

RAPPORT D'ÉTUDE

06 / 05 / 2013

N°DRA-13-133667-01471D

DRA 51 - Evaluation des risques liés aux canalisations de transport de substances dangereuses, aux canalisations de distribution de gaz et à l'utilisation du gaz.

Opération 2 - accompagnement méthodologique dans le cadre de l'instruction des études de dangers des canalisations de transport ou de distribution

DRA 51 - Evaluation des risques liés aux canalisations de transport de substances dangereuses, aux canalisations de distribution de gaz et à l'utilisation du gaz.

Opération 2 - Accompagnement méthodologique dans le cadre de l'instruction des études de dangers des canalisations de transport ou de distribution.

Direction des Risques Accidentels

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

PRÉAMBULE

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

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

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

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

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

	Rédaction	Vérification		Approbation
NOM	Sandrine DESCOURRIERE	Christophe BOLVIN	 Guillaume CHANTELAUVE	Sylvain CHAUMETTE
Qualité	Ingénieur au sein de l'unité EQRI Direction des Risques Accidentels	Responsable de l'unité EQRI Direction des Risques Accidentels	Délégué Appui Technique à l'Administration Direction des Risques Accidentels	Responsable du pôle AGIR Direction des Risques Accidentels
Visa				

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	7
1.1 Contexte	7
1.2 Modalités et contenu du présent rapport	8
2. IDENTIFICATION DES PHENOMENES DANGEREUX EN CAS DE RUPTURE DE LA CANALISATION	11
2.1 Orientation du rejet en cas de rupture	11
2.2 Phénomènes dangereux	11
3. INTENSITE DES PHENOMENES DANGEREUX.....	13
3.1 Choix des seuils d'effet.....	13
3.2 Feu torche avec rejet vertical	13
3.3 Feu torche avec rejet incliné à 45°.....	16
3.4 UVCE avec rejet vertical.....	21
3.5 UVCE avec rejet incliné à 45°	22
4. PRINCIPES ET CHOIX DES DONNEES POUR LE CALCUL DES PROBABILITES D'ATTEINTE DES INSTALLATIONS DU SITE NUCLEAIRE	23
4.1 Principes pour le calcul de la probabilité d'atteinte pour un phénomène dangereux	23
4.2 Principes pour le calcul de la probabilité d'atteinte par l'ensemble des phénomènes dangereux pour un effet donné.....	25
4.3 Valeurs retenues pour les différents paramètres des formules (1) et (2)....	27
5. CALCUL DES PROBABILITES D'ATTEINTE DES INSTALLATIONS DU SITE NUCLEAIRE PAR LES EFFETS THERMIQUES CONSECUTIFS A UNE RUPTURE DE LA CANALISATION	31
5.1 Choix des seuils d'effets.....	31
5.2 Calcul des probabilités d'atteinte des installations du site nucléaire par chacun des phénomène dangereux	32
5.3 Calcul des probabilités d'atteinte des installations du site nucléaire par l'ensemble des phénomènes dangereux.....	34

6. CALCUL DES PROBABILITES D'ATTEINTE DES INSTALLATIONS DU SITE NUCLEAIRE PAR LES EFFETS DE SURPRESSION CONSECUTIFS A UNE RUPTURE DE LA CANALISATION	37
6.1 Choix des seuils d'effets.....	37
6.2 Calcul des probabilités d'atteinte des installations du site nucléaire par chacun des phénomène dangereux.....	37
6.3 Calcul des probabilités d'atteinte des installations du site nucléaire par l'ensemble des phénomènes dangereux.....	40
7. CONCLUSION.....	45
8. LISTE DES ANNEXES	47

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

La société GRTgaz envisage la construction d'une nouvelle canalisation de transport de gaz naturel, dénommée ERIDAN, reliant les communes de Saint-Martin-de-Crau (13) et Saint-Avit (26), et dont les principales caractéristiques sont : DN1200, PMS 80 bars, longueur de 220 km environ.

GRTgaz a déposé à cet effet, en septembre 2012, un dossier de demande d'autorisation ministérielle de transport de gaz, qui comporte notamment l'étude de dangers de l'ouvrage projeté.

Sur les communes de Piolenc et Caderousse (84), le tracé projeté initialement longe la rive est du Rhône. De l'autre côté du fleuve est situé le centre nucléaire de Marcoule. La distance minimale entre ce tracé projeté et la limite du site est de 545 m.

Selon l'étude de dangers de GRTgaz, les distances d'effets sur les personnes du scénario de rupture sont 515 m pour les ELS, 660 m pour les PEL et 785 m pour les IRE. Ainsi, le centre nucléaire est impacté, dans sa partie est, par les PEL du scénario de rupture.

Cette situation a entraîné depuis le début de l'année 2012 des échanges sur les effets dominos entre la future canalisation et les installations du centre nucléaire, faisant intervenir :

- les différents exploitants (GRTgaz et CEA notamment),
- les autorités de contrôle (DREALs Rhône-Alpes et PACA, BSEI, ASN et DSND),
- et les organismes d'appui technique (INERIS et IRSN).

Dans ce contexte :

- GRTgaz a explicité dans une note [10] sa démarche concernant la détermination et la modélisation des phénomènes dangereux dans les études de dangers des canalisations de transport de gaz naturel ;
- le CEA a confié au cabinet DAVIDSON PACA la réalisation d'une étude [11] visant à caractériser les phénomènes dangereux consécutifs à une fuite sur la canalisation ERIDAN ;
- le BSEI a demandé à l'INERIS d'analyser l'étude du Cabinet DAVIDSON PACA au regard de la conformité aux référentiels reconnus, dont le guide méthodologique pour les études de dangers des canalisations de transport [3]. Cette analyse a fait l'objet d'une note [24] en date du 20 décembre 2012 ;

- l'IRSN a confié à l'INERIS une prestation de modélisation des effets de suppression consécutifs à une fuite sur deux canalisations de gaz naturel, l'une étant similaire à ERIDAN, et l'autre à la canalisation alimentant le site nucléaire. Le rapport final de cette prestation [18] a été transmis à l'IRSN en janvier 2013 ;
- une réunion s'est tenue le 29 janvier 2013, à l'initiative du BSEI, en présence des autorités de contrôle et des organismes d'appui technique. Lors de cette réunion, l'INERIS a présenté le contenu de son analyse.

A l'issue de cette présentation, il a été convenu de compléter cette analyse par une évaluation des probabilités d'atteinte du site nucléaire par les différents phénomènes dangereux consécutifs à une rupture de la canalisation.

- GRTgaz a proposé un tracé alternatif pour la canalisation ERIDAN, qui porterait la distance minimale entre la canalisation et les limites du site nucléaire à 1 600 m.
- Le présent document a été établi en vue de répondre à la demande de la DGPR relative à l'évaluation des probabilités d'atteinte mentionnées ci-dessus. La présente version de ce document (version D) est le résultat de plusieurs échanges successifs avec le BSEI :
 - version A (projet) envoyée le 12 février 2013 ;
 - commentaires du BSEI sur la version A reçus le 13 février 2013 ;
 - version B [27] envoyée le 15 mars 2013 ;
 - commentaires du BSEI sur la version B reçus les 5 et 9 avril 2013 [28], dont notamment une demande de prise en compte du tracé alternatif de la canalisation proposé par GRTgaz ;
 - version C (projet) envoyée le 17 avril 2013 ;
 - commentaires du BSEI sur la version C reçus les 17 et 23 avril 2013 [29].

1.2 MODALITES ET CONTENU DU PRESENT RAPPORT

L'objectif du présent rapport est de compléter l'analyse de l'INERIS en date du 20 décembre 2012 [24] avec une évaluation des probabilités relatives au tracé initial et au tracé alternatif.

Outre l'introduction et la conclusion, le présent rapport est organisé en cinq chapitres :

1. Identification des phénomènes dangereux en cas de rupture de la canalisation,
2. Intensité de ces phénomènes dangereux,
3. Principes et choix des données pour le calcul des probabilités d'atteinte des installations du site nucléaire par ces phénomènes dangereux,

4. Calcul des probabilités d'atteinte des installations du site nucléaire par les effets thermiques,
5. Calcul des probabilités d'atteinte des installations du site nucléaire par les effets de surpression.

Le présent rapport a été élaboré au vu des documents de référence réglementaires et techniques listés en annexe 1, dont notamment le guide méthodologique pour les études de dangers des canalisations de transport [3], dénommé « guide EDD » dans la suite du présent rapport.

Notamment, les informations descriptives de l'ouvrage et de son environnement fournies par GRTgaz dans son étude de dangers ou en complément, ainsi que les informations fournies par le CEA sur la vulnérabilité de ses installations, ont été retenues en tant que **données d'entrée du présent rapport**, et n'ont pas fait l'objet de vérifications ou d'analyses complémentaires de la part de l'INERIS.

Les acronymes sont explicités dans le glossaire en annexe 2.

Les figures ont été élaborées par l'INERIS, sauf lorsque leur légende mentionne leur source.

2. IDENTIFICATION DES PHENOMENES DANGEREUX EN CAS DE RUPTURE DE LA CANALISATION

2.1 ORIENTATION DU REJET EN CAS DE RUPTURE

Il est considéré ici, conformément à notre précédente analyse [24], qu'en cas de rupture ou de fuite importante sur une canalisation de transport de gaz naturel sous forte pression :

- le rejet sera vertical dans la très grande majorité des cas ;
- la possibilité d'un rejet non vertical ne peut être totalement écartée. Une inclinaison à 45° constitue l'inclinaison la plus pénalisante parmi toutes celles qui sont physiquement possibles en champ libre ;
- cette inclinaison se fera préférentiellement dans l'axe de la canalisation. Une autre direction ne peut toutefois pas être totalement écartée, la plus pénalisante étant un rejet incliné dans la direction du site de Marcoule.

Conclusion : les deux orientations du rejet retenues dans la suite du présent rapport sont :

- **le rejet vertical (configuration la plus probable),**
- **et le rejet incliné à 45° dans la direction du site (configuration la plus pénalisante).**

2.2 PHENOMENES DANGEREUX

L'annexe 5 du guide EDD présente des arbres d'événements à partir d'un débit à la brèche, par type de fluide transporté. L'arbre relatif aux « gaz inflammables » préconise les phénomènes dangereux suivants :

- Le feu torche :
Ce phénomène, observé lors de plusieurs accidents survenus sur des canalisations de transport de gaz naturel, comme par exemple à Ghislenghien (Belgique) en 2004, est retenu.
- Le Flash Fire :
Ce phénomène, qui correspond à la propagation de la flamme dans le nuage, génère des effets thermiques moins importants que le feu torche. Il n'est donc pas retenu.
- L'UVCE :
Selon le guide EDD, l'UVCE suite à une fuite sur une canalisation de transport de gaz naturel est « physiquement possible sous réserve des critères d'inflammation au cœur du jet ».

Conformément à notre précédente analyse [24], seul le rejet en champ libre est retenu (les configurations de rejet impactant ou en zone encombrée ou confinée pouvant être écartées au vu de la taille du jet).

L'UVCE en champ libre est ainsi retenu, dans le cadre de l'évaluation des effets enveloppes d'une fuite.

Conclusion : les phénomènes dangereux retenus dans la suite du présent rapport sont le feu torche d'une part et l'UVCE en champ libre d'autre part, pour les deux orientations de rejet retenues.

3. INTENSITE DES PHENOMENES DANGEREUX

3.1 CHOIX DES SEUILS D'EFFET

Les seuils d'effets retenus dans le présent rapport sont compris, pour chaque phénomène dangereux étudié, entre les valeurs suivantes :

- La valeur maximale correspond à l'intensité maximale du phénomène dangereux considéré sur le site nucléaire de Marcoule. Cette intensité maximale est atteinte à la distance minimale entre le tracé de la canalisation projeté et la limite du site, soit 545 m pour le tracé initial et 1 600 m pour le tracé alternatif.
- La valeur minimale pour les effets thermiques correspond au seuil de vulnérabilité indiqué par le CEA pour les installations qu'il exploite, c'est-à-dire 3 kW/m² (cf courrier [26]).
- Les effets de surpression ont été évalués dans nos précédents travaux ([18] et [24]) à partir du seuil de 10 mbar, puis en progressant par pas de 10 mbar. Il est à noter que le CEA a indiqué, dans son courrier [26], un seuil de vulnérabilité de 30 mbar pour les installations qu'il exploite.

En l'absence d'éléments descriptifs relatifs aux installations exploitées par le CEA sur le site de MARCOULE, mais aussi aux autres installations du site, l'INERIS n'est pas en mesure de confirmer la pertinence du choix des seuils de vulnérabilité de 3 kW/m² et 30 mbar pour les installations du site de MARCOULE. Ces seuils sont donc considérés en tant que données d'entrée pour le présent rapport.

3.2 FEU TORCHE AVEC REJET VERTICAL

Dans la note [10], GRTgaz a modélisé les effets thermiques du feu torche consécutif à une rupture avec un rejet vertical. Les résultats sont fournis sous la forme de flux thermiques incidents au niveau de certaines installations du site nucléaire (supposées sous le vent dans une hypothèse majorante).

Le débit de fuite étant variable dans le temps (chute très rapide dans les premiers instants de la fuite puis stabilisation après quelques minutes), les flux thermiques incidents suivent la même variation ; les modélisations ont été réalisées pour les quatre débits de fuite suivants :

1. débit moyen entre 0 et 30 s ;
2. débit moyen entre 30 s et 60 s ;
3. débit à 120 s ;
4. débit à 300 s.

Les résultats de GRTgaz sont les suivants :

Points particuliers (*)	Flux thermique aux différents périodes sous le vent			
	0 – 30 s	30 – 60 s	120 s	300 s
Limite de l'enceinte du site de Marcoule (545 m)	12 kW/m ²	8 kW/m ²	6 kW/m ²	4 kW/m ²
PHENIX (620 m)	9 kW/m ²	6 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²
MELOX (770 m)	6 kW/m ²	4 kW/m ²	3 kW/m ²	2 kW/m ²
ATALANTE (890 m)	5 kW/m ²	3 kW/m ²	2 kW/m ²	2 kW/m ²
SOCODEI (990 m)	4 kW/m ²	2 kW/m ²	2 kW/m ²	1 kW/m ²
Autre (1090 m)	3 kW/m ²	< 3 kW/m ²	< 3 kW/m ²	< 3 kW/m ²

(*) Les distances d'éloignement sont indiquées par rapport au tracé de la canalisation initialement projeté.

Tableau 1 : Flux thermiques calculés par GRTgaz [10] [25] pour le feu torche avec rejet vertical

Conformément à notre précédente analyse [24] :

- ces flux thermiques peuvent être considérés comme enveloppes des flux thermiques incidents aux différentes périodes ;
- le flux thermique incident calculé à t = 300 s peut être considéré comme enveloppe du flux thermique incident après 300 s, jusqu'au sectionnement de la fuite ;
- les distances d'éloignement des différentes installations n'ont pas été vérifiées par l'INERIS.

Conclusion : les flux thermiques incidents calculés par GRTgaz pour le feu torche avec un rejet vertical sont retenus dans la suite du présent rapport.

