues pour se fermer lorsqu'elles détectent une chute de la pression. Dans cette étude, la chute de pression suivant

RAPPORT TECHNIQUE

une rupture complète est considérée comme suffisante pour déclencher l'isolement des segments ESD en 30 secondes. Les fuites petites, moyennes et grandes ne vont raisonnablement pas déclencher l'isolement automatique du gazoduc. Des ensembles de soupapes de décharge sont installés avec les vannes d'isolement, et l'isolement est considéré comme réussi lorsque ces soupapes de décharge sont ouvertes. Les soupapes de décharge sont prévues pour évacuer le contenu du gazoduc en une heure.

Direction du rejet : La direction du rejet est un facteur important pour la vitesse et la dispersion ultérieure du gaz. Les rejets provenant des gazoducs enfouis sont considérés comme déviés et, de ce fait, moins rapides. On suppose que les rejets provenant de gazoducs enfouis ont un angle de débit vers le haut (environ 30°), étant donné que le point d'émission est situé sous le sol. Les rejets de gaz à l'air libre (au poste de livraison) sont considérés comme un jet soit libre soit dévié, certains rejets étant redirigés vers le bas ou vers un équipement voisin.

Inventaire de gaz dans chaque segment : L'inventaire dans chaque segment ESD a été estimé en fonction de la longueur et du diamètre du gazoduc entre les vannes ESD pertinentes.

Masse totale rejetée : La masse totale rejetée provenant d'un segment dépend de l'inventaire du segment ainsi que du temps qui s'écoule avant la fermeture des vannes ESD et l'arrêt de l'écoulement provenant des autres segments ESD. Si l'isolement échoue, on considère que le débit est maintenu.

Conditions météorologiques saisonnières : Il y a un grand écart dans les conditions météorologiques entre l'hiver et l'été. Comme décrit à la section 4.3, la température et l'humidité relative ont moins d'effet sur la dispersion que la vitesse, la direction et la stabilité du vent. Tous ces facteurs sont inclus dans l'évaluation quantitative des risques avec des valeurs basées sur les statistiques météorologiques pour l'été et pour l'hiver. Ces valeurs sont présentées à la section 4.3.

7.2. Conséquence de scénarios d'accident

Les scénarios d'accident retenus pour le gazoduc sont décrits dans les tableaux 13, 14 et 15. Les tableaux 13 et 15 décrivent un scénario peu probable de rupture complète d'une canalisation enfouie ou hors sol. De plus, une fuite de taille moyenne d'une canalisation enfouie est décrite dans le tableau 14.

Les conditions météorologiques utilisées pour les tableaux 13, 14 et 15 sont les plus représentatives pour le gazoduc. Cependant, pour l'analyse du risque, différentes conditions de vent et de stabilité atmosphérique sont étudiées avec leur probabilité correspondante.

Les résultats pour les ruptures complètes sont donnés pour un débit de fuite moyen sur les 3 premières minutes. Pour la fuite de taille moyenne, le débit reste plus ou moins constant durant la durée de l'incident.

RAPPORT TECHNIQUE

Les définitions qui suivent expliquent certains termes utilisés dans les tableaux et les figures :

- Limite inférieure d'inflammabilité (LII) : Le gaz doit atteindre une certaine concentration pour pouvoir s'enflammer. La LII est le point où la concentration en gaz devient trop faible pour s'enflammer.
- Feu de jet : Combustion de matière expulsée à grande vitesse en jet concentré ou en vaporisation.

Niveaux de rayonnement thermique :

- 37,5 kW/m² : Décès immédiat des personnes exposées. Inflammation spontanée du bois.
- 12,5 kW/m² : Douleur extrême en moins de 20 secondes.
- 5 kW/m² : Il est toujours possible de fuir. Brûlures du second degré après une minute 30 secondes d'exposition.

Il est à noter que le logiciel PHAST surévalue la portée du rayonnement thermique lors d'une émission de gaz, étant donné que l'effet de la densité de la flamme n'est pas pris en compte dans le calcul du rayonnement thermique.

TABLEAU 13 - SCÉNARIO D'ACCIDENT - RUPTURE COMPLÈTE D'UN GAZODUC ENFOUI

Scénario	Résultats
<p>Rupture complète d'un gazoduc enfoui</p> <p>Débit : 1 600 kg/s</p> <p>Conditions météo pour le calcul du rayonnement :</p> <p>Vitesse du vent : 3 m/s</p> <p>Classe de stabilité : D</p> <p>Longueur de rugosité : 183 mm</p> <p>Humidité : 70 %</p> <p>Température : 4°C</p>	<p>Longueur de la flamme : 435 m</p> <p>Angle de la flamme : 30°</p> <p>Au niveau du sol :</p> <p>Distance jusqu'à 37,5 kW/m² : 356 m</p> <p>Distance jusqu'à 12,5 kW/m² : 522 m</p> <p>Distance jusqu'à 5 kW/m² : 730 m</p> <p>Distance jusqu'à la LII :</p> <p>141 m (127 m au-dessus du sol)</p> <p>25 m (au niveau du sol)</p>

RAPPORT TECHNIQUE

TABLEAU 14 - SCÉNARIO D'ACCIDENT - FUITE MOYENNE PROVENANT D'UN GAZODUC ENFOUI

Scénario	Résultats
<p>Fuite moyenne provenant d'un gazoduc enfoui</p> <p>Débit : 0,9 kg/s</p> <p>Conditions météo pour le calcul du rayonnement :</p> <p>Vitesse du vent : 3 m/s</p> <p>Classe de stabilité : D</p> <p>Longueur de rugosité : 183 mm</p> <p>Humidité : 70 %</p> <p>Température : 4 °C</p>	<p>Longueur de la flamme : 20,3 m</p> <p>Angle de la flamme : 30°</p> <p>Au niveau du sol :</p> <p>Distance jusqu'à 37,5 kW/m² : quelques mètres</p> <p>Distance jusqu'à 12,5 kW/m² : 11 m</p> <p>Distance jusqu'à 5 kW/m² : 22,5 m</p> <p>Distance jusqu'à la LII : 8 m (3 m au-dessus du sol)</p>

TABLEAU 15 - SCÉNARIO D'ACCIDENT - RUPTURE COMPLÈTE D'UN GAZODUC HORS SOL

Scénario	Résultats
<p>Rupture complète d'un gazoduc hors sol</p> <p>Débit : 900 kg/s</p> <p>Conditions météo pour le calcul du rayonnement :</p> <p>Vitesse du vent : 3 m/s</p> <p>Classe de stabilité : D</p> <p>Longueur de rugosité : 183 mm</p> <p>Humidité : 70 %</p> <p>Température : 4 °C</p>	<p>Longueur de la flamme : 293,5 m</p> <p>Au niveau du sol :</p> <p>Distance jusqu'à 37,5 kW/m² : 367 m</p> <p>Distance jusqu'à 12,5 kW/m² : 430 m</p> <p>Distance jusqu'à 5 kW/m² : 510 m</p> <p>Distance jusqu'à la LII : 265 m (au niveau du sol) 353 m (30 m au-dessus du sol)</p>

8. ÉVALUATION DES RISQUES

8.1. Risque individuel

Le procédé d'évaluation des risques quantifie les risques en termes de risque individuel. La zone de risque individuel est indiquée sur la figure 9.

On peut voir sur les figures 8 et 9 que l'éloignement moyen du contour correspondant à une fréquence de 10^{-7} (période de retour de 10 millions d'années), représentant un risque négligeable le long du gazoduc, est d'approximativement 100 m. La figure 8 décrit le risque individuel en prenant en compte la distance jusqu'au gazoduc. Le contour de 10^{-4} (période de retour de 10 000 ans), représentant le risque maximum acceptable, n'est pas atteint le long du parcours du gazoduc. Cela signifie que le niveau de risque est acceptable pour quelqu'un qui se trouve continuellement au-dessus du gazoduc. Pour quelqu'un qui serait situé en permanence à plus de 100 m du gazoduc, le risque est négligeable.

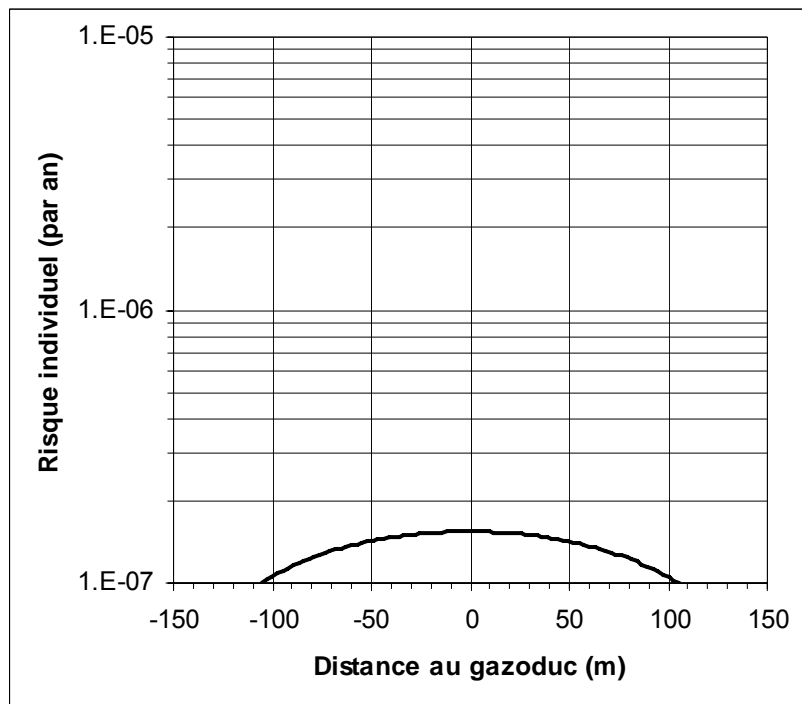


FIGURE 8 - RISQUE INDIVIDUEL EN FONCTION DE LA DISTANCE JUSQU'AU GAZODUC

RAPPORT TECHNIQUE

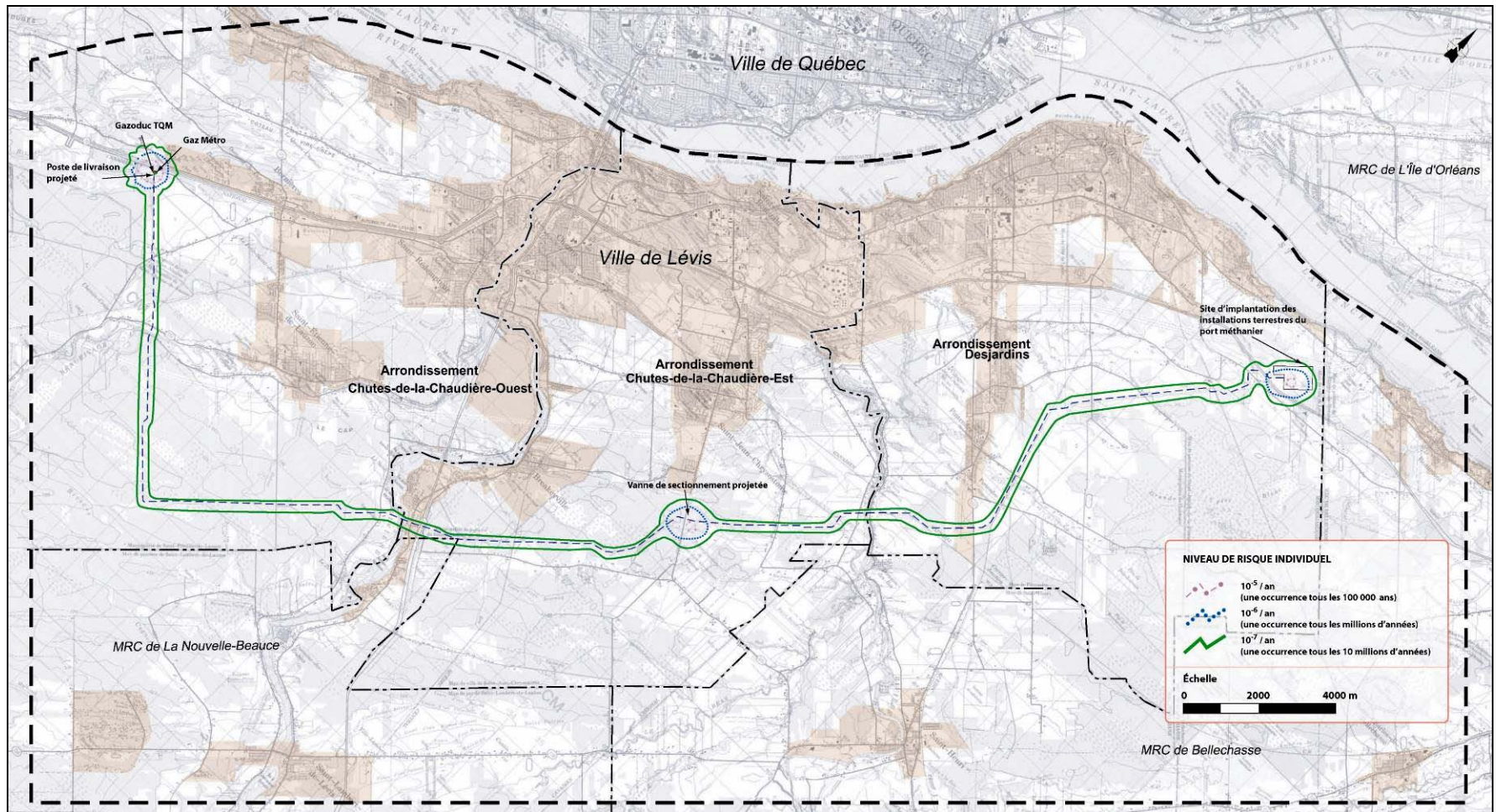


FIGURE 9 - ISOCONTOURS DE RISQUE INDIVIDUEL ASSOCIÉS AU GAZODUC

RAPPORT TECHNIQUE

Cependant, autour de la vanne de sectionnement ainsi qu'aux points de raccordement avec le terminal Rabaska et le Gazoduc TQM, la zone correspondant à une fréquence de 10^{-7} s'élargit. De plus, des lignes de contour correspondant à une fréquence de 10^{-6} et de 10^{-5} apparaissent à ces emplacements. Les distances entre le gazoduc et les lignes de contour sont mentionnées au-dessous des figures 10 à 12.

La raison principale de ces résultats est la hausse de la fréquence de fuite locale, à cause de la présence d'équipements tels que des vannes et des brides, en plus du gazoduc lui-même. Les figures 10 à 12 représentent des vues élargies des trois emplacements où les zones à risque diffèrent de celles du reste du gazoduc. De nouveau, le contour de 10^{-4} (période de retour de 10 000 ans) représentant le risque maximum acceptable n'est pas visible. Le risque est donc acceptable dans tout le secteur.

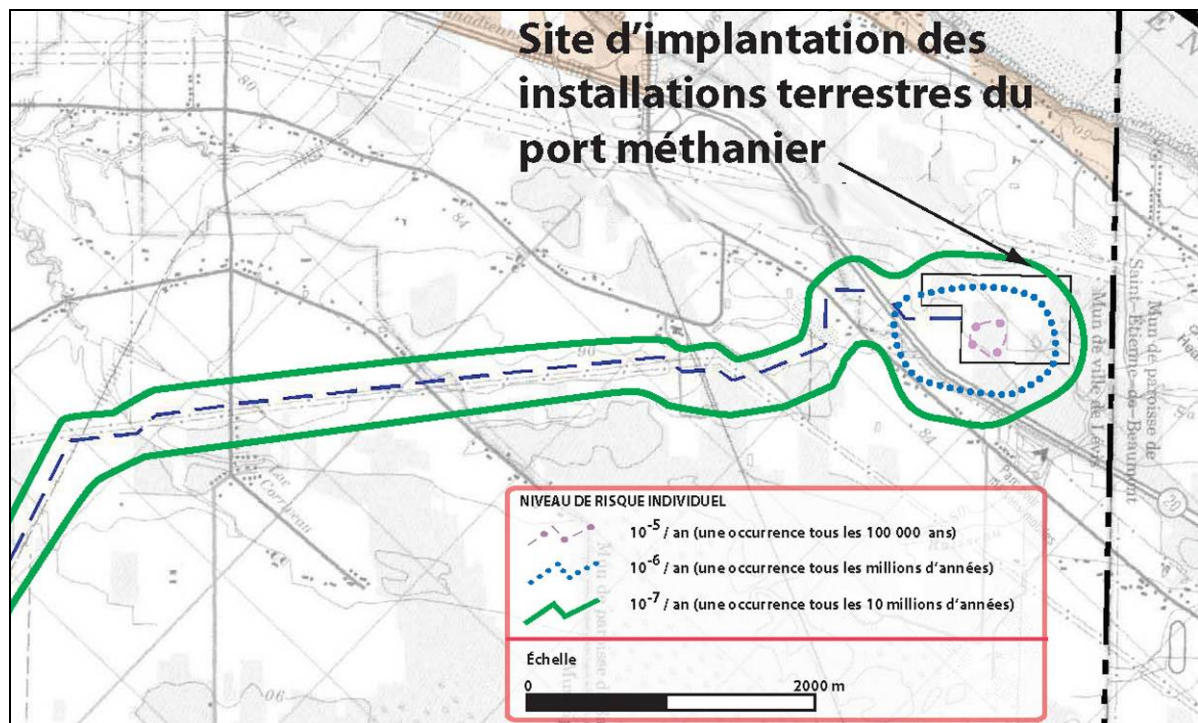


FIGURE 10 - ISOCONTOURS DE RISQUE DU GAZODUC AU POINT DE RACCORDEMENT AU TERMINAL

Comme le montre la figure 10, les distances entre le gazoduc et les contours de risque, autour du point de raccordement au terminal, sont approximativement les suivantes :

- Isocontour de risque 10^{-5} /an : 60 m
- Isocontour de risque 10^{-6} /an : 280 m
- Isocontour de risque 10^{-7} /an : 490 m

RAPPORT TECHNIQUE

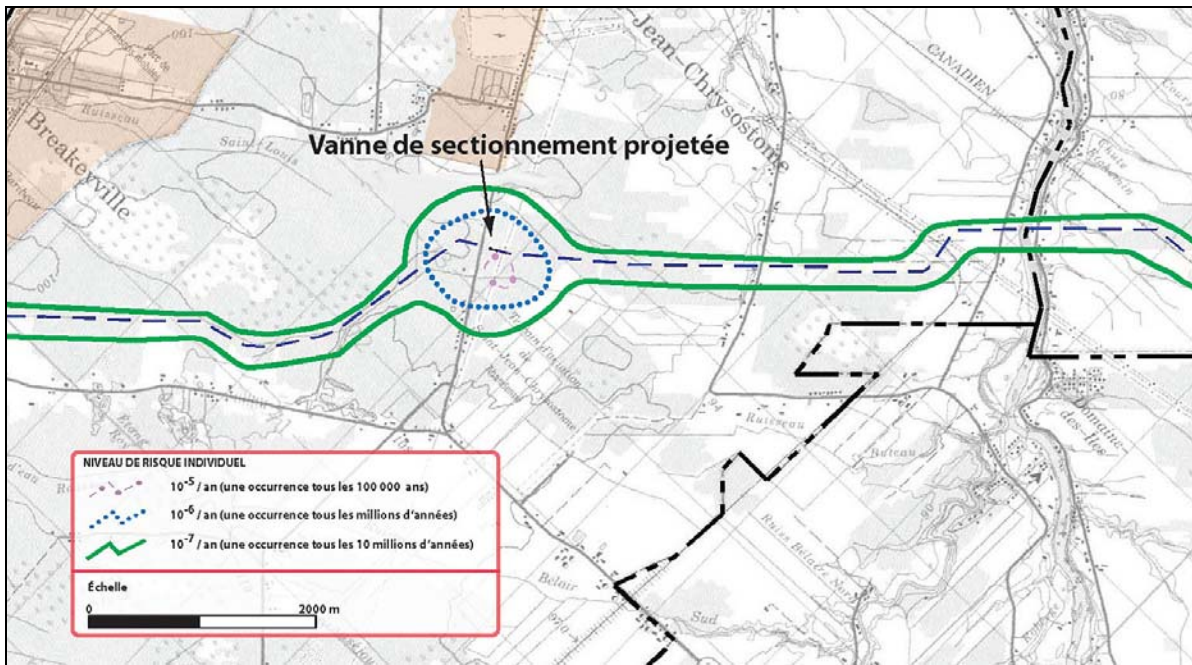


FIGURE 11 - ISOCONTOURS DE RISQUE À PROXIMITÉ DE LA VANNE DE SECTIONNEMENT

Comme le montre la figure 11, les distances entre les contours de risque et le gazoduc, autour de la vanne de sectionnement, sont approximativement les suivantes :

- Isocontour de risque 10^{-5} /an : 80 m
- Isocontour de risque 10^{-6} /an : 280 m
- Isocontour de risque 10^{-7} /an : 470 m

RAPPORT TECHNIQUE

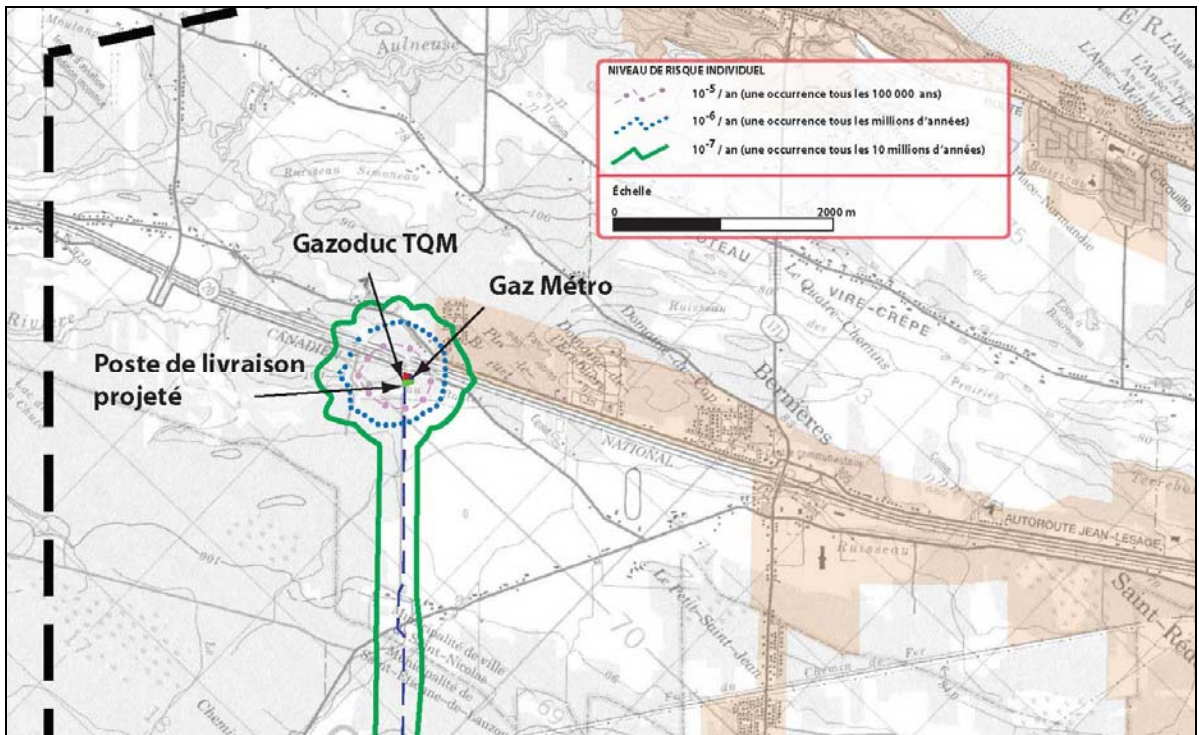


FIGURE 12 - ISOCONTOURS DE RISQUE DU GAZODUC AU POSTE DE LIVRAISON

Comme le montre la figure 12, les distances jusqu'au gazoduc, autour du poste de livraison, sont approximativement les suivantes :

- Isocontour de risque 10^{-5} / an : 320 m
- Isocontour de risque 10^{-6} / an : 480 m
- Isocontour de risque 10^{-7} / an : 600 m

8.2. Impacts sur les structures et les infrastructures

8.2.1. LIGNES DE TRANSPORT D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

Du fait de la distance de 360 m entre le gazoduc et les trois lignes de 735 kV qui passent à proximité du terminal, la probabilité d'un incident pouvant avoir un impact sur ces lignes électriques est très faible, voire négligeable. De plus, la proximité du terminal fait que tout incident sera détecté très rapidement et que, dès la fermeture des vannes d'isolement, le débit de fuite chutera rapidement.

Pour les autres croisements de lignes électriques de moindre importance, la probabilité d'un incident proche des lignes est très faible. Les travaux dans les emprises des lignes électriques doivent être systématiquement déclarés, ce qui rend très improbable tout incident.

8.2.2. FRANCHISSEMENT DE ROUTES ET DE RIVIÈRES

Comme le montrent les contours des zones à risque, le niveau de risque au franchissement d'une route est bien au-dessous du niveau de risque acceptable. Pour la plupart des franchissements, le niveau de risque est au-dessous de 10^{-6} par an. Cependant, pour les routes voisines de la vanne de sectionnement et du poste de livraison, le niveau de risque est au-delà de 10^{-5} par an, mais il est encore bien au-dessous du critère d'acceptabilité de 10^{-4} par an.

9. MESURES DE SÉCURITE

Les mesures de sécurité sont constituées d'un ensemble de moyens mécaniques et opérationnels qui permettent de prévenir, de détecter, de maîtriser, d'atténuer des dangers pouvant se produire le long du gazoduc. L'approche à suivre est d'éliminer ces dangers aussi tôt que possible dans la chaîne des événements, afin de réduire le potentiel de développement de l'incident en accident majeur. Comme on peut le voir sur la figure 13, plus on met de temps à détecter un incident et à y réagir, plus cet incident peut s'aggraver.

