

1 METHODOLOGIE UTILISEE

1.1 MDOELISATION DES EFFETS GENERES PAR LES EXPLOSIFS DE DIVISION DE RISQUES 1.1 ET 1.3

L'article 11 de l'arrêté ministériel du 20 avril 2007 définit 5 zones d'effets - Z1, Z2, Z3, Z4 et Z5 - classées selon les conséquences potentielles qu'elles présentent pour les personnes et les biens.

La valeur seuil de la zone Z1 est de 430 mbar pour les effets de surpression et de 16 kW/m² pour les effets thermiques. Les zones Z2 à Z5 sont délimitées par les seuils définis en annexe 2 de l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005. Ainsi, les correspondances suivantes sont établies : Z2 (200 mbar), Z3 (140 mbar), Z4 (50 mbar) et Z5 (20 mbar).

L'évaluation des effets est réalisée sur la base des formules issues de la réglementation pyrotechnique (circulaire du 10 mai 2010 [R5]) pour les divisions de risques 1.1 et 1.3. Ces formules sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Distances d'effets, explosion d'explosifs divisions 1.1 et 1.3

Division	Effets	Zone	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
1.1	Surpressions	Seuils	430 mbar	200 mbar	140 mbar	50 mbar	20 mbar
		Distances	$5 Q^{1/3}$	$8 Q^{1/3}$	$15 Q^{1/3}$	$22 Q^{1/3}$	$44 Q^{1/3}$
1.3 ¹	Thermiques	Seuils	16 kW/m ²	8 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²	Sans objet
		Distances	$2,5 Q^{1/3}$	$3,5 Q^{1/3}$	$5 Q^{1/3}$	$6,5 Q^{1/3}$	

De plus, on admet que, en terrain plat sans protection particulière, la détonation d'une masse Q :

- entraîne, dans un rayon $R = 0,5 Q^{1/3}$,
- peut entraîner, dans un rayon $R = 2,4 Q^{1/3}$, s'il y a risque de projections,

La détonation presque simultanée de toute masse susceptible de détoner.

De plus, le guide des bonnes pratiques en pyrotechnie du 26 mai 2015 [D2] indique dans son paragraphe 5.8 : « En l'état actuel des connaissances disponibles au niveau national, il apparaît que les phénomènes dangereux de détonation n'induisent pas de zone d'effets toxiques. Par ailleurs, les zones d'effets toxiques des phénomènes de combustion ne sont pas dimensionnantes par rapport aux zones d'effets thermiques évaluées selon les formules "forfaitaires" rappelées au tableau ci-dessus. Ainsi, ces zones d'effet ne sont pas déterminantes en termes de gravité.

1.2 BLEVE

La fiche n°4 de la circulaire du 10 mai 2010 récapitule 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. Sont soulignés les points suivants.

¹ la sous-division 1.3a est retenue, elle engendre les zones d'effets les plus pénalisantes

L'occurrence d'un BLEVE est liée à la rupture brutale d'un réservoir de gaz liquéfié, survenant lorsque le réservoir est soumis à une agression thermique ou mécanique. Le phénomène de BLEVE est donc l'effet domino d'un événement précurseur tel que l'impact d'un projectile, l'échauffement par un feu torche impactant, un surremplissage,...

Le BLEVE peut-être défini comme la vaporisation violente à caractère explosif consécutive à la rupture d'un réservoir contenant un liquide à une température significativement supérieure à sa température d'ébullition à la pression atmosphérique.

Les effets d'un BLEVE sur l'environnement se manifestent généralement de trois manières : Effets de pression (propagation d'une onde de surpression), Effets missiles (projection de fragments à des distances parfois très importantes) et Effets thermiques (dans le cas d'un BLEVE de gaz liquéfié inflammable, rayonnement de la boule de feu).

Les effets thermiques sont liés au rayonnement thermique de la boule de feu et, le cas échéant, de la combustion de la flaque au sol. La durée d'exposition au rayonnement, qui dépend de la composition, de la quantité et de la température du produit présent, est de courte durée (d'environ quelques secondes pour un petit camion citerne à environ quelques dizaines de secondes pour une sphère de 1.000 m³).

Les effets thermiques sont appréciés via l'utilisation du modèle TRC² SHIELD. Il permet de simuler les phases du développement du B.L.E.V.E. : inflammation du nuage et développement de la boule de feu jusqu'à son expansion, combustion de ladite boule de feu et extinction.

Les effets de surpression sont induits par la détente brutale de la phase gazeuse du réservoir, par la vaporisation explosive du liquide [SHIELD] et par la combustion de la boule de feu. Les effets de surpression sont dimensionnés à partir de la détente de la phase gazeuse. La méthode de calcul repose sur la détermination de l'énergie de Bröde qui traduit l'assimilation de l'énergie de l'explosion à l'énergie de l'éclatement pneumatique.

Les niveaux de pression sont ensuite étudiés selon les abaques de la norme UFC-3-340-02 « Structures to resist the effects of accidental explosions » (Surpression engendrée en champ libre par l'explosion d'une charge de TNT au niveau du sol en fonction de la distance au centre de l'explosion).

En l'état actuel des connaissances, il n'existe aucun modèle adapté à la modélisation des projections engendrées par un B.L.E.V.E.

1.3 FEU TORCHE

Ce scénario correspond à une inflammation instantanée du fluide après la brèche. Les paramètres qui interviennent dans le calcul des effets thermiques sont la direction du jet de flamme, le débit à la brèche et la chaleur de combustion du gaz rejeté.

La méthode développée par la société SHELL a été choisie pour quantifier les effets d'un feu de type chalumeau suite à des rejets de gaz inflammables : c'est le seul modèle susmentionné à définir de façon complète la forme de la flamme (longueur, largeur et décollement). Les dimensions (longueur de flamme) sont liées aux conditions de rejet (débit de fuite et vitesse d'éjection).

² Thorton Research Center

Afin de calculer, par la méthode « de la flamme solide », le flux radiatif incident reçu à distance, la flamme est assimilée à un volume opaque de géométrie simple (cylindre, parallélépipède rectangle...) dont les surfaces rayonnent uniformément. Dans le cas du feu torche, le tronc de cône constituant la flamme est généralement approximée par un cylindre de pouvoir émissif uniforme. La démarche de calcul du flux radiatif est similaire à celle retenue pour les feux de nappe (Bernuchon & al., 2002).

Le rejet est supposé horizontal ou vertical selon la configuration de la canalisation (enterrée, diamètre,...). Il est rappelé qu'une cible reçoit une densité de flux radiatif maximale si elle se positionne perpendiculairement au faisceau de rayonnement allant de la source ponctuelle à la cible.

Lorsque le jet enflammé est horizontal, il se trouve que la distance maximale d'effets thermiques est calculée pour une cible située dans la direction et dans le sens du feu torche. Dans ces conditions, le flux radiatif reçu par la cible provient du disque vertical de plus grande section du cône tronqué constituant le feu torche.

La méthode ci-dessus décrite est mise en oeuvre par un module spécifique du logiciel PHAST (version 7.22), développé par DNV.

1.4 UVCE

La méthode employée pour la détermination des effets est la méthode « multi-énergie » développée par le TNO et décrite dans la circulaire du 10/05/2010 [R5]. Les paramètres qui interviennent sont : la masse maximale de gaz inflammable, le volume du nuage, l'énergie de combustion pour un mélange gazeux à la L.I.E. et le degré de violence de l'explosion, par la prise en compte d'un indice de 1 (moins violent) à 10 (plus violent). Cet indice est fonction de la réactivité des gaz, de l'encombrement et de la forme du nuage.

L'indice d'explosivité est choisi par exploitation du diagramme de décision établi par Kinsella (1993).

Energie d'inflammation ³		Obstruction ⁴			Confinement ⁵		Indice Multi-énergie	Surpression incidente (mbar)
Faible	Elevée	Elevée	Faible	Nulle	Oui	Non		
	X	X			X		7-10	1 000 – 10 000
	X	X				X	7-10	1 000 – 10 000
X		X			X		5-7	200-1 000
	X		X		X		5-7	200-1 000
	X		X			X	4-6	100-500
	X			X	X		4-6	100-500
X		X				X	4-5	100-200
	X			X		X	4-5	100-200
X			X		X		3-5	50-200
X			X			X	2-3	20-50
X				X	x		1-2	10-20

³ Faciliter à amorcer le nuage inflammable

⁴ Elevée si les obstacles présents dans le nuage de gaz représentent plus de 30% de la zone encombrée désignée ; faible si le pourcentage est inférieur à 30% ; nulle s'il n'y a pas d'obstacle

⁵ Oui si le nuage inflammable est délimité par 2 ou 3 barrières/murs ; non si seul le sol constitue une limite au nuage inflammable

X				X		X	1	10
---	--	--	--	---	--	---	---	----

Le volume du nuage inflammable est désigné par les concentrations de gaz comprises entre les limites d'explosibilité (c'est-à-dire entre la L.I.E. et la L.S.E.).

La dispersion du nuage peut s'opérer en champ libre ou en champ encombré. Les volumes explosibles à considérer ainsi que la localisation de l'inflammation sont décrits dans la fiche 3 «Phénomène d'UVCE» de la Circulaire du 10 mai 2010.

La dispersion d'un nuage inflammable en champs libre sera caractérisée par un volume explosible égal à celui du nuage, par une inflammation se produisant à la demi-distance afférente à la L.I.E. et par un indice d'explosion au plus égal à 3.

La dispersion d'un nuage inflammable en champs encombré sera caractérisée par le volume inflammable afférent à la zone encombrée, par une inflammation se produisant au centre de la zone encombrée et par un indice d'explosion adapté.

L'expérience montre que les effets thermiques de l'U.V.C.E. ne sont pas dus au rayonnement thermique (très court) du nuage enflammé, mais uniquement au passage du front de flamme.

Autrement dit, toute personne se trouvant sur le parcours de la flamme est susceptible de subir l'effet létal, mais celui-ci n'excède pas la limite extrême atteinte par le front de flamme. L'effet thermique de l'U.V.C.E. ou du Flash Fire sur l'homme est dimensionné par la distance à la L.I.E.

De manière générale, l'effet thermique d'un UVCE sur les structures se limite à des dégâts superficiels (déformation des plastiques, décollement des peintures, ...), et, éventuellement, à une fragilisation possible de certaines structures métalliques légères.

Les modélisations de dispersion de gaz seront conduites à l'aide du logiciel scientifique PHAST 7.22 édité par DNV TECHNICA. Le logiciel et les conditions météorologiques de rejet sont présentées dans le chapitre suivant.

1.5 REJET TOXIQUE

La première étape repose sur la qualification de la source. Il est nécessaire de renseigner la source d'émission selon les paramètres « quantité de produit libéré », « durée de l'émission », « température du rejet », « phase du rejet » ou encore « direction du rejet ».

Une fois la source caractérisée, les conditions de stabilité atmosphérique, la vitesse du vent et le paramètre de rugosité ont une influence potentiellement significative sur les distances d'effet.

La rugosité retenue pour l'étude sera spécifique à un environnement industriel caractérisé par des obstacles alentours de hauteur prononcée.

Dans le cadre des études de dangers, les conditions de stabilité atmosphériques généralement retenues pour des rejets au niveau du sol sont de type D (neutre) et F (très stable) au sens de Pasquill, respectivement associées à des vitesses de vent de 5 et 3 m/s. Une atmosphère stable⁶, aura tendance à empêcher les molécules de gaz de s'élever, et à restreindre alors la

⁶ dont la décroissance verticale de température est supérieure à celle dictée par la seule thermodynamique

diffusion verticale. A l'opposé, une atmosphère turbulente augmente la diffusion des gaz et a pour effet d'abaisser la toxicité du nuage en champ proche.