Ces flux thermiques sont représentés sur la Figure 1 suivante :

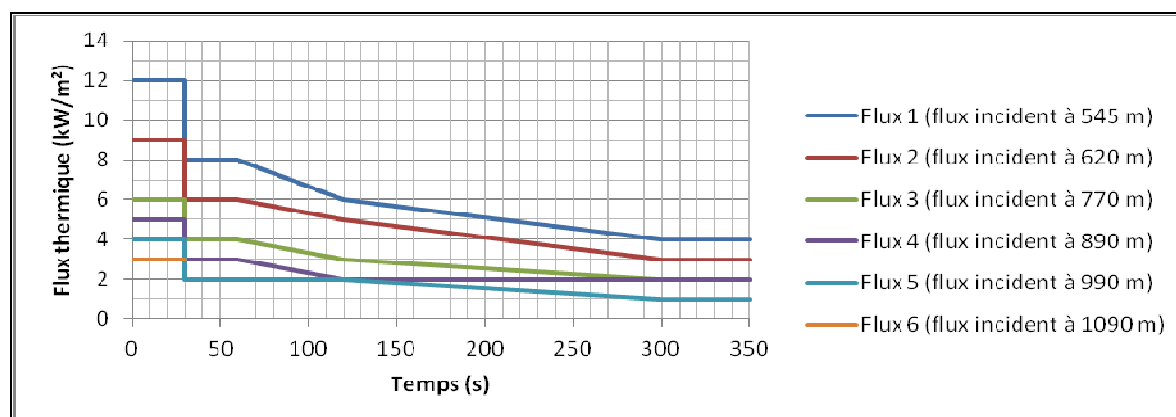


Figure 1 : Représentation graphique des flux thermiques incidents calculés par GRTgaz avec un rejet vertical

Remarques :

1. La présence de paliers et de cassures sur les courbes de flux est liée au choix de retenir des débits moyennés sur un intervalle de temps donné ou calculé à un instant donné. Ces courbes restent toutefois exploitables dans le cadre de l'étude de la vulnérabilité d'installations industrielles. Les courbes « réelles » de flux incidents auraient un profil similaire à celui proposé par GRTgaz pour le débit de fuite, reproduit sur la Figure 2 ci-après :

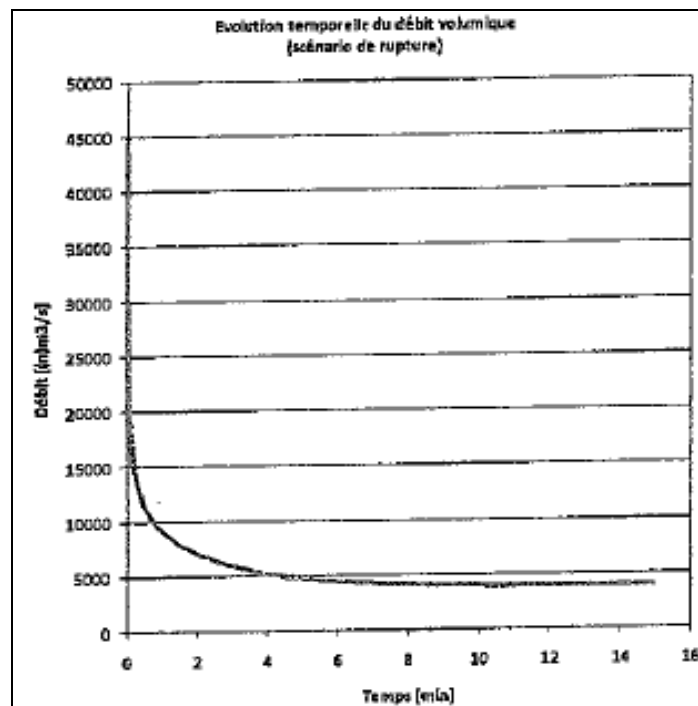


Figure 2 : Débit de fuite pour une rupture totale calculé par GRTgaz (reproduction de la figure 2 de la note [10] de GRTgaz)

2. Le profil de flux n°6 a été calculé uniquement pour le premier palier, et est donc représenté pour ce seul palier sur la Figure 1 ; pour les paliers suivants, il sera inférieur au profil de flux n°5, et en tout état de cause inférieur à 3 kW/m².

3.3 FEU TORCHE AVEC REJET INCLINE A 45°

A la demande de l'INERIS, GRTgaz a modélisé dans sa note [25] les effets thermiques du feu torche consécutif à une rupture avec un rejet incliné à 45°.

Trois configurations ont été retenues par GRTgaz, de la plus pénalisante à la moins pénalisante :

- Cas 1 : le rejet est incliné dans la direction de l'enjeu considéré ;
- Cas 2 : le rejet est incliné dans une direction perpendiculaire à celle de l'enjeu considéré ;
- Cas 3 : le rejet est incliné dans une direction opposée à celle de l'enjeu considéré.

Ces 3 cas sont illustrés sur les Figures 3 à 5 ci-dessous.

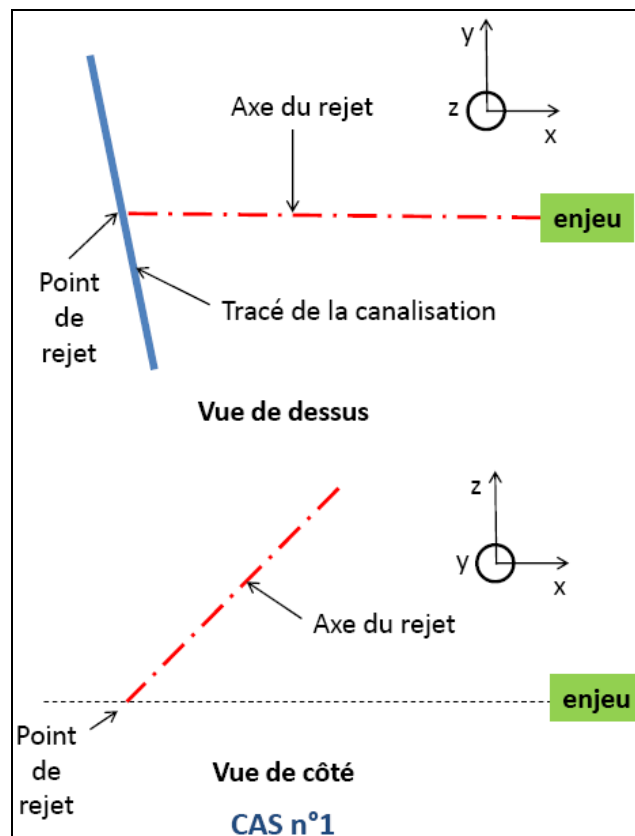


Figure 3 : Rejet incliné à 45°- Cas 1 - Enjeu situé dans la direction du rejet

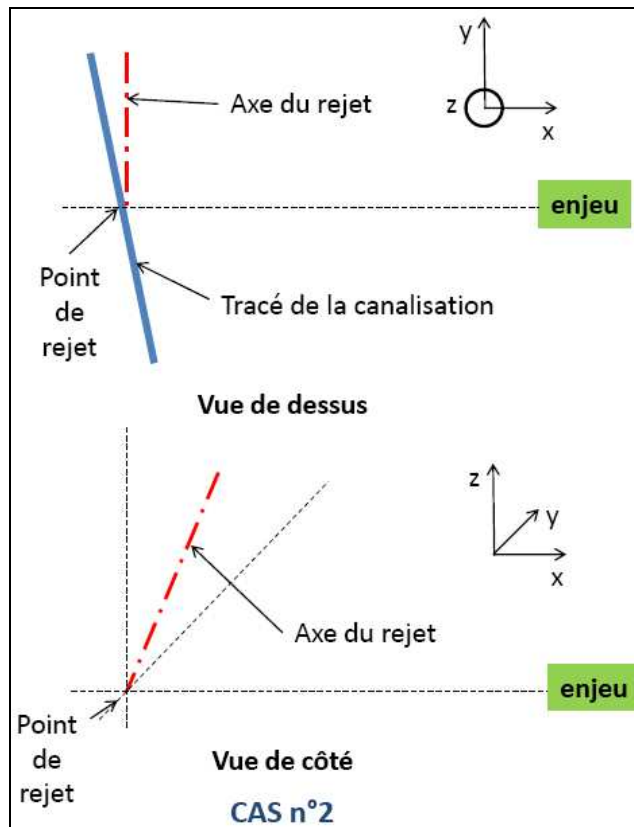


Figure 4 : Rejet incliné à 45°- Cas 2 - Enjeu situé dans une direction perpendiculaire à celle du rejet

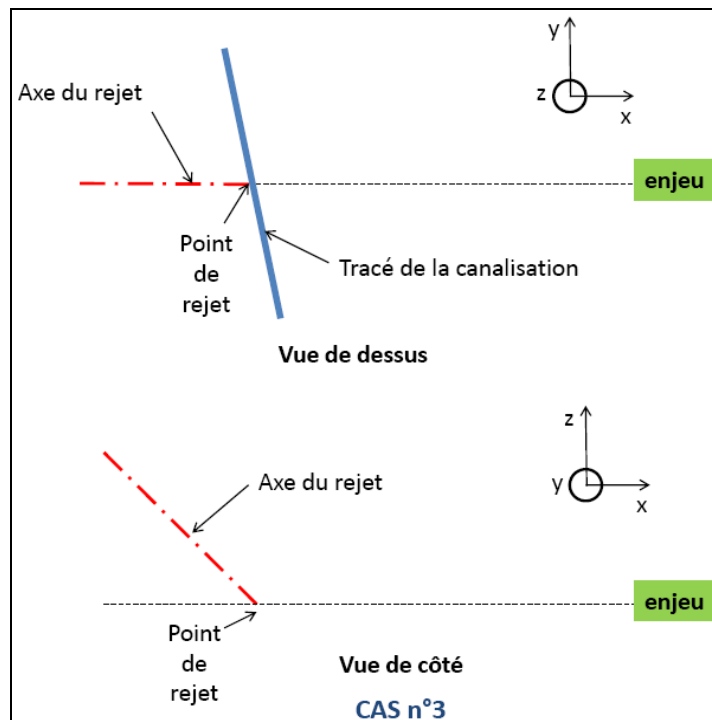


Figure 5 : Rejet incliné à 45°- Cas 3 - Enjeu situé dans une direction opposée à celle du rejet

Les modélisations ont été réalisées avec les mêmes débits de fuite qu'en rejet vertical (cf § 3.2 précédent).

Les résultats sont fournis sous la forme de flux thermiques incidents au niveau de certaines installations du site nucléaire (supposées sous le vent dans une hypothèse majorante).

Les résultats de GRTgaz sont présentés dans les trois tableaux suivants, qui correspondent respectivement aux trois cas définis précédemment :

Points particuliers (*)	Flux thermique aux différents périodes sous le vent (cas 1)			
	0 – 30 s	30 – 60 s	120 s	300 s
Limite de l'enceinte du site de Macroule (545 m)	30 kW/m ²	19 kW/m ²	13 kW/m ²	9 kW/m ²
PHENIX (620 m)	22 kW/m ²	14 kW/m ²	10 kW/m ²	6 kW/m ²
MELOX (770 m)	13 kW/m ²	8 kW/m ²	6 kW/m ²	4 kW/m ²
ATALANTE (890 m)	9 kW/m ²	6 kW/m ²	4 kW/m ²	3 kW/m ²
SOCODEI (990 m)	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²	2 kW/m ²
Autre (1450 m)	3 kW/m ²	< 3 kW/m ²	< 3 kW/m ²	< 3 kW/m ²

(*) Les distances d'éloignement sont indiquées par rapport au tracé de la canalisation initialement projeté.

Tableau 2 : Flux thermiques calculés par GRTgaz [25] pour le feu torche avec rejet incliné à 45°, pour un enjeu situé dans la direction du rejet (cas 1)

Points particuliers (*)	Flux thermique aux différents périodes sous le vent (cas 2)			
	0 – 30 s	30 – 60 s	120 s	300 s
Limite de l'enceinte du site de Macroule (545 m)	13 kW/m ²	10 kW/m ²	7 kW/m ²	5 kW/m ²
PHENIX (620 m)	11 kW/m ²	8 kW/m ²	6 kW/m ²	4 kW/m ²
MELOX (770 m)	7 kW/m ²	5 kW/m ²	4 kW/m ²	3 kW/m ²
ATALANTE (890 m)	6 kW/m ²	4 kW/m ²	3 kW/m ²	2 kW/m ²
SOCODEI (990 m)	5 kW/m ²	3 kW/m ²	2 kW/m ²	2 kW/m ²

Tableau 3 : Flux thermiques calculés par GRTgaz [25] pour le feu torche avec rejet incliné à 45°, pour un enjeu situé dans une direction perpendiculaire à celle du rejet (cas 2)

Points particuliers (*)	Flux thermique aux différents périodes sous le vent (cas 3)			
	0 – 30 s	30 – 60 s	120 s	300 s
Limite de l'enceinte du site de Macroule (545 m)	6 kW/m ²	5 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²
PHENIX (620 m)	5 kW/m ²	4 kW/m ²	3 kW/m ²	2 kW/m ²
MELOX (770 m)	4 kW/m ²	3 kW/m ²	2 kW/m ²	2 kW/m ²
ATALANTE (890 m)	3 kW/m ²	2 kW/m ²	2 kW/m ²	1 kW/m ²
SOCODEI (990 m)	3 kW/m ²	2 kW/m ²	1 kW/m ²	1 kW/m ²

Tableau 4 : Flux thermiques calculés par GRTgaz [25] pour le feu torche avec rejet incliné à 45°, pour un enjeu situé dans une direction opposée à celle du rejet (cas 3)

De l'avis de l'INERIS, et après avoir échangé avec GRTgaz sur les hypothèses et les modèles utilisés :

- ces flux thermiques peuvent être considérés comme enveloppes des flux thermiques incidents aux différentes périodes ;
- le flux thermique incident calculé à t = 300 s peut être considéré comme enveloppe du flux thermique incident après 300 s, jusqu'au sectionnement de la fuite.

Conclusion : les flux thermiques incidents calculés par GRTgaz pour le feu torche avec un rejet incliné à 45° sont retenus dans la suite du présent rapport.

Ces flux thermiques sont représentés sur les Figures 6 à 8 suivantes, qui correspondent respectivement aux trois cas définis précédemment, et qui ont été réalisées par l'INERIS.

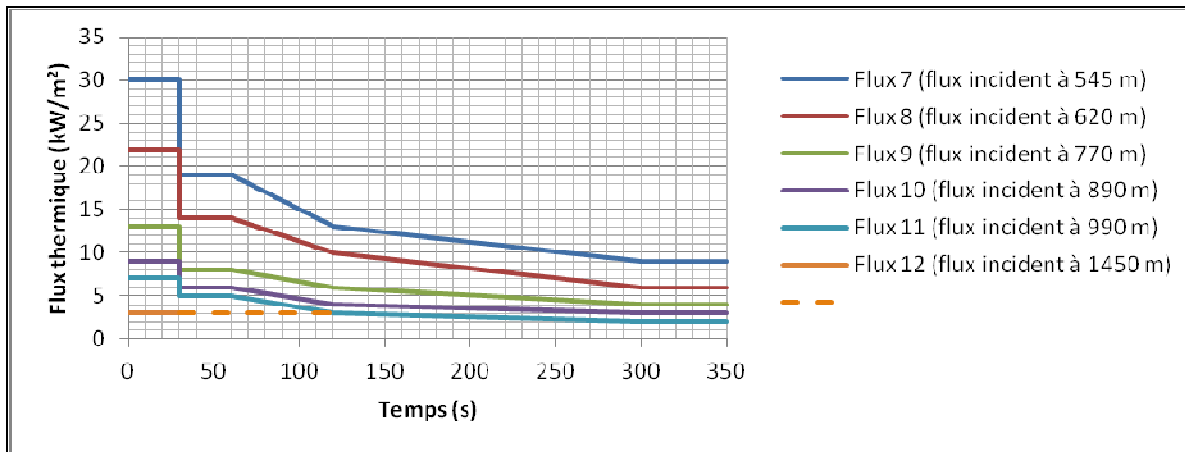


Figure 6 : Représentation graphique des flux thermiques incidents calculés par GRTgaz avec rejet incliné à 45°, pour un enjeu situé dans la direction du rejet (cas 1)