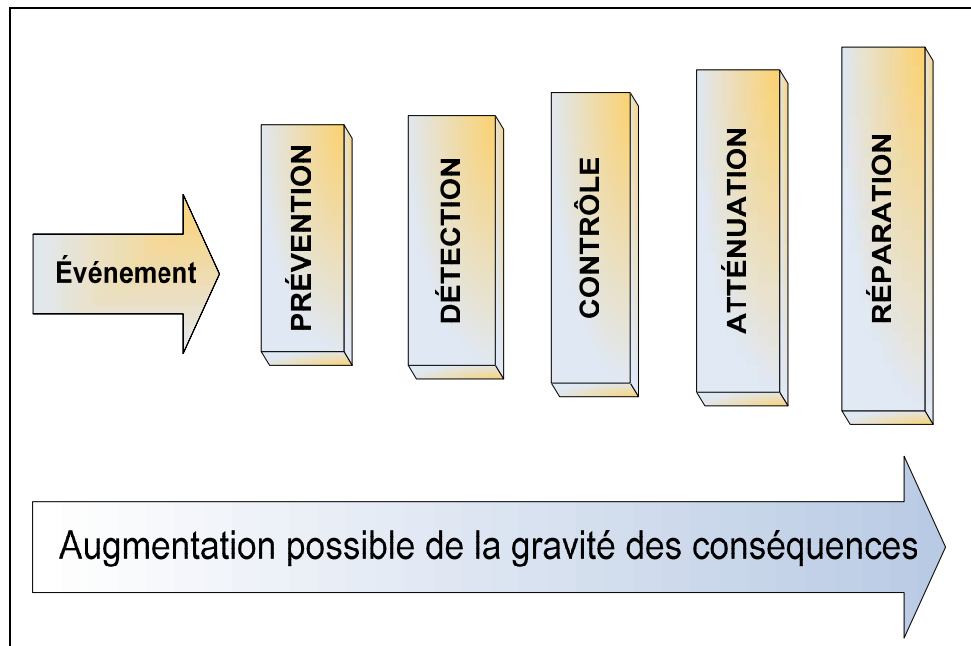


FIGURE 13 - PROCESSUS DE MAÎTRISE DU DANGER

Afin de garantir que les risques pour la santé, la sécurité et l'environnement seront gérés durant toute la période d'exploitation du terminal, les mesures de sécurité sont définies lors de la conception technique et sont basées sur les résultats de l'analyse des risques et la préparation des mesures d'urgence.

Le tableau 16 fournit un aperçu cohérent et méthodique des mesures de sécurité prévues pour le gazoduc. Le tableau fait le lien entre l'analyse des risques et la planification des urgences. Il est à noter que le nombre de mesures de sécurité n'est pas une indication du niveau de risque ; le tableau indique tout au plus quelle mesure s'applique à quel danger, quelle que soit la probabilité du danger.

RAPPORT TECHNIQUE

TABLEAU 16 - MESURES DE SÉCURITÉ

	MESURES													
	PRÉVENTION		DÉTECTION				CONTRÔLE ET ATTÉNUATION						RÉPARATION	
DANGER	Codes et normes de conception	Maintenance et inspection de routine	Instrumentation à haute pression	Détection manuelle	Déclaration par les services municipaux d'urgence	Arpentage régulier du gazoduc	Alarmes pour les ouvriers et le public	Arrêt d'urgence	Périmètre de sécurité	Procédure de préparation aux situations d'urgence des installations	Services municipaux d'urgence (incendie, police, etc.)	Procédures municipales de préparation aux situations d'urgence	Procédure de préparation aux situations d'urgence des installations	Procédures municipales de préparation aux situations d'urgence
Émission de gaz provenant de la conduite	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tremblement de terre	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Terrorisme et sabotage			X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X

10. PREPARATION ET RÉPONSE AUX SITUATIONS D'URGENCE

10.1. Introduction

Cette section décrit les aspects clés du plan préliminaire de mesures d'urgence pour le gazoduc projeté. Il est à noter que les mesures d'urgence prévues pour chaque scénario sont décrites en détail à l'annexe 5. L'approche structurée et méthodique présentée à l'annexe 5 garantit une planification des mesures d'urgence complète et détaillée.

Les principaux scénarios d'urgence associés au gazoduc projeté sont liés aux risques de fuite de gaz naturel.

Le gaz naturel n'est inflammable que dans une plage étroite de concentration dans l'air (5% à 15%) et n'est pas explosif s'il n'est pas confiné, étant donné que l'air dilue le gaz.

Il est essentiel que la planification des mesures d'urgence du gazoduc permette de traiter efficacement toutes les situations d'urgence possibles. Cette section décrit le plan préliminaire des mesures d'urgence, qui constitue un aspect de la planification des urgences. Le plan détaille les mesures planifiées pour que tous les dangers soient empêchés, détectés, contrôlés et limités, afin de réduire les risques pour la population, les employés, l'environnement et les biens.

10.2. Objectif

L'objectif principal d'un plan des mesures d'urgence est de gérer les risques qui ne peuvent pas être éliminés par la mise en place de mesures de protection et de planifier les interventions d'urgence lorsqu'un accident se produit. L'intention de ce plan est de définir les types d'urgences pouvant raisonnablement se produire ainsi que les mesures de prévention, de préparation, d'intervention et de réparation qui leur sont associés.

10.3. Politique de Rabaska en matière de santé et de sécurité



La santé et la sécurité du public et de nos employés sont primordiales dans le déroulement des activités de Rabaska.

Les risques présents dans toutes les opérations doivent être gérés afin de prévenir tout impact sur le public, les accidents du travail et les maladies professionnelles. Ce but sera atteint grâce à une planification et une organisation adéquates du travail, à l'identification des dangers, à l'inspection des installations et aux enquêtes sur les accidents.

Tous les échelons de la direction de Rabaska sont responsables et imputables de ce qui suit :

- appliquer la politique de santé et de sécurité à son champ d'activité.
- fournir l'équipement adéquat et un milieu de travail sécuritaire.
- établir les règles et les procédures de santé et de sécurité.
- favoriser des attitudes de travail sécuritaires.
- fournir une formation appropriée aux employés.

Tous les employés doivent se conformer à la politique concernant la santé et la sécurité et suivre toutes les règles et les procédures établies, à tout moment.

C'est la responsabilité de tous les employés de travailler d'une manière qui garantisse leur sécurité personnelle ainsi que celle de leurs collègues de travail.

Nous attendons de nos sous-traitants qu'ils suivent la politique en matière de santé et de sécurité de l'entreprise afin d'améliorer leur propre approche sécuritaire du travail.

Les procédures et règles de Rabaska concernant la santé et la sécurité doivent être conformes aux règlements et normes gouvernementales, et être en accord avec les codes et les règles de l'industrie. Rabaska établira des normes corporatives et effectuera des audits pour garantir la conformité à ces normes. Des rapports sur le rendement opérationnel en matière de santé et de sécurité seront régulièrement transmis à la direction de Rabaska.

La planification des mesures d'urgence de Rabaska doit assurer une réponse rapide et appropriée aux urgences, en plus d'être conformes aux règlements et aux bonnes pratiques de l'industrie.

L'excellence dans le domaine de la santé et de la sécurité est le premier de nos objectifs.


Glenn Kelly
Président et chef des opérations



10.4. Organisation et responsabilités

10.4.1. GÉNÉRALITÉS

Cette section indique les équipes, les organisations et les agences qui pourraient être sollicitées lors d'une situation d'urgence, ainsi que leurs rôles et responsabilités.

10.4.2. ÉQUIPE DE GESTION DES MESURES D'URGENCE

Cette section décrit l'équipe de gestion des mesures d'urgence (EMT) de Rabaska qui sera mobilisée dans le cas d'une urgence touchant le gazoduc. L'organisation, les rôles et les responsabilités sont détaillés ci-dessous.

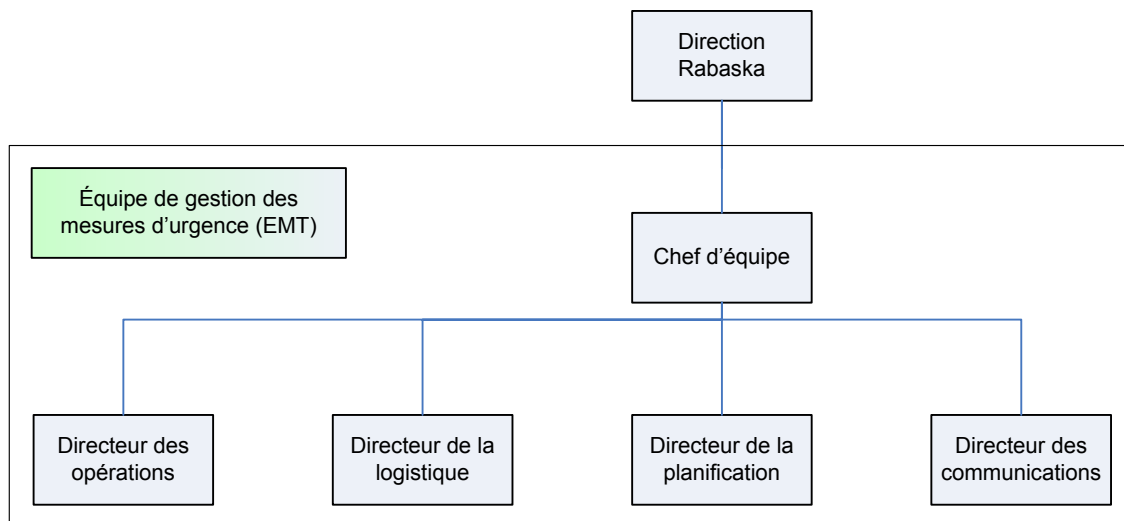


FIGURE 14 - ÉQUIPE DE GESTION DES URGENCES

Chaque membre de l'EMT aura un remplaçant désigné qui pourra le remplacer en cas d'absence ou d'indisponibilité pendant ou avant l'urgence. Les numéros permettant de joindre toutes les personnes concernées seront inscrits dans le plan des mesures d'urgence. Le chef d'équipe de l'EMT, pouvant être rejoint le jour comme la nuit, est contacté par la salle de contrôle dans le cas d'une urgence. Le chef d'équipe de l'EMT mobilise alors son équipe. L'EMT s'appuie sur le personnel d'exploitation et les moyens disponibles.

Le tableau 17 détaille les fonctions clés, les rôles et les responsabilités de l'EMT de Rabaska.

RAPPORT TECHNIQUE

TABLEAU 17 - ÉQUIPE DE GESTION DES MESURES D'URGENCE DE RABASKA

Fonction	Rôles et responsabilités
Chef EMT	<ul style="list-style-type: none"> • Communiquer avec la direction générale (états, prise de décision, résolution des problèmes). • Déclarer l'urgence et prévenir les équipes d'urgence internes et externes. • Coordonner les activités de l'EMT. • Contacter les membres de l'EMT.
Directeur des opérations	<ul style="list-style-type: none"> • Aviser les chefs d'équipe du Plan de poursuite des activités (PPA) qu'une urgence est déclarée. • Communiquer les directives aux chefs d'équipe PPA. • Communiquer les rapports de demande/état du chef d'équipe PPA à l'EMT. • Coordonner toutes les activités de l'équipe PPA. • Gérer la situation du personnel.
Directeur de la planification	<ul style="list-style-type: none"> • Développer et suivre le plan d'action de l'EMT. • Suivre la progression et l'état du PPA du service. • Résumer les rapports d'état du PPA afin de les soumettre à la direction générale. • Avertir l'EMT de conflits, d'incongruités, etc. au regard du PPA. • Rassembler/enregistrer tous les documents concernant la reprise/réparation. • Gérer les documents concernant la reprise/réparation pour les mises à jour du plan. • Coordonner les communications entre plusieurs EMT (au besoin). • Autoriser l'approvisionnement d'urgence. • Réclamation et compensation. • Suivre les coûts.
Directeur de la logistique	<ul style="list-style-type: none"> • Acquérir/ entretenir les installations physiques. • Transport/logement. • Acquérir le matériel et les services de soutien. • Acquérir les fournitures de bureau/nourriture/médicaments. • Opérer le centre des opérations d'urgence. • Acquérir les services extérieurs. • Sites de réparations techniques.
Directeur des communications	<ul style="list-style-type: none"> • Communications externes et médias. • Communications internes. • Communications avec les parties intéressées.

RAPPORT TECHNIQUE

10.4.3. ÉQUIPES INTERNES D'INTERVENTION D'URGENCE

Le tableau 18 détaille les rôles et les responsabilités des équipes internes d'intervention d'urgence qui pourraient devoir agir pendant une situation d'urgence.

TABLEAU 18 - ÉQUIPES INTERNES D'INTERVENTION D'URGENCE

Fonction	Rôles et responsabilités	Équipement
Personnel de la salle de contrôle	<ul style="list-style-type: none"> • Surveiller les alarmes et autres indicateurs d'urgence. • Activer les systèmes d'arrêt d'urgence au besoin. • Prévenir les équipes d'intervention d'urgence requises (internes et externes). • Prévenir l'EMT. 	—
Équipe d'intervention d'urgence	<ul style="list-style-type: none"> • Lutter contre l'incendie, effectuer des recherches et des sauvetages. • Les équipes doivent être formées ; cela comprend une formation professionnelle fournie par le service municipal d'incendie. • Les équipes doivent être formées pour donner les premiers secours. 	<ul style="list-style-type: none"> • Camions de lutte contre l'incendie

10.4.4. RESSOURCES EXTERNES

Les rôles et les responsabilités des ressources externes pouvant être requis lors d'une situation d'urgence, incluant le matériel d'intervention d'urgence, sont détaillés au tableau 19. Chaque intervenant externe sera consulté pour s'assurer que la planification d'urgence de l'exploitant du gazoduc s'harmonise avec les plans, les exigences et les ressources municipales disponibles.

RAPPORT TECHNIQUE

TABLEAU 19 - RESSOURCES EXTERNES D'INTERVENTION D'URGENCE

Service d'urgence	Rôles et responsabilités	Équipement
Service de police	<ul style="list-style-type: none"> • Définir un périmètre de sécurité autour des installations. • Établir un contrôle du trafic et de la foule. • Assurer l'évacuation du public, si requis. • Sécuriser la zone d'intervention d'urgence pour y enquêter. 	<ul style="list-style-type: none"> • Système d'annonce au public
Service d'incendie	<ul style="list-style-type: none"> • Lutte contre l'incendie, si requis. • Sauvetage. • Communication avec les services d'incendie des municipalités avoisinantes. • Soutien à la communication des risques au public. 	<ul style="list-style-type: none"> • Équipement de lutte contre l'incendie • Matériel de sauvetage
Services d'ambulance	<ul style="list-style-type: none"> • Soins paramédicaux • Prévenir l'hôpital du nombre de victimes. • Établir un poste médical temporaire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ambulances • Unités et fournitures médicales

10.4.5. MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS DU QUÉBEC

En général, Urgence-Environnement intervient en fournissant des conseils techniques. Au Québec, chaque municipalité est responsable de l'intervention d'urgence dans les limites de son territoire. Urgence-Environnement garantit que toutes les mesures adéquates sont suivies afin de protéger l'environnement. Lors d'une urgence environnementale majeure, l'intervention du gouvernement est coordonnée par la Direction générale de la Sécurité et de la Prévention du Québec. Urgence-Environnement peut demander l'assistance de certaines organisations, lorsque c'est nécessaire :

- Sécurité civile du Québec
- Services municipaux de police
- Sûreté du Québec
- Services de prévention incendie
- Services médicaux
- Environnement Canada
- Transports Canada
- Garde côtière canadienne

RAPPORT TECHNIQUE

- Autorités portuaires
- Entreprises privées

10.4.6. ENVIRONNEMENT CANADA

Environnement Canada a la responsabilité, au niveau fédéral, de fournir des conseils techniques et scientifiques ainsi que de soutenir les premiers intervenants dans une situation d'urgence. Environnement Canada doit être avisé si une fuite se produisait conformément aux exigences du Règlement fédéral sur les urgences environnementales. Le service propose soutien et conseils tous les jours de la semaine, de jour comme de nuit, grâce au Centre national des urgences environnementales situé à Gatineau, au Québec.

10.4.7. CANUTEC

Les scientifiques de CANUTEC, grâce au réseau d'information informatisé auquel ils accèdent, ainsi qu'à leur expérience et à leurs connaissances professionnelles, peuvent fournir des conseils immédiats et recommander des actions à suivre ou à éviter lors d'urgences liées à des matières dangereuses.

Prenant en considération les caractéristiques des matières dangereuses en cause et les conditions particulières sur le site de l'urgence, CANUTEC peut fournir des conseils immédiats sur :

- les propriétés chimiques, physiques et toxicologiques des matières dangereuses ainsi que leurs incompatibilités ;
- les dangers liés à la santé et les premiers soins ;
- les dangers liés à un incendie, à une explosion, à un déversement ou à une fuite ;
- les mesures correctives pour la protection de la vie, des biens et de l'environnement ;
- les distances d'évacuation ;
- les vêtements de protection personnelle et la décontamination.

Le personnel de CANUTEC ne se déplace pas sur les lieux d'un incident. Des conseils et des informations sont fournis par un service téléphonique d'urgence offert jour et nuit.

10.5. Planification des urgences

10.5.1. GÉNÉRALITÉS

Cette section détaille le processus de planification des urgences (EPA) qui a été suivi afin de garantir que des mesures d'urgence adéquates ont été mises en place pour le gazoduc. Les étapes principales du processus sont illustrées à la figure 15.

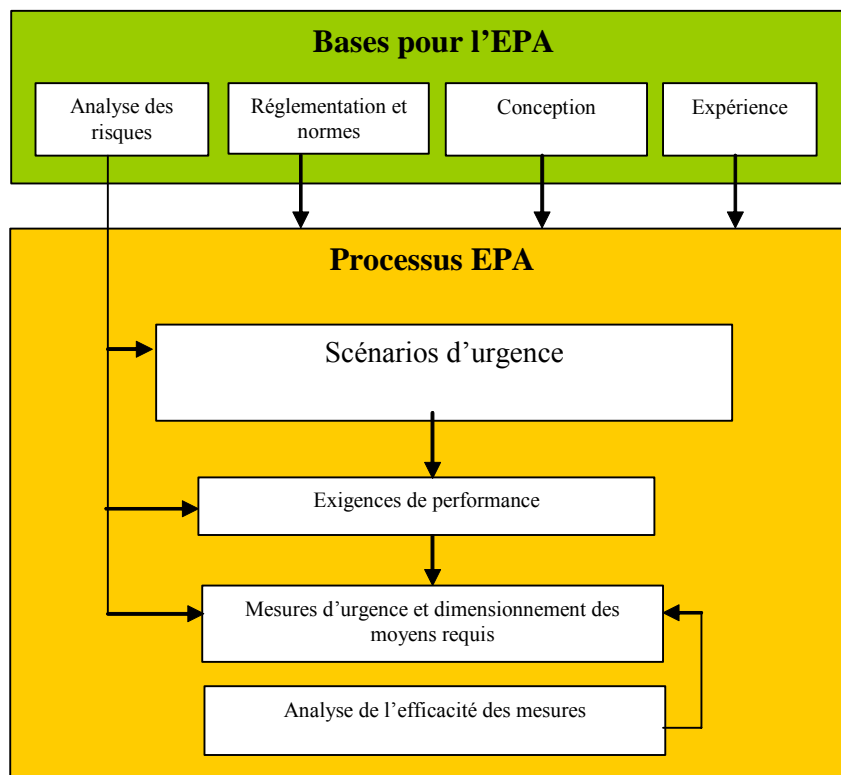


FIGURE 15 - PROCESSUS DE LA PLANIFICATION DES URGENCES

Ce processus systématique, servant à planifier les situations d'urgence, est constitué des éléments principaux suivants :

- 1) Identification des scénarios d'urgence ;
- 2) Établissement des actions requises et des objectifs de performance (exigences de performance) ;
- 3) Identification des procédures et des équipements d'urgence (mesures d'urgence) qui correspondent aux exigences.

La planification des urgences est évaluée pour chacune des cinq phases suivantes :

RAPPORT TECHNIQUE

- 1) **Alerte** : Garantir une mobilisation efficace de toutes les ressources pertinentes aux situations d'urgence.
- 2) **Limitation du danger** : Mettre en place des mesures de protection, lorsqu'une situation dangereuse se produit, afin d'éviter qu'elle se transforme en accident ou, lorsqu'un accident se produit, afin de limiter les conséquences.
- 3) **Sauvetage** : S'assurer que les personnes manquantes sont retrouvées, que les premiers secours sont administrés aux blessés et que ces derniers sont en sécurité dans un endroit où ils peuvent être soignés par le service médical.
- 4) **Évacuation** : Emmener l'ensemble du personnel dans un endroit sécuritaire, et ce, d'une manière sécuritaire et organisée.
- 5) **Normalisation** : Emmener le personnel blessé à l'hôpital pour qu'il y reçoive un traitement et des soins, remettre l'environnement en bon état, réparer les dommages aux installations et reprendre les opérations.

Chaque phase est visée par un certain nombre d'exigences de performance qui doivent être prises en compte dans la gestion des situations d'urgence.

L'annexe 5 contient des registres préliminaires de la planification des urgences, incluant pour chaque scénario d'urgence et pour chaque phase d'urgence :

- les exigences de performance (actions requises et objectifs de performance) ;
- les mesures d'urgence (procédures et équipements d'urgence) permettant de réaliser ces actions et de remplir ces objectifs.

10.5.2. SCÉNARIOS D'URGENCE

Les scénarios d'urgence sont des événements spécifiques, avec une portée et des conséquences connues, et qui doivent être adressés dans la planification des urgences. Ces scénarios ont été identifiés au moyen de l'analyse de risque, tel que recommandé dans la norme CAN/CSA-Z731-03 « Planification des mesures et interventions d'urgence » (référence /8/). Toutes les exigences concernant la planification des urgences ont été définies en considérant ces scénarios. Les scénarios d'urgence associés au gazoduc Rabaska sont détaillés dans le tableau 20.

TABLEAU 20 - SCÉNARIOS D'URGENCE LIÉS AU GAZODUC

N°	Scénario d'urgence
01	Déversement et fuite de substances dangereuses – Fuite de gaz naturel provenant du gazoduc
02	Incendie – Inflammation d'une fuite de gaz provenant du gazoduc

RAPPORT TECHNIQUE

10.5.3. EXIGENCES DE PERFORMANCE

Des exigences de performance, c'est-à-dire des actions requises et des objectifs de performance, ont été définies afin de fournir un point de référence pour la planification des urgences. Des exigences de performance sont définies pour chaque scénario d'urgence inscrit au tableau 20.

Toutes les exigences de performance ont été établies en tenant compte des éléments suivants :

- 1) Règlements et normes ;
- 2) Expérience (tirée des projets précédents) ;
- 3) Exigences identifiées à partir de l'analyse des risques ;
- 4) Spécification de conception du projet.

10.5.4. MESURES D'URGENCE

Les procédures et équipements d'urgence sont les moyens mis en place pour que les situations d'urgence soient évitées ou que leurs conséquences soient réduites grâce à une intervention efficace.

Pour chaque scénario d'urgence, les procédures et les équipements prévus pour les phases d'alerte, de limitation du danger, de sauvetage, d'évacuation et de normalisation sont détaillés à l'annexe 5.

Les paragraphes suivants présentent un résumé de ces procédures et équipements, lesquels ont été systématiquement identifiés pendant l'analyse des risques et la planification des urgences.

Procédures d'urgence

Les procédures d'urgence décrivent les actions destinées à gérer les urgences, en spécifiant les éléments suivants :

- Arpentage du gazoduc ;
- Mise en place de l'EMT ;
- Procédures d'alerte des services d'urgence ;
- Alerte du public ;
- Équipes externes de sauvetage (police, pompiers, etc.) ;
- Établissement des périmètres de sécurité ;
- Responsable de l'évacuation du public ;

RAPPORT TECHNIQUE

- Exercices d'exécution des scénarios d'urgence ;
- Retour d'expérience des incidents (causes, réactions et prévention future) ;
- Rapports d'incident ;
- Avis d'évacuation des résidants ;
- Information sur les centres d'évacuation municipaux ;
- Exercices de préparation aux situations d'urgence ;
- Procédures de normalisation et de réparation.

Équipements d'urgence relatifs au gaz naturel

Certains équipements prévus pour répondre aux situations d'urgence associées aux relâchements de gaz naturel sont décrits ci-dessous :

- L'instrumentation à haute pression envoie automatiquement une alarme et des signaux d'erreur aux panneaux de commande. L'affichage de la salle de contrôle peut localiser n'importe quelle alarme sur un plan détaillé du terrain.
- Des panneaux seront placés à des intervalles réguliers le long du gazoduc afin de rappeler le numéro d'appel.
- Arrêts d'urgence automatiques (ESD) situés aux deux extrémités du gazoduc et au milieu.
- Routes ou chemins d'accès au gazoduc.

L'efficacité des procédures et des équipements mentionnés ci-dessus sera finalement vérifiée au cours d'exercices (voir section 10.8).

10.6. Interventions d'urgence

Des organigrammes du processus de diffusion de l'alerte seront développés pour chaque situation d'urgence détaillée dans la section 10.5.2. La figure 16 décrit la méthode générale de diffusion de l'alerte.