La vitesse du vent dilue les polluants depuis leur point d'émission dans la direction de transport du panache et limite l'ascension des panaches flottants dans l'atmosphère. Des vents forts vont diluer rapidement les polluants dans l'air dans le sens du panache (effets toxiques en champ éloigné limités). En revanche, il est possible d'observer un phénomène de rabattement du panache à proximité de la source dans le sens des vents lié aux turbulences engendrées par la vitesse du vent. L'absence de vent (situation calme) contribue à l'accumulation des polluants près des sources.

Compte tenu des conditions météorologiques moyennes sur le secteur géographique et après intégration des préconisations de la circulaire du 10 mai 2010, les conditions de stabilités atmosphériques étudiées dans le cas de rejets horizontaux sont données dans le tableau ci-après (nota elle tiennent compte des particularités de la Guyane).

F/3/20	D/5/30
Atmosphère très stable	Atmosphère neutre
Vitesse du vent, à une altitude de 10 m, égale à 3 m/s	Vitesse du vent, à une altitude de 10 m, égale à 5 m/s
Température ambiante égale à 20°C	Température ambiante égale à 30°C
Situation de nuit avec un ciel couvert (nébulosité)	Situation de jour avec faible rayonnement ou de nuit avec ciel épars

Les modélisations de dispersion de gaz seront conduites à l'aide du logiciel scientifique PHAST 7.22. Le logiciel utilise un modèle de type intégral qui permet de modéliser les mécanismes physiques qui ne peuvent être considérés avec un modèle gaussien (effets de la dynamique des rejets à même d'engendrer une turbulence spécifique, pour les rejets sous forme de jet à grande vitesse d'émission ; effets de gravité, pour les rejets de gaz lourds ; effets de flottabilité pour les rejets de gaz légers).

Ce type de modèle est basé sur des équations de la mécanique des fluides simplifiées. A cet effet, les coefficients des modèles intégraux sont « calés » sur des expérimentations.

1.6 FEU DE NAPPE

La méthodologie utilisée pour l'évaluation des effets d'un feu de nappe est celle décrite dans la circulaire DPPR/SEI2/AL- 06- 357 du 31/01/07 relative aux études de dangers des dépôts de liquides inflammables - Compléments à l'instruction technique du 9 novembre 1989, abrogé par la circulaire du 10/05/2010 [R5].

Les paramètres pris en compte pour le calcul sont le diamètre de la nappe et le produit considéré (hydrocarbures). Le calcul du débit de fuite est déterminé à l'aide du module leak du logiciel PHAST 7.22.

A l'aide de la vitesse de combustion des hydrocarbures (0,055 kg/m².s, valeur donnée dans la méthodologie de la circulaire et retenue par l'INERIS), le diamètre maximum de la nappe est déterminée.

Dès lors, la feuille de calcul excel permet de déterminer les distances des zones d'effets depuis le bord de la flamme.

1.7 DETONATION D'AMMONITRATES

Il est convenu que la capacité totale d'ammonitrates susceptible de détoner est donnée par le volume du contenant. Il est supposé l'amorçage en masse dudit volume ainsi sélectionné.

Le calcul des distances d'effets fait intervenir la masse M d'engrais stockée, un coefficient « p » traduisant la proportion de la masse M de détoner et un coefficient « Eq » d'équivalence TNT. Les formules de calculs des isobares 140 et 50 mbar sont désignées dans la circulaire du 21 janvier 2002.

$$R_{140 \text{ mbar}} = 10 \sqrt[3]{p \cdot Eq \cdot M}$$

$$R_{50 \text{ mbar}} = 22 \sqrt[3]{p \cdot Eq \cdot M}$$

Ces formules sont basées sur l'exploitation de l'abaque de Lannoy et sont applicables pour les explosions dont le régime est la détonation. Il est nécessaire de disposer d'un équivalent T.N.T., ce qui est pris en compte dans les formules de la circulaire (Eq).

L'équivalent TNT est fixé à 30%. Les ordres de grandeur des équivalents T.N.T. à considérer varient en fonction de la teneur en azote des engrais considérés. Dans une approche dimensionnante, le choix de cet équivalent tend à définir la zone enveloppe du cas le plus défavorable.

Il est considéré la détonation en masse d'une capacité de stockage. L'étude portera sur des conteneurs de 27 tonnes. Il ne sera pas supposé la communication de l'explosion à un conteneur d'ammonitrates avoisinants : l'impossibilité de détonation simultanée de plusieurs conteneurs et l'absence de contamination potentielle sont des arguments qui permettent de restreindre la proportion de masse susceptible de détoner à 10%, comme proposé dans la circulaire du 21 janvier 2001.

2 RESULTATS DES MODELISATIONS

2.1 EXPLOSION D'UN CONTENEUR DE 16 TONNES DE MASSE NETTE D'EXPLOSIF DE DIVISION DE RISQUES 1.1D

La quantité de matière Q susceptible de détoner est fixée par l'arrêté du 18/12/2009 [R2].

Compte tenu du régime de l'explosion – la détonation – les niveaux de surpressions seront supérieurs à la résistance mécanique du conteneur. Le confinement n'augmente pas le potentiel de dangers.

Les zones d'effets sont désignées dans la 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.

Les zones d'effets sont déterminées en terrain nu. Le calcul des distances d'effets fait intervenir la masse Q d'explosif exprimée en équivalent T.N.T.

Les zones d'effets sont définies à partir du centre du stockage (conteneur), elles sont arrondies au nombre entier supérieur.

Les résultats des calculs sont donnés dans le tableau ci-après.

Classe d'explosif	Quantité admise en Kg	Distance par rapport au seuils d'effets – surpression (m)				
		Z1	Z2 - SELS ⁷	Z3 - SEL	Z4 - SEI	Z5
1.1D	16 000	126	202	378	555	1109

2.2 EXPLOSION D'UN CONTENEUR DE 16 TONNES DE MASSE NETTE D'EXPLOSIF DE DIVISION DE RISQUES 1.3G

La quantité de matière Q susceptible d'exploser est fixée par l'arrêté du 18/12/2009 [R2].

Les zones d'effets sont désignées dans la 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.

Les zones d'effets sont déterminées en terrain nu. Le calcul des distances d'effets fait intervenir la masse Q d'explosif exprimée en équivalent T.N.T. Les zones d'effets sont étudiés sur la base d'un stockage d'explosifs 1.3a, configuration qui fournit les distances les plus conséquentes.

Les zones d'effets sont définies à partir du centre du stockage (conteneur), elles sont arrondies au nombre entier supérieur.

Les résultats des calculs sont donnés dans le tableau ci-après.

⁷ SELS : Seuil d'Effets Létaux Significatifs
SEL : Seuil d'Effets Létaux
SEI : Seuil d'Effets Irréversibles

Classe d'explosif	Quantité admise en Kg	Distance par rapport au seuils d'effets – surpression (m)			
		Z1	Z2 - SELS ⁸	Z3 - SEL	Z4 - SEI
1.3G	16 000	63	88	126	164

2.3 BLEVE D'UNE CITERNE DE 20 TONNES DE G.P.L.

Le taux de remplissage de la citerne est supposé de 85%. Le B.L.E.V.E. étudié est caractérisé par la séquence suivante : disparition de la phase gazeuse, avant atteinte la pression d'épreuve, disparition de la phase gazeuse disparaît, montée en pression dans le réservoir, rupture du contenant, montée en température : absence d'un équilibre liquide-vapeur.

La température à l'éclatement de la citerne est égale à la température au moment où la phase gazeuse disparaît, soit, après examen des courbes pression/température du propane et du butane : 55°C pour le propane et 76°C pour le butane.

La pression d'éclatement de la citerne est égale à la pression d'épreuve. Dans le cas d'un réservoir mobile (sans soupape), la pression d'éclatement peut être considérée comme égale à la pression d'épreuve du réservoir. En effet, on admet généralement qu'un réservoir éclate pneumatiquement à deux fois sa pression d'épreuve, mais par ailleurs, ses caractéristiques mécaniques sont divisées par deux lorsqu'il est chauffé à 500 °C.

Cette pression d'épreuve est de l'ordre de 25 à 30 bar pour les citernes routières et ferroviaires [circulaire du 10 mai 2010].

Les distances d'effets thermiques sont repris des tableaux figurant dans la circulaire du 10/05/2010 [R5].

Contenant	Peclatement	SELS	SEL	SEI
Citerne de 20 tonnes de butane ou propane	25 bar	120 m	170 m	210 m

Les distances d'effets de surpression sont repris des tableaux figurant dans la circulaire du 10/05/2010 [R5].

Contenant	Peclatement	300 mbar	SELS – 200 mbar	SEL – 140 mbar	SEI – 50 mbar	20 mbar
Citerne de 20 tonnes de butane ou propane	25 bar	35 m	45 m	65 m	130 m	260 m

⁸ SELS : Seuil d'Effets Létaux Significatifs

SEL : Seuil d'Effets Létaux

SEI : Seuil d'Effets Irréversibles

2.4 FEU TORCHE SUITE A UNE BRECHE DE 5 MM SUR UNE CITERNE ROUTIERE DE 20 TONNES DE GPL

2.4.1 Hypothèses

Le phénomène de feu torche traduit l'inflammation immédiate d'un nuage inflammable au niveau du point de rejet.

Il est supposé l'occurrence d'une brèche de 5 mm de diamètre sur une citerne de 20 tonnes de G.P.L. Le G.P.L. étudié est le propane. Le propane est stocké à 25°C sous une pression relative de 7,5 bar. La brèche est localisée à 1 m du niveau du sol sur la citerne. Le rejet de propane est horizontal. La phase rejetée est liquide.

2.4.2 Résultats

Les conditions atmosphériques de PASQUILL 3F et 5D sont étudiées, conformément à la circulaire du 10 mai 2010. La turbulence est intégrée via la considération d'un indice de rugosité des surfaces au sol traduisant la présence d'obstacles de dimensions significatives.

La durée du rejet est supérieure à 120 secondes. La fraction liquide est de 0,66. Le débit du rejet est de 0,36 kg/s.

Figure 1 : Brèche 5 mm sur citerne 20 tonnes de GPL, Evolution du flux thermique en fonction de la distance à la cible en condition F/3

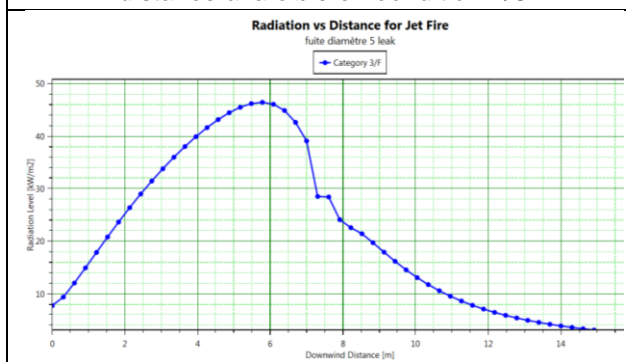
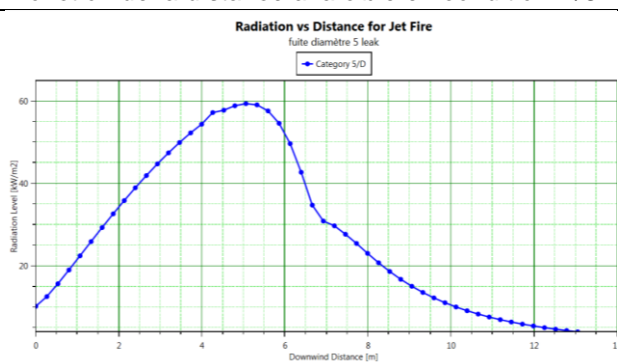


Figure 2 : Brèche 5 mm sur citerne 20 tonnes de GPL, Evolution du flux thermique en fonction de la distance à la cible en condition D/5



Les distances d'effets thermiques sont données dans le tableau ci-dessous

Conditions météorologiques	Longueur de la flamme	SELS - 8 kW/m ²	SEL - 5 kW/m ²	SEI - 3 kW/m ²
F/3	7,6 m	11,5 m	13 m	15 m
D/5	6,6 m	10,8 m	12,3 m	14,2 m