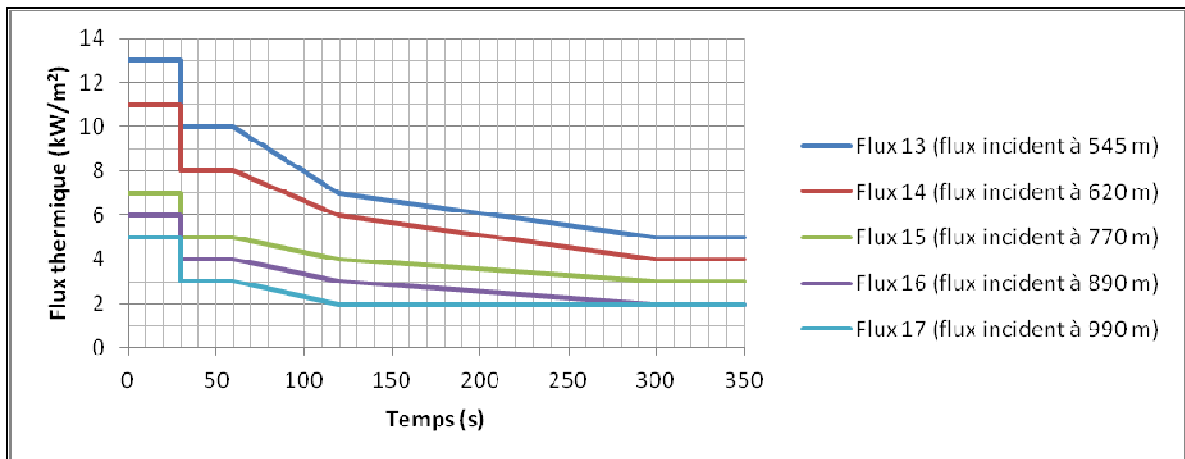


Figure 7 : Représentation graphique des flux thermiques incidents calculés par GRTgaz avec rejet incliné à 45°, pour un enjeu situé dans une direction perpendiculaire à celle du rejet (cas 2)

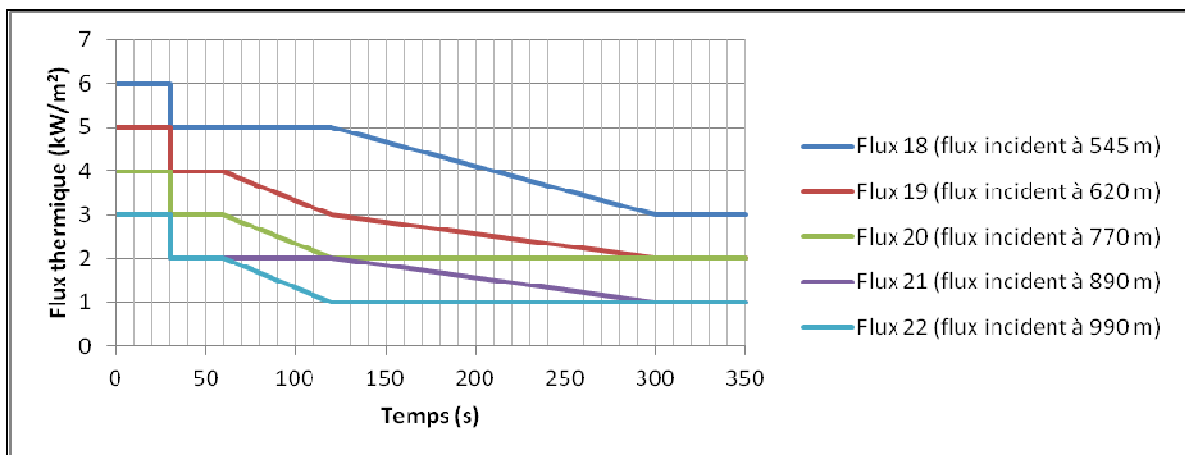


Figure 8 : Représentation graphique des flux thermiques incidents calculés par GRTgaz avec rejet incliné à 45°, pour un enjeu situé dans une direction opposée à celle du rejet (cas 3)

Remarques :

1. La remarque n°1 qui suit la Figure 1 est applicable également aux Figures 6 à 8.
2. Le profil de flux n°12 a été calculé uniquement pour le premier palier. Pour les paliers suivants, il sera inférieur au profil de flux n°11, et en tout état de cause inférieur à 3 kW/m², d'où la représentation proposée sur la Figure 6.

3.4 UVCE AVEC REJET VERTICAL

L'INERIS a été amené à modéliser les effets de surpression résultant de l'explosion d'un rejet **vertical** en champ libre consécutif à une fuite sur une canalisation de transport de gaz naturel, dans une étude réalisée en 2011 pour le compte du BSEI [19].

En appliquant les hypothèses et modèles décrits dans l'étude [19] à la configuration considérée (rupture totale d'une canalisation de PMS 80 bars et DN1200), les résultats de la modélisation des effets de surpression sont les suivants :

<i>Distance à la canalisation</i>	<i>Surpression</i>
2 615 m	10 mbar
1 410 m	20 mbar
980 m	30 mbar
760 m	40 mbar
620 m	50 mbar
545 m	60 mbar

Tableau 5 : Effets de surpression pour une rupture totale (rejet vertical en champ libre)

Il est à noter que la distance aux 20 mbar affichée dans le tableau 5 ci-dessus diffère de celle affichée dans notre précédente analyse [24], dans laquelle elle avait été prise égale en première approche au double de la distance aux 50 mbar, soit 1 240 m, de façon forfaitaire mais non pénalisante.

3.5 UVCE AVEC REJET INCLINE A 45°

Dans le cadre de la prestation [18] réalisée par l'INERIS pour le compte de l'IRSN, les effets de surpression d'une explosion consécutive à une rupture totale de la canalisation, en champ libre, avec un rejet incliné à 45° dans la direction du site, ont été modélisés pour les niveaux de surpression incidente variant de 20 à 100 mbar.

Afin de couvrir l'ensemble des plages de surpression susceptibles d'atteindre le site, ces résultats ont été complétés par des modélisations réalisées selon la même méthode.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

<i>Distance à la canalisation</i>	<i>Surpression</i>
3 610 m	10 mbar (*)
2 035 m	20 mbar
1 480 m	30 mbar
1 190 m	40 mbar
1 010 m	50 mbar
880 m	60 mbar
780 m	70 mbar
710 m	80 mbar
660 m	90 mbar
625 m	100 mbar
575 m	110 mbar (*)
545 m	120 mbar (*)

(*) Résultat non affiché dans le rapport [18] réalisé pour l'IRSN

Tableau 6 : Effets de surpression pour une rupture totale (rejet incliné à 45° en champ libre)

4. PRINCIPES ET CHOIX DES DONNEES POUR LE CALCUL DES PROBABILITES D'ATTEINTE DES INSTALLATIONS DU SITE NUCLEAIRE

4.1 PRINCIPES POUR LE CALCUL DE LA PROBABILITE D'ATTEINTE POUR UN PHENOMENE DANGEREUX

En application du guide EDD, la probabilité d'atteinte d'un point par un phénomène dangereux consécutif à la rupture de la canalisation s'exprime comme suit :

$$P_{\text{atteinte point}} = F_{\text{fuite}} \times P_{\text{infl}} \times L_{\text{effet}} \times \Sigma(E_{\text{mci}} \times P_{(\text{facteur de risque})i} \times C_i) \times P_{\text{présence}} \quad (1)$$

avec

$P_{\text{atteinte point}}$: probabilité annuelle d'atteinte du point avec un effet au moins égal à l'effet E considéré ;

F_{fuite} : fréquence générique de base de la rupture ;

P_{infl} : probabilité d'inflammation ;

L_{effet} : longueur du tronçon homogène de la canalisation concernée sur lequel une rupture peut atteindre le point de l'environnement avec un effet au moins égal à l'effet E considéré (2) ;

E_{Mci} : efficacité des mesures mises en place vis-à-vis du facteur de risque « i » à l'origine du calcul de la distance d'effet ;

$P_{(\text{facteur de risque})i}$: pourcentage représentatif d'un facteur de risque « i » donné dans la fréquence ;

C_i : facteur correctif, qui tient compte de la configuration particulière de la canalisation et de son environnement (3) ;

$P_{\text{présence}}$: taux d'occupation.

(2) La longueur d'effet L_{effet} , illustrée sur la Figure 9 ci-contre, s'exprime comme suit :

$$L_{\text{effet}} = 2 \cdot (D^2 - d^2)^{1/2} \text{ avec}$$

- d la distance entre la canalisation et le point considéré,
- D la distance correspondant à l'effet E.

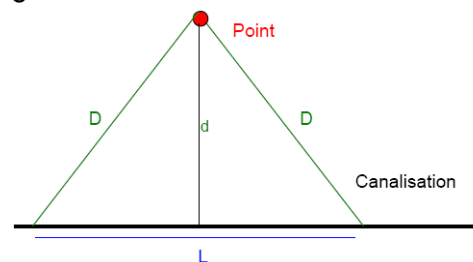


Figure 9 : Illustration de la longueur d'effet
(source : guide EDD)

(3) Le facteur C_i est égal au produit du facteur C_{env} lié à l'environnement de la canalisation et du facteur C_{prof} lié à sa profondeur d'enfouissement.

La formule (1) a été établie en considérant de façon simplificatrice qu'une fuite de taille donnée (ici, la rupture) est associée à un unique phénomène dangereux, qui est le phénomène qui conduit aux distances d'effet maximales à partir d'un rejet vertical (cf analyse [24]).

Dans le cadre du présent rapport, il a été établi aux chapitres précédents que plusieurs phénomènes dangereux sont à considérer, en fonction de :

- la nature du phénomène d'une part (feu torche ou UVCE),
- et l'orientation du rejet d'autre part (rejet vertical ou incliné à 45°), avec dans le cas du rejet incliné, une intensité incidente différente selon la direction du rejet incliné par rapport à l'enjeu considéré.

La nature du phénomène dangereux est prise en compte implicitement dans la formule à travers :

- la probabilité d'inflammation, différente pour un feu torche et un UVCE,
- et la distance d'effet retenue pour le calcul, qui est spécifique au phénomène.

En revanche, l'orientation du rejet et sa direction ne sont pas prises en compte dans la formule. C'est pourquoi il est proposé de considérer que cette formule traduit :

- la probabilité annuelle **conditionnelle** d'atteinte sachant un rejet vertical pour les phénomènes dangereux résultant d'un rejet vertical.
Cela revient à considérer que 100 % des ruptures généreront un rejet vertical ;
- la probabilité annuelle **conditionnelle** d'atteinte sachant un rejet incliné dans une direction donnée pour les phénomènes dangereux résultant d'un rejet incliné.
Cela revient à considérer que 100 % des ruptures généreront un rejet incliné à 45° dans une direction donnée.

La prise en compte des facteurs liés à l'orientation du rejet et sa direction est explicitée au paragraphe suivant.

4.2 PRINCIPES POUR LE CALCUL DE LA PROBABILITE D'ATTEINTE PAR L'ENSEMBLE DES PHENOMENES DANGEREUX POUR UN EFFET DONNE

Il s'agit ici de caractériser la probabilité annuelle qu'une installation du site nucléaire, située à une distance d donnée de la canalisation, soit atteinte par un effet donné, avec une intensité minimale donnée, suite à une rupture de la canalisation.

Sur la base des phénomènes dangereux identifiés (cf chapitre 2 du présent rapport), les effets considérés sont :

- les effets thermiques radiatifs d'une part,
- les effets de surpression d'autre part.

La contribution de chacun des phénomènes dangereux identifiés doit être prise en compte dans l'évaluation de cette probabilité. Notamment, les contributions des phénomènes issus des rejets verticaux et inclinés doivent être sommées.

En cas de rejet incliné, l'intensité incidente au niveau d'un point de l'environnement de la canalisation dépend de la direction du rejet. Chaque direction de rejet génère donc, pour un effet donné, un phénomène dangereux spécifique. En toute rigueur, la contribution de chacune des directions possibles à la probabilité annuelle d'atteinte globale devrait donc être estimée, sachant qu'il a été supposé que toutes les directions étaient possibles (cf paragraphe 2.1 du présent rapport).

Afin de simplifier la prise en compte de la direction du rejet incliné, il est proposé de découper de façon forfaitaire l'environnement en 6 secteurs angulaires définis à partir de la direction de l'enjeu, qui sont représentés sur la figure ci-après. Cette hypothèse est issue du § 2.5 de l'annexe 9 du guide EDD.

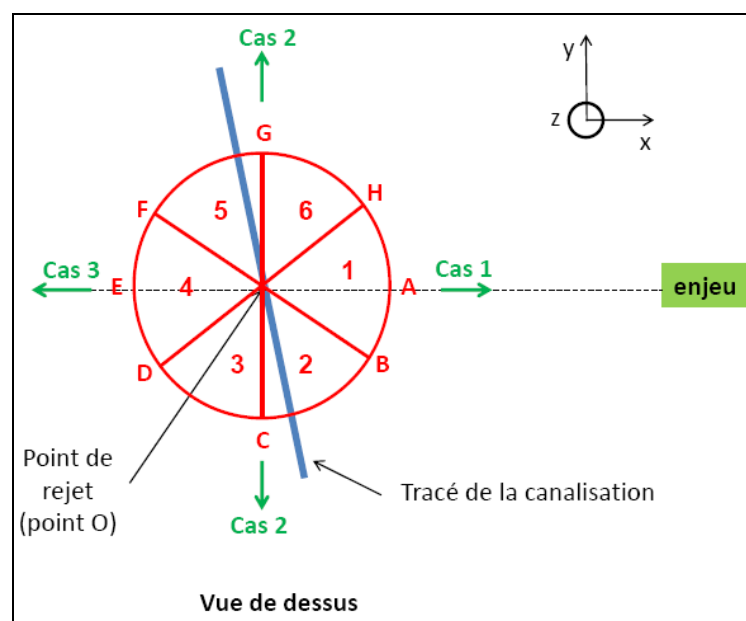


Figure 10 : Rejet incliné à 45° - Secteurs angulaires par rapport à l'enjeu

Pour chacun des secteurs angulaires, une direction de rejet enveloppe est choisie, de façon à ce que l'intensité incidente au niveau de l'enjeu qui résulterait d'un rejet dans cette direction soit égale ou supérieure à l'intensité incidente au niveau de l'enjeu qui résulterait d'un rejet dans n'importe quelle direction comprise dans ce secteur angulaire.

A titre d'illustration :

- pour le secteur angulaire n°1, la direction la plus pénalisante est celle de l'enjeu (direction OA). Elle correspond au cas n°1 dans les modélisations de feu torche présentées au paragraphe 3.3 du présent rapport ;
- pour le secteur angulaire n°5, la direction la plus pénalisante est celle qui est perpendiculaire à l'enjeu (direction OG). Elle correspond au cas n°2 dans les modélisations de feu torche présentées au paragraphe 3.3 du présent rapport.

Pour un effet donné (thermique ou surpression), et un seuil d'effet donné, on note :

- « PhD_v » le phénomène dangereux associé au rejet vertical ;
- « PhD_i » le phénomène dangereux associé à la direction enveloppe retenue pour le secteur angulaire numéroté i (i variant de 1 à 6) ;
- « $P(PhD_v)$ » la probabilité annuelle d'atteinte sachant un rejet vertical, calculée en application de la formule (1) pour le phénomène PhD_v ;
- « $P(PhD_i)$ » la probabilité annuelle d'atteinte sachant un rejet incliné dans la direction enveloppe retenue pour le secteur angulaire numéroté i , calculée en application de la formule (1) pour le phénomène PhD_i ;
- « a » la probabilité pour que le rejet consécutif à une rupture soit vertical ;
- « b_i » la probabilité pour que, sachant le rejet incliné suite à une rupture, ce rejet soit incliné dans une direction comprise dans le secteur angulaire numéroté i (i variant de 1 à 6) ;
- « $P_{\text{atteinte point}}(I_{\min})$ » la probabilité annuelle d'atteinte d'un point de l'environnement par un effet donné, avec une intensité minimale I_{\min} donnée, suite à une rupture de la canalisation.

$P_{\text{atteinte point}}(I_{\min})$ peut être calculée, en première approximation, par la formule suivante :

$$P_{\text{atteinte point}}(I_{\min}) = a.P(PhD_v) + (1 - a).\sum[b_i.P(PhD_i)] \quad (2)$$

Le premier terme de cette formule représente la contribution du rejet vertical, tandis que le second représente celle du rejet incliné pour chacun des 6 secteurs angulaires définis par rapport à la direction de l'enjeu.

4.3 VALEURS RETENUES POUR LES DIFFERENTS PARAMETRES DES FORMULES (1) ET (2)

Les valeurs retenues pour chacun des paramètres des formules de calcul de la probabilité d'atteinte [formules (1) et (2)], et pour chacun des phénomènes dangereux retenus, sont présentées et justifiées dans le tableau ci-après.