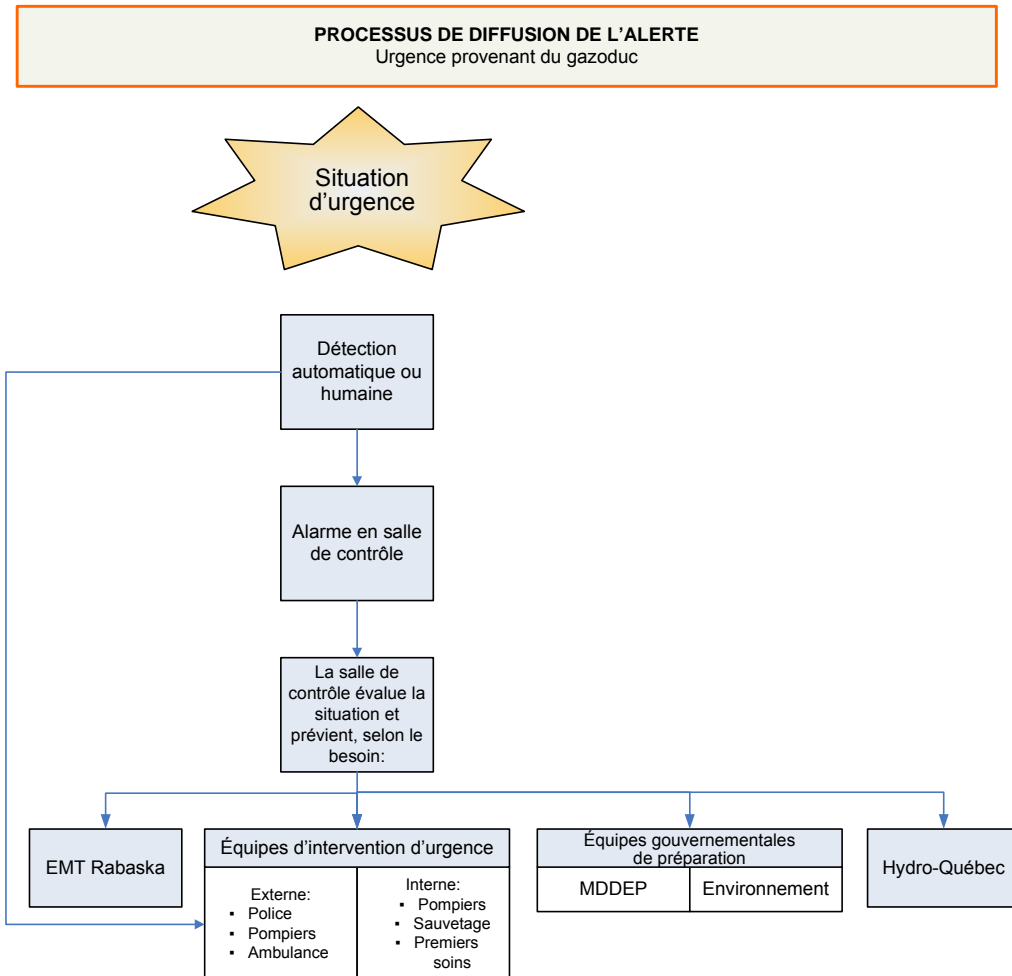


FIGURE 16 - PROCESSUS DE DIFFUSION DE L'ALERTE

Le tableau 21 donne un exemple sommaire du déroulement d'une intervention d'urgence pour une fuite de gaz naturel. Cet exemple est montré à l'aide d'un scénario minute par minute qui indique la chronologie et la responsabilité des actions à entreprendre lors de l'urgence. Les durées seront testées et précisées lors de la préparation du plan des mesures d'urgence final et des exercices, tel que le précise la section 10.8.

RAPPORT TECHNIQUE

TABLEAU 21 - SCÉNARIO MINUTE PAR MINUTE POUR UNE INTERVENTION D'URGENCE EN CAS DE FUITE DE GAZ NATUREL

Début	Fin	Durée (min)	Responsable	Action
0	2	2	Salle de contrôle des installations	Détection et évaluation de l'urgence.
2	2	4	Salle de contrôle des installations	Activation des ESD
2	10	8	Personnel du site	Première intervention d'urgence par le service d'intervention externe (pas nécessairement par les équipes d'intervention désignées)
2	-	-	Salle de contrôle des installations	Alarme sonore
2	3	1	Salle de contrôle des installations	Prévenir l'EMT de Rabaska
4	5	1	Salle de contrôle des installations	Composer le 911
5	6	1	Salle de contrôle des installations	Prévenir le MDDEP
6	7	1	Salle de contrôle des installations	Prévenir Environnement Canada
7	8	1	Salle de contrôle des installations	Prévenir Hydro-Québec
5	10	5	911	Prévenir les services externes d'urgence (police, pompiers, ambulanciers, etc.)
10	45	30	Équipes d'urgence des installations	Intervention
17	32	15	Équipes d'urgence des installations	Évacuation du personnel non essentiel et des blessés
20	25	5	Service de police	Arrivée sur les lieux
25	45	20	Service de police	Établissement d'un périmètre de sécurité
20	25	10	Équipes externes d'incendie	Arrivée sur les lieux
25	85	60	Équipes externes d'incendie	Intervention
20	25	5	Ambulanciers	Arrivée sur les lieux
25	85	60	Ambulanciers	Prise en charge des blessés
20	25	5	MDDEP	Arrivée sur les lieux
25	85	60	MDDEP	Surveillance

10.7. Programme de liaison des services d'urgence

Un coordonnateur, responsable du développement et de la gestion d'un programme de liaison des services d'urgence, sera choisi. Le coordonnateur consultera les organismes externes en établissant le plan de mesures d'urgence final, incluant la police, les pompiers et les services d'ambulance ainsi que le service des mesures d'urgence de la municipalité et les fournisseurs de service médical. Cela sera effectué afin de garantir que la planification des urgences du gazoduc Rabaska est complète, précise et en conformité avec la planification municipale.

10.8. Exercices en intervention d'urgence

Une programmation des exercices sera mise en place. Cette procédure sera effectuée annuellement et aboutira au développement d'un programme qui fournit :

- Un calendrier des exercices pour l'année civile suivante, accompagné d'une description de chaque exercice (c'est-à-dire, une recommandation sur les exigences fondamentales et sur la portée de l'exercice) ;
- Une prévision des exercices pour les années à venir.

Des exercices réguliers et bien planifiés sont le moyen le plus efficace de réussir à améliorer de manière significative et mesurable la capacité d'intervention d'urgence et le niveau de préparation d'une organisation

Des exercices réguliers permettent au personnel d'intervention de se connaître et de travailler ensemble en améliorant leur compétence collective et individuelle, sur les plans des techniques et de leur capacité. Effectuer des exercices réguliers permet également de valider ou de prouver l'efficacité opérationnelle des interventions d'urgence, du matériel et des procédures. Suite à un exercice, les lacunes ou les faiblesses sur l'ensemble d'une procédure d'intervention seront identifiées et les mesures correctives nécessaires seront mises en place.

Des exercices administratifs et opérationnels seront effectués. Les exercices administratifs, tels que la simulation sur maquette, seront généralement effectués à l'aide d'un ou deux représentants de chaque service, groupe et organisme d'intervention interne. L'accent sera mis sur la résolution de problème plutôt que sur la rapidité de prise de décision. Lors d'une simulation d'exercice sur maquette, les problèmes tels que l'attribution des ressources, les conflits de rôles ou de procédures et la familiarisation des nouveaux venus avec les opérations d'urgence peuvent être résolus sans subir la pression d'une urgence réelle ou les demandes importantes d'exercice à échelle réelle.

Les exercices opérationnels seront menés, y compris les exercices de communication et les exercices majeurs mettant à contribution des organismes d'intervention d'urgence et

RAPPORT TECHNIQUE

Rabaska, et exigeant le déploiement de toutes les ressources nécessaires pour vérifier le plan. Un exercice majeur sera tenu chaque année, tel qu'exigé par le Règlement fédéral sur les urgences environnementales.

10.9. Information et instructions destinées au public

Le public a le droit d'être informé des dangers auxquels il est exposé et de recevoir des informations pendant et après une situation d'urgence. L'information au public doit être documentée et diffusée avant qu'une urgence se produise. Avant la phase d'exploitation des installations, une rencontre sera organisée avec la population afin de discuter des points suivants :

- Les dangers liés aux installations, y compris les effets à court et long terme ;
- Le plan des mesures d'urgence ;
- Les systèmes de communication et d'avertissement ;
- Les options pour la protection (mise à l'abri sur place, évacuation, etc.) ;
- Qui contacter si un danger est perçu ;
- Qui contacter pour plus d'informations.

De plus, un dépliant couvrant les aspects ci-dessus sera distribué aux personnes qui habitent dans le secteur des installations.

RÉFÉRENCES

- /1/ ARF – Base de données confidentielle DNV, section 6 : Cross Country Pipelines
- /2/ The Major Hazard Incidents Data Service Database (MHIDAS), UK Health and Safety Executive Board (tenu à jour par AEA Technology)
- /3/ HSE Kinsman and Lewis Reference, RR 036 - Report on a second study of pipeline accidents using the Health and Safety Executive's risk assessment programs MISHAP and PIPERS: <http://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr036.htm>
- /4/ DNV Technical RA of Zeepipe IV-LVS, Pipeline and Terminal, Report no. 94-3671
- /5/ National Transportation Safety Board (NTSB) : <http://www.ntsb.gov>
- /6/ Rapports du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST) : <http://www.tsb.gc.ca>
- /7/ Sasol, Gas pipelines QRA, Annexe VIII: Historical incidents on natural gas pipelines (MHIDAS)
- /8/ CAN/CSA-Z731-03 Planification des mesures et interventions d'urgence
- /9/ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. Direction des évaluations environnementales. Directive pour le projet Rabaska - Implantation d'un terminal méthanier des infrastructures connexes. 3211-04-39. Mai 2004
- /10/ UK health and Safety Executive Board
- /11/ DNV Risknet, Base de données interne
- /12/ Conseil canadien des accidents industriels majeurs (CCAIM)
- /13/ Office National de l'Énergie. Projet Rabaska, Exigences de dépôt concernant les installations GNL, 1er octobre 2004
- /14/ Model Evaluation Report on UDM, version 6.0, réf. n°SMEDIS/00/9/E, Janvier 2002
- /15/ Guide – Analyse de risques d'accidents technologiques majeurs, Ministère de l'Environnement du Québec, Marie-Claude Théberge, juin 2002
- /16/ Directive pour la préparation de l'étude d'impact du projet Rabaska. Agence canadienne d'évaluation environnementale Mars 2005

ANNEXE

1

IDENTIFICATION DES DANGERS

1 HAZID

L'identification des dangers pour le gazoduc d'exportation a été menée par les personnes suivantes :

Nom	Poste	Entreprise
Delphine Cherel-Sparham	Directrice, Ingénierie	RABASKA
Olivier Denoux	Directeur, Sécurité et environnement	RABASKA
Benoît Leduc	Directeur, Services au projet	RABASKA
Carlos Prado	Directeur adjoint, Ingénierie	RABASKA
Jean Trudelle	Directeur, Gazoduc et obtention de permis	RABASKA
Yves Comtois	Directeur de projet – Étude d'impact sur l'environnement	SNC-Lavalin
Claude Côté	Environnement	SNC-Lavalin
Chris Bradley	Ingénierie HSE	MW Kellogg
Dilip Patel	Directeur des services d'ingénierie	MW Kellogg
Lynton Willcocks	Études de procédé	MW Kellogg
Claude Veilleux	Étude d'impact sur l'environnement, Gazoduc	Groupe Conseil UDA
Guy Langlois	Ingénieur. Conception du gazoduc	Roche / Johnston- Vermette
Hans Kristian Danielsen	Analyse des risques - Responsable HAZID	DNV
Stine U. Musæus	Analyse des risques - secrétaire HAZID	DNV

L'identification des dangers est résumée dans le tableau suivant.

Dans le cadre de l'identification, les dangers potentiels sont décrits et suivis d'une liste de causes possibles. Cette liste ne répertorie pas toutes les causes potentielles, mais fait plutôt ressortir soit des causes typiques soit des questions soulevées lors de la réunion.

L'évaluation de la fréquence et des conséquences constitue une première estimation, qui est présentée plus en détail dans le rapport principal. Cette évaluation permet de déterminer si un danger sera étudié dans le cadre de l'évaluation quantitative ou fera simplement l'objet d'une évaluation qualitative. Les conclusions de cet examen préalable sont présentées sous « Inclus dans SAFETI » pour l'évaluation quantitative et sous « Traité dans l'EQR (évaluation qualitative des risques), mais non inclus dans SAFETI » pour l'évaluation qualitative.

Tableau - Identification des dangers pour le gazoduc

No	Danger	Causes typiques	Fréquence	Conséquences	Mesures de sécurité	Commentaires
SOG.01	Corrosion externe	Courants induits à partir des lignes de transport d'énergie HQ	Inclus dans la fréquence générique de fuite (facteurs d'ajustement à prendre en compte)	Inclus dans les calculs de SAFETI	- Revêtement (époxyde) - Protection cathodique - Étude des courants vagabonds (surtout aux franchissements de services publics)	Aucune corrosion tolérée
SOG.02	Impact externe	Excavation	Inclus dans la fréquence générique de fuite (facteurs d'ajustement à prendre en compte)	Inclus dans les calculs de SAFETI	Servitude de 23 m Obtenir un permis pour toute excavation à l'intérieur de la servitude + 30 m de chaque côté. Un ruban avertisseur de plastique sur le gazoduc pour indiquer que le gazoduc se trouve à proximité. Dalles de béton aux traversées routières. Inspection visuelle régulière par hélicoptère	
SOG.03	Dommages matériels/ défauts mécaniques	Température du gaz émis inférieur à 5°C	Inclus dans la fréquence générique de fuite (facteurs d'ajustement à prendre en compte)	Un tuyau fragile et des mouvements de terrain peuvent provoquer une fuite. Inclus dans les calculs de SAFETI	Inspection complète de chaque soudure Contrôle de la température du gaz émis	
SOG.04	Gaz en dessous de 0 °C		Inclus dans la fréquence générique de fuite (facteurs d'ajustement à prendre en compte)	Mouvement du gazoduc Le gel provoque des bosses dans le sol, ce qui est inacceptable pour les traversées routières	Contrôle de la température du gaz émis	La température de conception prévue de la conduite est de -5°C.

No	Danger	Causes typiques	Fréquence	Conséquences	Mesures de sécurité	Commentaires
SOG.05	Surpression		Inclus dans la fréquence générique de fuite (facteurs d'ajustement à prendre en compte)	La pression de conception est de 140 bar Inclus dans les calculs de SAFETI	Protection contre la surpression par arrêt d'urgence	
SOG.06	Séisme	Activités sismiques		Danger pris en compte dans la conception. Faible contribution au risque.	Intégré au coefficient de sécurité du gazoduc et à l'exigence de flexibilité	Envisager l'évaluation sismique pour le gazoduc
SOG.07	Glissement de terrain			Danger pris en compte dans la conception. Faible contribution au risque.	Inspection de routine	
SOG.08	Ravinement/érosion des berges du fleuve			Danger pris en compte dans la conception. Faible contribution au risque.	Croisements en profondeur (8 m de profondeur) Forage dirigé envisagé pour les croisements en rivière	
SOG.09	Inondation			Danger pris en compte dans la conception. Faible contribution au risque.	Cet élément est pris en compte dans la conception	Un suivi sera établi pendant l'ingénierie détaillée
SOG.10	Fuite dans la vanne de sectionnement		Évaluée dans l'EQR	Inclus dans les calculs SAFETI	Opérée au niveau local Fermeture automatique lorsque la pression est basse	1 vanne au terminal méthanier, 1 vanne au milieu de la ligne, 1 vanne au raccordement au gazoduc Trans-Québec-Maritimes Robinet à boisseau sphérique de 24" Zone de 10x10m entourée d'une clôture, Souterraine soupape de dérivation
SOG.11	Dispersion à partir de l'arrêt d'urgence (avec événement de purge)			60 minutes pour la purge sous pression, décharge de 18 ou 20 km du gazoduc	Purge sous pression dans les soupapes de sectionnement	Volumes de purge sous pression

No	Danger	Causes typiques	Fréquence	Conséquences	Mesures de sécurité	Commentaires
SOG.12	Fuite dans le poste de comptage		Raccordement boulonné Évaluée dans l'EQR	Inclus dans les calculs SAFETI		Poste de comptage situé dans un poste de comptage existant
SOG.13	Fuite dans le bâtiment		Évaluée dans l'EQR	Détection de gaz Inclus dans les calculs SAFETI		
SOG.14	Opérations de piquage en charge au point de raccordement au réseau existant			Danger pris en compte dans la conception. Faible contribution au risque.		Évaluer des méthodes alternatives
SOG.15	Fuite pendant une opération de passage de piston			Danger pris en compte dans la conception. Faible contribution au risque.	Dispositif de verrouillage de la pression + robinet à boisseau sphérique	
SOG.16	Fuite près d'une ligne de transport d'énergie HQ			Sera envisagée comme source d'inflammation et en rapport avec les conséquences du rayonnement pour les lignes		Envisager l'emplacement sur le terminal par rapport aux lignes de transport d'énergie HQ
SOG.17	Passage près de réseaux publics existants			Envisagé comme faisant partie de SOG.02 (impact externe)	Passage sous les réseaux publics existants	
SOG.18	Passage près d'un gazoduc existant			L'aggravation potentielle contribue très peu au niveau de danger en général. Évalué dans l'EQR mais non inclus dans SAFETI		

ANNEXE

2

SCÉNARIOS D'ACCIDENT

1 INTRODUCTION

L'annexe suivante présente divers scénarios d'accident qui ont été modélisés dans SAFETI. Une figure des segments d'arrêt d'urgence (segments ESD) du poste de livraison se trouve à la fin de cette annexe.

2 SCÉNARIOS D'ACCIDENT

Une brève description des colonnes du tableau principal de cette annexe est donnée ci-dessous.

Nom de la colonne	Description
Description	Une brève description du scénario modélisé.
No du segment ESD	La numération des divers segments ESD qui ont été modélisés. Les segments numérotés par une lettre (p. ex. 1a, 1b et 1c) sont identiques aux segments ESD, mais ils ont été modélisés séparément parce que les impacts et conséquences du danger provoqué par une fuite dans ces sous-segments varient selon l'emplacement du sous-segment. Les impacts et conséquences varient aussi selon que l'équipement est enfoui ou hors-sol.
Équipement enfoui/hors-sol	Indique si l'équipement est enfoui ou hors-sol. Cette donnée a une incidence sur la modélisation des conséquences.
Rejet à l'intérieur/extérieur du bâtiment	Une partie des équipements du poste de livraison se trouve à l'intérieur d'un bâtiment. Cette donnée a une incidence sur la modélisation des conséquences.
Taille de la brèche	Des fuites petites, moyennes ou grandes et des ruptures complètes (plein diamètre) ont été modélisées.
Phase	Description de la phase du fluide (liquide ou gazeuse). Dans le cas du gazoduc, nous sommes uniquement en présence d'une phase gazeuse.
Isolement réussi/échoué	Isolement automatique du segment ESD réussi ou échoué
Direction du rejet	Direction géométrique du rejet initial (jet libre / impactant).
Identification du scénario	Un code d'identification a été attribué à chaque scénario. Ce code est constitué des premières lettres des colonnes précédentes.
Température représentative du segment	La température représentative de chaque segment ESD a été fournie par l'ingénierie (Roche/Johnston-Vermette).
Pression représentative du segment	La pression représentative de chaque segment ESD a été fournie par l'ingénierie (Roche/Johnston-Vermette).

Description	No de segment ESD	Équipement enfoui/hors-sol	Rejet à l'intérieur/extérieur du bâtiment	Taille de la brèche	Phase	Isolement réussi / échoué	Direction du rejet	Identification du scénario	Température représentative du segment (°C)	Pression représentative du segment (kP)
Rejet à partir des équipements situés près du terminal méthanier (en aval)	Tuyau 1a	enfoui	à l'extérieur	Petit	Gaz	Échoué	Impactant	1aSVFI	12,8	9900
	-	-	-	Moyen	Gaz	Échoué	Impactant	1aMVFI	12,8	9900
	-	-	-	Grand	Gaz	Échoué	Impactant	1aLVFI	12,8	9900
	-	-	-	Rupture	Gaz	Réussi	Impactant	1aRVFI	12,8	9900
Rejet à partir du tuyau entre le terminal méthanier et une vanne d'isolement (à mi-chemin)	Tuyau 1b	enfoui	à l'extérieur	Petit	Gaz	Échoué	Impactant	1bSVFI	12,8	9900
	-	-	-	Moyen	Gaz	Échoué	Impactant	1bMVFI	12,8	9900
	-	-	-	Grand	Gaz	Échoué	Impactant	1bLVFI	12,8	9900
	-	-	-	Rupture	Gaz	Réussi	Impactant	1bRVFI	12,8	9900
Rejet à partir des équipements situés près de la vanne d'isolement à mi-chemin (côté en amont)	Tuyau 1c	enfoui	à l'extérieur	Petit	Gaz	Échoué	Impactant	1cSVFI	12,8	9900
	-	-	-	Moyen	Gaz	Échoué	Impactant	1cMVFI	12,8	9900
	-	-	-	Grand	Gaz	Échoué	Impactant	1cLVFI	12,8	9900
	-	-	-	Rupture	Gaz	Réussi	Impactant	1cRVFI	12,8	9900
Rejet à partir des équipements situés près de la vanne d'isolement à mi-chemin (côté en aval)	Tuyau 2a	enfoui	à l'extérieur	Petit	Gaz	Échoué	Impactant	2aSVFI	12,8	9900
	-	-	-	Moyen	Gaz	Échoué	Impactant	2aMVFI	12,8	9900
	-	-	-	Grand	Gaz	Échoué	Impactant	2aLVFI	12,8	9900
	-	-	-	Rupture	Gaz	Réussi	Impactant	2aRVFI	12,8	9900
Rejet à partir du tuyau entre la vanne d'isolement et le poste de livraison	Tuyau 2b	enfoui	à l'extérieur	Petit	Gaz	Échoué	Impactant	2bSVFI	12,8	9900
	-	-	-	Moyen	Gaz	Échoué	Impactant	2bMVFI	12,8	9900
	-	-	-	Grand	Gaz	Échoué	Impactant	2bLVFI	12,8	9900
	-	-	-	Rupture	Gaz	Réussi	Impactant	2bRVFI	12,8	9900
Rejet à partir des	Tuyau 2c	enfoui	à l'extérieur	Petit	Gaz	Échoué	Impactant	2cSVFI	12,8	9900

Description	No de segment ESD	Équipement enfoui/hors-sol	Rejet à l'intérieur/extérieur du bâtiment	Taille de la brèche	Phase	Isolement réussi / échoué	Direction du rejet	Identification du scénario	Température représentative du segment (°C)	Pression représentative du segment (kP)
équipements situés près d'une vanne d'isolement vers le poste de livraison (côté en amont)	-	-	-	Moyen	Gaz	Échoué	Impactant	2cMVFI	12,8	9900
	-	-	-	Grand	Gaz	Échoué	Impactant	2cLVFI	12,8	9900
	-	-	-	Rupture	Gaz	Réussi	Impactant	2cRVFI	12,8	9900
Poste de livraison. Équipements en amont du bâtiment de mesurage	Tuyau 3a, à l'extérieur	enfoui	à l'extérieur	Petit	Gaz	Échoué	Impactant	3aO-SVFI	0	7000
	-	-	-	Moyen	Gaz	Échoué	Impactant	3aO-MVFI	0	7000
	-	-	-	Grand	Gaz	Échoué	Impactant	3aO-LVFI	0	7000
	-	-	-	Rupture	Gaz	Réussi	Impactant	3aO-RVFI	0	7000
Poste de livraison. Équipements en aval du bâtiment de mesurage vers les vannes de régulation de pression	Tuyau 3b, à l'extérieur	enfoui	à l'extérieur	Petit	Gaz	Échoué	Impactant	3bO-SVFI	0	7000
	-	-	-	Moyen	Gaz	Échoué	Impactant	3bO-MVFI	0	7000
	-	-	-	Grand	Gaz	Échoué	Impactant	3bO-LVFI	0	7000
	-	-	-	Rupture	Gaz	Réussi	Impactant	3bO-RVFI	0	7000
Poste de livraison. Vannes de régulation de pression (en surface)	Tuyau 3c, à l'extérieur	à la surface	à l'extérieur	Petit	Gaz	Échoué	Jet libre	3cO-SVFF	0	7000
	-	-	-	Petit	Gaz	Échoué	Impactant	3cO-SVFI	0	7000
	-	-	-	Moyen	Gaz	Échoué	Jet libre	3cO-MVFF	0	7000
	-	-	-	Moyen	Gaz	Échoué	Impactant	3cO-MVFI	0	7000
	-	-	-	Grand	Gaz	Échoué	Jet libre	3cO-LVFF	0	7000
	-	-	-	Grand	Gaz	Échoué	Impactant	3cO-LVFI	0	7000
	-	-	-	Rupture	Gaz	Réussi	Jet libre	3cO-RVSF	0	7000
	-	-	-	Rupture	Gaz	Réussi	Impactant	3cO-RVSI	0	7000

Description	No de segment ESD	Équipement enfoui/hors-sol	Rejet à l'intérieur/extérieur du bâtiment	Taille de la brèche	Phase	Isolement réussi / échoué	Direction du rejet	Identification du scénario	Température représentative du segment (°C)	Pression représentative du segment (kP)
Poste de livraison. Équipements dans le bâtiment de mesurage	Tuyau 3d, à l'intérieur	à la surface	à l'intérieur	Petit	Gaz	Échoué	Impactant	3dI-SVFI	0	7000
	-	-	-	Moyen	Gaz	Échoué	Impactant	3dI-MVFI	0	7000
	-	-	-	Grand	Gaz	Échoué	Impactant	3dI-LVFI	0	7000
	-	-	-	Rupture	Gaz	Réussi	Impactant	3dI-RVSI	0	7000

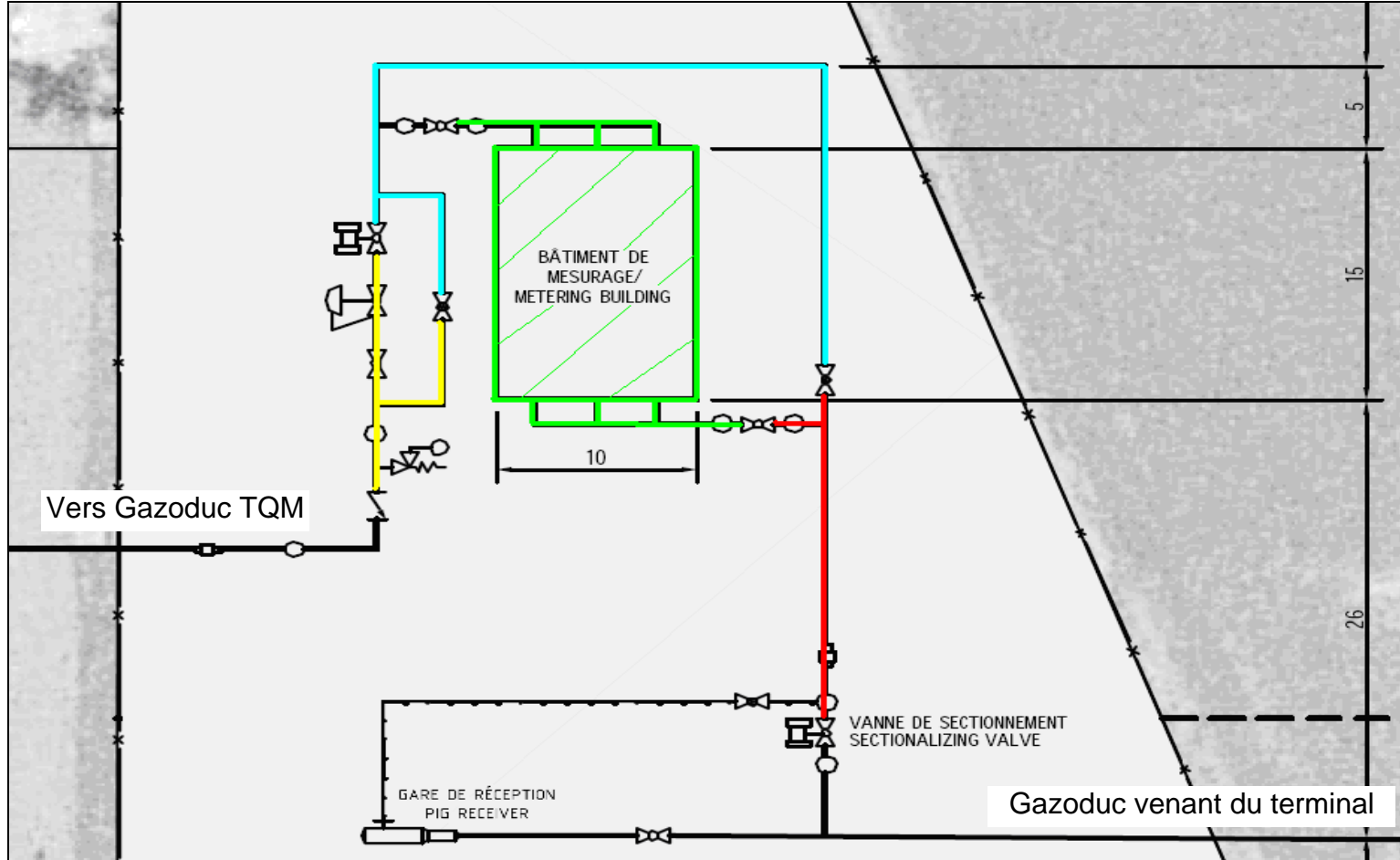


Figure 1 - Segmentation ESD du poste de livraison

- Segment 3a
- Segment 3b
- Segment 3c
- Segment 3d (Bâtiment de mesurage)

ANNEXE

3

FRÉQUENCES DES SCÉNARIOS D'ACCIDENT

1 INTRODUCTION

L'annexe suivante présente la fréquence d'occurrence des scénarios d'accident qui ont été modélisés dans SAFETI. Cette fréquence n'inclut pas la probabilité d'inflammation.

