

Rapport de modélisation

ARCELOR MITTAL CONSTRUCTION FRANCE
55800 CONTRISSON

MODELISATIONS DE PHENOMENES DANGEREUX



ARCELOR MITTAL CONSTRUCTION FRANCE

Morinval
55800 CONTRISSON

N° Affaire : 2402EK1K0000095
Date d'édition du rapport : 13/10/2025

AUTEUR : Sylvain GOUGEON
Email : sylvain.gougeon@socotec.com

SOCOTEC ENVIRONNEMENT

5, place des Frères Montgolfier- CS 20732 – Guyancourt
78182 St-Quentin-en-Yvelines Cedex – France

SOCOTEC ENVIRONNEMENT - S.A.S au capital de 436 960 euros
Siège social : 5, place des Frères Montgolfier- CS 20732 – Guyancourt - 78182 St-Quentin-en-Yvelines Cedex – France
834 096 497 RCS Versailles – APE 7120B - n° TVA intracommunautaire : FR 00 834096497 - www.socotec.fr

SOMMAIRE

1. OBJECTIFS.....	4
1.1. PHENOMENES DANGEREUX MODELISES	4
1.2. SEUILS D'EFFETS RECHERCHES	5
2. METHODES UTILISEES.....	6
2.1. DEBIT A LA BRECHE	6
2.2. DISPERSION ATMOSPHERIQUE D'UN GAZ, DE VAPEUR OU DE FUMEEES	6
2.3. FEU TORCHE (OU JET ENFLAMME)	8
2.4. EXPLOSION NON CONFINEE (UVCE / FLASH FIRE).....	8
2.5. EXPLOSION CONFINEE.....	9
2.6. TOXICITE DES FUMEEES D'INCENDIE	10
3. PHD 18 : RUPTURE D'UNE CANALISATION D'HYDROGENE INTERIEURE.....	11
3.1. HYPOTHESES DE CALCUL LIEES A L'INSTALLATION	11
3.2. RESULTATS DES CALCULS POUR LE REJET	12
3.3. RESULTAT DES CALCULS DE DISTANCES D'EFFET	12
4. PHD 28 : RUPTURE D'UNE CANALISATION D'HYDROGENE EXTERIEURE	14
4.1. HYPOTHESES DE CALCUL LIEES A L'INSTALLATION	14
4.2. RESULTATS DES CALCULS POUR LE REJET	15
4.3. RESULTAT DES CALCULS DE DISTANCES D'EFFET	15
5. PHD 29 : RUPTURE D'UN PIQUAGE SUR LE RESERVOIR D'HYDROGENE	17
5.1. HYPOTHESES DE CALCUL LIEES A L'INSTALLATION	17
5.2. RESULTATS DES CALCULS POUR LE REJET	18
5.3. RESULTAT DES CALCULS DE DISTANCES D'EFFET	18
6. PHD 30 : RUPTURE DU FLEXIBLE LORS DU DECHARGEMENT D'HYDROGENE PAR CAMION-CITERNE ..	20
6.1. HYPOTHESES DE CALCUL LIEES A L'INSTALLATION	20
6.2. RESULTATS DES CALCULS POUR LE REJET	21
6.3. RESULTAT DES CALCULS DE DISTANCES D'EFFET	21
7. PHD 31 : RUPTURE D'UNE CANALISATION DE GAZ NATUREL EXTERIEURE.....	23
7.1. HYPOTHESES DE CALCUL LIEES A L'INSTALLATION	23
7.2. RESULTATS DES CALCULS POUR LE REJET	24
7.3. RESULTAT DES CALCULS DE DISTANCES D'EFFET	24
8. PHD 37 : DISPERSION DE FUMEEES TOXIQUES ENGENDREES PAR L'INCENDIE DE LA RETENTION D'UNE CUVE VRAC DE PEINTURE.....	26
8.1. DEFINITION DU TERME SOURCE	26
8.2. DIMENSIONS DE LA ZONE CONCERNEE.....	27
8.3. AUTRES HYPOTHESES ET RESULTATS DE CALCULS.....	28
8.4. RESULTATS DES CALCULS – SORTIES GRAPHIQUES.....	29

9. PHD 39 : EXPLOSION DU CIEL GAZEUX D'UNE CUVE DE STOCKAGE PEINTURE VRAC	30
9.1. HYPOTHESES DE CALCUL LIEES A L'INSTALLATION	30
9.2. RESULTATS DES CALCULS POUR LE TERME SOURCE	30
9.3. RESULTAT DES CALCULS DE DISTANCES D'EFFET	31

1. OBJECTIFS

Cette étude consiste à modéliser l'intensité des phénomènes dangereux redoutés dans le cadre de l'exploitation des installations de la société ARCELOR MITTAL CONSTRUCTION FRANCE implantée au lieu-dit « Morinval » sur la commune de Contrisson (55). Elle s'inscrit dans le cadre de l'étude de dangers jointe au Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale.