Figure 3 : Brèche 5 mm sur citerne 20 tonnes de GPL, isoflux en condition F/3

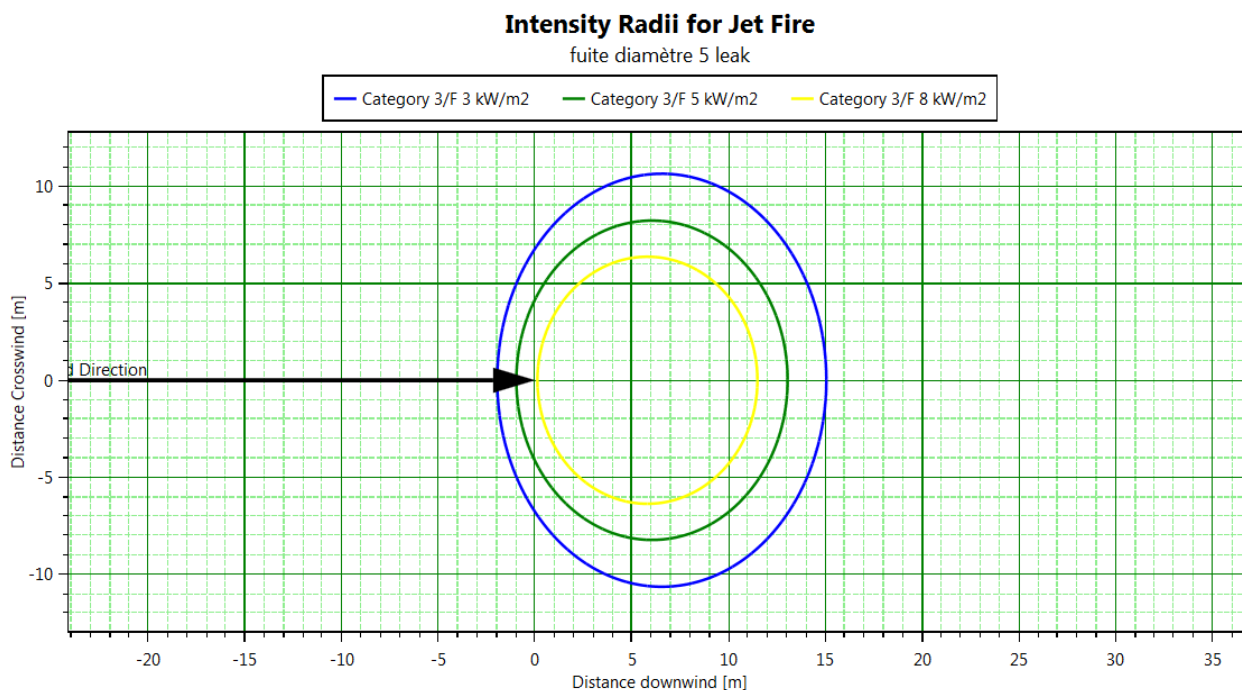
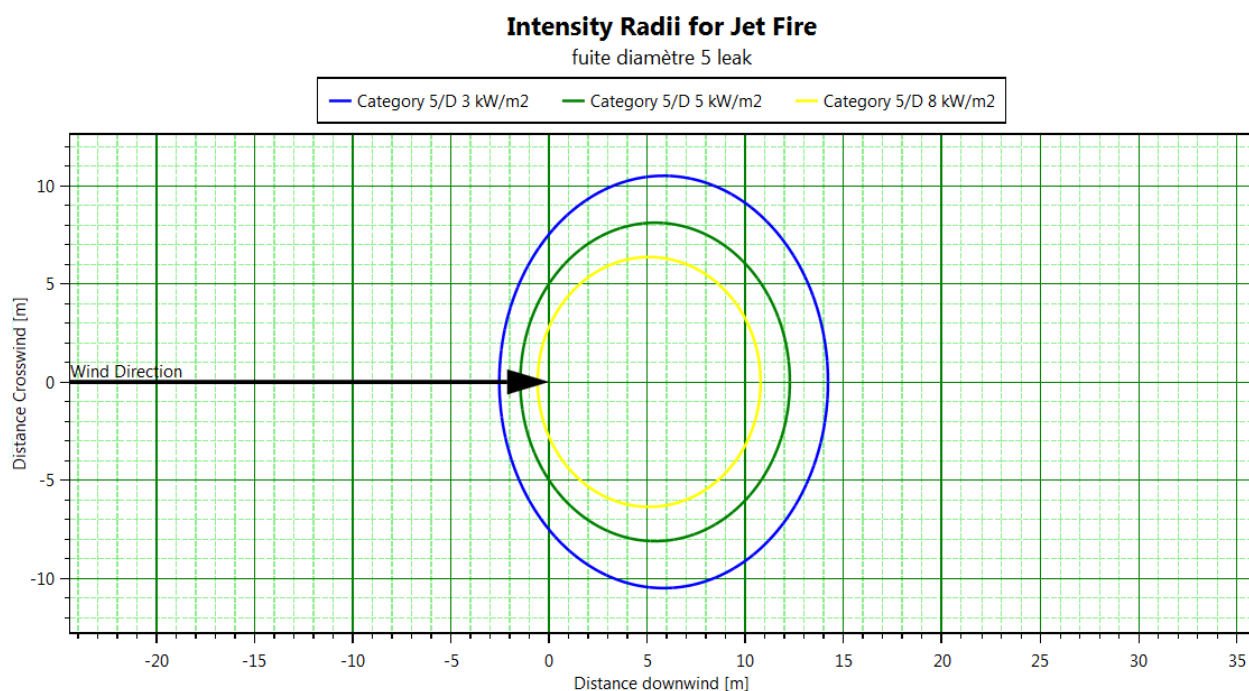


Figure 4 : Figure 2 : Brèche 5 mm sur citerne 20 tonnes de GPL, isoflux en condition D/5



2.5 FEU TORCHE SUITE A UNE BRECHE DE 80 MM SUR UNE CITERNE ROUTIERE DE 20 TONNES DE GPL

2.5.1 Hypothèses

Le phénomène de feu torche traduit l'inflammation immédiate d'un nuage inflammable au niveau du point de rejet.

Il est supposé l'occurrence d'une brèche de 80 mm de diamètre sur une citerne de 20 tonnes de G.P.L. Le G.P.L. étudié est le propane. Le propane est stocké à 25°C sous une pression relative de 7,5 bar. La brèche est localisée à 1 m du niveau du sol sur la citerne. Le rejet de propane est horizontal. La phase rejetée est liquide.

2.5.2 Résultats

Les conditions atmosphériques de PASQUILL 3F et 5D sont étudiées, conformément à la circulaire du 10 mai 2010. La turbulence est intégrée via la considération d'un indice de rugosité des surfaces au sol traduisant la présence d'obstacles de dimensions significatives.

La durée du rejet est supérieure à 120 secondes. La fraction liquide est de 0,66. Le débit du rejet est de 92 kg/s.

Figure 5 : Brèche 80 mm sur citerne 20 tonnes de GPL, Evolution du flux thermique en fonction de la distance à la cible en condition F/3

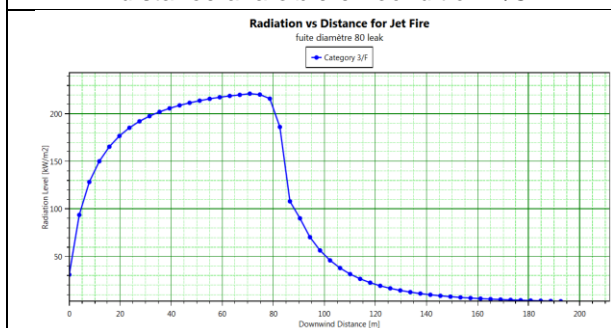


Figure 6 : Figure 2 : Brèche 80 mm sur citerne 20 tonnes de GPL, Evolution du flux thermique en fonction de la distance à la cible en condition D/5

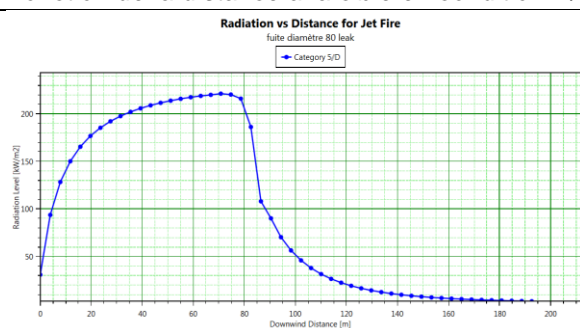


Figure 7 : Brèche 80 mm sur citerne 20 tonnes de GPL, isoflux en condition F/3

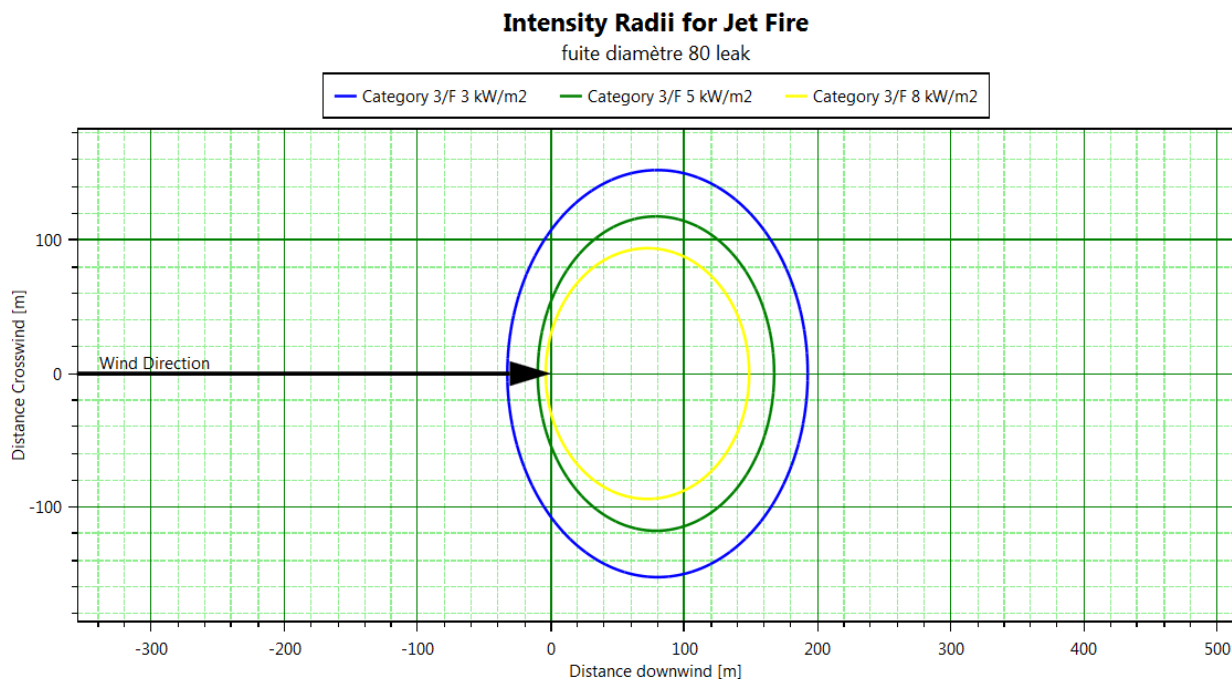
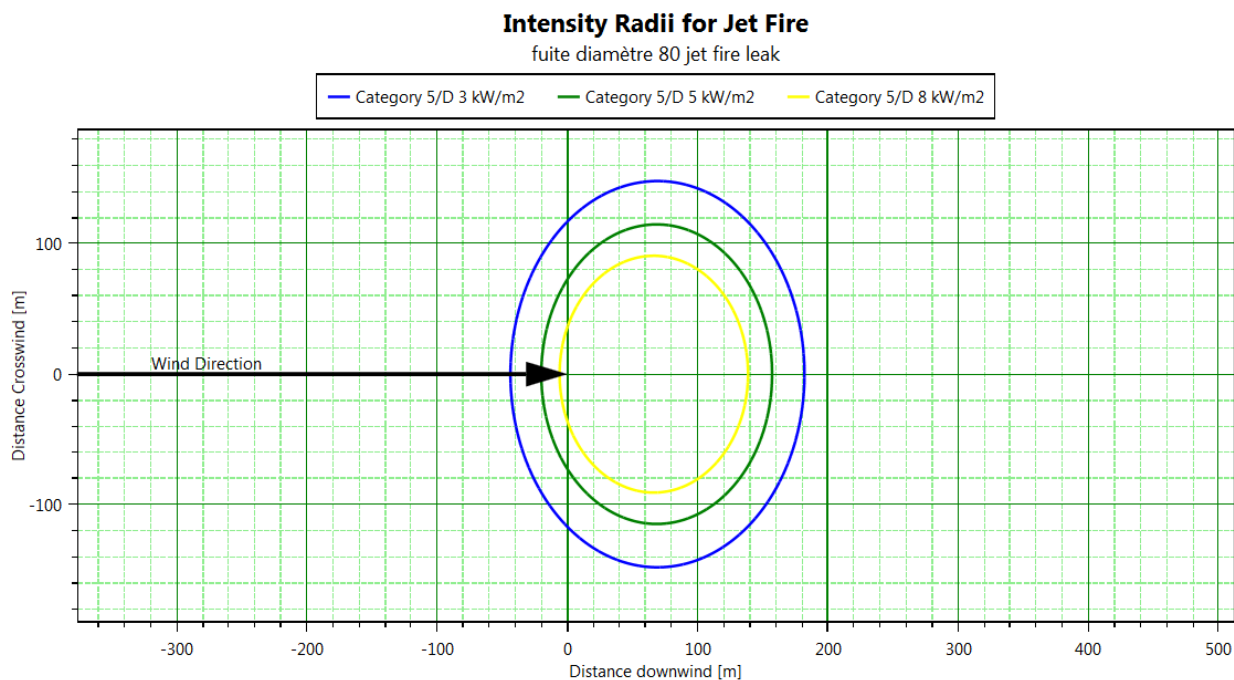