2 FRÉQUENCES DES SCÉNARIOS D'ACCIDENT

Une brève description des colonnes du tableau principal de cette annexe est donnée ci-dessous.

Nom de la colonne	Description
Identification du scénario	Comme cela est décrit dans l'annexe 2, un code d'identification a été attribué à chaque scénario d'accident.
Fréquence de fuite	La fréquence de fuite établie pour une dimension donnée de brèche dans le segment ESD.
P (isolement réussi/échoué)	La probabilité de réussite ou d'échec de l'isolement.
P (direction du rejet)	La probabilité de rejet pour la direction donnée.
Fréquence de l'événement	La fréquence de l'événement pour une dimension donnée de brèche dans le segment ESD, réussite ou échec de l'isolement et direction du rejet.

Identification du scénario	Fréquence de fuite (par an)	P(isolement réussi/échoué)	P(direction du rejet)	Fréquence de l'événement (par an)
1aSVFI	1,89E-03	1	1	1,89E-03
1aMVFI	3,76E-04	1	1	3,76E-04
1aLVFI	1,08E-04	1	1	1,08E-04
1aRVFI	1,15E-04	1	1	1,15E-04
1bSVFI	2,27E-04	1	1	2,27E-04
1bMVFI	9,86E-05	1	1	9,86E-05
1bLVFI	9,86E-05	1	1	9,86E-05
1bRVFI	6,90E-05	1	1	6,90E-05
1cSVFI	1,61E-03	1	1	1,61E-03
1cMVFI	3,27E-04	1	1	3,27E-04
1cLVFI	9,47E-05	1	1	9,47E-05
1cRVFI	1,03E-04	1	1	1,03E-04
2aSVFI	6,98E-04	1	1	6,98E-04
2aMVFI	1,47E-04	1	1	1,47E-04
2aLVFI	4,42E-05	1	1	4,42E-05
2aRVFI	4,96E-05	1	1	4,96E-05
2bSVFI	2,93E-04	1	1	2,93E-04
2bMVFI	1,28E-04	1	1	1,28E-04
2bLVFI	1,28E-04	1	1	1,28E-04
2bRVFI	8,93E-05	1	1	8,93E-05
2cSVFI	1,89E-03	1	1	1,89E-03
2cMVFI	3,76E-04	1	1	3,76E-04
2cLVFI	1,08E-04	1	1	1,08E-04
2cRVFI	1,15E-04	1	1	1,15E-04
3aO-SVFI	2,08E-03	1	1	2,08E-03
3aO-MVFI	4,23E-04	1	1	4,23E-04
3aO-LVFI	1,30E-05	1	1	1,30E-05
3aO-RVFI	1,35E-04	1	1	1,35E-04
3bO-SVFI	1,97E-03	1	1	1,97E-03
3bO-MVFI	4,10E-04	1	1	4,10E-04
3bO-LVFI	1,21E-04	1	1	1,21E-04
3bO-RVFI	1,34E-04	1	1	1,34E-04
3cO-SVFF	2,70E-03	1	0,75	2,70E-03
3cO-SVFI	9,02E-04	1	0,25	9,02E-04
3cO-MVFF	5,78E-04	1	0,75	5,78E-04

Identification du scénario	Fréquence de fuite (par an)	P(isolement réussi/échoué)	P(direction du rejet)	Fréquence de l'événement (par an)
3cO-MVFI	1,93E-04	1	0,25	1,93E-04
3cO-LVFF	1,71E-04	1	0,75	1,71E-04
3cO-LVFI	5,70E-05	1	0,25	5,70E-05
3cO-RVSF	1,91E-04	1	0,75	1,91E-04
3cO-RVSI	6,38E-05	1	0,25	6,38E-05
3dI-SVFI	6,15E-03	1	1	6,15E-03
3dI-MVFI	1,39E-03	1	1	1,39E-03
3dI-LVFI	2,64E-04	1	1	2,64E-04
3dI-RVSI	2,91E-04	1	1	2,91E-04

ANNEXE

4

PARAMÈTRES POUR L'ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES DES SCÉNARIOS D'ACCIDENT

1 INTRODUCTION

Cette annexe décrit les paramètres utilisés dans le modèle SAFETI pour l'évaluation des conséquences.

2 PARAMÈTRES POUR L'ÉVALUATION DES CONSÉQUENCES DES SCÉNARIOS D'ACCIDENT

Une brève description des colonnes du tableau principal de cette annexe est donnée ci-dessous.

Nom de la colonne	Description
Identification du scénario	Comme cela est décrit dans l'annexe 2, un code d'identification a été attribué à chaque scénario d'accident.
Inventaire du segment	La masse contenue dans les segments ESD a été estimée selon le diamètre et la longueur du gazoduc.
Taille de la brèche	Le diamètre représentatif de la brèche (Petit : 5 mm ; Moyen : 25 mm, Grand : 100 mm ; Rupture complète : diamètre extérieur de la canalisation)
Débit de fuite	Le débit de fuite appliqué servant à estimer la masse rejetée pour chaque scénario d'accident.
Délai d'isolement	Le temps mis pour fermer les vannes d'arrêt d'urgence. Les ruptures complètes sont considérées comme isolées dans les trente secondes en raison du système de détection de chute de pression sur la vanne d'isolement. On considère que les petites, moyennes et grandes fuites ne seront pas isolées avant une heure (la durée maximum dans l'étude de sécurité).
Durée de la purge	La durée avant que le segment ne soit considéré comme vide après la fermeture des vannes d'arrêt d'urgence.
Durée totale du rejet	Le total de la durée du rejet (somme du « délai d'isolement » et « durée de la purge »).
Masse totale renvoyée sans les effets de la mise à l'évent	La masse totale rejetée pour chaque scénario. Les effets de la mise à l'évent ne sont pas inclus dans cette colonne.
Réduction de la masse rejetée par mise à l'évent	Le système de mise à l'évent permet de mettre à l'évent une certaine quantité de la masse totale du segment ESD. Cette masse libérée est estimée d'après le ratio taux de purge/débit de fuite.
Masse totale rejetée avec les effets de la mise à l'évent	L'estimation de la masse totale rejetée pour chaque scénario, incluant les effets de la mise à l'évent.

Identification du scénario	Inventaire du segment (kg)	Taille de la brèche (mm)	Débit de fuite (kg/s)	Délai d'isolement (s)	Durée de la purge (s)	Durée totale du rejet (s)	Masse totale renvoyée sans les effets de la mise à l'événement (kg)	Réduction de la masse rejetée par mise à l'événement (kg)	Masse totale rejetée avec les effets de la mise à l'événement (kg)
1aSVFI	352 279	5	0,4	3600	3600	3600	1440	-	1440
1aMVFI	352 279	25	0,9	3600	3600	3600	3240	-	3240
1aLVFI	352 279	100	150,0	3600	2349	3600	540000	-	540000
1aRVFI	352 279	583	1 600,0	30	220	250	400279	0,06	377177
1bSVFI	352 279	5	0,4	3600	3600	3600	1440	-	1440
1bMVFI	352 279	25	0,9	3600	3600	3600	3240	-	3240
1bLVFI	352 279	100	150,0	3600	2349	3600	540000	-	540000
1bRVFI	352 279	583	1 600,0	30	220	250	400279	0,06	377177
1cSVFI	352 279	5	0,4	3600	3600	3600	1440	-	1440
1cMVFI	352 279	25	0,9	3600	3600	3600	3240	-	3240
1cLVFI	352 279	100	150,0	3600	2349	3600	540000	-	540000
1cRVFI	352 279	583	1 600,0	30	220	250	400279	0,06	377177
2aSVFI	455 891	5	0,4	3600	3600	3600	1440	-	1440
2aMVFI	455 891	25	0,9	3600	3600	3600	3240	-	3240
2aLVFI	455 891	100	150,0	3600	3039	3600	540000	-	540000
2aRVFI	455 891	583	1 600,0	30	285	315	503891	0,07	466836
2bSVFI	455 891	5	0,4	3600	3600	3600	1440	-	1440
2bMVFI	455 891	25	0,9	3600	3600	3600	3240	-	3240
2bLVFI	455 891	100	150,0	3600	3039	3600	540000	-	540000
2bRVFI	455 891	583	1 600,0	30	285	315	503891	0,07	466836
2cSVFI	455 891	5	0,4	3600	3600	3600	1440	-	1440
2cMVFI	455 891	25	0,9	3600	3600	3600	3240	-	3240
2cLVFI	455 891	100	150,0	3600	3039	3600	540000	-	540000
2cRVFI	455 891	583	1 600,0	30	285	315	503891	0,07	466836

Identification du scénario	Inventaire du segment (kg)	Taille de la brèche (mm)	Débit de fuite (kg/s)	Délai d'isolement (s)	Durée de la purge (s)	Durée totale du rejet (s)	Masse totale renvoyée sans les effets de la mise à l'évent (kg)	Réduction de la masse rejetée par mise à l'évent (kg)	Masse totale rejetée avec les effets de la mise à l'évent (kg)
3aO-SVFI	2 194	5	0,3	3600	3600	3600	900	-	900
3aO-MVFI	2 194	25	6,0	3600	366	3600	21600	-	21600
3aO-LVFI	2 194	100	100,0	3600	22	3600	360000	-	360000
3aO-RVFI	2 194	-	900,0	30	2	32	29194	0,10	26274
3bO-SVFI	2 194	5	0,3	3600	3600	3600	900	-	900
3bO-MVFI	2 194	25	6,0	3600	366	3600	21600	-	21600
3bO-LVFI	2 194	100	100,0	3600	22	3600	360000	-	360000
3bO-RVFI	2 194	-	900,0	30	2	32	29194	0,10	26274
3cO-SVFF	387	5	0,3	3600	1547	3600	900	-	900
3cO-SVFI	387	5	0,3	3600	1547	3600	900	-	900
3cO-MVFF	387	25	6,0	3600	64	3600	21600	-	21600
3cO-MVFI	387	25	6,0	3600	64	3600	21600	-	21600
3cO-LVFF	387	100	100,0	3600	4	3600	360000	-	360000
3cO-LVFI	387	100	100,0	3600	4	3600	360000	-	360000
3cO-RVSF	387	-	900,0	30	0	30	27387	0,10	24648
3cO-RVSI	387	-	900,0	30	0	30	27387	0,10	24648
3dI-SVFI	2 194	5	0,3	3600	3600	3600	900	-	900
3dI-MVFI	2 194	25	6,0	3600	366	3600	21600	-	21600
3dI-LVFI	2 194	100	100,0	3600	22	3600	360000	-	360000
3dI-RVSI	2 194	-	900,0	30	2	32	29194	0,10	26274

ANNEXE

5

REGISTRE DE PRÉPARATION AUX SITUATIONS D'URGENCE

1 INTRODUCTION

Cette annexe détaille les mesures d'urgence planifiées dans le but de garantir pleinement la préparation aux situations d'urgence concernant le gazoduc proposé.

Des registres préliminaires de la planification des urgences, incluant pour chaque scénario d'urgence et pour chaque phase d'urgence :

- les exigences de performance (actions requises et objectifs de performance) ;
- les mesures d'urgence (procédures et équipements d'urgence) permettant de réaliser ces actions et de remplir ces objectifs.

2 REGISTRE DE PRÉPARATION AUX SITUATIONS D'URGENCE

La planification des urgences est évaluée pour chacune des cinq phases suivantes :

- 1) **Alerte** : Garantir une mobilisation efficace de toutes les ressources pertinentes aux situations d'urgence.
- 2) **Limitation du danger** : Mettre en place des mesures de protection, lorsqu'une situation dangereuse se produit, afin d'éviter qu'elle se transforme en accident ou, lorsqu'un accident se produit, afin de limiter les conséquences.
- 3) **Sauvetage** : S'assurer que les personnes manquantes sont retrouvées, que les premiers secours sont administrés aux blessés et que ces derniers sont en sécurité dans un endroit où ils peuvent être soignés par le service médical.
- 4) **Évacuation** : Emmener l'ensemble du personnel dans un endroit sécuritaire, et ce, d'une manière sécuritaire et organisée.
- 5) **Normalisation** : Emmener le personnel blessé à l'hôpital pour qu'il y reçoive un traitement et des soins, remettre l'environnement en bon état, réparer les dommages aux installations et reprendre les opérations.

Cette approche structurée d'identification des exigences et des mesures d'urgence correspondantes garantit une planification complète et détaillée des situations d'urgence.

Registre de préparation aux situations d'urgence

EXIGENCES GÉNÉRALES – Tous les scénarios d'urgence

Phase d'urgence	No.	Exigences de performance	Mesures d'urgence
Alerte	E1	Tout le personnel du site doit être immédiatement alerté de la situation d'urgence confirmée.	La salle de contrôle des installations déclenche l'alarme pour prévenir les effectifs d'une situation d'urgence confirmée.
	E2	L'équipe de gestion des urgences Rabaska doit être prévenue de la situation d'urgence sans délai.	Les procédures de préparation aux situations d'urgence dans les installations incluront une rubrique sur les équipes de gestion des urgences. (Procédures à développer)
	E3	Les services d'urgence (Pompier, Police, Ambulance, etc.) doivent être avertis de la situation d'urgence réelle sans délai.	Les procédures de préparation aux situations d'urgence dans les installations incluront une rubrique sur les notifications courantes. (Procédures à développer)
	E4	Prévenir sans délai, si besoin est, la population environnante d'une véritable urgence qui pourrait les affecter.	Les procédures de préparation aux situations d'urgence dans les installations incluront une rubrique sur la notification d'urgence au public. (Procédures à développer)
	E5	Le MDDEP doit être averti des situations d'urgence réelle sans délai.	Les procédures de préparation aux situations d'urgence dans les installations incluront une rubrique sur les notifications courantes. (Procédures à développer)
	E6	L'Office national de l'énergie doit être prévenu de tout incident lié à la construction, le fonctionnement ou l'abandon du gazoduc et approuver dès que possible.	Les procédures de préparation aux situations d'urgence dans les installations incluront une rubrique sur les notifications courantes. (Procédures à développer)
	E7	Environnement Canada doit être prévenu par téléphone de toute situation d'urgence, sans délai. Notification orale Québec/ligne téléphonique 24h/24 : (866) 283-2333	Les procédures de préparation aux situations d'urgence dans les installations incluront une rubrique sur les notifications courantes. (Procédures à développer)
	E8	Détection automatique de fuite et notification immédiate à la salle de commande des installations.	Tous les détecteurs enverront automatiquement une alarme et des signaux d'erreurs aux panneaux de commande. L'affichage de la salle de commande peut localiser n'importe quelle alarme sur un plan détaillé du terrain. Instrument de haute pression

Registre de préparation aux situations d'urgence

EXIGENCES GÉNÉRALES – Tous les scénarios d'urgence

Phase d'urgence	No.	Exigences de performance	Mesures d'urgence
	E9	Détection humaine d'une fuite de gaz, l'observateur doit immédiatement prévenir les services d'urgence.	<ul style="list-style-type: none"> Des panneaux seront placés à des intervalles réguliers le long du gazoduc afin de rappeler le numéro d'appel. Le gazoduc sera arpenté régulièrement.
Limitation du danger	E10	En cas de confirmation d'un incident, et selon son emplacement, les arrêts d'urgence doivent être automatiquement actionnés.	<ul style="list-style-type: none"> Arrêts d'urgence automatiques (ESD) situés aux deux extrémités du gazoduc et au milieu et arrêts à distance. Périmètre de sécurité établi par les services d'urgence. Route/chemin d'accès jusqu'à l'emplacement de la fuite.
	E11	Tout le personnel du site doit être formé à la lutte anti-incendie contre les feux de gaz naturel.	Le personnel du site sera formé pour lutter contre les incendies provoqués par le gaz naturel.
Sauvetage	E12	Le sauvetage doit être possible depuis n'importe quel endroit.	Les procédures de préparation aux situations d'urgence incluront une rubrique sur les équipes externes de sauvetage.
	E14	Les résidants devant être initialement alertés ou évacués, si nécessaire, en accord avec le centre régional des opérations d'urgence et les services locaux d'urgence.	<ul style="list-style-type: none"> Un chef d'évacuation de la communauté sera désigné pour être coordonné avec les services municipaux de réponse aux urgences et mettre en place toutes notifications d'évacuation des résidants. Le directeur municipal du service des catastrophes ou de l'organisation des mesures d'urgence du Québec doit être averti du besoin d'évacuation. Les informations sur les centres municipaux d'évacuation seront incorporées et tenues à jour dans les procédures d'urgence. Une formation sur les scénarios sera fournie. (Procédures à développer)
Normalisation	E15	La normalisation ne doit pas causer de perte d'information pouvant être cruciale à l'enquête.	Les procédures de préparation aux situations d'urgence dans les installations incluront une rubrique sur la normalisation. (Procédures à développer)
	E16	L'ensemble du personnel et du public, touché le cas échéant, sera informé de la fin de l'urgence.	Les procédures de préparation aux situations d'urgence dans les installations incluront une rubrique sur la normalisation. (Procédures à développer)

Registre de préparation aux situations d'urgence

EXIGENCES GÉNÉRALES – Tous les scénarios d'urgence

Phase d'urgence	No.	Exigences de performance	Mesures d'urgence
	E17	Des évaluations après l'événement doivent être effectuées et des recommandations mises en place avant de revenir à un fonctionnement normal.	Les procédures de préparations aux situations d'urgence dans les installations incluront une rubrique concernant l'apprentissage sur les incidents, cela inclut la cause, la réaction et la prévention future.
	E18	Un rapport écrit doit être remis à Environnement Canada dans les 30 jours.	La procédure de préparation aux situations d'urgence inclura une rubrique sur comment fournir un rapport écrit à la personne désignée d'Environnement Canada : Directeur, protection de l'environnement Région du Québec Environnement Canada 4 ^{ème} étage, 105 McGill St. Montréal, QC, H2Y 2E7
	E19	Un rapport préliminaire suivi d'un rapport détaillé d'incident doit être remis à l'Office national de l'énergie dès que possible.	La procédure de préparation aux situations d'urgence inclura une rubrique sur comment adresser un rapport à l'Office national de l'énergie.

Registre de préparation aux situations d'urgence

Déversement et fuite de substances dangereuses – Fuite de gaz naturel provenant du gazoduc

Phase d'urgence	No.	Actions requises	Mesures d'urgence
Alerte	1-1	Détection automatique de fuite et notification immédiate à la salle de commande des installations.	<ul style="list-style-type: none"> • Tous les détecteurs déclencheront automatiquement l'alarme et enverront des signaux d'erreurs de salle de contrôle. L'affichage de la salle de contrôle peut localiser n'importe quelle alarme sur un plan détaillé du terrain. • Instrumentation à haute pression.
	1-2	Détection manuelle de fuite, l'observateur doit immédiatement en informer les services d'urgence.	<ul style="list-style-type: none"> • Des panneaux seront placés à des intervalles réguliers le long du gazoduc afin de rappeler le numéro d'appel. • Le gazoduc sera arpenté régulièrement.
Limitation du danger	1-3	En cas de confirmation d'un incident, et selon son emplacement, les arrêts d'urgence doivent être automatiquement actionnés.	<ul style="list-style-type: none"> • Les arrêts d'urgence automatiques (ESD) situés aux deux extrémités du gazoduc et au milieu. • Périmètre de sécurité établi par les services d'urgence. • Chemin/voie d'accès jusqu'à l'emplacement de la fuite.
Sauvetage	1-4	<i>Voir les exigences générales</i>	
Évacuation	1-5	<i>Voir les exigences générales</i>	
Normalisation	1-6	<i>Voir les exigences générales</i>	

Registre de préparation aux situations d'urgence

Incendie – Inflammation d'une fuite de gaz provenant du gazoduc

Phase d'urgence	No.	Exigences de performance	Mesures d'urgence
Alerte	2-1	Détection automatique de fumée, chaleur ou flamme et notification immédiate auprès de la salle de contrôle des installations.	<ul style="list-style-type: none"> L'alarme et les signaux d'erreurs seront affichés sur les panneaux de contrôle de la salle de commande. L'affichage de la salle de commande peut localiser n'importe quelle alarme sur un plan détaillé du terrain. Instrumentation à haute pression
	2-2	Détection manuelle d'incendie, l'observateur doit immédiatement notifier les services d'urgence.	<ul style="list-style-type: none"> Des panneaux seront placés à des intervalles réguliers le long du gazoduc afin de rappeler le numéro d'appel.
Limitation du danger	2-3	En cas de confirmation de détection d'incident, et selon son emplacement, les arrêts d'urgence doivent être automatiquement actionnés.	<ul style="list-style-type: none"> Après qu'une situation d'urgence a été confirmée, la salle de commande des installations déclenche les arrêts d'urgence (Vannes d'arrêts d'urgence situées aux deux extrémités et au milieu du gazoduc). Les services d'urgence municipaux et de Rabaska doivent se consulter afin de garantir l'alignement des planifications d'urgence. Un périmètre de sécurité, basé sur les zones de sécurité déterminées par l'évaluation des risques, doit être établi par les services d'urgence municipaux. Chemin/voie d'accès jusqu'à l'emplacement de la fuite.
	2-4	Un service extérieur d'intervention d'urgence sera disponible en cas d'incendie.	La planification des urgences sera menée conjointement avec les services d'urgence municipaux.
	2-5	Tout le personnel du site doit être formé à la lutte contre les incendies de gaz naturel.	Le personnel du site sera formé à la lutte contre les incendies de gaz naturel.
Sauvetage	2-6	<i>Voir les exigences générales</i>	
Évacuation	2-7	<i>Voir les exigences générales</i>	
Normalisation	2-8	<i>Voir les exigences générales</i>	

ANNEXE

6

ÉTUDE DES DONNÉES HISTORIQUES

1 INTRODUCTION

Les données sur les accidents de canalisations transportant du gaz naturel ont été revues d'après des bases de données publiées. Seules les données historiques concernant les accidents sur les *gazoducs de transport* sont considérées comme pertinentes pour cette étude. Les *gazoducs de transport* sont des lignes de grand diamètre (> 6" / 15cm), de grande longueur (> 1 mile / 1,6 km) et de pression élevée (> 150 psi / 10 bar), entre les installations de traitement du gaz et les stations de réduction de pression ou les consommateurs. Ils sont généralement dans les zones rurales, souvent le long des routes principales.

Le réseau de transport de gaz naturel représente environ 140 000 km au Canada et 480 000 km au États-Unis. À titre d'information, le réseau de distribution représente environ 400 000 km au Canada et 3 000 000 km aux États-Unis.

Le but de la revue des accidents du passé est de préparer une liste de vérification spécifique à un projet pour l'étude sur l'identification des risques, basée sur les accidents et les leçons apprises de l'industrie des canalisations de transport de gaz naturel.