1.1. Phénomènes dangereux modélisés

Il s'agit de modéliser les effets engendrés par les accidents technologiques majeurs suivants :

Evènement redouté central	Phénomènes dangereux associés	Effets
ERC 18	PhD18A : Explosion suite à la rupture d'une canalisation d'hydrogène intérieure	Effets de surpression
	PhD18B : Feu Torche suite à la rupture d'une canalisation d'hydrogène intérieure	Effets thermiques
ERC 28	PhD28A : Explosion suite à la rupture d'une canalisation d'hydrogène extérieure (UCVE/Flash Fire)	Effets de surpression (UVCE) Effets thermiques (Flash Fire)
	PhD28B : Feu Torche suite à la rupture d'une canalisation d'hydrogène extérieure	Effets thermiques
ERC 29	PhD29A : Explosion suite à la rupture d'un piquage sur le réservoir d'hydrogène (UCVE/Flash Fire)	Effets de surpression (UVCE) Effets thermiques (Flash Fire)
	PhD29B : Feu Torche suite à la rupture d'un piquage sur le réservoir d'hydrogène	Effets thermiques
ERC 30	PhD30A : Explosion suite à la rupture du flexible lors du déchargement d'hydrogène par camion-citerne (UCVE/Flash Fire)	Effets de surpression (UVCE) Effets thermiques (Flash Fire)
	PhD30B : Feu Torche suite à la rupture du flexible lors du déchargement d'hydrogène par camion-citerne	Effets thermiques
ERC 31	PhD31A : UVCE suite à la rupture d'une canalisation de gaz naturel extérieure (UCVE/Flash Fire)	Effets de surpression (UVCE) Effets thermiques (Flash Fire)
	PhD31B : Feu Torche suite à la rupture d'une canalisation de gaz naturel extérieure	Effets thermiques
ERC 37	PhD37 : Dispersion de fumées toxiques engendrées par l'incendie de la rétention d'une cuve vrac de peinture	Effets toxiques
ERC 39	PhD39 : Explosion du ciel gazeux d'une cuve de stockage peinture vrac	Effets de surpression

1.2. Seuils d'effets recherchés

On recherche les distances correspondant aux flux suivants (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) :

Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets de surpression :

Pour les effets de surpression sur l'homme :

- ▶ 20 hPa ou mbar, seuil des effets délimitant la zone des effets indirects par bris de vitre sur l'homme,
- ▶ 50 hPa ou mbar, seuil des effets irréversibles délimitant la «zone des dangers significatifs pour la vie humaine»,
- ▶ 140 hPa ou mbar, seuil des effets létaux délimitant la «zone des dangers graves pour la vie humaine»,
- ▶ 200 hPa ou mbar, seuil des effets létaux significatifs délimitant la «zone des dangers très graves pour la vie humaine»,

Pour les effets de surpression sur les structures :

- ▶ 20 hPa ou mbar, seuil des destructions significatives de vitres,
- ▶ 50 hPa ou mbar, seuil des dégâts légers sur les structures,
- ▶ 140 hPa ou mbar, seuil des dégâts graves sur les structures,
- ▶ 200 hPa ou mbar, seuil des effets domino,
- ▶ 300 hPa ou mbar, seuil des dégâts très graves sur les structures,

Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques :

Pour les effets thermiques sur l'homme :

- ▶ 3 kW/m² ou 600 [(kW/m²) 4/3].s, seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine » ;
- ▶ 5 kW/m² ou 1 000 [(kW/m²) 4/3].s, seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement ;
- ▶ 8 kW/m² ou 1 800 [(kW/m²) 4/3].s, seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine » mentionnée à l'article L. 515-16 du code de l'environnement.