Figure 8 : Brèche 80 mm sur citerne 20 tonnes de GPL, isoflux en condition D/5



Les distances d'effets thermiques sont données dans le tableau ci-dessous.

Conditions météorologiques	Longueur de la flamme	SELS - 8 kW/m ²	SEL - 5 kW/m ²	SEI – 3 kW/m ²
F/3	87,8 m	149 m	167 m	194 m
D/5	72,9 m	139 m	157 m	183 m

2.6 UVCE SUITE A UNE BRECHE DE 5 MM SUR UNE CITERNE ROUTIERE DE 20 TONNES DE GPL

2.6.1 Hypothèses

Le phénomène d'UVCE traduit l'inflammation avec un retard d'un nuage inflammable au niveau d'un point de ce nuage.

Il est supposé l'occurrence d'une brèche de 5 mm de diamètre sur une citerne de 20 tonnes de G.P.L. Le G.P.L. étudié est le propane. Le propane est stocké à 25°C sous une pression relative de 7,5 bar. La brèche est localisée à 1 m du niveau du sol sur la citerne. Le rejet de propane est horizontal. La phase rejetée est liquide.

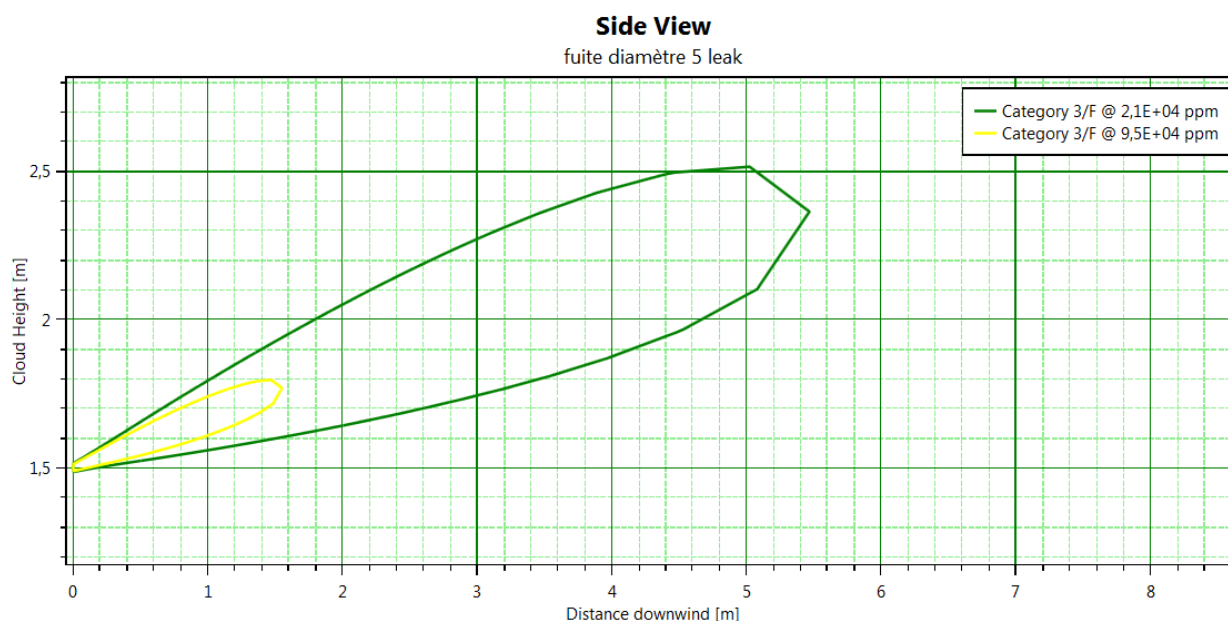
2.6.2 Résultats

Les conditions atmosphériques de PASQUILL 3F et 5D sont étudiées, conformément à la circulaire du 10 mai 2010. La turbulence est intégrée via la considération d'un indice de rugosité des surfaces au sol traduisant la présence d'obstacles de dimensions significatives.

La durée du rejet est supérieure à 120 secondes. La fraction liquide est de 0,66. Le débit du rejet est de 0,36 kg/s.

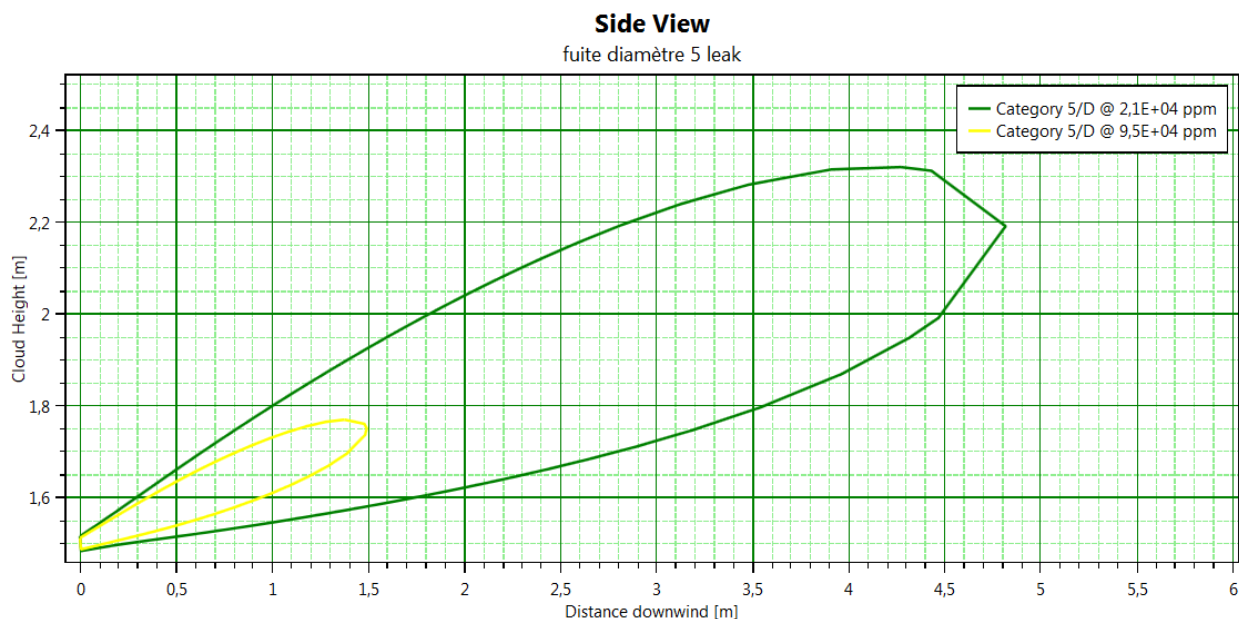
La caractérisation du panache obtenu en condition F/3 est donnée ci-dessous.

Figure 9 : Brèche 5 mm sur citerne 20 t GPL, coupe longitudinale du nuage inflammable, condition F/3



Le volume du nuage inflammable est d'environ 2 m³ soit une masse inflammable de 2,6 kg.

Figure 10 : Brèche 5 mm sur citerne 20 t GPL, coupe longitudinale du nuage inflammable, condition D/5



Le volume du nuage inflammable est évalué à $1,5 \text{ m}^3$ soit une masse inflammable de l'ordre d'environ 1,9 kg.

En fonction de l'encombrement de la zone/des zones impactées par le nuage inflammable l'indice d'explosion (méthode multi-énergie) diffère.

Dans le cas d'une zone libre de tout obstacle, l'indice d'explosion est de 1 sur une échelle de 1 à 10 : le pic de surpression est inférieur à 20 mbar. Aucun effet de surpression significatif n'est envisagé.

Dans le cas d'une zone encombrée (cuve mitoyenne), et pour les U.V.C.E. sur des stockages G.P.L., l'indice est de 6 (fiche 3 de la circulaire du 10 mai 2010) : le pic de surpressions est de 500 mbar.

Les effets de surpressions sont examinés pour un rejet vers une zone encombrée telle que l'indice d'explosion est de 6. Les distances s'entendent à compter du point de la fuite.

Les distances d'effets de surpression sont données dans le tableau ci-dessous

Conditions météorologiques	Masse inflammable	SELS – 200 mbar	SEL – 140 mbar	SEI – 50 mbar
F/3	2,6 kg	19 m	24 m	56 m
D/5	1,9 kg	18 m	23 m	53 m

Les effets thermiques d'un U.V.C.E. (flash-fire) sont désignés à partir de la L.I.E. Autrement dit, toute personne se trouvant sur le parcours des gaz brûlés est susceptible de subir l'effet létal avec une probabilité élevée, et toute personne se trouvant en dehors du nuage inflammable ne peut pas subir d'effet thermique létal.

Conditions météorologiques	Distance à la LIE	SELS – 200 mbar	SEL – 140 mbar	SEI – 50 mbar
F/3	6 m	6 m	6 m	6,6 m
D/5	5 m	5 m	5 m	5,5 m

2.7 UVCE SUITE A UNE BRECHE DE 80 MM SUR UNE CITERNE ROUTIERE DE 20 TONNES DE GPL

2.7.1 Hypothèses

Le phénomène d'UVCE traduit l'inflammation avec un retard d'un nuage inflammable au niveau d'un point de ce nuage.

Il est supposé l'occurrence d'une brèche de 80 mm de diamètre sur une citerne de 20 tonnes de G.P.L. Le G.P.L. étudié est le propane. Le propane est stocké à 25°C sous une pression relative de 7,5 bar. La brèche est localisée à 1 m du niveau du sol sur la citerne. Le rejet de propane est horizontal. La phase rejetée est liquide.