Paramètre	Unité	Feu torche	UVCE	Justification des valeurs retenues (cf remarque 3 ci-après)
Formule (1)				
F_{fuite}	(km.an) ⁻¹	1,8.10 ⁻⁵	1,8.10 ⁻⁵	Valeur conforme au guide EDD et justifiée au § 3.3.1 de notre précédente analyse [24]
P_{infl}	/	33 % (*)	0,33 % (**)	(*) Valeur conforme au guide EDD (**) Valeur justifiée au § 3.3.2 de notre précédente analyse [24]
L_{effet}	km	2.(D ² - d ²) ^{1/2}	2.(D ² - d ²) ^{1/2}	Formule conforme au guide EDD (voir note (2) du § 4.1 précédent)
E_{MC}	/	0,006	0,006	Valeur proposée dans l'étude de dangers de la canalisation [12] pour la mise en œuvre combinée d'un grillage avertisseur (0,6) et d'une épaisseur « travaux de tiers » (0,01), conformément au guide EDD
$P_{(facteur)}$	/	80 %	80 %	Valeur proposée dans l'étude de dangers de la canalisation [12] pour une zone sans mouvements de terrain et confirmée par les données de l'EGIG (8 th report, 2011)
C_{env}	/	0,8	0,8	Cf remarque 1 ci-après
C_{prof}	/	2/3	2/3	Valeur proposée dans l'étude de dangers de la canalisation [12] pour une profondeur d'enfouissement de 1 mètre, conformément au guide EDD
$P_{présence}$	/	100 %	100 %	Valeur conforme au guide EDD et justifiée au § 3.3.4 de notre précédente analyse [24]
Formule (2)				
a	/	90 %	90 %	Cf remarque 2 ci-après
b_i	/	1/6	1/6	Cf remarque 2 ci-après

Tableau 7 : Valeurs retenues pour les différents paramètres intervenant dans le calcul des probabilités d'atteinte

Remarques sur le tableau 7 :

1. GRTGaz a retenu, pour le facteur correctif C_{env} , une valeur de **3** dans l'étude de dangers de la canalisation [12], en considérant cette zone comme « urbaine ou à urbaniser », conformément au rapport GESIP n°2008/01 [2].

Le guide professionnel relatif aux études de dangers des canalisations de transport a été révisé récemment, la nouvelle version ayant été reconnue en décembre 2012 [3], soit après la rédaction de l'étude de dangers de GRTgaz. Cette nouvelle version apporte une précision quant à la définition d'une « zone rurale » (densité de population inférieure à 8 personnes par ha dans une zone de 50 m de part et d'autre de la canalisation), pour l'application du facteur correctif C_{env} (cf annexe 8 du guide).

Selon les informations communiquées par GRTgaz [28], la densité de population dans la zone concernée serait inférieure à 1 personne par ha. Il s'agit donc d'une zone rurale au sens du guide EDD, pour laquelle la valeur de C_{env} est de **0,8**.

2. Comme indiqué dans notre précédente analyse [24], l'annexe 9 du guide EDD évoque la possibilité d'un rejet incliné pour des brèches de taille inférieures ou égales à 70 mm.

Pour ces configurations, le guide propose d'appliquer un facteur de réduction de la probabilité défini comme la combinaison :

- d'un facteur 10 pour la présence d'un obstacle, qui conduit à un rejet incliné ;
- et d'un facteur 6 résultant du découpage de l'espace en 6 secteurs angulaires.

Il est proposé, dans le contexte du présent rapport, d'étendre ces facteurs au rejet incliné consécutif à une rupture. Ainsi, il est supposé que :

- la rupture conduira à un rejet incliné dans 10 % des cas, et donc à un rejet vertical dans les 90 % qui restent, d'où la valeur proposée pour le paramètre « a » ;
- la direction du rejet, en cas de rejet incliné, est répartie de façon équiprobable. Elle a donc une chance sur 6 de se trouver dans l'un des 6 secteurs angulaires définis (cf Figure 10), d'où la valeur de $1/6^e$ proposée pour chacun des paramètres « b_i ».

3. Les valeurs des paramètres retenues pour le calcul de la probabilité dépendent pour la plupart :
- des caractéristiques de la canalisation (DN, épaisseur),
 - de sa pose (profondeur d'enfouissement),
 - des mesures compensatoires envisagées,
 - ou de l'environnement de la canalisation (densité de population, éloignement des enjeux).

Toute modification de l'un des éléments ci-dessus est susceptible de modifier la valeur du paramètre associé, et donc la probabilité calculée dans la suite du présent rapport.

Les caractéristiques de la canalisation, la pose et les mesures compensatoires ont été prises en compte à partir des informations descriptives fournies par GRTgaz dans son étude de dangers [12], qui sont considérées en tant que données d'entrée du présent rapport.

La densité de population indiquée par GRTgaz (cf remarque 1 précédente) n'a pas fait l'objet de vérification complémentaire via des vues aériennes ou une visite de terrain par exemple, et a également été considérée en tant que donnée d'entrée du présent rapport.

De même, les distances entre le tracé de la canalisation (initial ou alternatif) et les différentes installations du site nucléaire ont été prises égales aux valeurs indiquées par GRTgaz, sans vérification complémentaire.

Les chapitres suivants présentent l'application numérique des formules (1) et (2) pour :

- le calcul des probabilités annuelles d'atteinte des installations du site nucléaire par les effets thermiques consécutifs à une rupture de la canalisation (chapitre 5),
- et le calcul des probabilités annuelles d'atteinte des installations du site nucléaire par les effets de surpression consécutifs à une rupture de la canalisation (chapitre 6).

5. CALCUL DES PROBABILITES D'ATTEINTE DES INSTALLATIONS DU SITE NUCLEAIRE PAR LES EFFETS THERMIQUES CONSECUTIFS A UNE RUPTURE DE LA CANALISATION

5.1 CHOIX DES SEUILS D'EFFETS

Pour le feu torche associé à la rupture de la canalisation, l'intensité du phénomène dangereux ne peut pas être exprimée par une valeur de flux thermique en fonction de la distance d'éloignement. En effet, le flux thermique incident en un point donné n'est pas constant, il décroît dans les premiers instants de la fuite, puis se stabilise (cf Figures 1 et 6 rappelées ci-dessous).

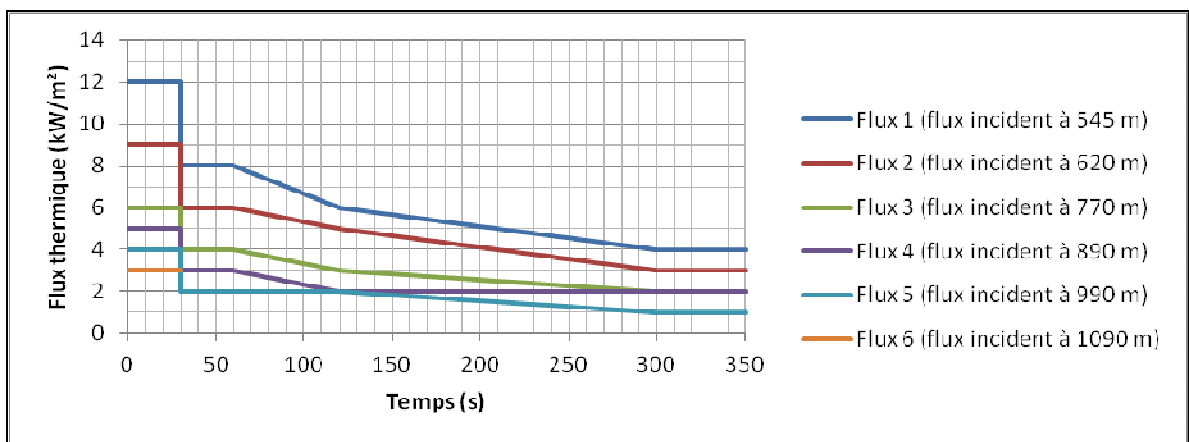


Figure 1 : Représentation graphique des flux thermiques incidents calculés par GRTgaz avec un rejet vertical

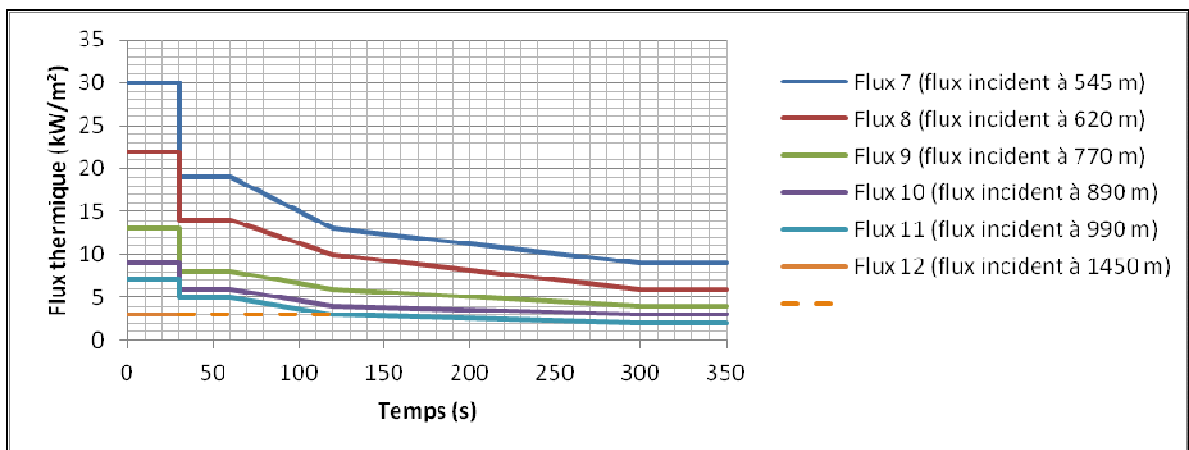


Figure 6 : Représentation graphique des flux thermiques incidents calculés par GRTgaz avec un rejet incliné à 45°, pour un enjeu situé dans la direction du rejet (cas 1)

Dans le cadre d'une étude de vulnérabilité des installations aux effets thermiques, il est pertinent de considérer l'ensemble d'un profil de flux, et non pas uniquement la partie stabilisée, qui pourrait s'avérer minorante par rapport à la partie décroissante dans certaines configurations.

C'est pourquoi il a été retenu de calculer les probabilités d'atteinte des différentes installations du site par chacun de ces profils de flux, et non pas pour une valeur de flux donnée.

D'autre part, selon le CEA, le seuil de vulnérabilité des installations qu'il exploite sur le site de Marcoule est de **3 kW/m²** (cf courrier [26]), ce seuil étant retenu en tant que donnée d'entrée pour le présent rapport, sans avis critique de la part de l'INERIS (cf paragraphe 3.1 du présent rapport).

Il est ainsi proposé de caractériser en particulier les probabilités d'atteinte des installations du site nucléaire par des effets thermiques dont l'intensité minimale est de 3 kW/m².

Ces effets correspondent :

- au profil de flux n°6 pour le rejet vertical,
- au profil de flux n°12 pour le rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu (cas 1),
- au profil de flux n°22 pour le rejet incliné à 45° dans la direction opposée à celle de l'enjeu (cas 3),
- n'ont pas été modélisés pour le rejet incliné à 45° dans une direction perpendiculaire à celle de l'enjeu (cas 2).

Le cas 3 représentant le flux thermique minimal pouvant être atteint au niveau de l'enjeu, il ne sera pas utilisé dans la suite du présent rapport. Les calculs de probabilité d'atteinte seront donc réalisés uniquement pour le rejet vertical et le rejet incliné dans la direction de l'enjeu (cas 1).

5.2 CALCUL DES PROBABILITES D'ATTEINTE DES INSTALLATIONS DU SITE NUCLEAIRE PAR CHACUN DES PHENOMENE DANGEREUX

Le présent paragraphe présente les calculs de :

- la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte sachant un rejet vertical pour le feu torche avec rejet vertical ;
- la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte sachant un rejet incliné dans la direction de l'enjeu (cas 1) pour le feu torche avec rejet incliné.

Ces probabilités sont calculées en appliquant la formule (1) présentée au paragraphe 4.1, avec les valeurs établies au paragraphe 4.3, et sont notées respectivement $P(\text{PhD}_v)$ et $P(\text{PhD}_i)$ dans la formule (2) présentée au paragraphe 4.2.

Les calculs sont réalisés pour l'ensemble des profils de flux déterminés, soit :

- profils de flux n°1 à 6 pour le rejet vertical ;
- profils de flux n°7 à 12 pour le rejet incliné dans la direction de l'enjeu.

Les calculs sont réalisés pour le tracé initial de la canalisation et pour son tracé alternatif.

Les résultats des calculs sont présentés de façon exhaustive et commentés en annexe 3 du présent rapport.

Le tableau suivant reprend les résultats des calculs des probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site sachant l'orientation et la direction du rejet, pour chacun des deux tracés, par des effets thermiques dont l'intensité est supérieure ou égale à 3 kW/m².

Installation du site nucléaire	Tracé initial			Tracé alternatif		
	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Rejet vertical	Rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Rejet vertical	Rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu
Limite de l'enceinte	545 m	2,9.10⁻⁸	4,1.10⁻⁸	1 600 m	3 kW/m² non atteint	3 kW/m² non atteint
PHENIX	620 m	2,8.10⁻⁸	4,0.10⁻⁸	1 700 m	3 kW/m² non atteint	3 kW/m² non atteint
MELOX	770 m	2,4.10⁻⁸	3,8.10⁻⁸	1 850 m	3 kW/m² non atteint	3 kW/m² non atteint
ATALANTE	890 m	2,0.10⁻⁸	3,5.10⁻⁸	1 950 m	3 kW/m² non atteint	3 kW/m² non atteint
SOCODEI	990 m	1,4.10⁻⁸	3,3.10⁻⁸	2 400 m	3 kW/m² non atteint	3 kW/m² non atteint

Tableau 8 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site sachant l'orientation et la direction du rejet, par des effets thermiques dont l'intensité est supérieure ou égale à 3 kW/m²

Conclusion :

En considérant le tracé initialement projeté pour la canalisation, les probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site, consécutivement à une rupture de la canalisation, et sachant l'orientation et la direction du rejet, par des effets thermiques dont l'intensité est supérieure ou égale à 3 kW/m², sont :

- inférieures à **2,9.10⁻⁸** pour un rejet vertical,
- inférieures à **4,1.10⁻⁸** pour un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu.

En considérant le tracé alternatif proposé pour la canalisation, les installations du site **ne seront pas atteintes**, en cas de rupture de la canalisation, par des effets thermiques d'intensité supérieure ou égale à 3 kW/m².

5.3 CALCUL DES PROBABILITES D'ATTEINTE DES INSTALLATIONS DU SITE NUCLEAIRE PAR L'ENSEMBLE DES PHENOMENES DANGEREUX

Le présent paragraphe présente les calculs de la probabilité annuelle d'atteinte des installations du site, consécutivement à une rupture de la canalisation, par des effets thermiques dont l'intensité est supérieure ou égale à 3 kW/m², quelle que soit l'orientation du rejet (vertical ou incliné) et la direction du rejet en cas de rejet incliné.

Ces probabilités sont calculées en appliquant la formule (2) présentée au paragraphe 4.2, avec les valeurs établies au paragraphe 4.3, à partir des probabilités P(PhD_v) et P(PhD_i) calculées au paragraphe précédent.

Les calculs sont réalisés pour le tracé initial de la canalisation et pour son tracé alternatif.

Les résultats des calculs sont présentés de façon exhaustive et commentés en annexe 4 du présent rapport.

Pour effectuer ces calculs, la distance à laquelle l'intensité incidente est inférieure ou égale à 3 kW/m² en cas de rejet incliné dans les secteurs angulaires 2 à 6 est nécessaire mais n'a pas été déterminée dans le cadre des modélisations des phénomènes dangereux. Il a été choisi de retenir, pour ces secteurs angulaires, la distance calculée pour le secteur angulaire n°1. Ce la revient à considérer que 100 % des rejets inclinés le seraient dans la direction de l'enjeu, qui est la direction la plus pénalisante en termes de flux thermique incident au niveau de l'enjeu. Cette hypothèse majorante conduit à une surestimation des probabilités calculées.