Pour les effets thermiques sur les structures :

- ▶ 5 kW/m², seuil des destructions de vitres significatives ;
- ▶ 8 kW/m², seuil des effets domino (1) et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures ;
- ▶ 16 kW/m², seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton ;
- ▶ 20 kW/m², seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton ;
- ▶ 200 kW/m², seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets toxiques :

	Types d'effets constatés	Concentration d'exposition	Référence
Exposition de 1 à 60 minutes	Létaux	ELS (CL 5 %) SEL (CL 1 %)	Seuils de toxicité aiguë Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère.
	Irréversibles	SEI	Ministère de l'écologie et du développement durable. Institut national de l'environnement industriel et des risques. 2003 (et ses mises à jour ultérieures).
	Réversibles	SER	

2. METHODES UTILISEES

2.1. Débit à la brèche

Le débit à la brèche est déterminé par le logiciel PHAST, compte-tenu des conditions de pression et de température du fluide à la brèche, et de la section de la brèche.

2.2. Dispersion atmosphérique d'un gaz, de vapeur ou de fumées

2.2.1. Logiciel de modélisation

La modélisation est réalisée à l'aide de la version 9.11 du logiciel PHAST. PHAST PROFESSIONAL est un logiciel développé par DNV qui évalue les conséquences d'un rejet accidentel d'un produit dangereux. Le logiciel PHAST a été validé par une évaluation de l'INERIS pour le compte du Ministère de l'Environnement français.

Le programme étudie à partir de scénario type de base l'évolution d'un accident potentiel depuis le rejet initial jusqu'à sa dispersion en passant par la formation d'un nuage ou d'une flaque le cas échéant. Il applique automatiquement les modèles mathématiques de dispersion en tenant compte des évolutions des paramètres.

Le logiciel PHAST se base sur un modèle intégral. Il inclut une phase de rejet dynamique à l'orifice avant la phase de dispersion passive régie par les conditions atmosphériques.

Les 3 paramètres importants pour la phase de dispersion qu'intègre le logiciel PHAST sont :

- ▶ Les conditions météorologiques,
- ▶ Les conditions orographiques,
- ▶ Un facteur correctif de dispersion de nuage (averaging time).

2.2.2. Hypothèses de calcul liées aux conditions météorologiques

Les conditions météorologiques retenues sont les suivantes :

- ▶ Pression atmosphérique = 1,013 bar,
- ▶ Hygrométrie relative = 70%,

Conformément à la circulaire du 10 mai 2010, jusqu'à 9 couples de conditions météorologiques sont envisagés.

Type de rejet	Classe de stabilité	Vitesse de vent (m/s)	Température
Rejet horizontal ou au niveau du sol	D	5	20 °C
	F	3	15 °C
Rejet en altitude ou rejet vertical ou rejet de gaz léger	F	3	15 °C
	D	5	20 °C
	A	3	20 °C
	B	3	20 °C
	B	5	20 °C
	C	5	20 °C
	C	10	20 °C
	D	10	20 °C
	E	3	20 °C

On considère que les conditions météorologiques restent constantes sur le domaine étudié.

On rappelle que la classe de stabilité permet de caractériser la turbulence atmosphérique, dont dépend la dispersion du panache.

De façon schématique, en atmosphère instable, les écarts-type, qui définissent l'expansion horizontale et verticale du panache, sont importants. Par conséquent, le panache est large et atteint le sol dans une zone proche de la source.

En atmosphère stable, ces écarts-type sont étroits, entraînant un panache fin, qui parcourt des distances plus importantes qu'en atmosphère instable avant d'atteindre le sol et qui subit un effet de dilution tout au long de son parcours.

2.2.3. Hypothèses de calcul liées aux conditions orographiques

La longueur de rugosité, qui permet de décrire la surface recevant le nuage est retenue à 1 m (*coefficient de rugosité correspondant = 0,1737*), ce qui caractérise une zone composée de nombreux grands obstacles (contexte industriel).

2.3. Feu torche (ou jet enflammé)

Un jet enflammé correspond à l'inflammation immédiate, sous l'action d'une source d'ignition, d'un jet de gaz rejeté sous pression, dans un environnement libre (non confiné). Pour estimer le flux rayonné par le jet enflammé, des modèles validés par des essais à grande échelle sont retenus.

Ces modèles supposent que le flux gazeux à l'origine du feu torche est extrêmement turbulent (Reynolds > 25000), ce qui majore les distances de dangers des effets thermiques engendrés. Le jet de flamme est modélisé par un tronc de cône avec une source ponctuelle localisée au barycentre de ce tronc de cône.

Ces calculs sont également réalisés avec le logiciel PHAST 9.11.

2.4. Explosion non confinée (UVCE / Flash Fire)

L'ignition retardée d'un jet de gaz inflammable conduit à :

- ▶ des effets de surpression (UVCE),
- ▶ des effets thermiques (Flash Fire).