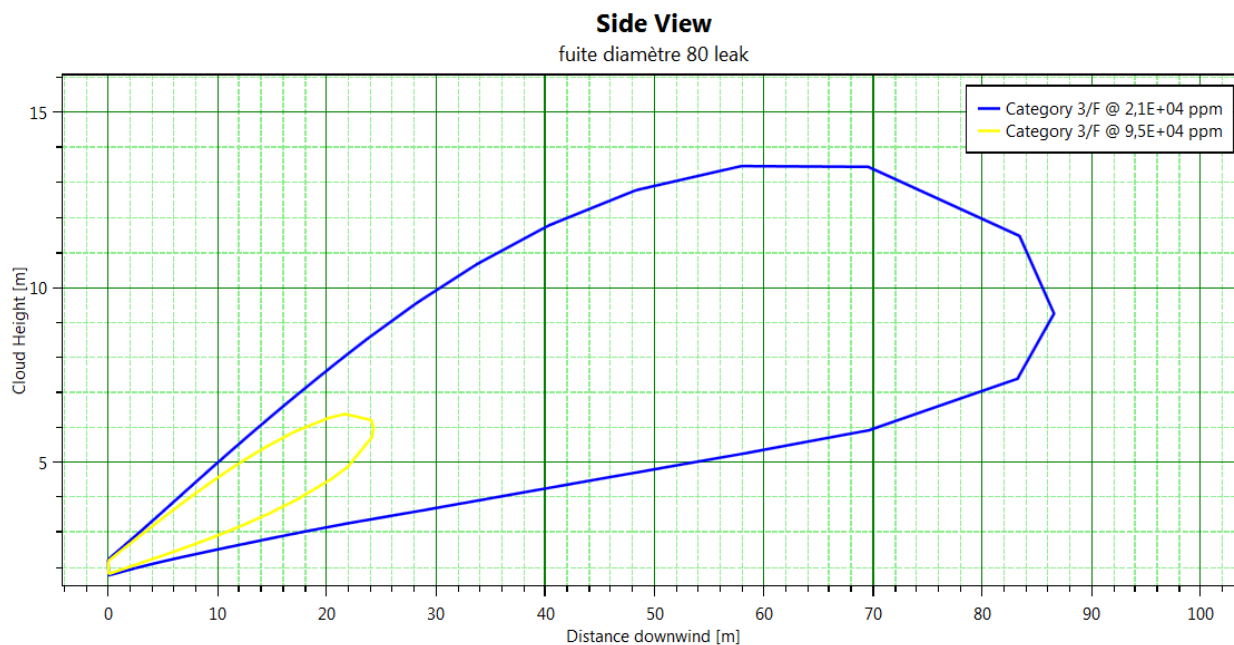
2.7.2 Résultats

Les conditions atmosphériques de PASQUILL 3F et 5D sont étudiées, conformément à la circulaire du 10 mai 2010. La turbulence est intégrée via la considération d'un indice de rugosité des surfaces au sol traduisant la présence d'obstacles de dimensions significatives.

La durée du rejet est supérieure à 120 secondes. La fraction liquide est de 0,66. Le débit du rejet est de 92 kg/s.

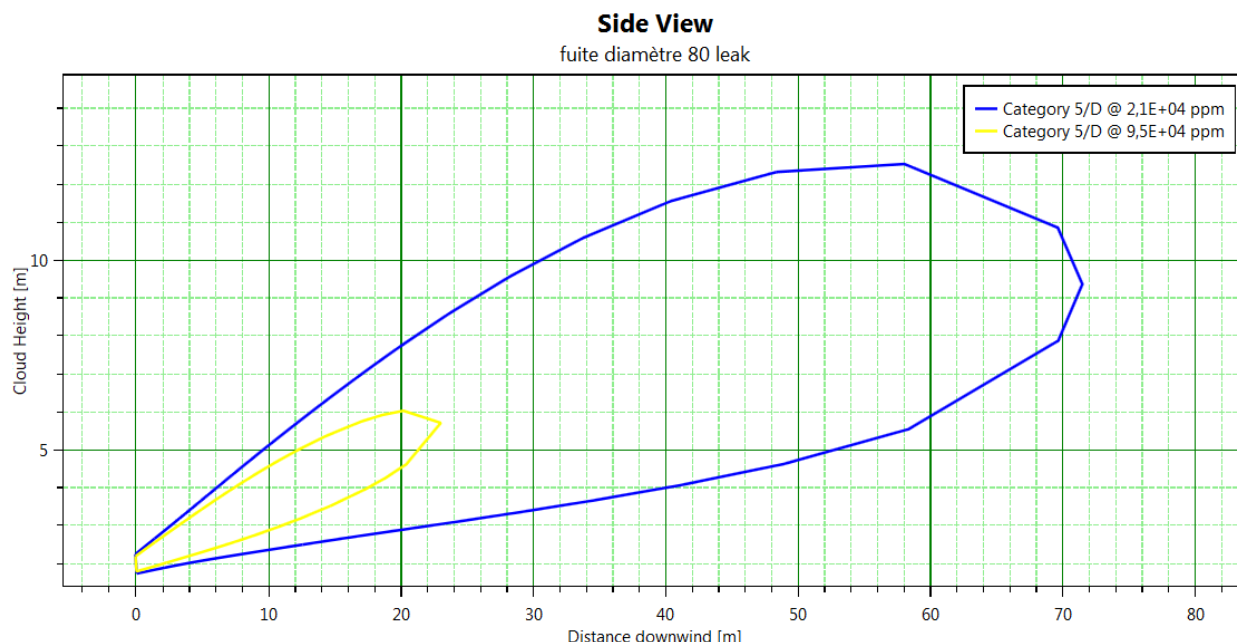
La caractérisation du panache obtenu en condition F/3 est donnée ci-dessous.

Figure 11 : Brèche 80 mm sur citerne 20 t GPL, coupe longitudinale du nuage inflammable, condition F/3



La masse inflammable du nuage est de 170 kg.

Figure 12 : Brèche 80 mm sur citerne 20 t GPL, coupe longitudinale du nuage inflammable, condition D/5



La masse inflammable du nuage est de 120 kg.

En fonction de l'encombrement de la zone/des zones impactées par le nuage inflammable l'indice d'explosion (méthode multi-énergie) diffère.

Dans le cas d'une zone libre de tout obstacle, l'indice d'explosion est de 1 sur une échelle de 1 à 10 : le pic de surpression est inférieur à 20 mbar. Aucun effet de surpression significatif n'est envisagé.

Dans le cas d'une zone encombrée (cuve mitoyenne), et pour les U.V.C.E. sur des stockages G.P.L., l'indice est de 6 (fiche 3 de la circulaire du 10 mai 2010) : le pic de surpressions est de 500 mbar.

Les effets de surpressions sont examinés pour un rejet vers une zone encombrée telle que l'indice d'explosion est de 6. Les distances s'entendent à compter du point de la fuite.

Les distances d'effets de surpression sont données dans le tableau ci-dessous

Conditions météorologiques	Masse inflammable	SELS – 200 mbar	SEL – 140 mbar	SEI – 50 mbar
F/3	170 kg	112 m	134 m	263 m
D/5	120 kg	110 m	130 m	245 m

Les effets thermiques d'un U.V.C.E. (flash-fire) sont désignés à partir de la L.I.E. Autrement dit, toute personne se trouvant sur le parcours des gaz brûlés est susceptible de subir l'effet létal avec une probabilité élevée, et toute personne se trouvant en dehors du nuage inflammable ne peut pas subir d'effet thermique létal.

Conditions météorologiques	Distance à la LIE	SELS – 200 mbar	SEL – 140 mbar	SEI – 50 mbar
F/3	90 m	90 m	90 m	99 m
D/5	74 m	74 m	74 m	81,5 m

2.8 UVCE SUITE A UNE RUPTURE TOTALE SUR UNE CITERNE ROUTIERE DE 20 TONNES DE GPL

2.8.1 Hypothèses

Le phénomène d'UVCE traduit l'inflammation avec un retard d'un nuage inflammable au niveau d'un point de ce nuage.

Il est supposé l'occurrence d'une rupture totale sur une citerne de 20 tonnes de G.P.L. Le G.P.L. étudié est le propane. Le propane est stocké à 25°C sous une pression relative de 7,5 bar. La brèche est localisée à 1 m du niveau du sol sur la citerne. Le rejet de propane est horizontal. La phase rejetée est liquide.

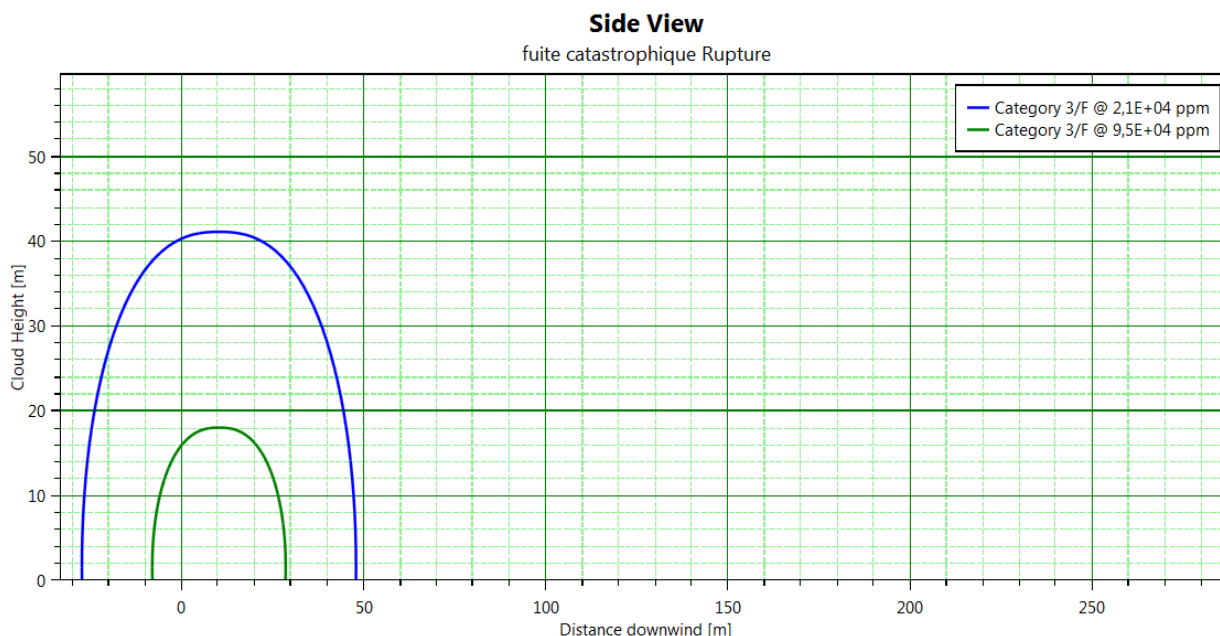
2.8.2 Résultats

Les conditions atmosphériques de PASQUILL 3F et 5D sont étudiées, conformément à la circulaire du 10 mai 2010. La turbulence est intégrée via la considération d'un indice de rugosité des surfaces au sol traduisant la présence d'obstacles de dimensions significatives.

La fraction liquide est de 0,66. Le rejet est instantané.