Le tableau suivant reprend les résultats des calculs des probabilités annuelles d'atteinte des installations du site, consécutivement à une rupture de la canalisation, par des effets thermiques dont l'intensité est supérieure ou égale à 3 kW/m².

Installation du site nucléaire	Tracé initial		Tracé alternatif	
	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Probabilité annuelle d'atteinte	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Probabilité annuelle d'atteinte
Limite de l'enceinte	545 m	3,0.10⁻⁸	1 600 m	3 kW/m² non atteint
PHENIX	620 m	2,9.10⁻⁸	1 700 m	3 kW/m² non atteint
MELOX	770 m	2,5.10⁻⁸	1 850 m	3 kW/m² non atteint
ATALANTE	890 m	2,1.10⁻⁸	1 950 m	3 kW/m² non atteint
SOCODEI	990 m	1,6.10⁻⁸	2 400 m	3 kW/m² non atteint

Tableau 9 : Probabilités annuelles d'atteinte des installations du site par des effets thermiques dont l'intensité est supérieure ou égale à 3 kW/m² suite à une rupture de la canalisation

Conclusion :

En considérant le tracé initialement projeté pour la canalisation, les probabilités annuelles d'atteinte des installations du site, consécutivement à une rupture de la canalisation, par des effets thermiques dont l'intensité est supérieure ou égale à 3 kW/m², sont inférieures à 3.10⁻⁸.

Cette valeur limite est du même ordre de grandeur (légèrement supérieure) à 2,9.10⁻⁸, calculée en supposant que 100 % des ruptures conduiraient à un rejet vertical (cf paragraphe précédent).

En considérant le tracé alternatif proposé pour la canalisation, les installations du site ne seront pas atteintes, en cas de rupture de la canalisation, par des effets thermiques d'intensité supérieure ou égale à 3 kW/m².

6. CALCUL DES PROBABILITES D'ATTEINTE DES INSTALLATIONS DU SITE NUCLEAIRE PAR LES EFFETS DE SURPRESSION CONSECUTIFS A UNE RUPTURE DE LA CANALISATION

6.1 CHOIX DES SEUILS D'EFFETS

Selon le CEA, le seuil de vulnérabilité des installations qu'il exploite sur le site de Marcoule est de **30 mbar** (cf courrier [26]), ce seuil étant retenu en tant que donnée d'entrée pour le présent rapport, sans avis critique de la part de l'INERIS (cf paragraphe 3.1 du présent rapport).

Par ailleurs, les effets de surpression consécutifs à une rupture ont été évalués à partir du seuil de 10 mbar, puis en progressant par pas de 10 mbar, pour les configurations suivantes :

- rejet vertical,
- rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu.

A la différence des effets thermiques, les effets de surpression incidents n'ont pas été calculés au niveau des différentes installations du site. La surpression maximale susceptible d'être atteinte au niveau de chaque installation du site est donc définie par un intervalle (par exemple comprise entre 20 et 30 mbar), et non pas par une valeur précise.

Il est proposé de caractériser en particulier les probabilités d'atteinte des installations du site nucléaire par des effets de surpression dont l'intensité minimale est respectivement de :

- **30 mbar,**
- **20 mbar,**
- **et 10 mbar.**

6.2 CALCUL DES PROBABILITES D'ATTEINTE DES INSTALLATIONS DU SITE NUCLEAIRE PAR CHACUN DES PHENOMENE DANGEREUX

Le présent paragraphe présente les calculs de :

- la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte sachant un rejet vertical pour l'UVCE avec rejet vertical ;
- la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte sachant un rejet incliné dans la direction de l'enjeu (cas 1) pour l'UVCE avec rejet incliné.

Ces probabilités sont calculées en appliquant la formule (1) présentée au paragraphe 4.1, avec les valeurs établies au paragraphe 4.3, et sont notées respectivement $P(\text{PhD}_v)$ et $P(\text{PhD}_i)$ dans la formule (2) présentée au paragraphe 4.2.

Les calculs sont réalisés pour l'ensemble des surpressions déterminées, soit :

- de 10 à 60 mbar le rejet vertical ;
- de 10 à 120 mbar pour le rejet incliné dans la direction de l'enjeu.

Les calculs sont réalisés pour le tracé initial de la canalisation et pour son tracé alternatif.

Les résultats des calculs sont présentés de façon exhaustive et commentés en annexe 5 du présent rapport.

Les tableaux suivants reprennent les résultats des calculs des probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site sachant l'orientation et la direction du rejet, pour chacun des deux tracés, par des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à :

- 30 mbar (Tableau 10) ;
- 20 mbar (Tableau 11) ;
- 10 mbar (Tableau 12).

Installation du site nucléaire	Tracé initial			Tracé alternatif		
	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Rejet vertical	Rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Rejet vertical	Rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu
Limite de l'enceinte	545 m	2,5.10⁻¹⁰	4,2.10⁻¹⁰	1 600 m	30 mbar non atteint	30 mbar non atteint
PHENIX	620 m	2,4.10⁻¹⁰	4,1.10⁻¹⁰	1 700 m	30 mbar non atteint	30 mbar non atteint
MELOX	770 m	1,9.10⁻¹⁰	3,9.10⁻¹⁰	1 850 m	30 mbar non atteint	30 mbar non atteint
ATALANTE	890 m	1,3.10⁻¹⁰	3,6.10⁻¹⁰	1 950 m	30 mbar non atteint	30 mbar non atteint
SOCODEI	990 m	30 mbar non atteint	3,4.10⁻¹⁰	2 400 m	30 mbar non atteint	30 mbar non atteint

Tableau 10 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site sachant l'orientation et la direction du rejet, par des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 30 mbar

Installation du site nucléaire	Tracé initial			Tracé alternatif		
	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Rejet vertical	Rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Rejet vertical	Rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu
Limite de l'enceinte	545 m	4,0.10⁻¹⁰	6,0.10⁻¹⁰	1 600 m	20 mbar non atteint	3,9.10⁻¹⁰
PHENIX	620 m	3,9.10⁻¹⁰	5,9.10⁻¹⁰	1 700 m	20 mbar non atteint	3,4.10⁻¹⁰
MELOX	770 m	3,6.10⁻¹⁰	5,8.10⁻¹⁰	1 850 m	20 mbar non atteint	2,6.10⁻¹⁰
ATALANTE	890 m	3,4.10⁻¹⁰	5,6.10⁻¹⁰	1 950 m	20 mbar non atteint	1,8.10⁻¹⁰
SOCODEI	990 m	3,1.10⁻¹⁰	5,5.10⁻¹⁰	2 400 m	20 mbar non atteint	20 mbar non atteint

Tableau 11 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site sachant l'orientation et la direction du rejet, par des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 20 mbar

Installation du site nucléaire	Tracé initial			Tracé alternatif		
	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Rejet vertical	Rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Rejet vertical	Rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu
Limite de l'enceinte	545 m	7,8.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹	1 600 m	6,3.10⁻¹⁰	9,9.10⁻¹⁰
PHENIX	620 m	7,8.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹	1 700 m	6,1.10⁻¹⁰	9,7.10⁻¹⁰
MELOX	770 m	7,6.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹	1 850 m	5,7.10⁻¹⁰	9,5.10⁻¹⁰
ATALANTE	890 m	7,5.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹	1 950 m	5,3.10⁻¹⁰	9,3.10⁻¹⁰
SOCODEI	990 m	7,4.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹	2 400 m	3,2.10⁻¹⁰	8,2.10⁻¹⁰

Tableau 12 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site sachant l'orientation et la direction du rejet, par des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 10 mbar

Conclusion :

En considérant le tracé initialement projeté pour la canalisation, les probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site, sachant l'orientation et la direction du rejet, sont :

- inférieures à $4,2.10^{-10}$ pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 30 mbar,
- inférieures à $6,0.10^{-10}$ pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 20 mbar,
- inférieures à $1,1.10^{-9}$ pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 10 mbar.

En considérant le tracé alternatif proposé pour la canalisation :

- les installations du site **ne seront pas atteintes**, en cas de rupture de la canalisation, par des effets de surpression d'intensité supérieure ou égale à 30 mbar ;
- les probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site, sachant l'orientation et la direction du rejet, sont inférieures à $3,9.10^{-10}$ pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 20 mbar ;
- ces probabilités sont inférieures à $9,9.10^{-10}$ pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 10 mbar.

6.3 CALCUL DES PROBABILITES D'ATTEINTE DES INSTALLATIONS DU SITE NUCLEAIRE PAR L'ENSEMBLE DES PHENOMENES DANGEREUX

Le présent paragraphe présente les calculs de la probabilité annuelle d'atteinte des installations du site, consécutivement à une rupture de la canalisation, quelle que soit l'orientation du rejet (vertical ou incliné) et la direction du rejet en cas de rejet incliné, par des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale respectivement à :

- 30 mbar ;
- 20 mbar ;
- 10 mbar.

Ces probabilités sont calculées en appliquant la formule (2) présentée au paragraphe 4.2, avec les valeurs établies au paragraphe 4.3, à partir des probabilités $P(\text{PhD}_v)$ et $P(\text{PhD}_i)$ calculées au paragraphe précédent.

Les calculs sont réalisés pour le tracé initial de la canalisation et pour son tracé alternatif.

Les résultats des calculs sont présentés de façon exhaustive et commentés en annexe 6 du présent rapport.

Pour effectuer ces calculs, la distance à laquelle l'intensité incidente est inférieure ou égale à la valeur considérée (30 mbar, 20 mbar ou 10 mbar) en cas de rejet incliné dans les secteurs angulaires 2 à 6 est nécessaire mais n'a pas été déterminée dans le cadre des modélisations des phénomènes dangereux. Il a été choisi de retenir, pour ces secteurs angulaires, la distance calculée pour le secteur angulaire n°1. Cela revient à considérer que 100 % des rejets inclinés le seraient dans la direction de l'enjeu, qui est la direction la plus pénalisante en termes de surpression incidente au niveau de l'enjeu. Cette hypothèse majorante conduit à une surestimation des probabilités calculées.

Les tableaux suivants reprennent les résultats des calculs des probabilités annuelles d'atteinte des installations du site, consécutivement à une rupture de la canalisation, pour chacun des deux tracés, par des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale respectivement à :

- 30 mbar (Tableau 13).
- 20 mbar (Tableau 14).
- 10 mbar (Tableau 15).

<i>Installation du site nucléaire</i>	<i>Tracé initial</i>		<i>Tracé alternatif</i>	
	<i>Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation</i>	<i>Probabilité annuelle d'atteinte</i>	<i>Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation</i>	<i>Probabilité annuelle d'atteinte</i>
Limite de l'enceinte	545 m	2,7.10⁻¹⁰	1 600 m	30 mbar non atteint
PHENIX	620 m	2,5.10⁻¹⁰	1 700 m	30 mbar non atteint
MELOX	770 m	2,1.10⁻¹⁰	1 850 m	30 mbar non atteint
ATALANTE	890 m	1,5.10⁻¹⁰	1 950 m	30 mbar non atteint
SOCODEI	990 m	3,4.10⁻¹¹	2 400 m	30 mbar non atteint

Tableau 13 : Probabilités annuelles d'atteinte des installations du site par des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 30 mbar suite à une rupture de la canalisation

<i>Installation du site nucléaire</i>	<i>Tracé initial</i>		<i>Tracé alternatif</i>	
	<i>Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation</i>	<i>Probabilité annuelle d'atteinte</i>	<i>Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation</i>	<i>Probabilité annuelle d'atteinte</i>
Limite de l'enceinte	545 m	4,2.10⁻¹⁰	1 600 m	3,9.10⁻¹¹
PHENIX	620 m	4,1.10⁻¹⁰	1 700 m	3,4.10⁻¹¹
MELOX	770 m	3,9.10⁻¹⁰	1 850 m	2,6.10⁻¹¹
ATALANTE	890 m	3,6.10⁻¹⁰	1 950 m	1,8.10⁻¹¹
SOCODEI	990 m	3,3.10⁻¹⁰	2 400 m	20 mbar non atteint

Tableau 14 : Probabilités annuelles d'atteinte des installations du site par des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 20 mbar suite à une rupture de la canalisation

<i>Installation du site nucléaire</i>	<i>Tracé initial</i>		<i>Tracé alternatif</i>	
	<i>Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation</i>	<i>Probabilité annuelle d'atteinte</i>	<i>Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation</i>	<i>Probabilité annuelle d'atteinte</i>
Limite de l'enceinte	545 m	8,1.10⁻¹⁰	1 600 m	6,7.10⁻¹⁰
PHENIX	620 m	8,1.10⁻¹⁰	1 700 m	6,5.10⁻¹⁰
MELOX	770 m	8,0.10⁻¹⁰	1 850 m	6,0.10⁻¹⁰
ATALANTE	890 m	7,8.10⁻¹⁰	1 950 m	5,7.10⁻¹⁰
SOCODEI	990 m	7,7.10⁻¹⁰	2 400 m	3,7.10⁻¹⁰

Tableau 15 : Probabilités annuelles d'atteinte des installations du site par des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 10 mbar suite à une rupture de la canalisation

Conclusion :

En considérant le tracé initialement projeté pour la canalisation, les probabilités annuelles d'atteinte des installations du site, consécutivement à une rupture de la canalisation, sont :

- **inférieures à $2,7.10^{-10}$ pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 30 mbar,**
- **inférieures à $4,2.10^{-10}$ pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 20 mbar,**
- **inférieures à $8,1.10^{-10}$ pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 10 mbar.**

En considérant le tracé alternatif proposé pour la canalisation :

- **les installations du site ne seront pas atteintes, en cas de rupture de la canalisation, par des effets de surpression d'intensité supérieure ou égale à 30 mbar ;**
- **les probabilités annuelles d'atteinte des installations du site, consécutivement à une rupture de la canalisation, sont inférieures à $3,9.10^{-11}$ pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 20 mbar ;**
- **ces probabilités sont inférieures à $6,7.10^{-10}$ pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à 10 mbar.**

Ces valeurs limites sont du même ordre de grandeur (légèrement supérieures) à celles calculées en supposant que 100 % des ruptures conduiraient à un rejet vertical (cf paragraphe précédent).

7. CONCLUSION

Le présent rapport a été établi dans l'objectif d'évaluer les probabilités d'atteinte du site nucléaire de Marcoule par les différents phénomènes dangereux consécutifs à une rupture de la canalisation ERIDAN, en considérant le tracé initialement projeté et le tracé alternatif.

La présente version de ce document (version D) est le résultat de plusieurs échanges successifs avec le BSEI.

En considérant le **tracé initialement projeté** pour la canalisation, les probabilités annuelles d'atteinte des installations du site, consécutivement à une rupture de la canalisation, sont :

- **inférieures à 3.10^{-8}** pour des effets **thermiques** dont l'intensité est supérieure ou égale à **3 kW/m²**,
- **inférieures à $2,7.10^{-10}$** pour des effets de **surpression** dont l'intensité est supérieure ou égale à **30 mbar**,
- **inférieures à $4,2.10^{-10}$** pour des effets de **surpression** dont l'intensité est supérieure ou égale à **20 mbar**,
- inférieures à **$8,1.10^{-10}$** pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à **10 mbar**.

En considérant le **tracé alternatif** proposé pour la canalisation, en cas de rupture de la canalisation :

- les installations du site **ne seront pas atteintes** par :
 - des effets thermiques d'intensité supérieure ou égale à **3 kW/m²**,
 - des effets de surpression d'intensité supérieure ou égale à **30 mbar** ;
- les probabilités annuelles d'atteinte des installations du site sont :
 - inférieures à **$3,9.10^{-11}$** pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à **20 mbar**,
 - inférieures à **$6,7.10^{-10}$** pour des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à **10 mbar**.

Ces valeurs limites, calculées en considérant que 10 % des rejets seront inclinés à 45° dans le sens de l'enjeu, sont du même ordre de grandeur que celles calculées en supposant que 100 % des ruptures conduiraient à un rejet vertical.