2 SOURCES

Les sources de la revue des accidents du passé sont :

- /1/ The Major Hazard Incidents Data Service Database (MHIDAS), UK Health and Safety Executive. (Maintained by AEA Technology plc.)
- /2/ HSE Kinsman and Lewis Reference, RR 036 - Report on a second study of pipeline accidents using the Health and Safety Executive's risk assessment programs MISHAP and PIPERS: <http://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr036.htm>
- /3/ DNV Technica RA of Zeepipe IV-LVS, Pipeline and Terminal. Report no. 94-3671
- /4/ National Transportation Safety Board (NTSB) : <http://www.nts.gov>
- /5/ Rapports du Bureau de la sécurité des transports de Canada (BST) : <http://www.tsb.gc.ca>
- /6/ Sasol, Gas pipelines QRA, Appendix VIII: Historical incidents on natural gas pipelines. (MHIDAS)

3 REVUE DES ACCIDENTS PASSÉS

Les accidents décrits ci-dessous ne représentent pas une liste complète des accidents de gazoducs pendant les 25 dernières années, mais peuvent être considérés comme une sélection d'accidents listés dans les bases de données publiées. Les accidents présentés dans le tableau 1 ci-dessous sont des accidents de gazoducs de transport, en Amérique du Nord, avec des conséquences mortelles, survenus entre 1980 et 2005.

Les accidents présentés dans le tableau 2 sont des accidents de gazoducs de transport survenus au Canada pendant la période de 1980 à 2005.

Tableau 1 - Accidents en Amérique du Nord 1980-2005

Année	Lieux	Cause de la panne	Produit	Détails	Réf.
1982	Hudson, Iowa, USA	Percé par une pelle rétrocaveuse.	Gaz naturel	Gazoduc enterré. La pelle rétrocaveuse utilisée par les ouvriers de drainage a percé le gazoduc. La fuite s'est enflammée. 5 personnes tuées.	/6/
1984	Acachapan, Mexique	Vanne de sécurité cassée.	Gaz naturel	Vanne de sécurité rompue. La fuite s'est enflammée. 1 personne tuée, 44 blessées. L'accident a provoqué des dégâts sur neuf maisons et une école.	/6/
1984	St. Francisville, Jackson, Louisiane, USA	Erreur humaine lors d'un travail de réparation.	Gaz naturel	Après s'être rompu, un gazoduc de 30" (environ 75 cm) âgé de 29 ans a eu une fuite à 70 bar qui s'est enflammée. La rupture s'est produite conjointement avec les travaux de construction destinés à renforcer le facteur de sûreté du gazoduc sur une distance de 500m. La cause de la rupture a été une combinaison entre les supports fragiles du gazoduc dans la tranchée et une mauvaise soudure entre le nouveau et l'ancien tronçon du gazoduc. 5 personnes tuées, 23 blessées. L'accident a, de plus, provoqué des dégâts sur environ 70 m ² de bois.	/2/, /3/, /6/
1985	Beaumont, Kentucky USA	Rupture. Corrosion.	Gaz naturel	Un gazoduc situé près d'une autoroute. Il s'est rompu et la fuite s'est enflammée. 5 personnes tuées, 3 blessées, Plusieurs maisons et 6 voitures endommagées. La cause de la rupture était la corrosion.	/2/, /6/, /3/
1985	Oshawa Canada	Perforation. Machine excavatrice.	Gaz naturel	Un gazoduc de 20" (environ 50cm) percé par une machine excavatrice. La fuite s'est enflammée. 1 personne tuée, 3 blessées.	/6/
1986	Sullivan USA	Gazoduc endommagé par un chargeur qui	Gaz naturel	Le gazoduc a été endommagé par un chargeur qui retirait la glace et la neige. La fuite s'est enflammée et l'accident a	/6/

Année	Lieux	Cause de la panne	Produit	Détails	Réf.
		enlevait de la glace et de a neige.		endommagé 3 bâtiments, tué 4 personnes et blessé 12 autres.	
1989	New York USA	Gazoduc percé. Excavation	Gaz naturel	Un gazoduc enterré a été endommagé par une excavation. La fuite s'est enflammée tuant 2 personnes et en blessant 27 autres.	/6/
1992	West Pembina USA	Fuite. Cause inconnue	Gaz naturel	Un gazoduc de 6" (environ 15 cm). La ligne était fermée pour entretien lorsque l'accident s'est produit. La cause de la fuite est inconnue. La fuite s'est enflammée tuant une personne.	/6/
1992	Elwin, Illinois USA	Fuite. Cause inconnue	Gaz naturel	Un gazoduc de 24" (environ 60 cm). Origine de la fuite inconnue. Une boule de feu a enveloppé le matériel et les véhicules. 1 personne tuée et 4 blessées.	/6/
1994	Villahermosa Tabasco, Mexique	Explosion lors du nettoyage du gazoduc	Gaz naturel	Un gazoduc de 24" (environ 60 cm) a explosé alors que des ouvriers le nettoyaient. 9 personnes tuées et 30 blessées. Des maisons et des véhicules ont été détruits par l'explosion.	/6/
1994	Edison New Jersey USA	Gazoduc endommagé par les travaux de construction	Gaz naturel	Un gazoduc souterrain de 36" (environ 90 cm) a été détruit par des travaux de construction. La fuite s'est enflammée, tuant 1 personne.	/2/, /6/
1995	Villahermosa Mexique	Propagation de l'incendie	Gaz naturel	Propagation d'un incendie d'essence jusqu'au GPL et aux gazoducs de gaz naturel. 1 personne tuée et 22 blessées.	/6/
1997	Indianapolis, Indiana, USA	Rupture. Dégâts causés par l'excavation.	Gaz naturel	Un gazoduc de gaz naturel s'est rompu, déversant du gaz naturel près d'une intersection. Le gaz s'est enflammé et s'est mis à brûler tuant un habitant et en blessant un autre. Gazoduc de 20 " (environ 50 cm), 310 psig (environ 20 bar)	/4/
1998	Magalannes, Tabasco, Mexique	Brèche dans le gazoduc.	Gaz naturel	Gazoduc ébréché, la fuite s'est enflammée. 11 personnes tuées, 2 blessées. L'incendie a détruit 5 ha de forêt.	/6/
1998	St Cloud, Minnesota, USA	Dégâts provoqués par des travaux de construction.	Gaz naturel	Des travaux de construction ont provoqué des dégâts sur un gazoduc. La fuite s'est enflammée. 4 personnes tuées et 25 blessées.	/6/
1999	USA; Alabama; Bridgeport	Dégâts provoqués par des travaux de construction.	Gaz naturel	Des travaux de construction ont provoqué des dégâts sur un gazoduc. La fuite s'est enflammée. 3 personnes tuées et 9 blessées. De plus, 3 bâtiments ont été endommagés par l'accident.	/6/
1999	Liberty, Texas, USA	Rupture. Excavation.	Gaz naturel	Des ouvriers ont rompu le gazoduc en creusant. La fuite s'est enflammée. 1	/6/

Année	Lieux	Cause de la panne	Produit	Détails	Réf.
				personne tuée et 3 blessées.	
2000	Pecos River, près de Carlsbad, New Mexico, USA	Rupture. Corrosion.	Gaz naturel	Le gazoduc d'El Paso de 30" (environ 75 cm) a explosé dans un endroit reculé. Le gaz déversé s'est enflammé et a brûlé pendant 55 minutes. 12 personnes qui campaient sous un pont métallique, soutenant un plateau en béton sur lequel passait le gazoduc pour enjamber la rivière, ont été tuées et leurs trois véhicules détruits. Deux ponts suspendus en acier enjambant la rivière ont subi des dégâts. Une usure significative de la paroi intérieure du gazoduc âgé de 50 ans est peut-être responsable.	/4/
2003	Converse County, Wyoming, USA	Dépressurisation possible du gazoduc.	Gaz naturel	1 personne a été tuée et une autre a souffert de blessures graves. Ils étaient peut-être en train d'essayer de dépressuriser un gazoduc de gaz naturel lorsqu'il s'est rompu et a explosé.	/1/

Tableau 2 - Accidents Canadiens 1980-2005

Année	Lieux	Cause de la panne	Produit	Détails	Réf.
1980	Brooks, Alberta, Canada	Rupture.	Gaz naturel	Rupture d'une courte section enterrée de 36" (environ 90 cm) à 65.5 barg entre la bride et l'assemblage d'une vanne à une station de compression a été la cause d'une explosion qui a détruit la plus grande partie de la grande station de compression de transmission de gaz naturel.	/3/
1985	Oshawa. Canada	Perforation. Machine excavatrice.	Gaz naturel	Un gazoduc de 20" (environ 50 cm) a été percé par une machine d'excavation. 1 personne a été tuée et trois blessées.	/6/
1985	Ignace, Ontario Canada	Cause de l'accident inconnue	Gaz naturel	Un gazoduc de 914 mm à 66.5 barg. Rupture complète. Zone brûlée sur 171m de diamètre.	/2/
1985	Lowter, Ontario Canada	Cause de l'accident inconnue	Gaz naturel	Un gazoduc de 914 mm à 68 barg. Rupture complète. Zone brûlée sur 249m de diamètre.	/2/
1992	Caroline. Canada	Cause de l'accident inconnue	Gaz naturel	Un gazoduc enterré. Une fuite s'est enflammée et a endommagé 400m de gazoduc enterré.	/6/
1992	Chutes Iroqui, Ontario, Canada	Cause de l'accident inconnue	Gaz naturel	Un gazoduc situé dans un endroit reculé fuyait. La fuite s'est enflammée. Pas d'information supplémentaire disponible.	/6/
1992	Potter, Ontario, Canada	Cause de l'accident inconnue	Gaz naturel	Un gazoduc de 914 mm à 69 barg. Rupture complète. Zone brûlée sur 200m de large par 300m de long.	/2/
1994	Près de Latchford, Ontario. Canada	Rupture. Surcharge ductile.	Gaz naturel	Rupture et incendie sur le gazoduc de 36" de TransCanada. La rupture a été causée par une cassure ductile due à une surcharge parce que la paroi de la canalisation s'était considérablement amincie à cause de corrosion externe. Aucun blessé. L'incendie a brûlé une zone de 4.77 hectares.	/5/
1994	Près de Maple Creek, Saskatchewan, Canada	Rupture. Fraction ductile de la délamination.	Gaz naturel	Rupture et incendie. La rupture a été causée par la rupture ductile d'un délaminage à mi-paroi de la conduite. Le délaminage a été causé par la diffusion d'hydrogène atomique dans des inclusions de l'acier de la conduite durant le fonctionnement normal du gazoduc. Aucun blessé.	/5/ /6/

Année	Lieux	Cause de la panne	Produit	Détails	Réf.
1995	Rapid City, Manitoba, Canada	2 ruptures. D'abord rupture de surcharge ductile. Ensuite surchauffe.	Gaz naturel	Rupture initiale et incendie dans le gazoduc de 42" de la TransCanada Pipelines. Une heure plus tard, une seconde rupture au même endroit. La première rupture a été causée par une cassure ductile due à une surcharge consécutive à une fissuration par corrosion sous tension de la canalisation. La deuxième rupture a été attribuée à la chaleur du premier incendie et à la fermeture tardive de la canalisation. Une personne a subi des blessures mineures. La station de compression ainsi que deux véhicules ont subi des dégâts importants.	/5/ /6/
1995	Vermilion Bay, Ontario Canada	Cause de l'accident inconnue	Gaz naturel	Cause de la fuite inconnue. La fuite s'est enflammée. Un grand cratère s'est formé.	/6/
1996	10km au sud ouest de Winnipeg, près de St. Norbert, Manitoba, Canada	Rupture. Rupture de surcharge ductile.	Gaz naturel	Une rupture suivie par une explosion et un incendie sur le gazoduc de 34 " de la TransCanada Pipelines. La rupture de la canalisation 100-2 a été causée par une fracture de surcharge ductile, résultant de contraintes externes élevées qui ont été imposées à la surface de la canalisation par le mouvement de la pente dans laquelle la conduite était enfouie. Le gazoduc était enterré dans une rivière. Pas de blessé. L'explosion et l'incendie ont entraîné la perte d'une résidence. Des lignes de transport hydro-électriques, des poteaux, des transformateurs et du matériel connexe se trouvant dans les environs immédiats du lieu de l'accident ont aussi été endommagés et ont dû être remplacés.	/5/
1997	Près de Fort St. John, Colombie-Britannique, Canada	Rupture. Glissement de terrain	Gaz naturel	Une rupture s'est produite dans un gazoduc de 8" (environ 22 cm). La fuite s'est enflammée. La rupture du gazoduc a été causée par une tension supérieure à la limite de conception lors de l'interaction de la conduite et du sol, en raison d'un déplacement rapide et soudain dans une vaste étendue de terrain formée par des glissements de terrain antérieurs. Aucun blessé.	/5/

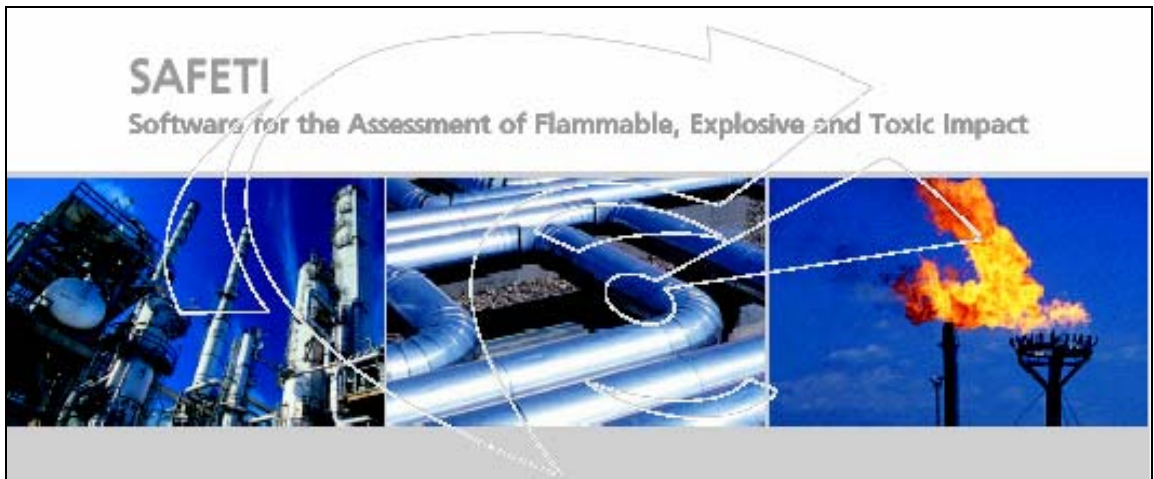
Année	Lieux	Cause de la panne	Produit	Détails	Réf.
1997	Cabri, Saskatchewan, Canada	Rupture. Corrosion externe.	Gaz naturel	Une rupture s'est produite dans une zone affectée par de la corrosion externe, sur un gazoduc de 914 mm de diamètre appartenant à TransCanada Pipelines, près de Cabri. Environ $3\,252 \times 10^3 \text{ m}^3$ de gaz naturel se sont échappés. Le gaz s'est immédiatement enflammé, provoquant des dégâts au sol et à la végétation environnante. L'incendie principal a été éteint 20 minutes après la rupture. La propagation de la corrosion à la surface du gazoduc indique que le revêtement de ce dernier a été soit endommagé soit dissout, empêchant le gazoduc d'être correctement protégé par la protection cathodique.	/5/ /6/
1998	Valley View, Alberta, Canada	Corrosion externe et fissures dues à l'usure.	Gaz naturel	La corrosion externe et des fissures d'usure ont provoqué une fuite, qui s'est enflammée. Incendie de forêt.	/6/
2000	Près de la halte routière de Zopkios de l'autoroute Coquihalla, Colombie-Britannique, Canada	Rupture. Fissuration sous contrainte en présence d'hydrogène.	Gaz naturel	Une rupture s'est produite dans un point dur localisé au poteau milliaire 569,9 de la canalisation principale T-South de 762 millimètres de diamètre extérieur, près de la halte routière de Zopkios située à la sortie 217 de l'autoroute de Coquihalla (Colombie-Britannique). Sept véhicules qui se trouvaient à la halte routière ont été endommagés par des débris projetés par l'explosion. Personne n'a été blessé. L'autoroute de Coquihalla a été fermée à la circulation pendant trois heures et demie par suite de la rupture.	/5/
2002	Brookdale, Manitoba, Canada	Rupture, corrosion sous tension	Gaz naturel	Un gazoduc de 914 millimètres de diamètre de TransCanada Pipelines s'est rompu dans une zone de fissuration par corrosion sous tension presque neutre (à pH faible) à quelque deux kilomètres du village de Brookdale (Manitoba). Après cette rupture, le gaz naturel s'est enflammé. Grâce à la fermeture automatique des vannes de canalisation principale en amont et en aval de la rupture, l'incendie s'est éteint de lui-même. Personne n'a été blessé.	/5/

APPENDIX

7

SAFETI DESCRIPTION

the SAFETI software package: description





summary / model overview:

DNV Software's SAFETI program is a user-friendly, industry standard method for carrying out Quantitative Risk Assessments (QRA) of onshore process, chemical and petrochemical facilities. SAFETI allows you to quickly identify major risk contributors. Time and effort can then be directed to mitigating these highest risk activities.

SAFETI analyses complex consequences from accident scenarios, taking account of local population, land usage and weather conditions, to quantify the risk associated with the release of hazardous materials. SAFETI incorporates the industry standard consequence modelling of PHAST.

Key features:

- Integrated dispersion modelling
- Wide range of toxic and flammable effect models
- Risk contour and FN curve generation
- Risk ranking of failure scenarios
- Facility to overlay results in geographical information systems (GIS), aerial maps, plans and photographs
- Traceability and consistency in calculations



This document provides a description of the SAFETI software.

For further details contact:

- DNV Software
- Palace House, 3 Cathedral Street, London, SE1 9DE
- Tel: +44(0) 207 716 6545; Fax: +44(0) 207 716 6738
- E-mail: Software.Risk@dnv.com; Web: www.dnvsoftware.com

DNV Software is the commercial software house of DNV serving more than 3000 customers in the marine, offshore and process industries. DNV Software is market leading in software development for design, strength assessment, risk and information management.

contents:

1	INTRODUCTION	4
1.1	Overview	4
1.2	Background	4
1.3	Layout	4
2	THE SAFETI PROGRAM	6
2.1	Overview	6
2.2	Layout of SAFETI	7
3	BACKGROUND DATA	9
3.1	Weather Conditions	9
3.2	Parameters	10
3.3	Materials Data	12
3.4	Maps	12
3.5	Risk Data	13
3.5.1	Populations	13
3.5.2	Ignition Sources	14
3.5.3	Risk Ranking Points	14
4	CONSEQUENCE ANALYSIS	15
4.1	Discharge Modelling Theory	15
4.1.1	Types of Release	15
4.1.2	Instantaneous Releases	16
4.1.3	Continuous Releases	16
4.2	Dispersion Modelling Theory	17
4.2.1	Overview	17
4.2.2	Release Phenomenology	19
4.2.3	Dispersing Cloud Models	21
4.2.4	The Unified Dispersion Model	22
4.3	Consequence Modelling Theory	24
4.3.1	Overview	24
4.3.2	Toxic Consequences	24
4.3.3	Flammable Consequences	25
4.3.4	Flash Fires	25
4.3.5	Pool Fires	25
4.3.6	Jet Fires	26
4.3.7	Fireballs / BLEVEs	27
4.3.8	Explosion Models	27
5	IMPACT ANALYSIS	28
5.1	Impact Event Trees	28



5.1.1	Overview	28
5.1.2	Continuous Release, Without Rainout, Event Tree	29
5.1.3	Continuous Release, With Rainout, Event Tree	31
5.1.4	Instantaneous Release, Without Rainout, Event Tree	32
5.1.5	Instantaneous Release, With Rainout, Event Tree	33
5.2	Impairment	35
5.2.1	Approach	35
5.2.2	Vulnerability Parameters	36
6	RISK ANALYSIS	39
6.1	Risk Calculation	39
6.2	Risk Results, Graphical Output	40
6.3	Tabular Output	42
7	REFERENCES	43

the SAFETI software package: description

1 INTRODUCTION

1.1 Overview

DNV Software's SAFETI program is a user-friendly, industry standard method for carrying out Quantitative Risk Assessments (QRA) of onshore process, chemical and petrochemical facilities. SAFETI allows you to quickly identify major risk contributors. Time and effort can then be directed to mitigating these highest risk activities.

SAFETI analyses complex consequences from accident scenarios, taking account of local population, land usage and weather conditions, to quantify the risk associated with the release of hazardous materials. SAFETI incorporates the industry standard consequence modelling of PHAST.

1.2 Background

The SAFETI risk modelling package was originally developed by Technica (a DNV Company), initially under the sponsorship of the Netherlands Government Physical Planning and Environment Ministry (VROM). Largely in response to the findings of major studies into the technical approach adopted in risk assessments, based around Rijmond in the Netherlands and Canvey Island in the UK, VROM commissioned the SAFETI package – Software for the Assessment of Fire Explosion and Toxic Impacts. It was to incorporate all the main features of quantitative risk assessment, with substantial internal linkage and features to ease the use of the package.

The SAFETI package was developed over a two-year period and was initially released in 1984. Since then, substantial extra development has been invested in the program and overall, there have been at least 120 man-years of development effort.

1.3 Layout

This document provides a description of the SAFETI software, aimed at highlighting the key features and summarising the main models and methodologies contained within the software. It is not practical within this document to provide full details of the software. Further details on any, or all, aspects of the software are, however, available upon request, either via DNV Consulting or by contacting DNV Software directly (contact details given on the summary page).

An overview of the SAFETI program and layout is given in Section 2. The key features are described in the following sections.

- Section 3: Background data (inputs and features that are not, necessarily, specific to an individual release scenario)
- Section 4: Consequence analysis (discharge, dispersion and consequence modelling theory, defining and developing each release scenario)
- Section 5: Impact analysis (criteria and approach for determining impacts, and risks)
- Section 6: Risk analysis (results drawing together the above stages)

References are given in Section 7.

2 THE SAFETI PROGRAM

2.1 Overview

SAFETI provides an integrated environment in which the user can define and analyse risks from major hazards. The structure of the program provides a flexible platform to meet the needs of a wide variety of approaches to, and uses of, QRA. Users are able to design a study choosing quickly and flexibly from a range of models and to apply these in a unique manner accommodating the specific needs of the analysis.

The process of studying risk with SAFETI can be broken down into a number of elements. Each part of the process involves the user supplying readily available data about the plant or the surrounding area. When all of the elements of the study have been built by the user the program is run to produce output in the form of consequence and risk results. Because the elements of the study are separate, studies can be built up in modular fashion and modules from past studies reused.

The typical stages of an onshore QRA are listed in Table 2.1, together with a summary of the application of each within SAFETI, and a cross-reference to the section of this study where each stage is described. In studies using SAFETI the earlier stages of this process (stages 1 to 5) are typically done “off-line”. However the later stages are traditionally calculation intensive and it is these stages which are the primary function of SAFETI, since it provides a powerful environment for integrating the stages and allowing data to be shared between them.

Table 2.1: Typical Stages of Onshore QRA

Stage / Activity	Group	SAFETI Application
1 Definition of scope / objectives	Case Definition	N/A (User inputs to <i>Models</i>)
2 Data collection		
3 Hazard identification		
4 Case definition		
5 Failure frequency estimation	Frequency Analysis	N/A (User inputs to <i>Models</i>)
6 Weather data input / definition	Background Data	Section 3
7 Ignition source input / definition		
8 Consequence modelling: <ul style="list-style-type: none"> • Discharge • Dispersion • Fire and explosion • Toxic 	Consequence Analysis (<i>Models</i>)	Section 4
9 Event tree analysis	Impact Analysis	Section 5
10 Risk summation	Risk Analysis (<i>Run Rows</i>)	Section 6
11 Sensitivity analysis		
12 Results reporting		
13 Analysis of acceptability of risks and risk reduction options	Risk Assessment	N/A (User analysis of SAFETI outputs)

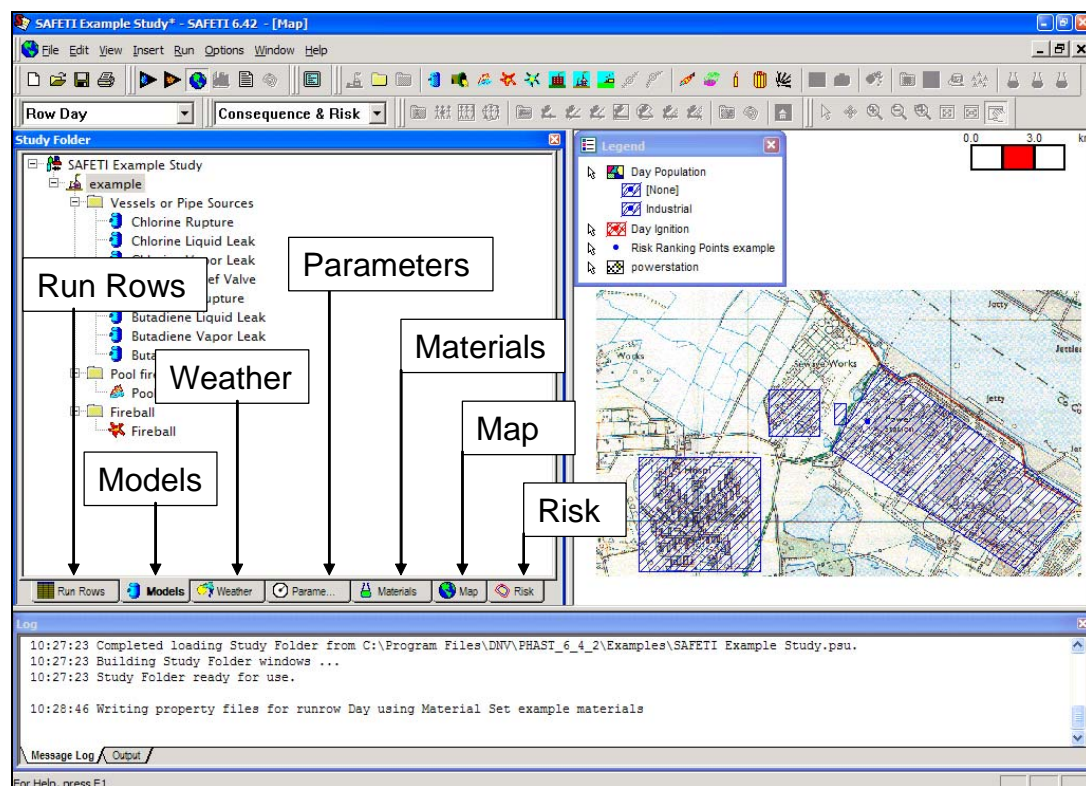
SAFETI is intended as a set of models for experts to enable them to provide timely accurate and appropriate advice on safety related issues. It is not the aim to provide a 'black box' for performing risk analysis, but rather that it provides an experienced risk analyst with a tool that allows them to focus their attention and experience on the real problem areas rather than the administration of large quantities of data.