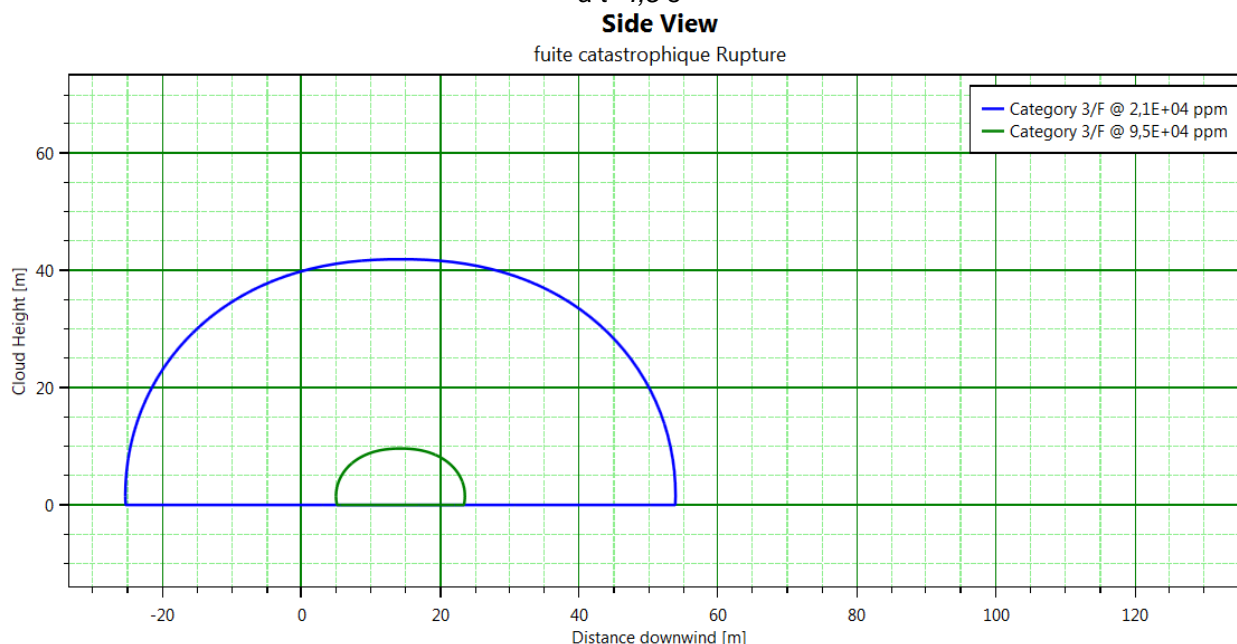
La caractérisation du panache obtenu en condition F/3 est donnée ci-dessous.

Figure 13 : Rupture totale sur citerne 20 t GPL, coupe longitudinale du nuage inflammable, condition F/3, à $t=3,5$ s



La masse inflammable du nuage est de 12 000 kg.

Figure 14 : Rupture totale sur citerne 20 t GPL, coupe longitudinale du nuage inflammable, condition D/5, à $t=4,5$ s



La masse inflammable du nuage est de 12 400 kg.

En fonction de l'encombrement de la zone/des zones impactées par le nuage inflammable l'indice d'explosion (méthode multi-énergie) diffère.

Dans le cas d'une zone libre de tout obstacle, l'indice d'explosion est de 1 sur une échelle de 1 à 10 : le pic de surpression est inférieur à 20 mbar. Aucun effet de surpression significatif n'est envisagé.

Dans le cas d'une zone encombrée (cuve mitoyenne), et pour les U.V.C.E. sur des stockages G.P.L., l'indice est de 6 (fiche 3 de la circulaire du 10 mai 2010) : le pic de surpressions est de 500 mbar.

Les effets de surpressions sont examinés pour un rejet vers une zone encombrée telle que l'indice d'explosion est de 6. Les distances s'entendent à compter du point de la fuite.

Les distances d'effets de surpression sont données dans le tableau ci-dessous

Conditions météorologiques	Masse inflammable	SELS – 200 mbar	SEL – 140 mbar	SEI – 50 mbar
F/3	12 000 kg	326 m	418 m	952 m
D/5	12 400 kg	343 m	436 m	976 m

Les effets thermiques d'un U.V.C.E. (flash-fire) sont désignés à partir de la L.I.E. Autrement dit, toute personne se trouvant sur le parcours des gaz brûlés est susceptible de subir l'effet létal avec une probabilité élevée, et toute personne se trouvant en dehors du nuage inflammable ne peut pas subir d'effet thermique létal.

Conditions météorologiques	Distance à la LIE	SELS – 200 mbar	SEL – 140 mbar	SEI – 50 mbar
F/3	103 m	103 m	103 m	113,3 m
D/5	129 m	129 m	129 m	142 m

2.9 BLEVE SUR UNE CITERNE ROUTIERE DE 20 TONNES DE GPL SANS EFFET THERMIQUE

2.9.1 Hypothèses

Pour évaluer les effets des produits identifiés par la Classe 2.2 de l'ADR (gaz ininflammables, non toxiques), nous avons considéré le scénario BLEVE d'une citerne de GPL ne générant pas d'effet thermique. Seuls les effets de surpression sont considérés.

2.9.2 Résultats

Les résultats de l'évaluation des surpressions sont issus des tableaux figurant à la circulaire du 10/05/2010 sur la fiche 4 : « les phénomènes dangereux associés aux gaz inflammables liquéfiés dans les établissements de stockage hors raffineries et pétrochimie – Le BLEVE ».

Les zones d'effets de surpression sont données dans le tableau ci-dessous.

Contenant	Peclatement	SELS – 200 mbar	SEL – 140 mbar	SEI – 50 mbar
Citerne de 20 tonnes de butane ou propane	25 bar	45 m	65 m	130 m

2.10 REJET TOXIQUE BRECHE DE 5 MM SUR CITERNE DE CHLORE

2.10.1 Hypothèses

Il est supposé l'occurrence d'une brèche de 5 mm de diamètre sur une citerne de 20 tonnes de chlore.

L'examen de l'Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) souligne les informations ci-après.

La pression d'épreuve applicable aux citernes destinées au transport des gaz liquéfiés à haute pression, et des gaz dissous, doit être telle que, lorsque le réservoir est rempli au taux de remplissage maximal, la pression de la matière, à 55 °C pour les citernes munies d'une isolation thermique ou à 65°C pour les citernes sans isolation thermique, ne dépasse pas la pression d'épreuve.

Dans le cas d'une citerne de chlore, la pression minimale d'épreuve est de 17 bar effectif dans le cas d'une citerne munie d'une protection calorifuge et de 19 bar effectifs dans le cas d'une citerne non équipée de cette protection.

Le taux de remplissage dans le cas d'une citerne de chlore est de 1,25 kg/l de capacité. Pour une capacité de 20 m³, la quantité maximale de chlore est de l'ordre de 25 tonnes.

Le stockage de chlore est diphasique, la température du stockage est supposé ambiante (25°C). La pression relative de stockage associée à ce stockage est de 6,8 bar.

Il est supposé une brèche au niveau de la phase liquide car le débit est supérieur dans tous les cas à celui de la phase vapeur.

2.10.2 Résultats

La durée du rejet est supérieure à 30 minutes.

La fraction liquide est de 0,85 dans le cas d'une brèche au niveau de la phase liquide. Le débit du rejet est de $4,81 \cdot 10^{-1}$ kg/s.

La caractérisation du panache selon les seuils de toxicité du chlore pour une exposition de 30 minutes des cibles est donnée dans les figures ci-dessous.

Figure 15 : Brèche de 5 mm sur une citerne de 20 tonnes de chlore, effets toxiques pour une exposition de 30 minutes conditions F/3

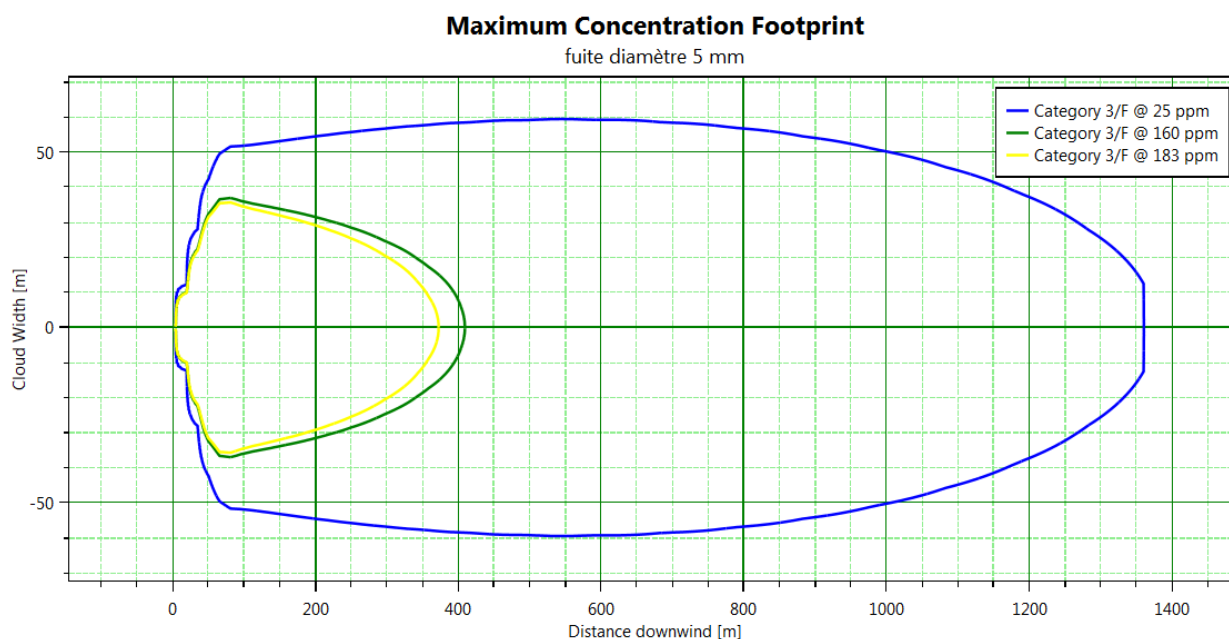
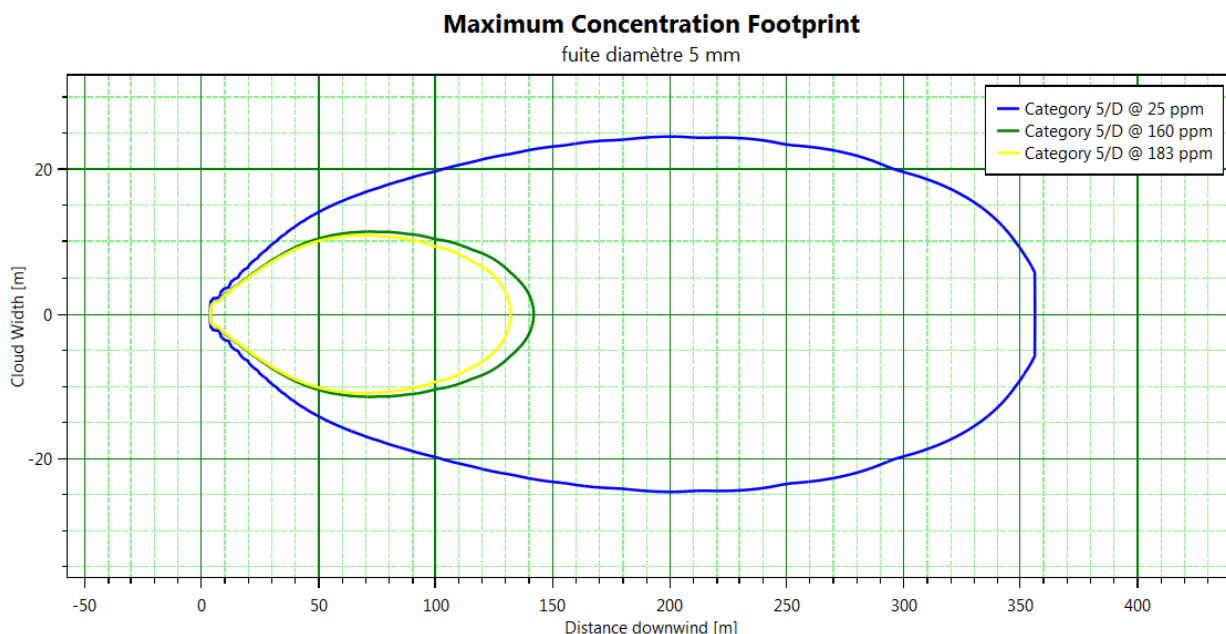


Figure 16 : Brèche de 5 mm sur une citerne de 20 tonnes de chlore, effets toxiques pour une exposition de 30 minutes conditions D/5



Les distances d'effets sont données dans le tableau suivant

Conditions météorologiques	SELS – 183 ppm	SEL – 160 ppm	SEI – 25 ppm
F/3	373 m	410 m	1360 m
D/5	132 m	142 m	356 m

2.11 REJET TOXIQUE BRECHE DE 80 MM SUR CITERNE DE CHLORE

2.11.1 Hypothèses

Il est supposé l'occurrence d'une brèche de 80 mm de diamètre sur une citerne de 20 tonnes de chlore.