Les résultats présentés dans ce rapport correspondent à une approche **simplifiée et conservative**. En effet :

- certaines hypothèses ont été retenues de façon volontairement simplificatrice et majorante, elles ont dans ce cas été mentionnées comme telles dans le présent rapport ;
- l'influence des conditions météorologiques sur les probabilités n'a pas été prise en compte. Il a été considéré que le vent soufflait systématiquement dans la direction la plus défavorable (à savoir du point de rejet vers l'enjeu considéré), avec une vitesse conduisant à l'intensité la plus importante. En toute rigueur, les conditions météorologiques devraient être probabilisées, par exemple sur la base des données recueillies sur les 10 dernières années, et intégrées au calcul des probabilités annuelles d'atteinte.
- La prise en compte de l'orientation du rejet a été simplifiée par le choix des deux situations extrêmes (rejet vertical et rejet incliné à 45°). De même, la direction du rejet en cas de rejet incliné a été choisie de façon forfaitaire et pénalisante vers l'enjeu. Une approche plus fine nécessiterait de déterminer des probabilités spécifiques à chaque inclinaison et chaque direction de rejet.

Les probabilités qui seraient calculées en appliquant les approches plus détaillées évoquées ci-dessus seraient en tout état de cause inférieures à celles qui ont été obtenues en appliquant les hypothèses simplificatrices et majorantes.

D'autre part, il est rappelé ici que les valeurs des paramètres retenues pour le calcul des probabilités d'atteinte dépendent pour la plupart :

- des caractéristiques de la canalisation (DN, épaisseur),
- de sa pose (profondeur d'enfouissement),
- des mesures compensatoires envisagées,
- de son environnement (densité de population, éloignement des enjeux).

Toute modification de l'un des éléments ci-dessus est susceptible de modifier la valeur du paramètre associé, et donc la probabilité calculée.

8. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Documents de référence	3
Annexe 2	Glossaire	1
Annexe 3	Calculs des probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte sachant l'orientation et la direction du rejet pour les effets thermiques	7
Annexe 4	Calculs des probabilités annuelles d'atteinte par des effets thermiques d'intensité supérieure ou égale à 3 kW/m ²	3
Annexe 5	Calculs des probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte sachant l'orientation et la direction du rejet pour les effets de surpression	9
Annexe 6	Calculs des probabilités annuelles d'atteinte par des effets de surpression d'intensité supérieure ou égale à 30 mbar, 20 mbar et 10 mbar	2

**Annexe 1 :
Documents de référence**

1. REFERENCES REGLEMENTAIRES

- [1] Arrêté du 4 août 2006 portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz combustibles, d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés et de produits chimiques, modifié par l'arrêté du 20 décembre 2010
- [2] GESIP, Rapport n°2008/01, Guide Méthodologique pour la réalisation d'une étude de sécurité concernant une canalisation de transport (hydrocarbures liquides ou liquéfiés, gaz combustibles et produits chimiques), édition du 18 décembre 2008, reconnu par la décision n°DGPR/BSEI-09-001 du 5 janvier 2009
- [3] GESIP, Rapport n°2008/01 révision 2012 – version du 12 décembre 2012, Guide Méthodologique pour la réalisation d'une étude de sécurité concernant une canalisation de transport (hydrocarbures liquides ou liquéfiés, gaz combustibles et produits chimiques), reconnu par la décision BSEI n°2012-150 du 17 décembre 2012
- [4] Circulaire n°DARQSI/BSEI-06-254 du 4 août 2006 relative au porter à connaissance à fournir dans le cadre de l'établissement des documents d'urbanisme en matière de canalisations de transport de matières dangereuses (gaz combustibles, hydrocarbures liquides ou liquéfiés, produits chimiques)
- [5] Règle Fondamentale de Sûreté N°1.2.d du 7 mai 1982 relative à la prise en compte des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication
- [6] Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003
- [7] Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation

2. REFERENCES TECHNIQUES

- [8] Courrier du CEA à GRTgaz en date du 9 février 2012
- [9] Courrier de GRTgaz au CEA en date du 22 mai 2012
- [10] GRTgaz, Projet ERIDAN – Note sur les scénarios et les effets analysés dans les études de dangers des canalisations de transport de gaz naturel, référencée B33-SIS-EP-012-034 en date du 22 mai 2012
- [11] DAVIDSON PACA, Analyse des risques liés à l'implantation du futur gazoduc ERIDAN, note 2012/042/PACA/ENV, édition 1 en date du 23 juillet 2012
- [12] GRTgaz, Etude de dangers (pièce 7 de la Demande d'Autorisation Ministérielle de Transport de Gaz n°AM – RE1 – 0021 relative à la canalisation ERIDAN) : résumé non technique, partie générique et ses annexes, partie spécifique et ses annexes, révision 0 d'août 2012
- [13] Courrier du CEA à GRTgaz en date du 10 septembre 2012
- [14] ASN Division de Marseille, Relevé de Décisions suite à la réunion du 9 septembre 2012 à Marseille, en date du 18 septembre 2012
- [15] Courrier de la DREAL Rhône-Alpes à GRTgaz en date du 3 octobre 2012
- [16] Courrier de la DREAL Languedoc-Roussillon au CEA en date du 4 octobre 2012
- [17] Courrier de GRTgaz à la DREAL Rhône-Alpes en date du 26 octobre 2012 (Analyse critique de l'étude réalisée par DAVIDSON PACA pour le CEA Marcoule)
- [18] INERIS, Modélisation des jets de gaz naturel : application aux canalisations de transport - Description du phénomène physique et applications, rapport final référencé DRA-12-132737-11628C en date de janvier 2013
- [19] INERIS, Distances d'effets de scénarios accidentels impliquant des canalisations de transport et de distribution de gaz naturel, J. Hébrard, rapport référencé DRA- DRA-10-111642-01486D en date du 17 mai 2011
- [20] INERIS, Programme EAT-DRA-34 - Opération e - Les effets dominos dans l'analyse des risques, rapport référencé 46036 en date du 29/12/2006
- [21] GDF Suez - Direction de la Recherche et de l'Innovation, L'épaisseur Fuite-Rupture : origine et fondements - Application aux canalisations du réseau GRTgaz, mémo référencé M-DRX-TTP-2009-0356-PBi en date du 26 novembre 2009
- [22] INERIS, Avis sur la note « Addenda à l'étude de sécurité » remise par la société GRTgaz au BSEI dans le cadre de l'évaluation des risques des canalisations de transport, S. Descourrière, note référencée DRA-10-111640-03946A en date du 22 avril 2010
- [23] Guide de maîtrise des risques technologiques dans les Dépôts de Liquides Inflammables (hors produits réchauffés, et hors stockages raffineries et usines pétrochimiques), Septembre 2008

- [24] INERIS, Analyse de la note intitulée « Analyse des risques liés à l'implantation du futur gazoduc Eridan » au regard de la conformité aux référentiels reconnus, S. Descourrière, note référencée INERIS-DRA-12-126162-12397B en date du 20 décembre 2012
- [25] GRTgaz, PROJET ERIDAN : calcul des flux thermiques incidents sur les installations du CEA Marcoule en cas de rejet initialement incliné à 45°, note de calcul jointe au mel du 11 février 2013, complétée par le mel en date du 06 mars 2013
- [26] Courrier du CEA à la DREAL Languedoc-Roussillon en date du 14 janvier 2013
- [27] INERIS, Complément à la note INERIS-DRA-12-126162-12397B du 20 décembre 2012 (analyse de la note intitulée « Analyse des risques liés à l'implantation du futur gazoduc Eridan » au regard de la conformité aux référentiels reconnus), note référencée INERIS-DRA-13-133667-01471B en date du 15 mars 2013
- [28] Courriers électroniques du BSEI en date du 5 et du 9 avril 2013
- [29] Courriers électroniques du BSEI en date du 17 et du 23 avril 2013

Annexe 2 : Glossaire

ASN :	Autorité de Sûreté Nucléaire
DN :	Diamètre Nominal
DREAL :	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DSND :	Délégué à la Sûreté Nucléaire et à la radioprotection pour les activités et installations intéressant la Défense
EDD :	Etude De Dangers
EGIG :	European Gas Pipeline incident Data Group
ELS :	Effets Létaux Significatifs
INERIS :	Institut National de l'Environnement industriel et des Risques
IRE :	Effets IrREversibles
IRSN :	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
PEL :	Premiers Effets Létaux
PMS :	Pression Maximale de Service
UVCE :	Unconfined Vapour Cloud Explosion (explosion d'un nuage gazeux non confiné)

Annexe 3 :
Calculs des probabilités annuelles conditionnelles
d'atteinte sachant l'orientation et la direction du rejet
pour les effets thermiques

1. FEU TORCHE CONSECUTIF A UN REJET VERTICAL

Le présent paragraphe présente les calculs de la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte par les effets thermiques sachant un rejet vertical.

Ces probabilités sont calculées en appliquant la formule (1) présentée au paragraphe 4.1 du présent rapport, avec les valeurs établies au paragraphe 4.3 du présent rapport pour les paramètres autres que D et d.

D et d sont déterminées de la façon suivante :

- d est la distance entre la canalisation et l'installation du site nucléaire considérée en tant qu'enjeu ;
- D est la distance, à partir de la canalisation, à laquelle le profil de flux considéré est atteint.

Le tableau ci-dessous précise les distances d'éloignement des différentes installations du site par rapport au tracé initial et au tracé alternatif (paramètre « d ») :

<i>Installation du site nucléaire</i>	<i>Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation avec le tracé initial (*)</i>	<i>Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation avec le tracé alternatif (**)</i>
Limite de l'enceinte	545 m	1 600 m
PHENIX	620 m	1 700 m
MELOX	770 m	1 850 m
ATALANTE	890 m	1 950 m
SOCODEI	990 m	2 400 m
Non précisé	1 090 m	/
Non précisé	1 450 m	/

(*) Données issues des notes [10] et [25] de GRTGaz

(**) Données issues de [28] (données de GRTgaz transmises par le BSEI)

Tableau 16 : Distances entre les installations du site nucléaire et les tracés projetés de la canalisation

Les résultats de modélisation des effets thermiques du feu torche consécutif à un rejet vertical, rappelés ci-après, permettent de définir la distance D :

Profil de flux n°	Distance D à laquelle le profil de flux est atteint	Flux thermique aux différents périodes sous le vent			
		0 – 30 s	30 – 60 s	120 s	300 s
1	545 m	12 kW/m ²	8 kW/m ²	6 kW/m ²	4 kW/m ²
2	620 m	9 kW/m ²	6 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²
3	770 m	6 kW/m ²	4 kW/m ²	3 kW/m ²	2 kW/m ²
4	890 m	5 kW/m ²	3 kW/m ²	2 kW/m ²	2 kW/m ²
5	990 m	4 kW/m ²	2 kW/m ²	2 kW/m ²	1 kW/m ²
6	1 090 m	3 kW/m ²	< 3 kW/m ²	< 3 kW/m ²	< 3 kW/m ²

Tableau 17 : Flux thermiques retenus pour le feu torche avec rejet vertical

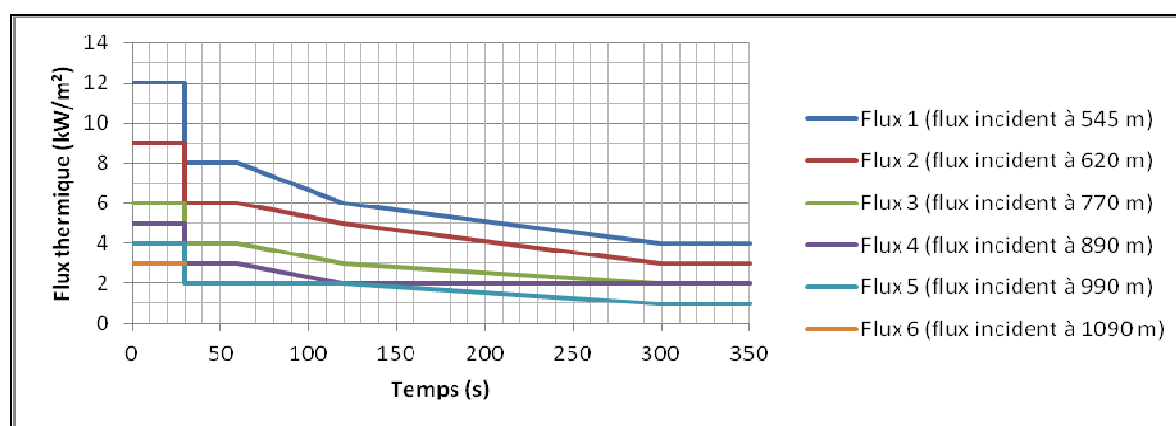


Figure 1 : Représentation graphique des flux thermiques incidents avec rejet vertical

Les résultats des calculs de la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte par les effets thermiques sachant un rejet vertical sont présentés dans les deux tableaux suivants, consacrés respectivement au tracé initial et au tracé alternatif de la canalisation. Les valeurs ont été arrondies au dixième supérieur de façon conservative.

Installation du site nucléaire	Eloignement d de l'installation par rapport à la canalisation (tracé initial)	Flux thermique incident à la distance d	Probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte de l'installation sachant un rejet vertical par un profil de flux d'intensité égale ou supérieure au					
			Profil de flux 1	Profil de flux 2	Profil de flux 3	Profil de flux 4	Profil de flux 5	Profil de flux 6
			D = 545 m	D = 620 m	D = 770 m	D = 890 m	D = 990 m	D = 1090 m
Limite de l'enceinte	545 m	Profil de flux 1	0	9,0.10 ⁻⁹	1,7.10 ⁻⁸	2,2.10 ⁻⁸	2,6.10 ⁻⁸	2,9.10⁻⁸
PHENIX	620 m	Profil de flux 2	Non atteint	0	1,4.10 ⁻⁸	2,0.10 ⁻⁸	2,4.10 ⁻⁸	2,8.10⁻⁸
MELOX	770 m	Profil de flux 3	Non atteint	Non atteint	0	1,4.10 ⁻⁸	1,9.10 ⁻⁸	2,4.10⁻⁸
ATALANTE	890 m	Profil de flux 4	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	1,4.10 ⁻⁸	2,0.10⁻⁸
SOCODEI	990 m	Profil de flux 5	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	1,4.10⁻⁸
Non précisé	1090 m	Profil de flux 6	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0

Tableau 18 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site par les effets thermiques d'un feu torche sachant un rejet vertical - Tracé initial de la canalisation

Installation du site nucléaire	Eloignement d de l'installation par rapport à la canalisation (tracé alternatif)	Flux thermique incident à la distance d	Probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte de l'installation sachant un rejet vertical par un profil de flux d'intensité égale ou supérieure au					
			Profil de flux 1	Profil de flux 2	Profil de flux 3	Profil de flux 4	Profil de flux 5	Profil de flux 6
			D = 545 m	D = 620 m	D = 770 m	D = 890 m	D = 990 m	D = 1090 m
Limite de l'enceinte	1 600 m	< 3 kW/m ²	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
PHENIX	1 700 m	< 3 kW/m ²	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
MELOX	1 850 m	< 3 kW/m ²	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
ATALANTE	1 950 m	< 3 kW/m ²	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
SOCODEI	2 400 m	< 3 kW/m ²	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint

Tableau 19 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site par les effets thermiques d'un feu torche sachant un rejet vertical - Tracé alternatif de la canalisation

Dans les tableaux précédents :

- la probabilité indiquée pour une ligne et une colonne données correspond à la probabilité annuelle conditionnelle qu'une rupture de la canalisation sachant un rejet vertical génère au niveau d'une installation située à la distance « d » lue en ligne un effet thermique dont l'intensité sera égale ou supérieure au profil de flux incident lu en colonne ;
- si $d = D$, alors le flux thermique incident à la distance d est égal au profil de flux considéré, et la probabilité d'atteinte annuelle sachant un rejet vertical par un flux d'intensité égale ou supérieure est nulle, puisque la longueur d'effet est nulle => « 0 » dans le tableau ;
- si $d > D$, alors le flux thermique incident à la distance d est inférieur au profil de flux considéré, et la probabilité d'atteinte annuelle sachant un rejet vertical par un flux d'intensité égale ou supérieure est nulle => « Non atteint » dans le tableau ;
- la dernière colonne en caractère gras indique les probabilités d'atteinte calculées pour un effet thermique dont l'intensité est supérieure ou égale à 3 kW/m^2 , c'est-à-dire pour le profil de flux n°6.