Overall, SAFETI provides a high level of support to risk analysts allowing large and complex assessments to be carried out efficiently and accurately.

2.2 Layout of SAFETI

The top level of the SAFETI program structure is shown in Figure 2.1, with the key model tabs, or functions, indicated. A brief summary of each is given below, where further details are provided in the following sections.

Figure 2.1 The Main Screen within SAFETI



Run Rows:

This is the risk analysis tab, and is described further within Section 6. This is, in effect, the 'control' window, where the scenarios to be analysed are defined. Run rows (or QRA nodes / sections) are defined, where consequence models defined in the *Models* tab, are assigned to the selected *Weather*, *Material*, *Parameter* and *Risk* (ignition and population) data sets. The model can then be run for some or all of the defined run rows and will combine the various consequence outcomes with the background data to determine the risks.

Models:

This is the consequence analysis tab, and is described further within Section 4. The various release scenarios are input within this window, which can be operated independently to produce and manipulate consequence results without running the full risk model. This window operates exactly as the PHAST consequence software does, where each scenario has one additional input set that is specific to SAFETI, where release location, frequency and immediate ignition probability data is defined.

Weather:

One or more sets of meteorological data are defined in this window, as described further in Section 3.1.

Parameters:

This tab defines the parameters used within the model. An overview of the different parameters is given in Section 3.2, while some of the key parameters affecting the impact analysis are discussed in more detail in Section 5. Defaults are applied to each, such that the model can be used as soon as cases are input, while all parameters can be adjusted as required to enable users to refine the study to account for specific factors. Typically, the parameters are defined at a 'global' study level, such that the same parameters are applied to all scenarios. However, any number of parameter sets can be defined to enable different parameters to be specified as required for different consequences (*Models*) and/or risk scenarios (*Run Rows*).

Materials:

In the same way as *Parameters*, different sets of mixtures and materials can be defined for use in the *Models* (see Section 3.3).

Map:

Enables a variety of maps to be input to the model to facilitate interpretation of the model results (see Section 3.4).

Risk:

This window is used to define the risk-specific inputs such as ignition sources, risk ranking points and populations, as described in Section 3.5.

3 BACKGROUND DATA

The inputs and methodology applied within SAFETI that are defined within the model, rather than within a specific case (consequence *Model* or risk *Run Row*) are considered in the following sections under the broad title of background data.

3.1 Weather Conditions

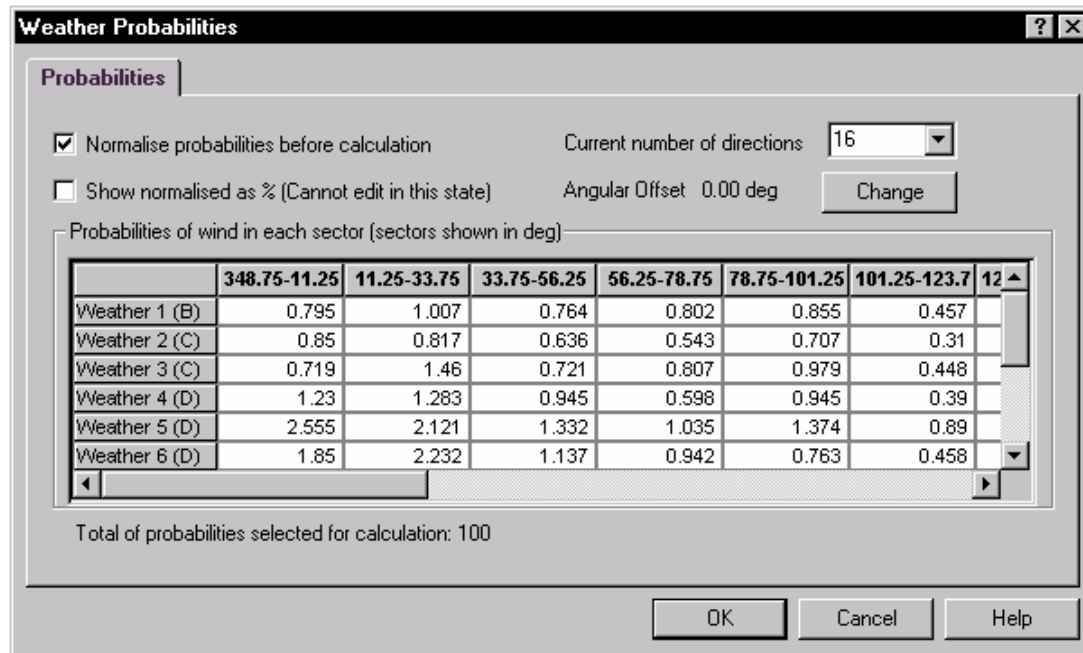
To evaluate the risk posed by hazardous releases it is necessary to know the range of weather conditions prevailing in the vicinity of the site and their relative frequency. Weather greatly affects the dilution and spreading of a release and SAFETI enables the user to supply this information to the consequence models to the level of detail for which data is available (i.e. ranging from a single wind speed applied uniformly to a detailed wind rose distribution).

Weather conditions can be defined at a 'global' study level, so that one set of conditions are applied to all consequence models, or as a range of data sets to enable different weather conditions to be applied to different models (for example, to enable sensitivity cases to be considered or to allow for seasonal or day/night variations).

Each weather class consists of wind speed and stability category, and each class is assigned a probability for each wind direction. Other conditions such as atmospheric and ground temperature can be made to depend on the weather class as required. Weather data in the required form is available for the whole world from several suppliers including the UK Meteorological Office.

As an example, a screen-shot of part of the weather data input module is shown in Figure 3.1 Example (Screen Shot) of Weather Data Input

Figure 3.1 Example (Screen Shot) of Weather Data Input



3.2 Parameters

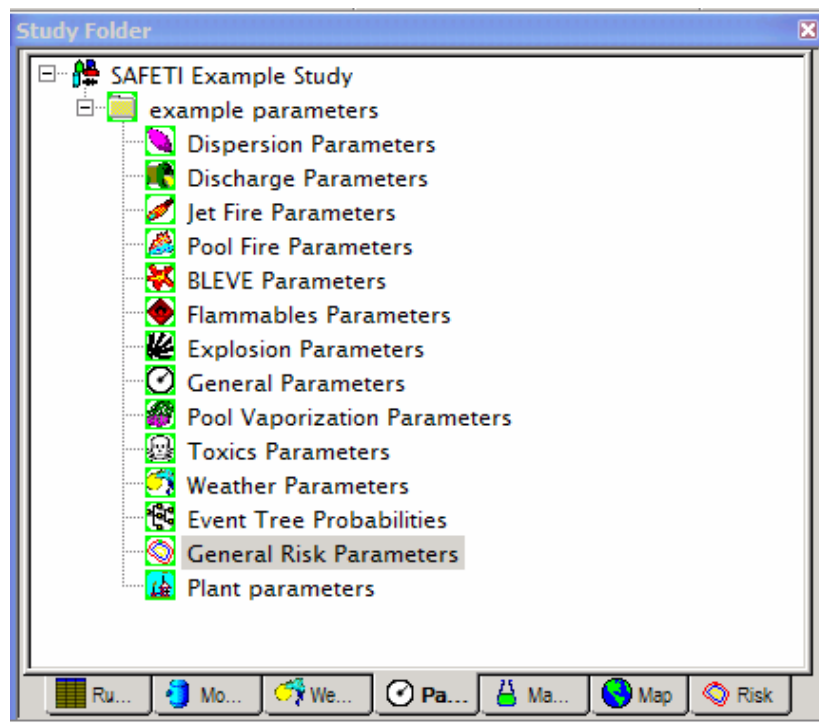
The mathematical modelling of such a large variety of physical effects and accident scenarios means that some equations may need to be tuned to the specific needs of the problem at hand. SAFETI contains over 180 parameters to enable the user to make these adjustments. The parameters cover discharge and dispersion calculations, damage effects, mitigation effects brought about by safety systems or human response to an accident. The probabilities used in the event trees, which determine the relative likelihood of different flammable outcomes are also included. A default set is provided, but many analysts wish to tune these to meet local requirements.

Because the conditions prevailing on one site, or even one plant within a site, may differ from those on another it is possible for the user to produce a number of different parameter files for use with different scenarios (consequence *Model* or risk *Run Row*). Alternative safety systems being considered for a process described by different parameter sets can thus be compared.

Figure 3.2 illustrates the classes of parameters which can be adjusted by the analyst. It is not practical to describe within this document all of the parameters that can be varied, but brief descriptions and cross-references to further information are given below:

- *Dispersion parameters:* These are detailed modelling parameters (rarely required to be varied by risk analysts), which underpin the dispersion modelling, described further in Section 4.1.
- *Discharge parameters:* Similarly, these underpin the discharge modelling, described further in Section 4.2, covering aspects such as pipe friction and limits for model inputs.
- The next eight parameter sets (Jet Fire, Pool Fire, BLEVE, Flammables, Explosion, General, Pool Vaporisation and Toxics) underpin the consequence modelling, which is described in more detail in Section 4.3. These parameters range from defining the radiation levels which are used for impact / risk assessments (often varied to suit the requirements of users) to detailed parameters and limits affecting the actual consequence calculations (varied only by expert users).
- *Weather parameters:* These define the atmospheric parameters. Note that these parameters are defined separately from the weather categories (i.e. wind rose data) defined in the *Weather* tab (Section 3.1).
- *Event tree probabilities:* These parameters guide how the model determines the outcomes (i.e. consequences and impacts) of different releases, for example enabling the probability of ignition of a vapour cloud to be split between flash fire, fireball and explosion hazards. This is not an event tree in the traditional sense, since many of the probabilities used are conditional on certain criteria being met by each release, as determined by the model, but remains an important aspect of the control that a user has on the outcomes. These parameters are discussed further in Section 5.1.
- *General risk parameters:* This includes detailed modelling parameters used within the risk calculations (grid density, minimum probability for risk reporting, etc) and also the key vulnerability parameters, which define the fatality rates applied to different impacts (radiation levels, etc). The vulnerability parameters are discussed further in Section 5.2.
- *Plant Parameters:* Parameters relevant to a special SAFETI sub-model, which enables a plant or site to be defined in terms of equipment items alone (where SAFETI will then generate the appropriate release scenarios).

Figure 3.2 Parameter Classes within SAFETI



3.3 Materials Data

SAFETI contains a chemical database of the most commonly used chemicals. This database can be expanded, depending on user requirements. The thermophysical data used is based to a large extent on the industry standard DIPPR database compiled under the supervision of the AIChE. This database now contains details of over 6000 chemicals. Extra data for each chemical may be required depending on whether some of the advanced models in SAFETI are to be used.

The material selection function includes the ability to add chemicals and edit their properties, to evaluate properties at user-specified pressure and temperature and to edit the attributes of each property (e.g. the name of the property). The user can also create mixtures of chemicals to simulate the contents of process streams.

3.4 Maps

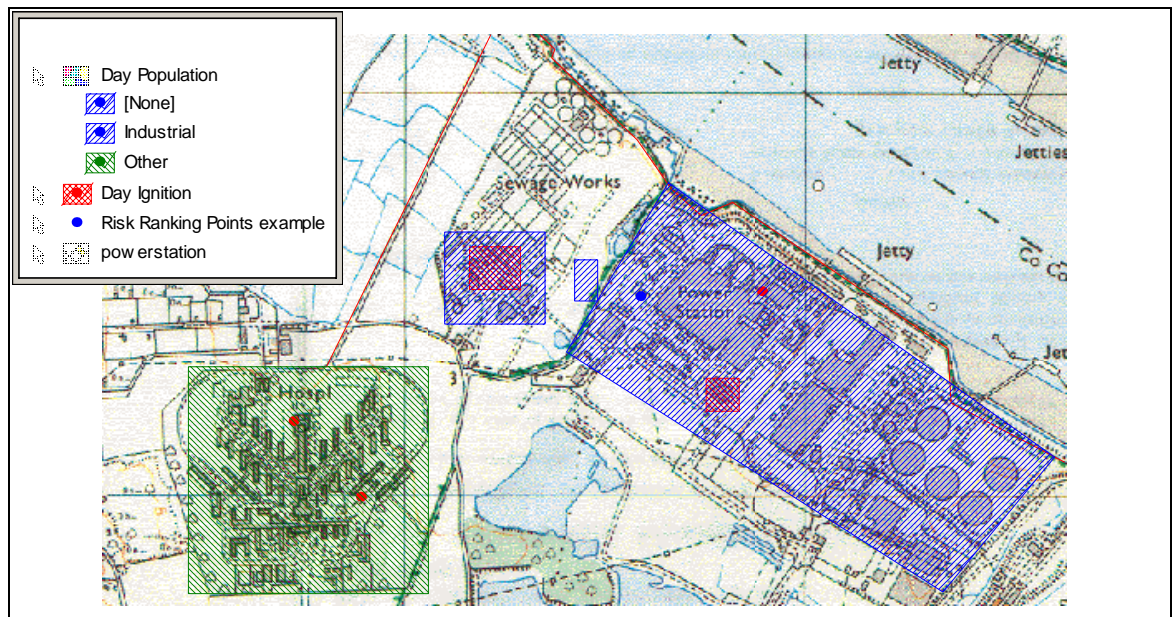
Some consequence results, such as release cloud footprints or explosion overpressure levels, and some measures of individual risk are more easily visualised when superimposed onto a map of the local area or a plan view of the plant. It is possible for

the user to create or import electronic images of such maps or plans of the area of interest to facilitate such visualisation.

A number of graphical image formats are supported by SAFETI. Because SAFETI is a Windows program allowing the export of such graphics to other applications such as word processors, the user can produce reports and effective presentations in entirely electronic form.

An example map is given in Figure 3.3.

Figure 3.3 Example Map (Showing Ignition Sources, Populations and Risk Ranking Points)



3.5 Risk Data

3.5.1 Populations

In order to calculate the risk posed by the facility in question it is necessary to know the human population in the neighbourhood of a hazardous release. The population module enables the user to build up a map of population density across the area of interest. This population map can be superimposed on to the geographical map both as a check on data input and to better understand the origins of the risk posed by the process facility.

To account for the fact that populations might change from day to night, or from summer to winter (etc), SAFETI allows the user to perform an analysis where such

changes take place and combine or isolate these risk features according to the requirements of the study.

Population data can be manipulated to assess the desirability of housing developments or can be used to represent the investment capital distribution and thus aid analysis of investment risk due to major accident hazards.

As an example, population groups are defined within the example map given as Figure 3.3.

3.5.2 Ignition Sources

Where the materials giving rise to the major hazard are flammable then an additional uncertainty concerns the probability that the material released is ignited. Ignition source (and associated probability) data can be created and edited in SAFETI in a similar way to the creation of population data. Various ways of representing ignition sources exist. Point sources can be used to represent equipment like flares or furnaces; area sources can be used to represent the possibility that an event on a housing estate might cause ignition. A line source might be used to represent an electrical transmission line or traffic on a road.

All the ignition sources can be modified to allow for their strength or the possibility that they will not be present at a given time.

These ignition sources are used by the risk calculations within SAFETI to determine the probability that a release is ignited (and at what stage in the development of the release ignition occurs). This delayed ignition probability is a key aspect of the event tree / impact analysis described further in Section 5.1.

As an example, ignition sources (points, areas and lines) are defined within the example map given as Figure 3.3.

3.5.3 Risk Ranking Points

The Risk tab is also used to define risk ranking points, which are defined by the user to enable individual risk results to be reported at specific points (in addition to the default form of a risk contour plot).

4 CONSEQUENCE ANALYSIS

Summaries of the consequence modelling techniques contained within SAFETI, and which are provided from the PHAST consequence software platform, are provided in terms of the following key stages:

- Section 4.1 - Discharge modelling
- Section 4.2 – Dispersion modelling
- Section 4.3 – Consequences (fire, explosion and toxic impacts)

Key features of the PHAST software, which apply to each of the above stages are:

- PHAST is a comprehensive hazard analysis software tool which is applicable to all stages of design and operation across a wide range of process industries. It has been adopted by many international companies and governments as a decision support tool in industrial risk and public safety matters.
- The Unified Dispersion Model (UDM) at its heart is respected as one of the world's leading dispersion models for process safety applications. The theory and performance has been independently reviewed as part of the EC funded project SMEDIS, and it has excelled in both areas.

The intention of the following sections is to provide an overview of the modelling. Further details are available upon request, either through the accompanying DNV Consulting reference (the SAFETI software package: modelling theory) or by contacting DNV Software, who have many references providing detail on any or all of the specific modelling features.

4.1 Discharge Modelling Theory

4.1.1 Types of Release

SAFETI can model any of the release types covered by the PHAST suite of consequence models, which are defined by Vessel type, Scenario and Phase of material (under its containment conditions). Discharge data can be input directly for any scenario (as a 'user-defined' dispersion model) or calculated within the Unified Dispersion Model, which combines the discharge and dispersion modelling (as discussed further in Section 4.2).

- *Instantaneous discharge.* If a sudden catastrophic rupture and loss of containment of a pressurised vessel occurs, liquid will flash off and expand rapidly (described in more detail in Section 4.1.2) while gas contents may cool and condense. If the vessel is refrigerated and not under significant pressure, a liquid pool may be formed.

- *Continuous discharge.* A continuous release corresponds to a prolonged release from a ruptured pipe or through a hole in a vessel wall. In the case of a refrigerated release, hydrostatic forces (the liquid head) provide the driving force equivalent to a pressure. For continuous releases, a further distinction is required in order to model the final physical conditions. That is, whether the release takes place from the end of a pipe (full bore rupture) or from an orifice (a hole in a vessel wall or pipe). Both types are discussed in Section 4.1.3.

In each case, the modelling uses initial conditions specified by the user and calculates the final conditions. The final conditions are reached when the internal pressure of the released material has fallen to atmospheric pressure.

4.1.2 Instantaneous Releases

In the case of a pressurised release, the mass is assumed to expand symmetrically, adiabatically and reversibly, forming a hemisphere with homogeneous properties. In expanding, the mass performs work on the atmosphere until its internal pressure falls to atmospheric pressure.

The final physical condition is defined by the expansion energy and the thermodynamic state. The expansion energy is calculated as being the net energy released by the material in expanding to atmospheric pressure, i.e. the adiabatic expansion energy minus the work done on the atmosphere. For a refrigerated release the liquid head provides the driving force for expansion. In addition, an estimate of droplet size is made: this is required to determine if and when rainout occurs in the dispersion phase. Rainout is the fraction of an initial two-phase or liquid aerosol mixture that falls to the ground to form a liquid pool.

4.1.3 Continuous Releases

Continuous releases in SAFETI require no prior assumptions regarding the final phase or initial or final liquid fraction of the released material. From their thermophysical properties, the entropy and enthalpy of materials can be derived as functions of pressure and temperature. By applying conservation relations to these quantities, and the fundamental relation that the sum of enthalpy and kinetic energy is conserved for steady flow where no external work is done, the velocity, density and hence mass flux can be derived for any given pressure. Continuous releases are broken down into two categories for the purposes of modelling.

- The first category is of free flow from an orifice in an infinite reservoir. This is an idealisation of a leak from a large vessel or large diameter pipe.
- The second category is of flows along pipes from an infinite reservoir at the end.

The final conditions calculated are the same for both categories of release. They are the mass flow rate, velocity and thermodynamic state.

The key features of the modelling are summarised briefly below:

- The above conservation relation defines the velocity and final thermodynamic state. The hole or pipe size, the velocity and the density then determine the mass flow rate.
- The velocity is the key quantity in determining the rate of entrainment of air in the dispersion modelling.
- In addition, an estimate of droplet size is made: this is required to calculate settling velocities, and hence decide if and when rainout occurs in the dispersion phase.
- The unimpeded flow through an orifice can be approximated by reversible adiabatic expansion, i.e. isentropic expansion, where the general approach to modelling these flows is to calculate the mass flux through the orifice as a function of pressure in the plane of the orifice (accounting for either choked or unchoked flow).
- The pressure in the orifice is varied iteratively to find the maximum mass flux, provided that the corresponding maximum pressure is greater than atmospheric. Otherwise unchoked flow is assumed. From this mass flux, the discharge coefficient and the area of the orifice, the velocity and mass flowrate are calculated.
- If the flow is choked, further isentropic expansion to atmospheric pressure is allowed. This gives the final thermodynamic state (temperature and phase) of the release.

4.2 Dispersion Modelling Theory

4.2.1 Overview

Once a material has been released into the atmosphere and has expanded so that its internal pressure has fallen to atmospheric pressure, it will travel away from the release point under the influence of its own initial velocity and the ambient wind velocity. In the SAFETI package, horizontal releases are assumed always to be downwind (the worst case).

There are two main aspects to handling a release, which act in parallel:

- The first of these might be called the 'phenomenology' of the release, that is, whether liquid rains out or not and whether it behaves as an instantaneous or continuous release.
- Secondly, there are the various dilution (air entrainment) regimes: turbulent jet, slumping dense cloud or passive tracer.

As the cloud travels downwind, it will entrain air at its edges. This dilutes the cloud and causes it to spread outwards and upwards (if on the ground) or outwards in all directions (if above ground level). The rates of entrainment and spread depend on the cloud's motion relative to the airflow, its density and the level of ambient turbulence. These are the cloud models (or dispersion processes). At the same time, other factors contribute to the concentration and duration of exposure at points downwind: whether the release behaves as if instantaneous or continuous, whether rainout of any liquid droplets that are present occurs, and the rate of evaporation of the pool formed by rainout or by a liquid release. These factors are the phenomenology of the release; they are influenced by the physical parameters of the cloud as it disperses and also act on the dispersion.

In SAFETI the calculation of the dispersion of a release has been made as general as possible by incorporating all possible behaviour, in principle at least. That is, there is some treatment of every phenomenon that might occur for each release, with no prior assumptions about which ones are appropriate. The physical parameters defining a release are the only information used to decide how the modelling should proceed. As a result, the range of behaviour that can be exhibited is very large.

The dispersion processes and the phenomenology are handled simultaneously in the modelling, and, in principle at least, any phenomenology can occur in association with any of the entrainment regimes.

The procedure adopted in the consequence module of SAFETI is to calculate the physical parameters of the cloud (dimensions, density, temperature, concentration, liquid fraction) at regular intervals away from the release point. At each step, the program considers both the dispersion processes and the phenomenology, selecting the most appropriate models for each, given the current state of the cloud. Thus the models used for rates of entrainment and spread may change as the cloud evolves; this is done in such a way as to make the transitions as smooth as possible. Simultaneously, the possibility of, for example, rainout is considered at each step. Liquid rained out forms a pool which is then allowed to evaporate, either back into the cloud as this continues to pass or following the cloud once it has finished passing.

Thus, the consequence module is not one model but a set of models to represent different dispersion processes as they occur. The program selects automatically the appropriate models to use at any point in the cloud dispersion. Dispersion continues until the cloud concentration is below the minimum concentration of interest.

Finally, the results required by the risk calculations are not dispersion results but the consequences: doses and effect zones, which are also calculated by the consequence module.

4.2.2 Release Phenomenology

The models are applied at whatever stage of the cloud dispersion modelling they become appropriate. In general, they are not used at every step thereafter but determine the change in the dispersion modelling after that point. For example, a pool formed by rainout may evaporate back into the cloud, so the vapour concentration in the cloud once this occurs must be calculated from the sum of that left in the cloud after rainout and that re-evaporated into it. If the evaporation continues after the main cloud has passed, then this forms a subsidiary cloud whose dispersion must also be modelled, with a release rate equal to the evaporation rate and a release location at the pool centre (rather than the original point of release). The evaporation model therefore calculates, at the point at which rainout occurs, the required evaporation rates and duration; these are then picked up by the dispersion models.