L'examen de l'Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) souligne les informations ci-après.

La pression d'épreuve applicable aux citernes destinées au transport des gaz liquéfiés à haute pression, et des gaz dissous, doit être telle que, lorsque le réservoir est rempli au taux de remplissage maximal, la pression de la matière, à 55 °C pour les citernes munies d'une isolation thermique ou à 65°C pour les citernes sans isolation thermique, ne dépasse pas la pression d'épreuve.

Dans le cas d'une citerne de chlore, la pression minimale d'épreuve est de 17 bar effectif dans le cas d'une citerne munie d'une protection calorifuge et de 19 bar effectifs dans le cas d'une citerne non équipée de cette protection.

Le taux de remplissage dans le cas d'une citerne de chlore est de 1,25 kg/l de capacité. Pour une capacité de 20 m³, la quantité maximale de chlore est de l'ordre de 20 tonnes.

Le stockage de chlore est diphasique, la température du stockage est supposé ambiante (25°C). La pression relative de stockage associée à ce stockage est de 6,8 bar.

Il est supposé une brèche au niveau de la phase liquide car le débit est supérieur dans tous les cas à celui de la phase vapeur.

2.11.2 Résultats

La durée du rejet est inférieure à 30 minutes, compte tenu d'une durée d'exposition variant avec le temps et la distance, du fait du passage de bouffées successives, il est décidé de raisonner en équivalent dose avec pour référence les seuils pour une exposition de 30 minutes.

La fraction liquide est de 0,85 dans le cas d'une brèche au niveau de la phase liquide. Le débit du rejet est de 123 kg/s.

La caractérisation du panache selon les seuils de toxicité du chlore pour une exposition de 30 minutes des cibles est donnée dans les figures ci-dessous.

Figure 17 : Brèche de 80 mm sur une citerne de 20 tonnes de chlore, effets toxiques pour une exposition de 30 minutes conditions F/3

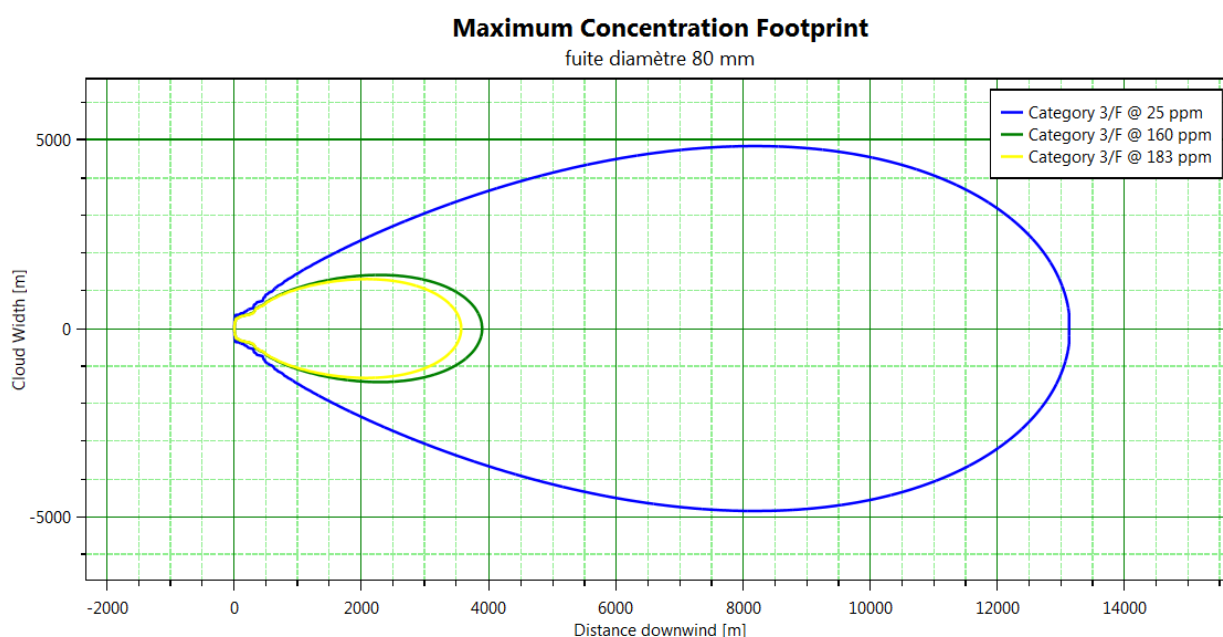
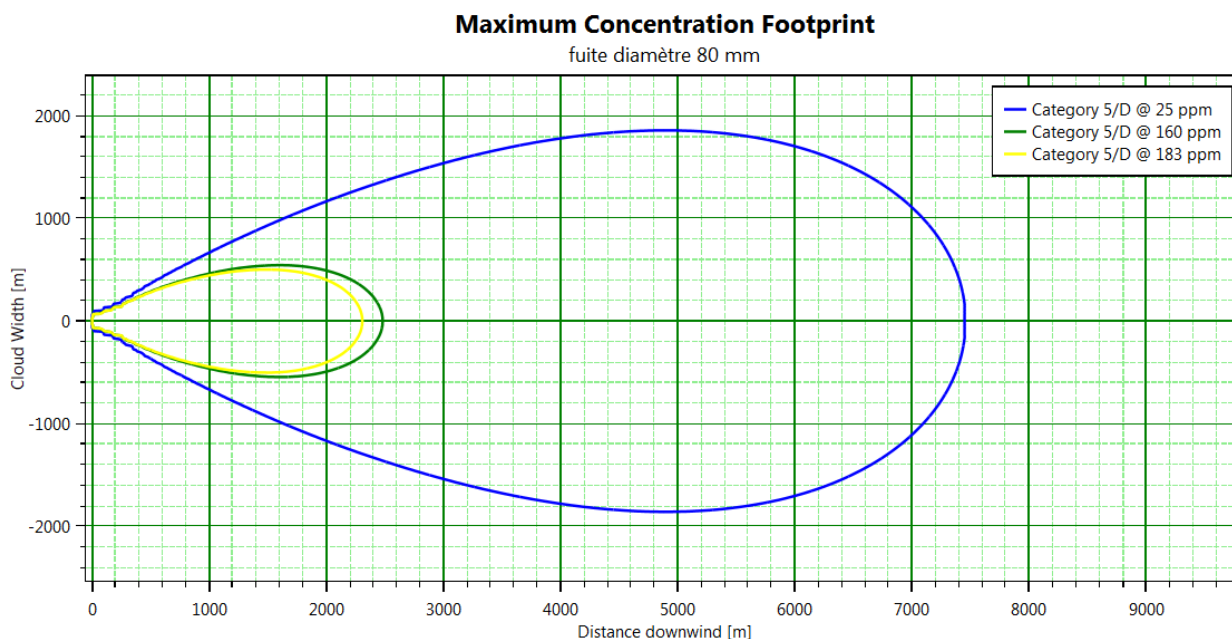


Figure 18 : Brèche de 80 mm sur une citerne de 20 tonnes de chlore, effets toxiques pour une exposition de 30 minutes conditions D/5



Les distances d'effets sont données dans le tableau suivant

Conditions météorologiques	SELS – 183 ppm	SEL – 160 ppm	SEI – 25 ppm
F/3	3 566 m	3 895 m	13 123 m
D/5	2 308 m	2 481 m	7 450 m

2.12 REJET TOXIQUE BRECHE RUPTURE TOTALE CITERNE DE CHLORE

2.12.1 Hypothèses

Il est supposé l'occurrence d'une rupture totale sur une citerne de 20 tonnes de chlore.

L'examen de l'Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR) souligne les informations ci-après.

La pression d'épreuve applicable aux citernes destinées au transport des gaz liquéfiés à haute pression, et des gaz dissous, doit être telle que, lorsque le réservoir est rempli au taux de remplissage maximal, la pression de la matière, à 55 °C pour les citernes munies d'une isolation thermique ou à 65°C pour les citernes sans isolation thermique, ne dépasse pas la pression d'épreuve.

Dans le cas d'une citerne de chlore, la pression minimale d'épreuve est de 17 bar effectif dans le cas d'une citerne munie d'une protection calorifuge et de 19 bar effectifs dans le cas d'une citerne non équipée de cette protection.

Le taux de remplissage dans le cas d'une citerne de chlore est de 1,25 kg/l de capacité. Pour une capacité de 20 m³, la quantité maximale de chlore est de l'ordre de 20 tonnes.

Le stockage de chlore est diphasique, la température du stockage est supposé ambiante (25°C). La pression relative de stockage associée à ce stockage est de 6,8 bar.

2.12.2 Résultats

La rupture totale conduit à un relachement instantané. La dispersion s'opère selon le mode bouffée dans un premier temps, puis un rejet continu suite à l'évaporation de la nappe de chlore. Aussi pour des raisons de sécurité nous avons pris en compte les seuils d'exposition de 30 minutes.

La fraction liquide est de 0,85 dans le cas d'une brèche au niveau de la phase liquide.

La caractérisation du panache selon les seuils de toxicité du chlore pour une exposition de 30 minutes des cibles est donnée dans les figures ci-dessous.

Figure 19 : Rupture totale sur une citerne de 20 tonnes de chlore, effets toxiques pour une exposition de 30 minutes conditions F/3