2. FEU TORCHE CONSECUTIF A UN REJET INCLINE A 45° DANS LA DIRECTION DE L'ENJEU

Le présent paragraphe présente les calculs de la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte par les effets thermiques sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu considéré.

Ces probabilités sont calculées en appliquant la formule (1) présentée au paragraphe 4.1 du présent rapport, avec les valeurs établies au paragraphe 4.3 du présent rapport pour les paramètres autres que D et d.

D et d sont déterminées de la façon suivante :

- d est la distance entre la canalisation et l'installation du site nucléaire considérée en tant qu'enjeu ;
- D est la distance, à partir de la canalisation, à laquelle le profil de flux considéré est atteint.

Les distances d'éloignement sont indiquées dans le Tableau 16 présenté au paragraphe précédent.

Les résultats de modélisation des effets thermiques du feu torche consécutif à un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu, r appelés ci-après, permettent de définir la distance D :

Profil de flux n°	Distance D à laquelle le profil de flux est atteint	Flux thermique aux différents périodes sous le vent			
		0 – 30 s	30 – 60 s	120 s	300 s
7	545 m	30 kW/m ²	19 kW/m ²	13 kW/m ²	9 kW/m ²
8	620 m	22 kW/m ²	14 kW/m ²	10 kW/m ²	6 kW/m ²
9	770 m	13 kW/m ²	8 kW/m ²	6 kW/m ²	4 kW/m ²
10	890 m	9 kW/m ²	6 kW/m ²	4 kW/m ²	3 kW/m ²
11	990 m	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²	2 kW/m ²
12	1 450 m	3 kW/m ²	< 3 kW/m ²	< 3 kW/m ²	< 3 kW/m ²

Tableau 20 : Flux thermiques retenus pour le feu torche avec rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu

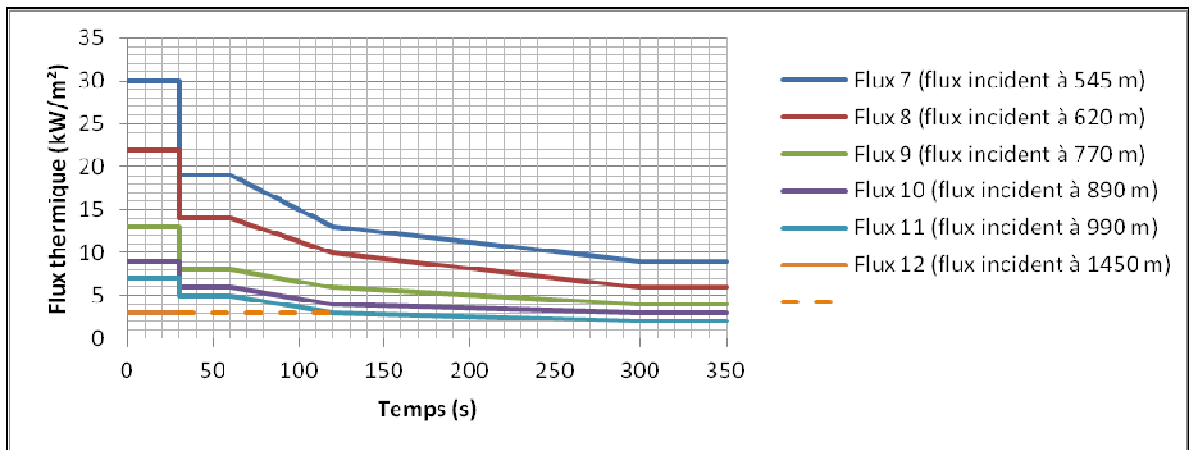


Figure 6 : Représentation graphique des flux thermiques incidents avec rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu

Les résultats des calculs de la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte par les effets thermiques sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu sont présentés dans les deux tableaux suivants, consacrés respectivement au tracé initial et au tracé alternatif de la canalisation. Les valeurs ont été arrondies au dixième supérieur de façon conservative.

Installation du site nucléaire	Eloignement d de l'installation par rapport à la canalisation (tracé initial)	Flux thermique incident à la distance d	Probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte de l'installation sachant un rejet incliné par un profil de flux d'intensité égale ou supérieure au					
			Profil de flux 7	Profil de flux 8	Profil de flux 9	Profil de flux 10	Profil de flux 11	Profil de flux 12
			D = 545 m	D = 620 m	D = 770 m	D = 890 m	D = 990 m	D = 1450 m
Limite de l'enceinte	545 m	Profil de flux 1	0	$9,0 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$4,1 \cdot 10^{-8}$
PHENIX	620 m	Profil de flux 2	Non atteint	0	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$
MELOX	770 m	Profil de flux 3	Non atteint	Non atteint	0	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-8}$
ATALANTE	890 m	Profil de flux 4	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$3,5 \cdot 10^{-8}$
SOCODEI	990 m	Profil de flux 5	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	$3,3 \cdot 10^{-8}$
Non précisé	1 090 m	Non modélisé	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	$3,0 \cdot 10^{-8}$
Non précisé	1 450 m	Profil de flux 6	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0

Tableau 21 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site par les effets thermiques sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu - Tracé initial de la canalisation

Installation du site nucléaire	Eloignement d de l'installation par rapport à la canalisation (tracé alternatif)	Flux thermique incident à la distance d	Probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte de l'installation sachant un rejet incliné par un profil de flux d'intensité égale ou supérieure au					
			Profil de flux 7	Profil de flux 8	Profil de flux 9	Profil de flux 10	Profil de flux 11	Profil de flux 12
			D = 545 m	D = 620 m	D = 770 m	D = 890 m	D = 990 m	D = 1450 m
Limite de l'enceinte	1 600 m	< 3 kW/m ²	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
PHENIX	1 700 m	< 3 kW/m ²	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
MELOX	1 850 m	< 3 kW/m ²	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
ATALANTE	1 950 m	< 3 kW/m ²	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint
SOCODEI	2 400 m	< 3 kW/m ²	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint

Tableau 22 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site par les effets thermiques sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu - Tracé alternatif de la canalisation

Dans les tableaux précédents :

- la probabilité indiquée pour une ligne et une colonne données correspond à la probabilité annuelle conditionnelle qu'une rupture de la canalisation sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu génère au niveau d'une installation située à la distance « d » lue en ligne un effet thermique dont l'intensité sera égale ou supérieure au profil de flux incident lu en colonne ;
- si $d = D$, alors le flux thermique incident à la distance d est égal au profil de flux considéré, et la probabilité d'atteinte annuelle sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu par un flux d'intensité égale ou supérieure est nulle, puisque la longueur d'effet est nulle => « 0 » dans le tableau ;
- si $d > D$, alors le flux thermique incident à la distance d est inférieur au profil de flux considéré, et la probabilité d'atteinte annuelle sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu par un flux d'intensité égale ou supérieure est nulle => « Non atteint » dans le tableau ;
- la dernière colonne en caractère gras indique les probabilités d'atteinte calculées pour un effet thermique dont l'intensité est supérieure ou égale à 3 kW/m², c'est-à-dire pour le profil de flux n°12 ;
- les valeurs de probabilités calculées dans le Tableau 21 pour les profils de flux n°7 à 11 sont identiques à celles calculées dans le Tableau 18 pour les profils de flux n°1 à 5. En effet, les valeurs de tous les paramètres de calcul, dont d et D, sont identiques. En revanche, les profils de flux sont différents (les profils de flux n°7 à 11 présentent des intensités incidentes supérieures aux profils de flux n°1 à 5).

Annexe 4 :
Calculs des probabilités annuelles d'atteinte
par des effets thermiques
d'intensité supérieure ou égale à 3 kW/m²

1. TRACE INITIAL DE LA CANALISATION

Le présent paragraphe présente les calculs de la probabilité annuelle d'atteinte des installations du site par les effets thermiques d'une intensité supérieure ou égale à 3 kW/m^2 , en considérant le tracé initial de la canalisation.

Ces probabilités sont calculées en appliquant la formule (2) présentée au paragraphe 4.2 du présent rapport, avec les valeurs établies au paragraphe 4.3 du présent rapport.

Comme indiqué au paragraphe 4.2 du présent rapport, cette formule s'appuie, pour la contribution des rejets inclinés, sur un découpage forfaitaire de l'environnement en 6 secteurs angulaires définis à partir de la direction de l'enjeu, qui sont représentés sur la figure ci-après.

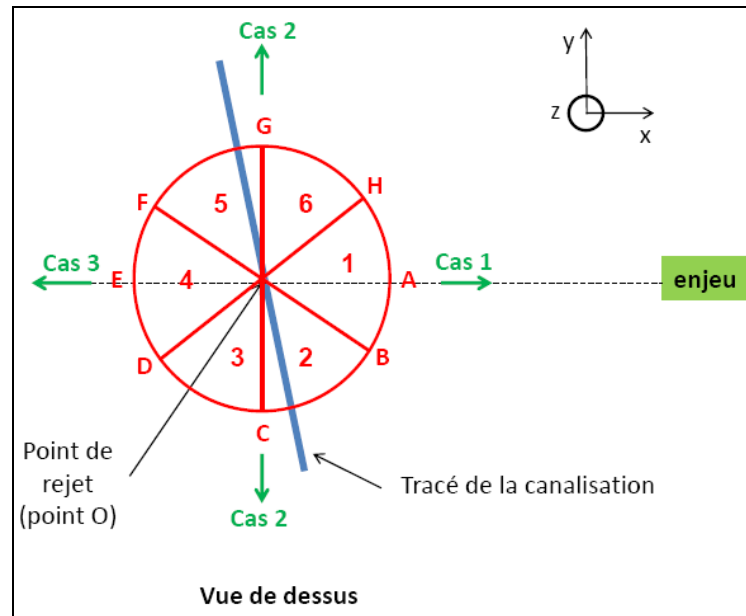


Figure 10 : Rejet incliné à 45° - Secteurs angulaires par rapport à l'enjeu

Pour chacun des secteurs angulaires, une direction de rejet enveloppe est choisie, de façon à ce que l'intensité incidente au niveau de l'enjeu qui résulterait d'un rejet dans cette direction soit égale ou supérieure à l'intensité incidente au niveau de l'enjeu qui résulterait d'un rejet dans n'importe quelle direction comprise dans ce secteur angulaire :

- pour le secteur angulaire n°1, la direction de rejet la plus pénalisante est celle de l'enjeu (direction OA). Elle correspond au cas n°1 dans les modélisations de feu torche présentées au paragraphe 3.3 du présent rapport ;

- pour les secteurs angulaires n°2 et n°6 (qui sont symétriques), la direction de rejet la plus pénalisante est celle qui est la plus proche de l'enjeu, soit la direction OB pour le secteur 2 et la direction OH pour le secteur 6 ;
- pour les secteurs angulaires n°3 et n°5 (qui sont symétriques), la direction de rejet la plus pénalisante est là encore celle qui est la plus proche de l'enjeu, soit la direction OC pour le secteur 3 et la direction OG pour le secteur 5. Ces directions correspondent au cas n°2 dans les modélisations de feu torche présentées au paragraphe 3.3 du présent rapport ;
- pour le secteur angulaire n°4, la direction de rejet la plus pénalisante est là encore celle qui est la plus proche de l'enjeu, soit la direction OD ou la direction OF (qui sont symétriques par rapport à l'enjeu).

Pour pouvoir appliquer la formule (2) avec l'intensité I_{\min} retenue, soit 3 kW/m², il est nécessaire de disposer de la distance à laquelle le flux thermique incident au niveau de l'enjeu est inférieur ou égal à 3 kW/m², pour chacune des directions de rejet enveloppe déterminées ci-avant.

Or ces distances ont été déterminées uniquement pour un rejet incliné dans la direction de l'enjeu ou direction OA (cas 1), et ne sont pas connues pour les autres directions identifiées ci-dessus comme enveloppes.

Il est donc choisi, de façon simplificatrice et majorante, de retenir la distance calculée dans le cas 1 pour l'ensemble des secteurs angulaires n°1 à 6. Cela revient à considérer que 100 % des rejets inclinés le seraient dans la direction de l'enjeu, qui est la direction la plus pénalisante en termes de flux thermique incident au niveau de l'enjeu.

Les résultats des calculs de la probabilité annuelle d'atteinte des installations du site par les effets thermiques d'une intensité supérieure ou égale à 3 kW/m², en considérant le tracé initial de la canalisation, sont présentés dans le tableau suivant. Les valeurs ont été arrondies au dixième supérieur de façon conservative.

<i>Installation du site nucléaire</i>	<i>Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation</i>	<i>Probabilité annuelle d'atteinte</i>
Limite de l'enceinte	545 m	3,0.10⁻⁸
PHENIX	620 m	2,9.10⁻⁸
MELOX	770 m	2,5.10⁻⁸
ATALANTE	890 m	2,1.10⁻⁸
SOCODEI	990 m	1,6.10⁻⁸
Non précisé	1 090 m	3,0.10⁻⁹
Non précisé	1 450 m	0

Tableau 23 : Probabilités annuelles d'atteinte des installations du site par des effets thermiques dont l'intensité est supérieure ou égale à 3 kW/m², pour le tracé initial de la canalisation

2. TRACE ALTERNATIF DE LA CANALISATION

En considérant le tracé alternatif de la canalisation, les flux thermiques incidents au niveau des installations du site nucléaire seront inférieurs à 3 kW/m², quelle que soit l'orientation du rejet et sa direction en cas de rejet incliné.

Il n'y a donc pas lieu de calculer la probabilité annuelle d'atteinte des installations du site par des effets thermiques d'une intensité supérieure ou égale à 3 kW/m².

Annexe 5 :
Calculs des probabilités annuelles conditionnelles
d'atteinte sachant l'orientation et la direction du rejet
pour les effets de surpression

1. UVCE CONSECUTIF A UN REJET VERTICAL

Le présent paragraphe présente les calculs de la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte par les effets de surpression sachant un rejet vertical.

Ces probabilités sont calculées en appliquant la formule (1) présentée au paragraphe 4.1 du présent rapport, avec les valeurs établies au paragraphe 4.3 du présent rapport pour les paramètres autres que D et d.

D et d sont déterminées de la façon suivante :

- d est la distance entre la canalisation et l'installation du site nucléaire considérée en tant qu'enjeu ;
- D est la distance, à partir de la canalisation, à laquelle la surpression considérée est atteinte.

Les distances d'éloignement sont indiquées dans le Tableau 16 présenté en partie 1 de l'annexe 3.

Les résultats de modélisation des effets de surpression d'un UVCE consécutif à un rejet vertical, rappelés ci-après, permettent de définir la distance D :

<i>Distance à la canalisation</i>	<i>Surpression</i>
2 615 m	10 mbar
1 410 m	20 mbar
980 m	30 mbar
760 m	40 mbar
620 m	50 mbar
545 m	60 mbar

Tableau 5 : Surpressions retenues pour un UVCE avec rejet vertical

Les résultats des calculs de la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte par les effets de surpression sachant un rejet vertical sont présentés dans les deux tableaux suivants, consacrés respectivement au tracé initial et au tracé alternatif de la canalisation. Les valeurs ont été arrondies au dixième supérieur de façon conservative.