The key phenomena considered and addressed within SAFETI are:

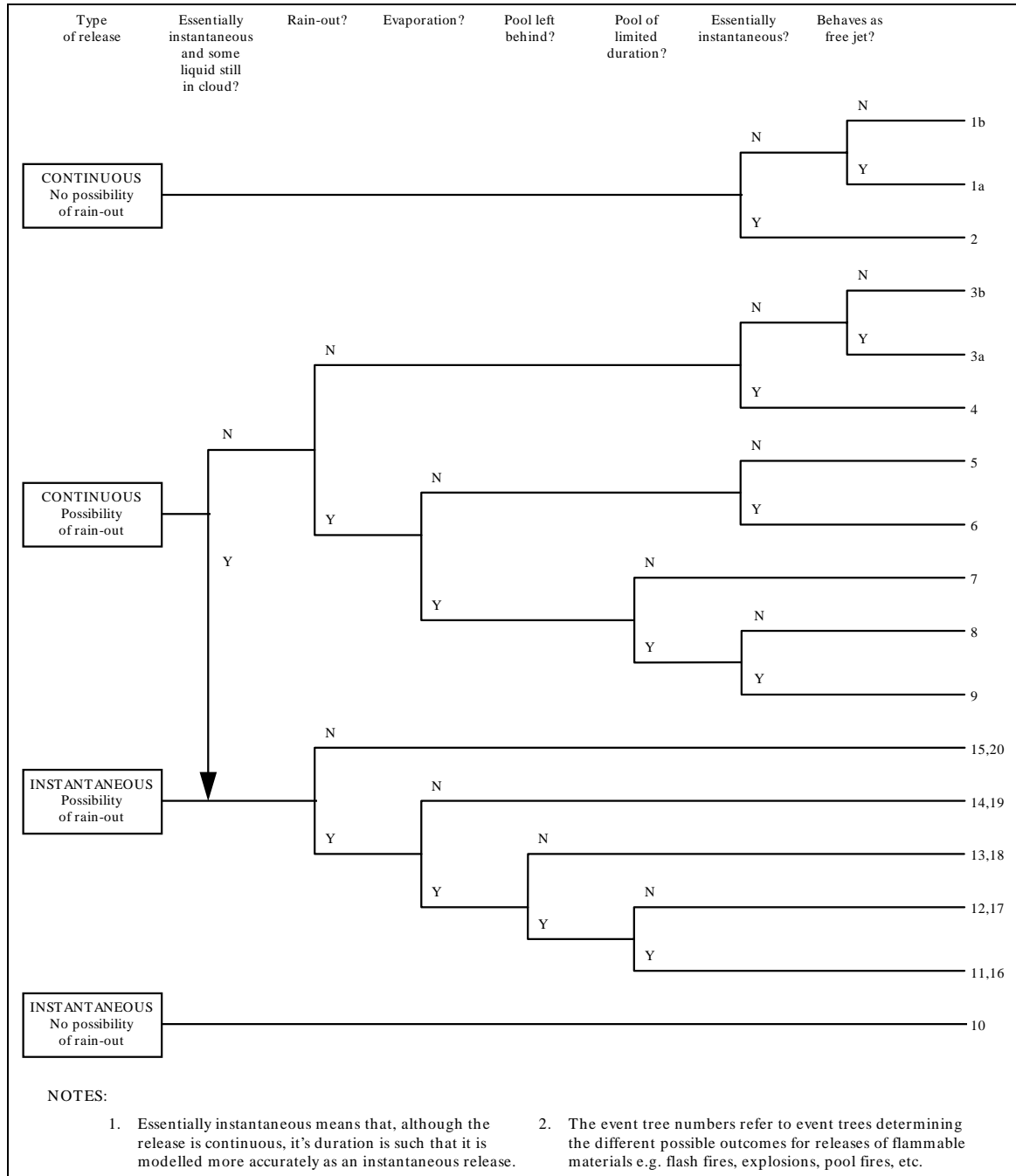
- Whether the cloud is best modelled as Instantaneous or Continuous
- Rainout
- Pool spreading and evaporation

The decisions as to release phenomenology and the most appropriate models to use follow an Event Tree, shown in Figure 4.1. The starting-point depends on the type of release (instantaneous or continuous) and whether there are liquid droplets present initially in the cloud. Thereafter, tests are made dependent on the starting-point and the results of previous tests.

It should be noted that this is not an 'event tree' in the sense often understood by risk analysts, in that there are no probabilities associated with the branch points. The route along the tree taken by the modelling of a release is deterministic in that the release phenomenology determines it. The numbers at the end of each branch identify the particular route taken.

For toxic materials, the question of whether the release behaves as a free jet is not considered, and the route numbers have no significance. However, both are important for flammable materials. In particular, the event trees used in the impact (risk) calculation module determine the range of possible consequences with finite probabilities: Jet flame, Fireball, Pool fire (early or late), Flash fire, Explosion. (See Section 5.1.)

Figure 4.1 Event Tree for the Dispersion Modelling Used Within SAFETI



4.2.3 Dispersing Cloud Models

Dispersion describes the process by which hazardous material released into the atmosphere is diluted by the air and transported away from the source. The degree of dilution is dependent upon the amount of turbulence present, either in the atmosphere or generated by the released material itself. The process of dispersion may be understood as changes in a number of key properties of the cloud:

- Movement of the cloud downwind from the release point;
- Spreading of the cloud;
- Dilution of the cloud by entraining air;
- Change of height of the cloud above the ground.

The spreading and dilution of the cloud are linked (law of conservation of mass) but neither is necessarily solely a function of the other.

A cloud released instantaneously is carried by the wind bodily away from the release point and spreads out in all directions. A continuous release forms a plume which spreads sideways as its front edge travels away from the release point with the wind and initial release velocity. If the release stops within the timescale of interest, the plume will detach from the release point and continue to spread and move downwind.

The dispersion of a cloud of released material is controlled, fundamentally, by two properties of the cloud and two of the atmosphere:

Cloud Properties: (a) Density
 (b) Velocity relative to the surrounding air

Atmosphere Properties: (a) Windspeed
 (b) Stability

The end product of dispersion modelling is the calculation of cloud concentrations, dimensions and duration of exposure with increasing distance from the release point.

The four dependent properties of dispersion all interact with one another and with the controlling properties to determine the development of the cloud with time and distance from release. Because of this complex interaction, no one cloud model can adequately predict the cloud behaviour, nor can cloud concentrations be calculated without reference to these interactions except in a very limited set of cases.

The dispersion modelling therefore makes use of two techniques:

- *(1) Stepwise Numerical Integration:* The cloud dispersion properties are calculated a step at a time (steps are distance for continuous clouds, time for instantaneous clouds). At each step the properties at the starting-point of the step are used to calculate those at the end-point. Thus the interaction of controlling and dependent properties is correctly modelled and updated at each step, limited by the problem inherent in all such numerical modelling of calculating properties at discrete intervals which in fact change continuously.
- *(2) Use of Appropriate Models:* The appropriate model to use depends on both the controlling and the dependent properties, and this may change as the properties change. The SAFETI package automatically chooses the correct model to use at each step according to various criteria; thus several different models may be used in the course of calculating the dispersion down to the lowest concentration of interest.

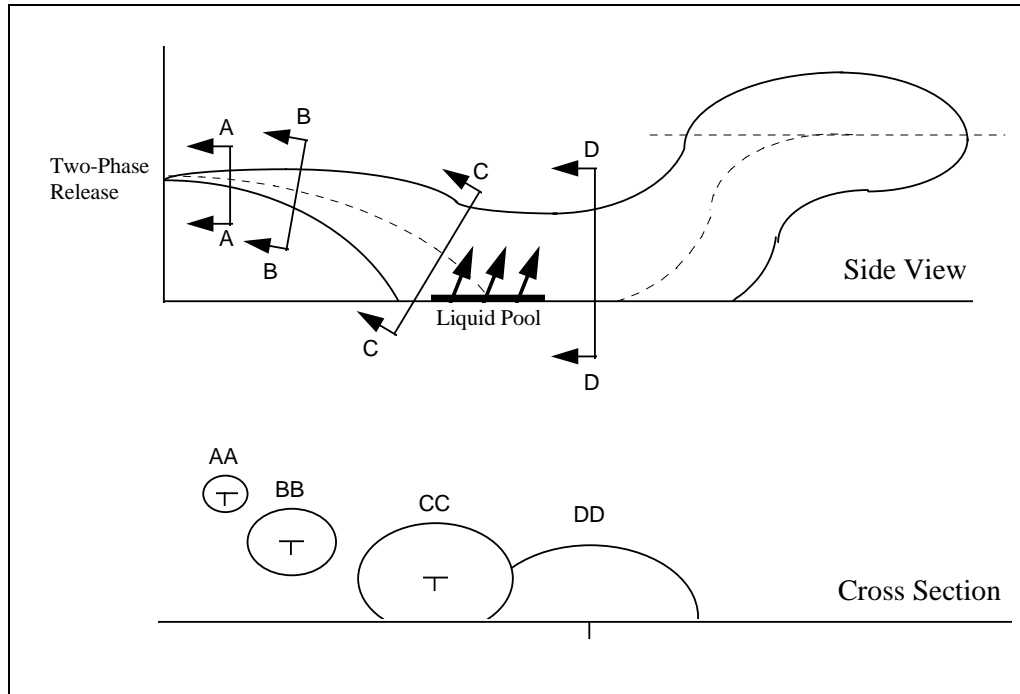
DNV has developed (Woodward et al, 1995) a Unified Dispersion Model (UDM), which treats all regimes of dispersion in a similar manner with smooth transitions from one stage to the next as needed. This model is introduced in the following section; further detail is available upon request.

4.2.4 The Unified Dispersion Model

The Unified Dispersion Model is an advanced similarity model capable of describing a wide range of types of accidental releases. The main characteristic of similarity models is that profiles for concentration, velocity, and temperature are assumed. The Unified Dispersion Model uses a particularly flexible form, allowing for sharp-edged profiles which become more diffuse downwind. Both instantaneous and continuous releases are treated, for which many model equations are common. The vertical cross section of each is, in general, an ellipse while elevated, and a truncated ellipse while touching the ground (or impinging the mixing height ceiling). A continuous release profile extends from the source downwind, whereas an instantaneous release profile is a volume defined by revolving the vertical cross section around the vertical axis.

An example of a general case continuous release is shown in Figure 4.2.

Figure 4.2 Idealised Cloud Section



An elevated, heavy vapour/aerosol release starts out with a circular cross section which tends to flatten into an ellipse as the cloud settles. Upon touching down, the cross section becomes a truncated ellipse, and the cloud levels off as the vertical component of momentum is dissipated. Aerosol droplets may rain out shortly after touchdown. Rain-out produces a pool which spreads and vaporises. If spilled onto water, part of the material may also dissolve. The vapour from the pool is added back to the plume, as a function of time. The plume can become buoyant after evaporating all aerosol droplets and picking up heat by ground conduction, or by condensing water picked up over a wet surface. A buoyant plume lifts off and rises until constrained by the mixing layer.

The figure shows side and cross-sectional views of a continuous release at various stages of dispersion. The release is assumed to be two-phase and elevated. Near the release point the cloud has a circular cross-section (AA). As the cloud disperses and falls to the ground an elliptical cross-section develops (BB). In the touchdown phase the elliptical cross-section is truncated by the ground (CC). Droplets raining out of the plume form a liquid pool which provides a secondary source of vapour. In the dense and passive phases the plume has a semi-elliptical cross-section (DD). The cloud may become positively buoyant, lift-off and rise until it is capped at the mixing layer.

4.3 Consequence Modelling Theory

4.3.1 Overview

The consequence models described in this section take the output from the dispersion model and use it to predict the effects on people (or effect zone) given that the release and weather conditions occur. These are expressed differently for toxic and flammable effects. Furthermore for toxic consequences there is one set of results which express the variation in fatality risk with distance from the release point whereas for flammable consequences there are two sets of results:

- One is a sequence of flammable masses and areas within the lower flammable limit contour as a function of distance and time from the release point - analogous to the toxic consequences but carrying no probability information
- The other is a set of effect levels for various possible consequences: jet fire, pool fire, fireball (or BLEVE), explosion.

4.3.2 Toxic Consequences

The probability of death, due to a toxic release, at a point is calculated via the "probit equation". The toxicity of a material is defined by three parameters, N, a and b, which are applied to the toxic load (L) calculated by the toxic dispersion model (i.e. the concentration averaged over a specified time period).

The "probit number" P_0 is calculated as:

$$P_0 = a + b \cdot \log L$$

This is related to the probability of death by:

$$p(\text{death}) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{P_0 - 5}{\sqrt{2}} \right) \right]$$

Any release, no matter how complicated in behaviour, has its concentration-time history over the area affected reduced to this single measure of effect. The route followed through the modelling (see Figure 4.1) therefore has no effect on how the impact calculation is performed.

4.3.3 Flammable Consequences

These are far more complicated than toxic consequences since there is a range of possible effects.

- A "free jet" can give rise to a jet flame or explosion
- Immediate ignition of a continuous release can lead to a jet or pool fire
- Immediate ignition of an instantaneous release can lead to a fireball
- Delayed ignition of any release may lead to a flash fire, a pool fire, an explosion or a combination of these.

The possible consequences depend on the route taken through the dispersion modelling, as in Figure 4.1. Some only require the possibility to exist, others are time-dependent and so require the sequence of flammable masses and areas within the LFL contour as a function of distance and time calculated from the dispersion modelling.

The event trees determining the possible outcomes are discussed further in Section 5, while the key features of the corresponding effects models are summarised in the following sections, covering, respectively:

- Flash fires
- Pool fires
- Jet fires
- Fireball / BLEVE
- Explosions

4.3.4 Flash Fires

The area enclosed by the LFL is predicted in the dispersion modelling. It is assumed that ignition leading to a flash fire is of all material within the LFL, and that a certain proportion (i.e. the defined fatality rate, or vulnerability parameter) of people within the area with concentration above 100% LFL is killed.

4.3.5 Pool Fires

Releases which are either described as, or behave as, "refrigerated" are assumed to form a liquid pool which if ignited will give a pool fire in addition to the possible formation of a vapour cloud from evaporation. If a "pressurised" release contains liquid droplets, these may rain out to form a liquid pool which could be ignited to give a pool fire. Alternatively, simple pool fire release types will just have these effects. If liquid spills or rains out within a bunded area, the pool size is determined by the bund area defined. If the liquid is not contained within a bund, the pool diameter is determined by the

balance between spill/rain-out rate and burning rate. In all cases the results depend on windspeed since this affects flame shape.

The flame for a pool fire is assumed to be a sheared cylinder, and thus has a circular cross section in a plane parallel to the ground.

Key features of the model are summarised briefly below:

- The flame shape depends, first of all, on the mass burning rate and this is derived from the correlation of Burgess and Hertzberg (1974), based on experimental burning rate measurements.
- A correction to the heat of vaporization (used in determining the mass burning rate) is made for materials with a boiling point above ambient temperature to account for the heat required to raise the temperature of the liquid to its boiling point.
- The flame height correlation used is that derived by Thomas (1963) for the mean visible height of turbulent diffusion flames.
- The flame is assumed to be tilted from the vertical by an angle calculated using the American Gas Association (1974) correlation.
- Fuels for liquid pool fires are assumed to burn with either a luminous or a smoky flame. In general hydrocarbons lighter than pentane burn with a luminous flame and heavier hydrocarbons burn with a smoky flame. Separate correlations for the surface emissive power in each case are derived from Mudan and Croce (1988).

4.3.6 Jet Fires

Releases which are either described as, or behave as, "pressurised" may form a free turbulent jet. If the dispersion indicates that a jet model is appropriate (the condition is that the jet dilutes below stoichiometric concentration before slumping) then a jet fire is modelled as follows.

The jet flame model (Chamberlain, 1987) from the Thornton Research Limited describes the shape of a jet flame as a frustrum of a cone. The parameters describing the frustrum, accounting for choked flow, have been derived from comparisons with experimental data from laboratory and field tests. Additional key features of the model are:

- A modified equation is derived for jet flames resulting from releases of two-phase and liquid jets (which adjusts the effective source diameter and lift-off distance).
- The emissive power and the fraction of heat radiated are based upon the experimental measurements in Chamberlain (1987) for natural gas flares, and include a function, which accounts for observed variation of the fraction of heat radiated with the molecular weight of the gas being released.

4.3.7 Fireballs / BLEVEs

Fireballs (or BLEVEs) result from the catastrophic failure of a pressure vessel and immediate ignition of the resulting vapour cloud; the failure of the vessel may result from an external heat source such as a jet fire or pool fire impinging on the vessel combined with inability of fire protection and pressure relief systems to cope with the heat transfer and consequent pressure rise.

The flame for a BLEVE is assumed to be a sphere resting on the ground. Correlations from the Health and Safety Executive (Crossthwaite et al, 1988) are used to predict the radius of the BLEVE and its duration.

4.3.8 Explosion Models

The explosion model used within SAFETI predicts the distances to various damage levels resulting from the explosion of a vapour cloud. These distances are the radii of the circles within which the damage resulting is defined by the analyst as part of the parameter input. Two standard values give:

- R1 - heavy building damage.
- R2 - repairable building damage.

The flammable mass is calculated in the course of the dispersion modelling. The explosion model is based entirely on the TNO vapour cloud explosion correlation model (Wiekema 1979). The 'energy content' of the explosive mass (M_c) is calculated as:

$$E_{\text{expl}} = M_c \cdot H_{\text{comb}}$$

The radii of the blast circles are then given by:

$$R = C_s \cdot x(\mu E_{\text{expl}})^{1/3}$$

Where: μ represents the fraction of the energy released that contributes to the blast, and can be determined by the analyst (the default value used in SAFETI is 0.1). C_s is a constant whose value depends on the damage level concerned. The default values of C_s used are:

- $C_s = 0.03$ - heavy damage to buildings (roughly equivalent to 350 mbar)
- $C_s = 0.06$ - repairable damage to buildings (roughly equivalent to 100 mbar)

5 IMPACT ANALYSIS

5.1 Impact Event Trees

5.1.1 Overview

The dispersion modelling, as described in Section 4.2, assesses all possible outcomes of a release and enables a range of consequence models, as described in Section 4.3, to be applied to each, where appropriate. The impacts associated with each are determined through a series of event trees, which guide how the model determines the outcome of each release.

It should be noted that these are not ‘event trees’ in the sense often understood by risk analysts, in that there are not pre-defined probabilities associated with all of the branch points. The event tree functions are:

- To set the constraints on the modelling of a release according to the dispersion (and discharge) phenomenology. This is described by Figure 4.1 (Section 4.2.2) and, in the context of impacts, results in four different basic event trees according to the type of discharge / dispersion (continuous or instantaneous, with or without rainout).
- To combine the dispersion results with the ignition probabilities applicable to each release (where immediate ignition is predefined for each release and delayed ignition is determined by the presence of ignition sources in relation to the dispersion characteristics), to determine the range of impact (or hazardous event) outcomes.
- The above factors limit the range of outcomes that can occur for a given release, but maintain some flexibility for certain outcomes, such as the fraction of delayed vapour cloud ignitions that result in explosions. Event tree parameters (i.e. branch probabilities) control these aspects of the route. These parameters can be varied by the risk analyst as required.

The event trees and the associated parameters are defined in the following sections for each of the four basic event trees:

- Section 5.1.2 - Continuous release, without rainout
- Section 5.1.3 - Continuous release, with rainout
- Section 5.1.4 - Instantaneous release, without rainout
- Section 5.1.5 - Instantaneous release, with rainout

Note that some description of the different parameters and branch outcomes is given for the first of the above event trees. The basic approach is the same in each case, so for the latter cases only the event tree structure and the SAFETI default parameters are given.

5.1.2 Continuous Release, Without Rainout, Event Tree

The event tree structure used within SAFETI for continuous releases, where rainout does not occur (i.e. where releases remain in the gas phase), is given in Figure 5.1. The corresponding default parameters that are applied within SAFETI are given in Figure 5.2.

The first stage in the event tree is to determine whether immediate ignition occurs:

- Immediate ignition is defined as that applying to the release before it has begun to disperse (and hence to move away from the release point).
- The default value applied within SAFETI is 0.3, which can be changed by the user within the parameters section (as shown in Figure 5.2), and hence can be specified at a study or a run row level. The Model definition also enables the immediate ignition probability to be defined, such that a different value can be applied to each and every release scenario. Where an immediate ignition probability is defined for the Model, this will be used in preference to the value within the parameters.

If immediate ignition does not occur then the delayed ignition probability is determined by the SAFETI model (by comparing the dispersion of each release against the defined ignition sources) and hence there are no default values given in Figure 5.2 for this branch.

- Where delayed ignition occurs, the impacts are determined by the flash fire and/or explosion consequence models according to the probabilities defined within the “delayed ignition of cloud” box within Figure 5.2. Note that if the cloud size or conditions are below the lower limits of the model parameters then no impacts will occur (hence the “no effect” branch of the event tree in Figure 5.1 is determined by the model and does not have a pre-defined probability).
- If no delayed ignition occurs there are no impacts associated with the release, other than those associated with any toxicity of the release.

For immediate ignition events, two sets of outcomes are considered according to the duration of the release.

- The “short release fraction” (or “fraction for effects” in Figure 5.2) can be specified to determine the fraction of immediately ignited events for which short duration effects are considered. Note that if the value is set to 1 (as is the default) this means that the duration of each event is *evaluated* within SAFETI and does not mean that the “short duration effects” are automatically *applied*.
- If the release falls within the short duration criterion (which is part of the Flammables Parameters, where the default cut-off is set at 20 seconds) then the impacts are modelled by either the flash fire, explosion or fireball (BLEVE)

consequence models. The probabilities of each are set within the “short duration effects” box within Figure 5.2, where it can be seen that the default is that all such events are modelled as fireballs.

- For the remainder of immediate ignition events the jet fire consequence model is used. As shown in the event tree, jet fires can be modelled as either vertical or horizontal, where the default is that 60% are treated as horizontal.

Figure 5.1 Continuous Release, Without Rainout, Event Tree Structure

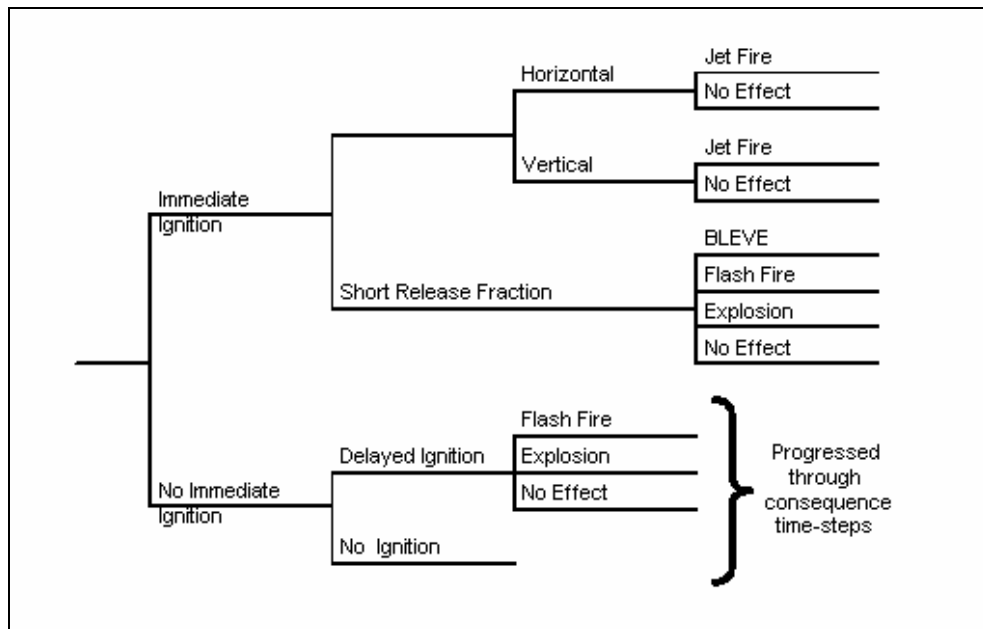


Figure 5.2 Continuous Release, Without Rainout, Event Tree (Default) Parameters

5.1.3 Continuous Release, With Rainout, Event Tree

The event tree structure used within SAFETI for continuous releases, where rainout occurs (i.e. where releases may be either gas or liquid, or both), is given in Figure 5.3. The corresponding default parameters that are applied within SAFETI are given in **Figure 5.4**. While there are additional outcomes in this case, to account for pool fire outcomes, the basic approach applied within SAFETI is the same as described in the previous section, for continuous releases without rainout.

Figure 5.3 Continuous Release, With Rainout, Event Tree Structure

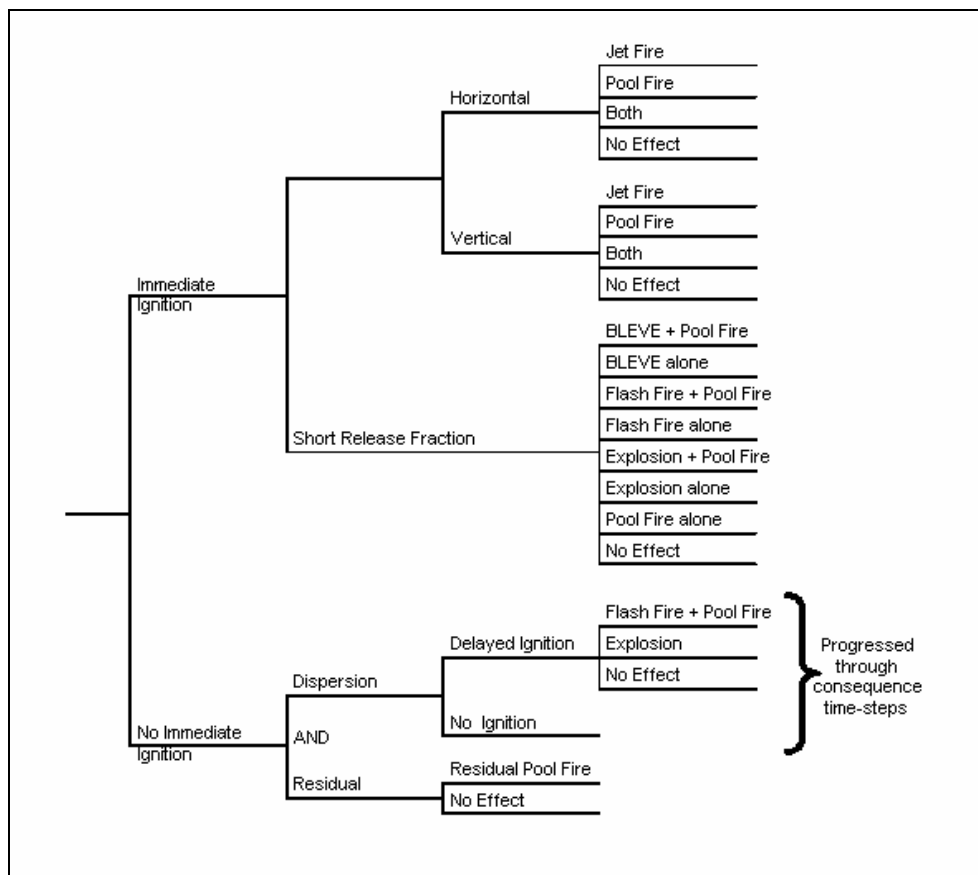


Figure 5.4 Continuous Release, With Rainout, Event Tree (Default) Parameters

Event tree probabilities

Standalone | Cont./No Rainout | **Cont./Rainout** | Inst./No Rainout | Inst./Rainout

Immediate ignition

Immediate Ignition:

Short-duration effects

	Alone	With Pool Fire
Fireball	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>
Flash Fire	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Explosion	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Fraction for effects	<input type="text" value="1"/>	
Pool Fire alone	<input type="text" value="0"/>	

Long-duration effects

Horizontal Fraction:

Jet Fire Effects

	Alone	With Pool Fire
Horiz.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>
Vert.	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>

Pool Fire Effects

Horizontal:
 Vertical:

Delayed ignition of cloud

Flash Fire: Explosion: Residual Pool Fire:

This category encompasses SAFETI version 5 Routes 5, 6, 7, 8, 9, 17, 18, 19 and 20

5.1.4 Instantaneous Release, Without Rainout, Event Tree

The event tree structure used within SAFETI for instantaneous releases, where rainout does not occur (i.e. where releases remain in the gas phase), is given in Figure 5.5. The corresponding default parameters that are applied within SAFETI are given in Figure 5.6.