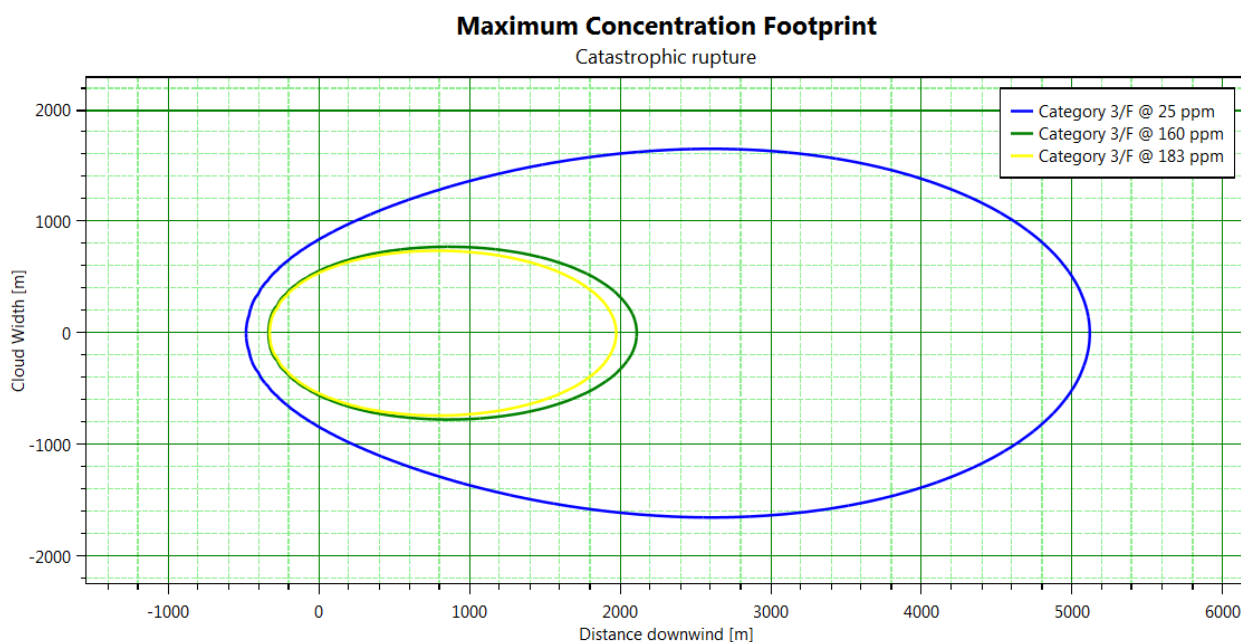
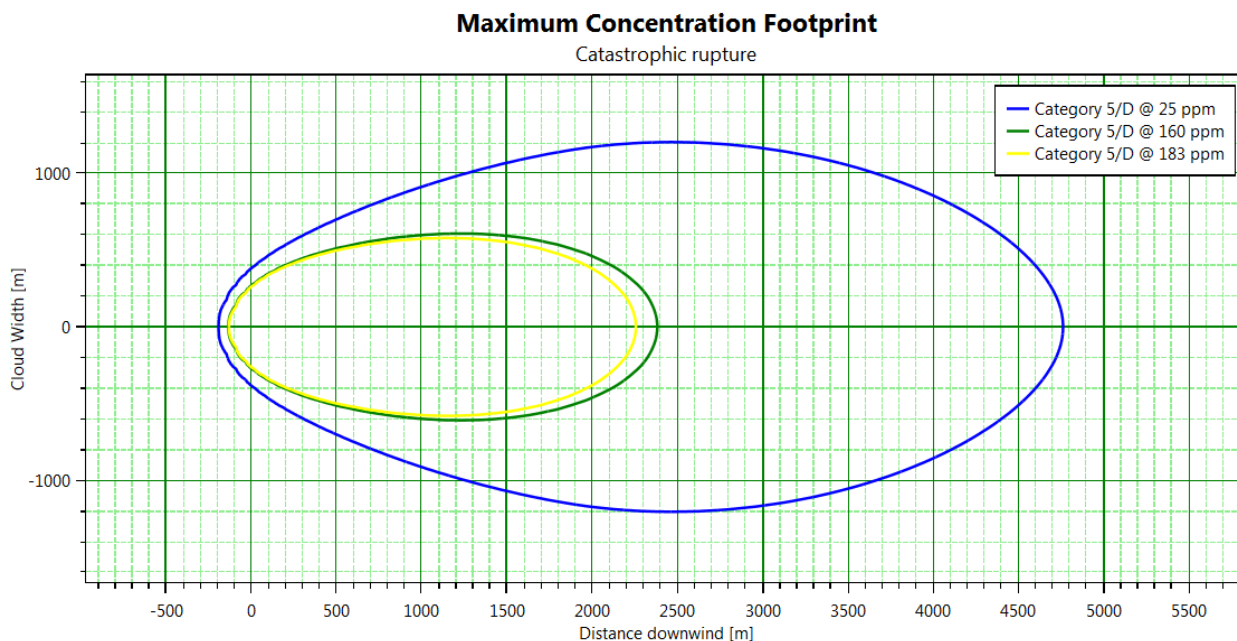


Figure 20 : Brèche de 80 mm sur une citerne de 20 tonnes de chlore, effets toxiques pour une exposition de 30 minutes conditions D/5



Les distances d'effets sont données dans le tableau suivant

Conditions météorologiques	SELS – 183 ppm	SEL – 160 ppm	SEI – 25 ppm
F/3	1 973 m	2 109 m	5 119 m
D/5	2 257 m	2 382 m	4 763 m

2.13 FEU DE NAPPE SUITE A UNE BRECHE DE 5 MM SUR UNE CITERNE DE 25 TONNES DE SUPERCARBURANT

2.13.1 Hyptohèses

Le supercarburant est assimilé à de l'essence. Le stockage de supercarburant est réalisé en citerne de 25 tonnes. Le réservoir est à pression atmosphérique et la température de stockage est la température ambiante (25°C).

La masse volumique du supercarburant à 25°C est comprise entre 720 et 775 kg/m³. Le P.C.I. de l'essence est de 41 840 kJ/kg. Le débit massique surfacique de combustion est de 55 g/m²/s [Guide du GTDLI sur les dépôts de liquides inflammables].

La brèche est supposée se produire en partie basse de la citerne impliquant une hauteur de liquide significative au-dessus de la brèche. La quantité d'hydrocarbure susceptible d'être rejetée par la brèche serait alors dimensionnante. Le rejet est vertical descendant.

Le sol est réalisé en béton ou enrobé : il est supposé imperméable, ou tout du moins ne pas être un frein au développement d'une nappe d'hydrocarbure. Il n'est pas considéré de pentes singulières au niveau du sol : le sol sur lequel se produirait l'épandage est supposé plat.

Il est supposé que l'inflammation survient un fois la nappe entièrement développée.

2.13.2 Résultats

Le débit à la brèche est de $6,8.10^{-2}$ kg/s. Compte tenu de la masse volumique de l'essence évaluée à 720 kg/m³, le débit à la brèche est estimé à $9,44.10^{-5}$ m³/s, soit 0,34 m³/h. Sans intervention humaine, la durée de la vidange totale de la citerne serait de 102 heures soit 4,25 jours.

La considération de la réalisation de la vidange de toute la citerne sans intervention extérieure (obturation de la brèche, déplacement de la citerne, boudin de rétention,...) n'est pas pertinente compte tenu de la durée calculée.

L'étude du feu de nappe de supercarburant épanché suite à une brèche de 5 mm est évalué sur une durée de 2 heures. Délai majorant estimé pour s'apercevoir de la fuite.

La considération des paramètres d'études proposés par le guide U.F.I.P.⁹ pour l'étude de l'étalement de flaque indique que la valeur de 0,01 m est préconisée pour un sol béton.

Le volume rejeté sur une durée de 2 heures engendre une flaque de rayon 5 mètres.

Les distances d'effets donnés par la feuille de calcul excel sont fournies dans le tableau ci-dessous.

Diamètre de la nappe	Hauteur de flamme	SELS – 8 kW/m ²	SEL – 5 kW/m ²	SEI – 3 kW/m ²
10 m	8 m	25 m	25 m	30 m

Les distances du tableau sont données à partir du centre de la nappe.

2.14 FEU DE NAPPE SUITE A UNE BRECHE DE 80 MM SUR UNE CITERNE DE 25 TONNES DE SUPERCARBURANT

2.14.1 Hypothèses

Le supercarburant est assimilé à de l'essence. Le stockage de supercarburant est réalisé en citerne de 25 tonnes. Le réservoir est à pression atmosphérique et la température de stockage est la température ambiante (25°C).

La masse volumique du supercarburant à 25°C est comprise entre 720 et 775 kg/m³. Le P.C.I. de l'essence est de 41 840 kJ/kg. Le débit massique surfacique de combustion est de 55 g/m²/s [Guide du GTDLI sur les dépôts de liquides inflammables].

La brèche est supposée se produire en partie basse de la citerne impliquant une hauteur de liquide significative au-dessus de la brèche. La quantité d'hydrocarbure susceptible d'être rejetée par la brèche serait alors dimensionnante. Le rejet est vertical descendant.

⁹ Union Française des Industries Pétrolières

Le sol est réalisé en béton ou enrobé : il est supposé imperméable, ou tout du moins ne pas être un frein au développement d'une nappe d'hydrocarbure. Il n'est pas considéré de pentes singulières au niveau du sol : le sol sur lequel se produirait l'épandage est supposé plat.

Il est supposé que l'inflammation survient un fois la nappe entièrement développée.

2.14.2 Résultats

Le débit à la brèche est de 17,4 kg/s. Compte tenu de la masse volumique de l'essence évaluée à 720 kg/m³, le débit à la brèche est estimé à 2,4.10⁻² m³/s, soit 86 m³/h. Sans intervention humaine, la durée de la vidange totale de la citerne serait de 24 minutes.

Compte tenu de la durée de vidange réduite, il est alors supposé la vidange totale de la citerne avant toute intervention extérieure.

La nappe développée est circulaire, la considération des paramètres d'études proposés par le guide U.F.I.P. pour l'étude de l'étalement de flaque indique que la valeur de 0,01 m est préconisée pour un sol béton.

Le volume total engendre une flaque de rayon 33 mètres.

Les distances d'effets donnés par la feuille de calcul excel sont fournies dans le tableau ci-dessous.

Diamètre de la nappe	Hauteur de flamme	SELS – 8 kW/m ²	SEL – 5 kW/m ²	SEI – 3 kW/m ²
66 m	45 m	58 m	73 m	93 m

Les distances du tableau sont données à partir du centre de la nappe.

2.15 FEU DE NAPPE SUITE A RUPTURE TOTALE SUR UNE CITERNE DE 25 TONNES DE SUPERCARBURANT

2.15.1 Hypothèses

Le supercarburant est assimilé à de l'essence. Le stockage de supercarburant est réalisé en citerne de 25 tonnes. Le réservoir est à pression atmosphérique et la température de stockage est la température ambiante (25°C).

La masse volumique du supercarburant à 25°C est comprise entre 720 et 775 kg/m³. Le P.C.I. de l'essence est de 41 840 kJ/kg. Le débit massique surfacique de combustion est de 55 g/m²/s [Guide du GTDLI sur les dépôts de liquides inflammables].

La brèche est supposée se produire en partie basse de la citerne impliquant une hauteur de liquide significative au-dessus de la brèche. La quantité d'hydrocarbure susceptible d'être rejetée par la brèche serait alors dimensionnante. Le rejet est vertical descendant.

Le sol est réalisé en béton ou enrobé : il est supposé imperméable, ou tout du moins ne pas être un frein au développement d'une nappe d'hydrocarbure. Il n'est pas considéré de pentes singulières au niveau du sol : le sol sur lequel se produirait l'épandage est supposé plat.

Il est supposé que l'inflammation survient un fois la nappe entièrement développée.

2.15.2 Résultats

La rupture totale engendre un rejet instantané du contenu de la citerne soit 25 tonnes. Compte tenu de la masse volumique de l'essence évaluée à 720 kg/m^3 , le volume est de $34,7 \text{ m}^3$.

La nappe développée est circulaire, la considération des paramètres d'études proposés par le guide U.F.I.P. pour l'étude de l'étalement de flaque indique que la valeur de 0,01 m est préconisée pour un sol béton.

Le volume total engendre une flaque de rayon 33 mètres.

Les distances d'effets donnés par la feuille de calcul excel sont fournies dans le tableau ci-dessous.

Diamètre de la nappe	Hauteur de flamme	SELS – 8 kW/m^2	SEL – 5 kW/m^2	SEI – 3 kW/m^2
66 m	45 m	58 m	73 m	93 m

Les distances du tableau sont données à partir du centre de la nappe.

2.16 DETONATION D'UN CONTENEUR D'AMONITRATE DE 27 TONNES

2.16.1 Hypothèses

La masse d'ammonitrates considérée est de 27 tonnes. La proportion de masse susceptible de détoner est fixée à 10 %. L'équivalent T.N.T. est de 30 %.

2.16.2 Résultats

L'application des formules de la circulaire du 21 janvier 2002 et des formules de l'UFC-3-340-02 dans le cas d'une explosion en surface renvoie les distances d'effets suivantes.

Contenant	Masse	Proportion à détoner (%)	Equivalent TNT (%)	SELS – 200 mbar	SEL – 140 mbar	SEI – 50 mbar
Conteneur d'amonitrate de 27 tonnes	27 000 kg	10	30	75 m	93 m	205 m

2.17 DETONATION D'UN BIG-BAG D'AMONITRATE DE 500 KG

2.17.1 Hypothèses

La masse d'ammonitrates considérée est de 500 kg. La proportion de masse susceptible de détonner est fixée à 10 %. L'équivalent T.N.T. est de 30 %.

2.17.2 Résultats

L'application des formules de la circulaire du 21 janvier 2002 et des formules de l'UFC-3-340-02 dans le cas d'une explosion en surface renvoie les distances d'effets suivantes.

Contenant	Masse	Proportion à détoner (%)	Equivalent TNT (%)	SELS – 200 mbar	SEL – 140 mbar	SEI – 50 mbar
Big-bags d'amonitrate	500 kg	10	30	20 m	25 m	55 m