Installation du site nucléaire	Eloignement d par rapport à la canalisation (tracé initial)	Surpression incidente à la distance d	Probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte de l'installation sachant un rejet vertical par une surpression d'intensité égale ou supérieure à					
			60 mbar	50 mbar	40 mbar	30 mbar	20 mbar	10 mbar
			D = 545 m	D = 620 m	D = 760 m	D = 980 m	D = 1 410 m	D = 2 615 m
Limite de l'enceinte	545 m	60 mbar	0	$9,0.10^{-11}$	$1,7.10^{-10}$	$2,5.10^{-10}$	$4,0.10^{-10}$	$7,8.10^{-10}$
PHENIX	620 m	50 mbar	Non atteint	0	$1,4.10^{-10}$	$2,4.10^{-10}$	$3,9.10^{-10}$	$7,8.10^{-10}$
Non précisé	760 m	40 mbar	Non atteint	Non atteint	0	$1,9.10^{-10}$	$3,7.10^{-10}$	$7,7.10^{-10}$
MELOX	770 m	30 < < 40 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	$1,9.10^{-10}$	$3,6.10^{-10}$	$7,6.10^{-10}$
ATALANTE	890 m	30 < < 40 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	$1,3.10^{-10}$	$3,4.10^{-10}$	$7,5.10^{-10}$
Non précisé	980 m	30 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	$3,1.10^{-10}$	$7,4.10^{-10}$
SOCODEI	990 m	20 < < 30 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	$3,1.10^{-10}$	$7,4.10^{-10}$
Non précisé	1 410 m	20 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	$6,7.10^{-9}$
Non précisé	2 615 m	10 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0

Tableau 24 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site par les effets de surpression sachant un rejet vertical - Tracé initial de la canalisation

Installation du site nucléaire	Eloignement d par rapport à la canalisation (tracé alternatif)	Surpression incidente à la distance d	Probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte de l'installation sachant un rejet vertical par une surpression d'intensité égale ou supérieure à					
			60 mbar	50 mbar	40 mbar	30 mbar	20 mbar	10 mbar
			D = 545 m	D = 620 m	D = 760 m	D = 980 m	D = 1410 m	D = 2615 m
Limite de l'enceinte	1 600m	10 < < 20 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	6,3.10⁻¹⁰
PHENIX	1 700m	10 < < 20 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	6,1.10⁻¹⁰
MELOX	1 850 m	10 < < 20 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	5,7.10⁻¹⁰
ATALANTE	1 950 m	10 < < 20 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	5,3.10⁻¹⁰
SOCODEI	2 400 m	10 < < 20 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	3,2.10⁻¹⁰
Non précisé	2 615 m	10 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0

Tableau 25 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site par les effets de surpression sachant un rejet vertical - Tracé alternatif de la canalisation

Dans les tableaux précédents :

- la probabilité indiquée pour une ligne et une colonne données correspond à la probabilité annuelle conditionnelle qu'une rupture de la canalisation sachant un rejet vertical génère à la distance « d » lue en ligne une surpression dont l'intensité sera égale ou supérieure à la surpression lue en colonne ;
- si $d = D$, alors la surpression incidente à la distance d est égale à la surpression considérée, et la probabilité d'atteinte annuelle sachant un rejet vertical par une surpression d'intensité égale ou supérieure est nulle, puisque la longueur d'effet est nulle => « 0 » dans le tableau ;
- si $d > D$, alors la surpression incidente à la distance d est inférieure à la surpression considérée, et la probabilité d'atteinte annuelle sachant un rejet vertical par une surpression d'intensité égale ou supérieure est nulle => « Non atteint » dans le tableau ;
- les trois dernières colonnes en caractère gras indiquent les probabilités d'atteinte calculées pour une surpression dont l'intensité est supérieure ou égale respectivement à 30 mbar, 20 mbar et 10 mbar.

2. UVCE CONSECUTIF A UN REJET INCLINE A 45° DANS LA DIRECTION DE L'ENJEU

Le présent paragraphe présente les calculs de la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte par les effets de surpression sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu considéré.

Ces probabilités sont calculées en appliquant la formule (1) présentée au paragraphe 4.1 du présent rapport, avec les valeurs établies au paragraphe 4.3 du présent rapport pour les paramètres autres que D et d.

D et d sont déterminées de la façon suivante :

- d est la distance entre la canalisation et l'installation du site nucléaire considérée en tant qu'enjeu ;
- D est la distance, à partir de la canalisation, à laquelle le profil de flux considéré est atteint.

Les distances d'éloignement sont indiquées dans le Tableau 16 présenté en partie 1 de l'annexe 3.

Les résultats de modélisation des effets de surpression d'un UVCE consécutif à un rejet vertical, rappelés ci-après, permettent de définir la distance D :

<i>Distance à la canalisation</i>	<i>Surpression</i>
3 610 m	10 mbar
2 035 m	20 mbar
1 480 m	30 mbar
1 190 m	40 mbar
1 010 m	50 mbar
880 m	60 mbar
780 m	70 mbar
710 m	80 mbar
660 m	90 mbar
625 m	100 mbar
575 m	110 mbar
545 m	120 mbar

Tableau 6 : Surpressions retenues pour un UVCE avec rejet incliné dans la direction de l'enjeu

Les résultats des calculs de la probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte par les effets de surpression sachant un rejet incliné dans la direction de l'enjeu sont présentés dans les deux tableaux suivants, consacrés respectivement au tracé initial et au tracé alternatif de la canalisation. Les valeurs ont été arrondies au dixième supérieur de façon conservative.

Installation du site nucléaire	Eloignement d par rapport à la canalisation (tracé initial)	Surpression incidente à la distance d	Probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte de l'installation sachant un rejet incliné dans la direction de l'enjeu par une surpression d'intensité égale ou supérieure à											
			120 mbar	110 mbar	100 mbar	90 mbar	80 mbar	70 mbar	60 mbar	50 mbar	40 mbar	30 mbar	20 mbar	10 mbar
			D = 545 m	D = 575 m	D = 625 m	D = 660 m	D = 710 m	D = 780 m	D = 880 m	D = 1010 m	D = 1190 m	D = 1480 m	D = 2035 m	D = 3610 m
Limite de l'enceinte	545 m	120 mbar	0	5,6.10 ⁻¹¹	9,3.10 ⁻¹¹	1,2.10 ⁻¹⁰	1,4.10 ⁻¹⁰	1,7.10 ⁻¹⁰	2,1.10 ⁻¹⁰	2,6.10 ⁻¹⁰	3,3.10 ⁻¹⁰	4,2.10⁻¹⁰	6,0.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹
Non précisé	575 m	110 mbar	Non atteint	0	7,5.10 ⁻¹¹	9,9.10 ⁻¹¹	1,3.10 ⁻¹⁰	1,6.10 ⁻¹⁰	2,1.10 ⁻¹⁰	2,6.10 ⁻¹⁰	3,2.10 ⁻¹⁰	4,2.10⁻¹⁰	6,0.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹
PHENIX	620 m	100 < < 110 mbar	Non atteint	Non atteint	2,4.10 ⁻¹¹	6,9.10 ⁻¹¹	1,1.10 ⁻¹⁰	1,5.10 ⁻¹⁰	1,9.10 ⁻¹⁰	2,5.10 ⁻¹⁰	3,1.10 ⁻¹⁰	4,1.10⁻¹⁰	5,9.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹
Non précisé	625 m	100 mbar	Non atteint	Non atteint	0	6,5.10 ⁻¹¹	1,1.10 ⁻¹⁰	1,5.10 ⁻¹⁰	1,9.10 ⁻¹⁰	2,5.10 ⁻¹⁰	3,1.10 ⁻¹⁰	4,1.10⁻¹⁰	5,9.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹
Non précisé	660 m	90 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	8,0.10 ⁻¹¹	1,3.10 ⁻¹⁰	1,8.10 ⁻¹⁰	2,4.10 ⁻¹⁰	3,1.10 ⁻¹⁰	4,1.10⁻¹⁰	5,9.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹
Non précisé	710 m	80 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	9,9.10 ⁻¹¹	1,6.10 ⁻¹⁰	2,2.10 ⁻¹⁰	2,9.10 ⁻¹⁰	4,0.10⁻¹⁰	5,8.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹
MELOX	770 m	70 < < 80 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	3,8.10 ⁻¹¹	1,3.10 ⁻¹⁰	2,0.10 ⁻¹⁰	2,8.10 ⁻¹⁰	3,9.10⁻¹⁰	5,8.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹
Non précisé	780 m	70 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	1,3.10 ⁻¹⁰	2,0.10 ⁻¹⁰	2,8.10 ⁻¹⁰	3,9.10⁻¹⁰	5,8.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹
Non précisé	880 m	60 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	1,6.10 ⁻¹⁰	2,5.10 ⁻¹⁰	3,7.10⁻¹⁰	5,6.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹
ATALANTE	890 m	50 < < 60 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	1,5.10 ⁻¹⁰	2,4.10 ⁻¹⁰	3,6.10⁻¹⁰	5,6.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹
SOCODEI	990 m	50 < < 60 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	6,1.10 ⁻¹¹	2,1.10 ⁻¹⁰	3,4.10⁻¹⁰	5,5.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹
Non précisé	1 010 m	50 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	2,0.10 ⁻¹⁰	3,3.10⁻¹⁰	5,4.10⁻¹⁰	1,1.10⁻⁹

Installation du site nucléaire	Eloignement d par rapport à la canalisation (tracé initial)	Surpression incidente à la distance d	Probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte de l'installation sachant un rejet incliné dans la direction de l'enjeu par une surpression d'intensité égale ou supérieure à											
			120 mbar	110 mbar	100 mbar	90 mbar	80 mbar	70 mbar	60 mbar	50 mbar	40 mbar	30 mbar	20 mbar	10 mbar
			D = 545 m	D = 575 m	D = 625 m	D = 660 m	D = 710 m	D = 780 m	D = 880 m	D = 1010 m	D = 1190 m	D = 1480 m	D = 2035 m	D = 3610 m
Non précisé	1 190 m	40 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	$2,7 \cdot 10^{-10}$	$5,1 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$
Non précisé	1 480 m	30 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	$4,3 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$
Non précisé	2 035 m	20 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	$9,1 \cdot 10^{-10}$
Non précisé	3 610 m	10 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0

Tableau 26 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site par les effets de surpression sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu - Tracé initial de la canalisation

Installation du site nucléaire	Eloignement d par rapport à la canalisation (tracé alternatif)	Surpression incidente à la distance d	Probabilité annuelle conditionnelle d'atteinte de l'installation sachant un rejet incliné dans la direction de l'enjeu par une surpression d'intensité égale ou supérieure à												
			120 mbar	110 mbar	100 mbar	90 mbar	80 mbar	70 mbar	60 mbar	50 mbar	40 mbar	30 mbar	20 mbar	10 mbar	
			D = 545 m	D = 575 m	D = 625 m	D = 660 m	D = 710 m	D = 780 m	D = 880 m	D = 1010 m	D = 1190 m	D = 1480 m	D = 2035 m	D = 3610 m	
Limite de l'enceinte	1 600 m	20 < < 30 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	$3,9.10^{-10}$	$9,9.10^{-10}$
PHENIX	1 700 m	20 < < 30 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	$3,4.10^{-10}$	$9,7.10^{-10}$
MELOX	1 850 m	20 < < 30 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	$2,6.10^{-10}$	$9,5.10^{-10}$
ATALANTE	1 950 m	20 < < 30 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	$1,8.10^{-10}$	$9,3.10^{-10}$
Non précisé	2 035 m	20 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0	$9,1.10^{-10}$
SOCODEI	2 400 m	10 < < 20 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	$8,2.10^{-10}$
Non précisé	3 610 m	10 mbar	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	Non atteint	0

Tableau 27 : Probabilités annuelles conditionnelles d'atteinte des installations du site par les effets de surpression sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu - Tracé alternatif de la canalisation

Dans les tableaux précédents :

- la probabilité indiquée pour une ligne et une colonne données correspond à la probabilité annuelle conditionnelle qu'une rupture de la canalisation sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu génère à la distance « d » lue en ligne une surpression dont l'intensité sera égale ou supérieure à la surpression lue en colonne ;
- si $d = D$, alors la surpression incidente à la distance d est égale à la surpression considérée, et la probabilité d'atteinte annuelle sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu par une surpression d'intensité égale ou supérieure est nulle, puisque la longueur d'effet est nulle => « 0 » dans le tableau ;
- si $d > D$, alors la surpression incidente à la distance d est inférieure à la surpression considérée, et la probabilité d'atteinte annuelle sachant un rejet incliné à 45° dans la direction de l'enjeu par une surpression d'intensité égale ou supérieure est nulle => « Non atteint » dans le tableau ;
- les trois dernières colonnes en caractère gras indiquent les probabilités d'atteinte calculées pour une surpression dont l'intensité est supérieure ou égale respectivement à 30 mbar, 20 mbar et 10 mbar.

Annexe 6 :
Calculs des probabilités annuelles d'atteinte par des
effets de surpression d'intensité supérieure ou égale
à 30 mbar, 20 mbar et 10 mbar

1. TRACE INITIAL DE LA CANALISATION

Le présent paragraphe présente les calculs de la probabilité annuelle d'atteinte des installations du site, en considérant le tracé initial de la canalisation, par les effets de surpression d'une intensité supérieure ou égale respectivement à :

- 30 mbar,
- 20 mbar,
- et 10 mbar.

Ces probabilités sont calculées en appliquant la formule (2) présentée au paragraphe 4.2 du présent rapport, avec les valeurs établies au paragraphe 4.3 du présent rapport.

En ce qui concerne la contribution des rejets inclinés, comme pour les effets thermiques (cf annexe 4), **il est choisi, de façon simplificatrice et majorante, de retenir la distance calculée dans le cas 1 pour l'ensemble des secteurs angulaires n°1 à 6**. Cela revient à considérer que 100 % des rejets inclinés le seraient dans la direction de l'enjeu, qui est la direction la plus pénalisante en termes de surpression incidente au niveau de l'enjeu.

Les résultats des calculs de la probabilité annuelle d'atteinte par les effets de surpression sont présentés dans le tableau suivant. Les valeurs ont été arrondies au dixième supérieur de façon conservative.

Installation du site nucléaire	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Probabilité annuelle d'atteinte par des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à		
		30 mbar	20 mbar	10 mbar
Limite de l'enceinte	545 m	$2,7.10^{-10}$	$4,2.10^{-10}$	$8,1.10^{-10}$
PHENIX	620 m	$2,5.10^{-10}$	$4,1.10^{-10}$	$8,1.10^{-10}$
MELOX	770 m	$2,1.10^{-10}$	$3,9.10^{-10}$	$8,0.10^{-10}$
ATALANTE	890 m	$1,5.10^{-10}$	$3,6.10^{-10}$	$7,8.10^{-10}$
SOCODEI	990 m	$3,4.10^{-11}$	$3,3.10^{-10}$	$7,7.10^{-10}$

Tableau 28 : Probabilités annuelles d'atteinte des installations du site par des effets de surpression, pour le tracé initial de la canalisation

2. TRACE ALTERNATIF DE LA CANALISATION

Le présent paragraphe présente les calculs de la probabilité annuelle d'atteinte des installations du site, en considérant le tracé alternatif de la canalisation, par les effets de surpression d'une intensité supérieure ou égale respectivement à :

- 30 mbar,
- 20 mbar,
- et 10 mbar.

Ces probabilités sont calculées en appliquant la formule (2) présentée au paragraphe 4.2 du présent rapport, avec les valeurs établies au paragraphe 4.3 du présent rapport.

En ce qui concerne la contribution des rejets inclinés, **il est choisi là encore, de façon simplificatrice et majorante, de retenir la distance calculée dans le cas 1 pour l'ensemble des secteurs angulaires n°1 à 6**. Cela revient à considérer que 100 % des rejets inclinés le seraient dans la direction de l'enjeu, qui est la direction la plus pénalisante en termes de surpression incidente au niveau de l'enjeu.

Les résultats des calculs de la probabilité annuelle d'atteinte par les effets de surpression sont présentés dans le tableau suivant. Les valeurs ont été arrondies au dixième supérieur de façon conservative.

Installation du site nucléaire	Eloignement de l'installation par rapport à la canalisation	Probabilité annuelle d'atteinte par des effets de surpression dont l'intensité est supérieure ou égale à		
		30 mbar	20 mbar	10 mbar
Limite de l'enceinte	1 600 m	30 mbar non atteint	3,9.10⁻¹¹	6,7.10⁻¹⁰
PHENIX	1 700 m	30 mbar non atteint	3,4.10⁻¹¹	6,5.10⁻¹⁰
MELOX	1 850 m	30 mbar non atteint	2,6.10⁻¹¹	6,0.10⁻¹⁰
ATALANTE	1 950 m	30 mbar non atteint	1,8.10⁻¹¹	5,7.10⁻¹⁰
SOCODEI	2 400 m	30 mbar non atteint	20 mbar non atteint	3,7.10⁻¹⁰

Tableau 29 : Probabilités annuelles d'atteinte des installations du site par des effets de surpression, pour le tracé alternatif de la canalisation