Figure 5.5 Instantaneous Release, Without Rainout, Event Tree Structure

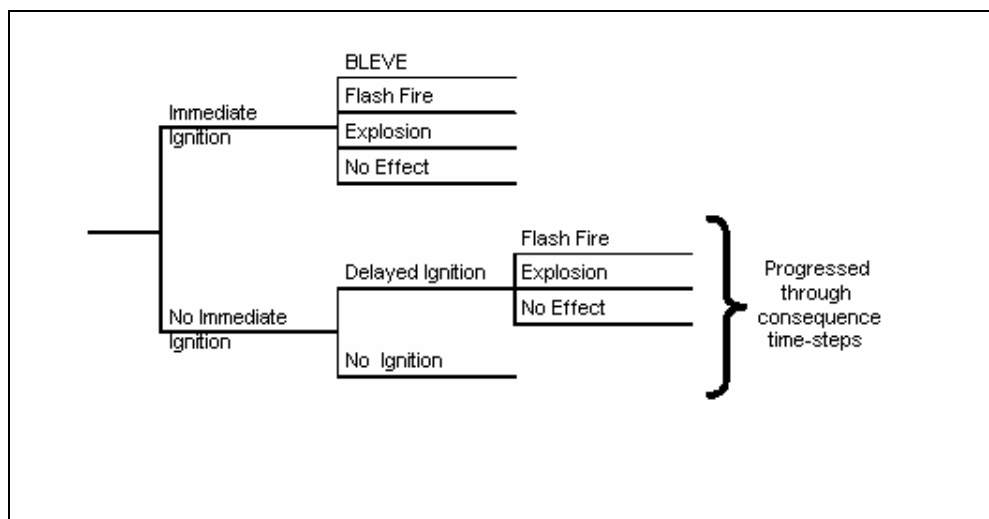


Figure 5.6 Instantaneous Release, Without Rainout, Event Tree (Default) Parameters

Category	Value
Immediate Ignition	0.8
Short-duration effects Alone	
Fireball	1
Flash Fire	0
Explosion	0
Delayed ignition of cloud	
Flash Fire	0.6
Explosion	0.4

This category encompasses SAFETI version 5 Routes 10 and 11

5.1.5 Instantaneous Release, With Rainout, Event Tree

The event tree structure used within SAFETI for instantaneous releases, where rainout occurs, is given in Figure 5.7. The corresponding default parameters that are applied within SAFETI are given in Figure 5.8.

Figure 5.7 Instantaneous Release, With Rainout, Event Tree Structure

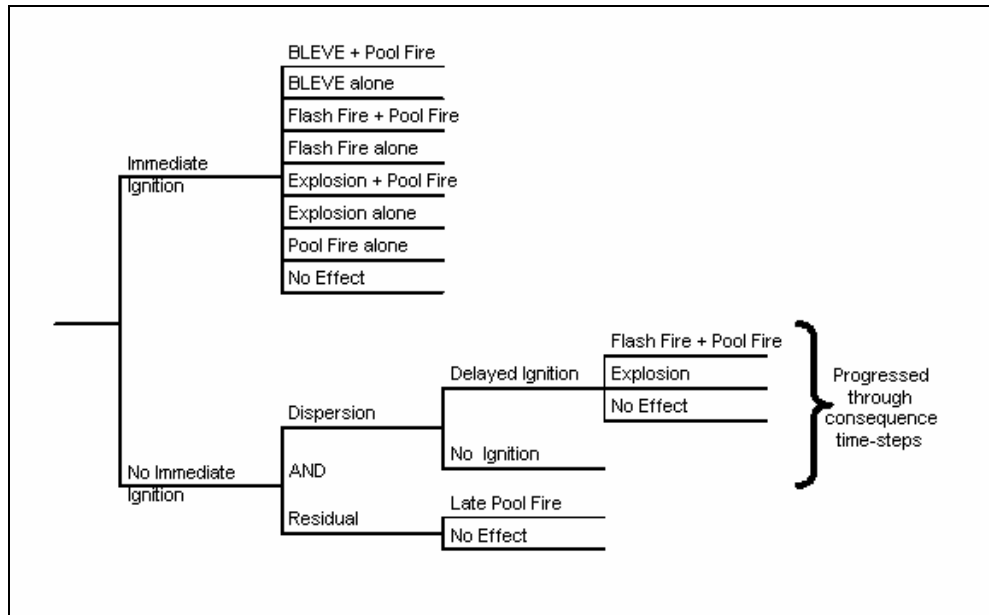


Figure 5.8 Instantaneous Release, With Rainout, Event Tree (Default) Parameters

Event tree probabilities

Standalone | Cont./No Rainout | Cont./Rainout | Inst./No Rainout | Inst./Rainout

Immediate ignition

Immediate Ignition

Short-duration effects

	Alone	With Pool Fire
Fireball	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>
Flash Fire	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Explosion	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Pool Fire alone	<input type="text" value="0"/>	

Delayed ignition of cloud

Flash Fire Explosion Residual Pool Fire

This category encompasses SAFETI version 5 Routes 12, 13, 14 and 15

5.2 Impairment

5.2.1 Approach

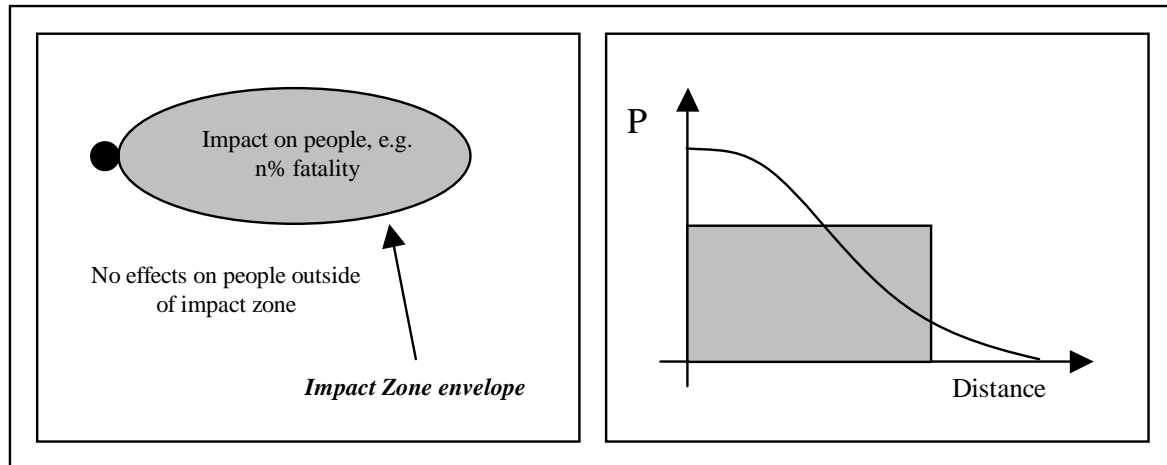
The outcomes of each event tree, i.e. the consequence model results, are used to predict the distance to any desired hazard level, e.g. a thermal radiation level of 12.5 kW/m^2 for a jet fire. However, for risk calculations, it is necessary to associate hazard levels with their effect, or impact, on personnel.

As risks to personnel will be measured in terms of fatality, it is necessary to relate hazard levels to likelihood of fatality. This is done by setting the modelling end point or impact criteria. With a simple cut-off model the assumption is that if the hazard exceeds the specified criterion at that location, any person present may suffer fatality.

The cut-off model approach is illustrated by **Figure 5.9**:

- In reality the consequences associated with a particular hazard, and hence the probability of fatality (P), will vary with distance from the release point. The curve shown (right hand side of Figure 5.9) illustrates the probability of fatality reducing from 1 to 0, as distance increases. It is not practical to calculate the exact probability and distance for every person, or asset, for every release. Hence a 'cut off' criteria is used, where the probability of fatality is set at a fixed consequence level (and hence distance) as illustrated by the shaded 'box'.
- This set consequence level (or end point criterion) determines the impact (or effect) zone, as illustrated in the left hand side of Figure 5.9. Risk levels are determined by calculating the number of people within an impact zone (for each release and hazard) and applying a set probability of fatality within this zone.
- It should be noted that a single end-point criterion may be sufficient to determine realistic risk levels associated with a hazard (such as for thermal radiation impact on people). Alternatively, more than one end-point criterion may be applied in the same way (such as for overpressure impacts on assets).

Figure 5.9 Illustration of Simple Cut-off Model for End Point Criteria



5.2.2 Vulnerability Parameters

As discussed in the previous section, the consequences or impacts to people of the various event tree outcomes are *end-point, or impact, criteria*, while the probabilities of impacts associated with these end-point criteria are referred to as *vulnerability parameters*.

- The end-point criteria are defined within the parameters associated with each consequence model within SAFETI.
- The vulnerability parameters are defined within the risk parameters, as illustrated by Figure 5.10 Vulnerability (Default) Parameters.
- In either case, the parameters can be set at a global (study) level, or defined separately for specific run rows.
- Table 5.1 summarises the default values applied within SAFETI, with brief notes on the basis for each.

Figure 5.10 Vulnerability (Default) Parameters

The screenshot shows a software window titled "General Risk Parameters" with a "Vulnerability" tab selected. The window contains several input fields for defining risk parameters. The "Fraction of Population Outdoors" is set to 0.1. Below this, a table lists "Fatalities as Fraction of Population for each Hazardous Effect" for various effects, categorized by "Indoors" and "Outdoors".

	For Societal Risk	For Individual Risk
Fraction of Population Outdoors	0.1	1
Fatalities as Fraction of Population for each Hazardous Effect		
	Indoors	Outdoors
Heavy Explosion Damage	1	0.3
Light Explosion Damage	0.3	0.1
Flash Fire	0.1	1
Fireball	0.2	0.7
Jet Flame	0.1	0.7
Pool Fire	0.1	0.7
Toxics	0.1	0.9

Table 5.1: Summary of (Default) Impact End Point and Vulnerability Criteria

Human Impact	(End Point) Impact Criteria	Vulnerability Parameters	Notes and References
Fraction outdoors killed by explosion inside R1	Heavy blast damage (equated to 350 mbarg)	0.3	Where heavy building damage occurs, fatalities outdoors are likely to result from being close to collapsing buildings or being hit by missiles.
Fraction indoors killed by explosion inside R1		1.0	The likelihood of fatalities inside heavily damaged buildings is high.
Fraction outdoors killed by explosion between R1 and R2	Light blast damage (equated to 100 mbarg)	0.1	People outside are less likely than those inside to suffer fatality due to building damage.
Fraction indoors killed by explosion between R1 and R2		0.3	Some fatalities are likely to result indoors from building damage.
Fraction outdoors killed by flash fire	Effect concentration - within 100% LFL	1.0	People outside may be engulfed by the fire; historically most fatalities in such fires has been inhalation of hot combustion gases, so any protective outer clothing worn is unlikely to give sufficient protection to prevent fatality.
Fraction indoors killed by flash fire		0.1	A flash fire is only likely to cause fatalities indoors if the building is set on fire or else hot combustion gases enter the building.
Fraction outdoors killed by Fireball	Effect radiation dose 250 kJ/m ²	0.7	The dose criterion of 250 kJ/m ² is consistent with a high level of fatalities but not 100%, since some people may be shielded by buildings or other structures or may be able rapidly to find shelter.
Fraction indoors killed by fireball		0.2	Personnel indoors will suffer fatality if they have a line of sight to the fireball, i.e. through a window or open door.
Fraction outdoors killed by jet fire	Effect radiation level 12.5 kW/m ²	0.7	The fraction located outdoors killed by a jet flame is high. People caught within the flame will die immediately while there could be some survivors among those affected by the heat radiation level of 12.5 kW/m ² .
Fraction indoors killed by jet fire		0.1	The fraction killed inside buildings subjected to jet flame impingement and heat radiation is 0.1. This accounts for an interior building fire in which personnel may be trapped.
Fraction outdoors killed by pool fire	Effect radiation level 12.5 kW/m ²	0.7	The assumption made is that this fraction are confined within the vicinity of the pool and that the pool ignites within 5 minutes of the release. Although it can be argued that no-one will be in the area after the first few minutes, historically personnel often stay behind trying to isolate the source of the leak rather than trying to escape.
Fraction indoors killed by pool fire		0.1	The building walls will offer shielding from the heat radiation levels for sufficient time to allow for an orderly escape to a safe area in the majority of cases. An evacuation of the building within 5 minutes is assumed.

6 RISK ANALYSIS

6.1 Risk Calculation

Once the consequences have been calculated, they are combined with the input weather, population and ignition source data, with the corresponding failure case frequencies and with the event tree probabilities to calculate the risks. The calculation of risk is undertaken within the impact module. This is a highly flexible program that can accept a wide variety of problem definitions (weather types, wind rose directions, grid size).

Each failure case is analysed to determine its impact. Frequency information is extracted from the failure case description and combined with meteorological probabilities and any event tree conditional probabilities leading to that particular outcome. Both risk at every grid point and societal risk for each incident can be determined.

In general terms, it is assumed for individual risk that the population is out of doors and does not shelter or escape. For societal risk, it is possible to include mitigation by sheltering or by evacuation.

The evaluation of the risk even at a single point involves a large number of calculations, especially for releases of flammable materials. Calculations must be performed for each release case and weather type, and for each wind direction which would include that point inside the effect zone. Often however the required result is not the risk at one point but over an area, in the form of "iso-risk contours". To obtain these, the point risk calculations must be repeated at a large number of grid points within the area of interest. The impact module uses a grid of 200 x 200 points.

To calculate societal risk, the total number of fatalities for each release case, weather type and wind direction must be calculated: this will usually be spread over a number of grid squares. The frequencies of all combinations contributing to the same number of fatalities must be summed. The results are typically presented as a F-N societal risk curve, but are also tabulated in terms of annual fatalities (i.e. potential loss of life, or PLL).

The impact module also produces tables showing the overall ranking of incidents in terms of their importance.

6.2 Risk Results, Graphical Output

SAFETI provides graphical output of both consequence and risk results.

- Consequence results include cloud footprints and side views, heat radiation and explosion overpressure contours, concentration versus distance and other distance-dependent effects graphs, pool evaporation rate versus time and other time-dependent effects. These outputs can be produced for each release scenario (Model) as required, and can be superimposed on the map as hazard ranges or effect zones.
- Examples of consequence results are shown in Figure 6.1 and Figure 6.2, noting that there are many variations on these outputs (as indicated by the tabs underneath the plot in Figure 6.1).
- Risk results generated as graphical output are risk contours and FN curves. Examples of the graphical plots produced by SAFETI are given in Figure 6.3 and Figure 6.4. These results can be produced for the study as a whole, for individual run rows, or for a selection of run rows.

Figure 6.1 Example Consequence Output (Chlorine Leak Cloud Dispersion Profile)

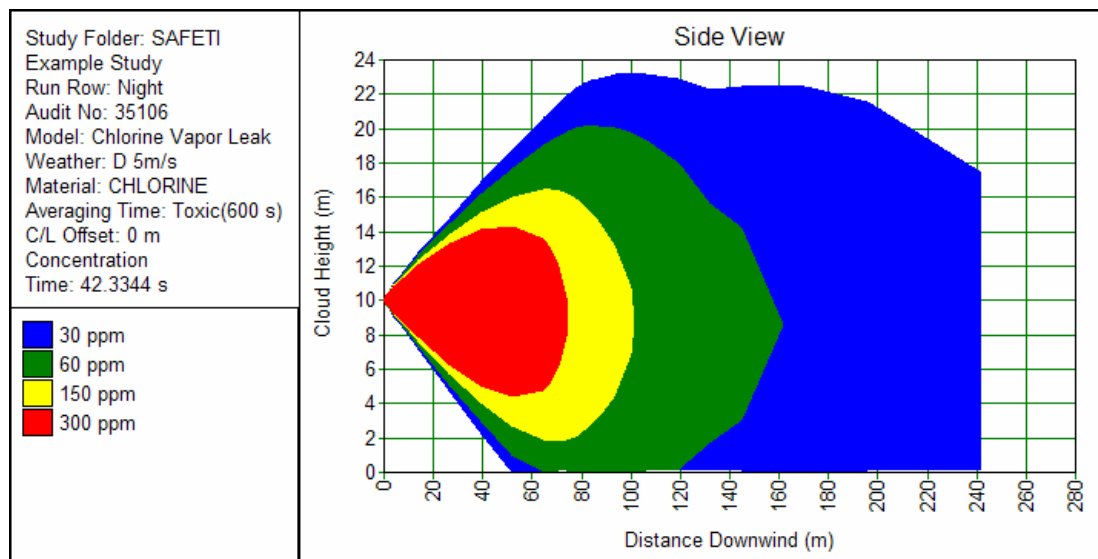


Figure 6.2 Example Consequence Output (Chlorine Vessel Rupture, Hazard Range / Effect Zone)

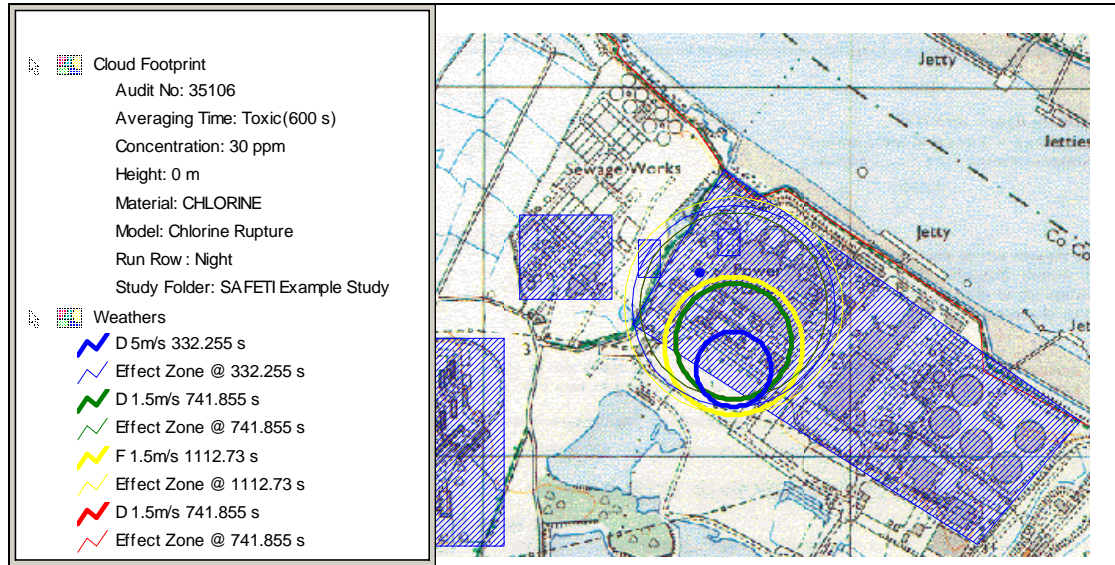


Figure 6.3 Example of Individual Risk Results (Contours)

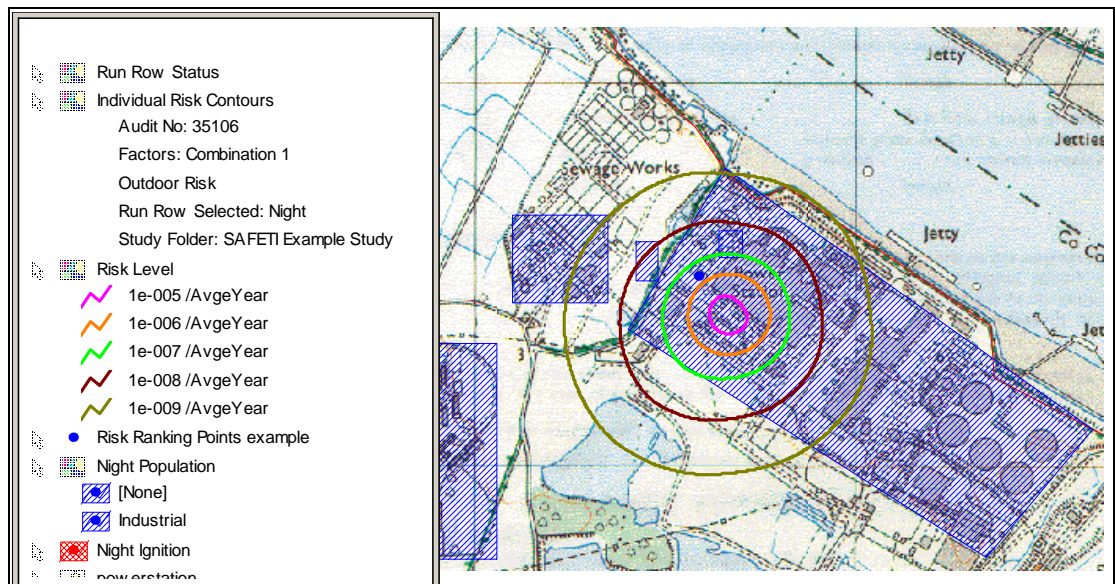
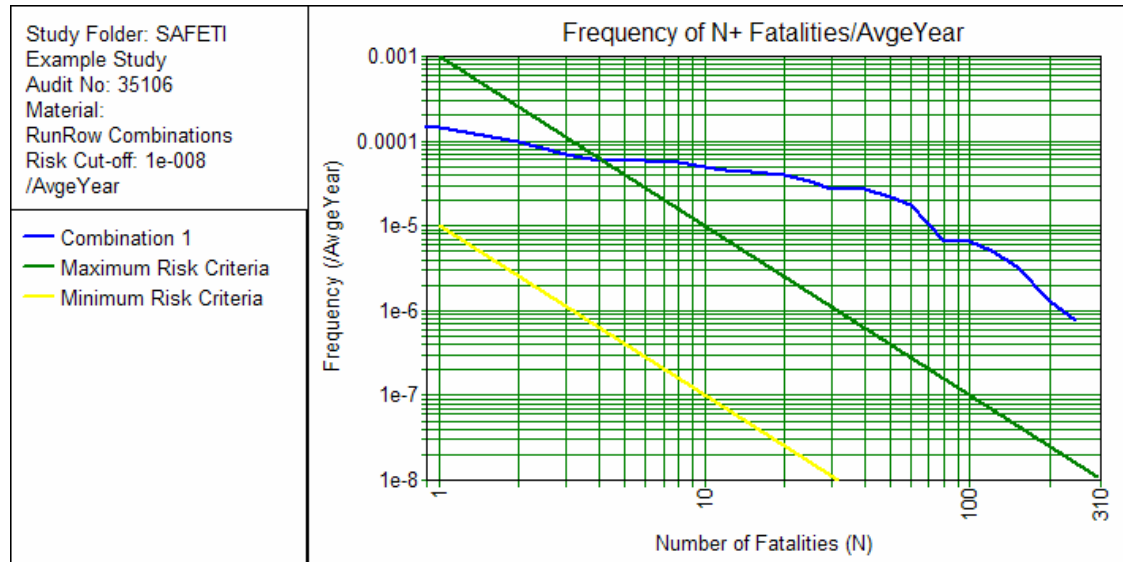


Figure 6.4 Example of Societal Risk Results (F-N Curve)



6.3 Tabular Output

SAFETI produces tabular output to assist the user in the interpretation of results obtained during analysis and to provide data that can be exported to other applications for further analysis. Summary tables give the salient results of the dispersion and consequence modelling. Detailed results give a step by step reading of all physical parameters of a dispersing cloud.

Risk ranking results are available to enable the user to determine the contribution each accident scenario makes to the individual risk at a given location or to the societal risk. These data are then available for cost benefit analysis or other forms of financial risk analysis.

7 REFERENCES

American Gas Association, 1974. *LNG Safety Research Program*, Report IS-3-1.

Burgess, D S, and Hertzberg, M, 1974. *Advances in Thermal Engineering*, Ch. 27, p413, John Wiley and Sons.

Chamberlain, G A, 1987. *Developments in Design Methods for Predicting Thermal Radiation from Flares*, Chem. Eng. Res. Des. 65 299-309.

Crossthwaite, P J, Fitzpatrick, F D, and Hurst, N W, 1988. *Risk Assessment for the Siting of Developments near Liquefied Petroleum Gas Installations*, IChemE Symp. 110 373-400.

Mudan, K S, and Croce, P A, 1988. *Fire Hazard Calculations for Large Open Hydrocarbon Fires*, *Handbook of Fire Protection Engineering*, Society of Fire Protection Engineers, Ch 2-4.

Thomas, P H, 1963. *The Size of Flames from Natural Fires*, Proc. 9th Intl. Combustion Symposium, Comb. Inst.,Pittsburgh, PA, 844-859.

Wiekema, B, J, 1979. *Vapour Cloud Explosions, Methods for the Calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Material*, TNO, Ch. 4.

Woodward, J L, Cook, J and Papdourakis, A, 1995. *Modelling and validation of a dispersion aerosol jet*, J. Haz. Mat. 44 185-207.