De manière générale, le terme UVCE s'applique lorsque des effets de pressions sont observés, alors que le terme Flash Fire est réservé aux situations où la combustion du nuage ne produit pas d'effets de pression. Cependant, il s'agit ici dans les 2 cas du même phénomène physique, à savoir la combustion d'un mélange gazeux inflammable.

2.4.1. Calcul des distances des effets thermiques

Conformément à la fiche n°3 de la circulaire du 10 mai 2010 (« les phénomènes dangereux associés aux GPL dans les établissements de stockage hors raffineries et pétrochimie – l'UVCE ») les effets thermiques du Flash Fire (ou feu de nuage) sont définis comme suit :

- ▶ Distance au **seuil des Effets Létaux Significatifs (SELS)** = Distance à la LIE
- ▶ Distance au **seuil des Effets Létaux (SEL)** = Distance à la LIE
- ▶ Distance au **seuil des Effets Irréversibles (SEI)** = 1,1 x Distance à la LIE

2.4.2. Calcul des distances des effets de surpression

La modélisation a été réalisée à l'aide de la méthode Multiénergie, développée par le TNO. Cette méthode stipule que la violence d'une explosion est fonction, non seulement des caractéristiques du combustible, mais aussi des caractéristiques de l'environnement dans lequel se déroule l'explosion.

Ainsi la méthode Multiénergie permet d'évaluer les surpressions engendrées par des déflagrations ou par des détonations.

La violence de l'explosion est caractérisée par un indice de sévérité. Il existe 10 indices que s'échelonnent du niveau 1, déflagration très faible, au niveau 10 correspondant à la détonation.

Le choix de l'indice de sévérité est établi sur la base du tableau de Kinsella (*Guide des méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre – INERIS 1999*) en fonction :

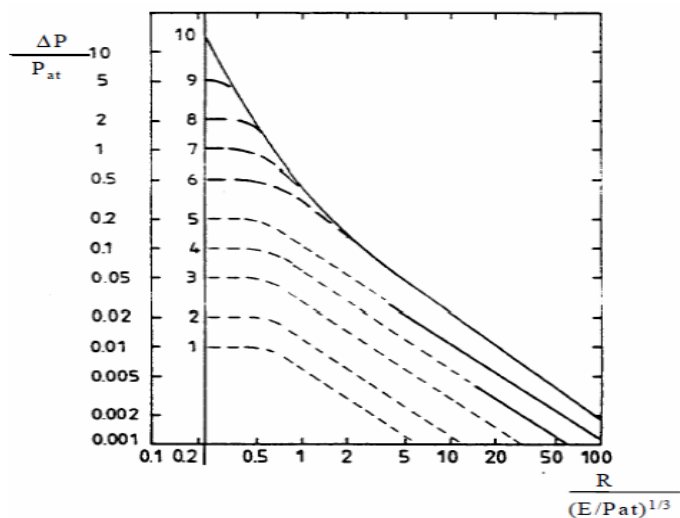
- ▶ de l'intensité de l'énergie de la source d'activation pouvant se trouver dans les volumes,
- ▶ du degré d'encombrement pour le volume considéré,
- ▶ du degré de confinement pour le volume considéré.

Energie d'inflammation		Le degré d'encombrement			Le degré de confinement		Indice
faible	forte	fort	faible	inexistant	existant	inexistant	
	×	×			×		7 - 10
	×	×				×	7 - 10
×		×			×		5 - 7
	×		×		×		5 - 7
	×		×			×	4 - 6
	×			×	×		4 - 6
×		×				×	4 - 5
	×			×		×	4 - 5
×			×		×		3 - 5
×			×			×	2 - 3
×				×	×		1 - 2
×				×		×	1

2.5. Explosion confinée

Dans la présente étude, pour les scénarios d'explosion modélisés à l'intérieur des bâtiment (Hall 7), les volume des locaux étant très importants et correctement ventilés, la démarche de calcul retenue est analogue à celle employée pour les explosions non confinées.

Le scénario PhD39 relatif à l'explosion du ciel gazeux d'une cuve de stockage de peinture vrac, est, pour sa part, dimensionné à l'aide de la méthode Multiénergie, développée par le TNO (cf. § ci-dessus). Les distances d'effets sont ensuite estimées à partir de l'abaque de la Multiénergie.



Où $R = \lambda \times (E / P_{atm})^{1/3}$

Avec :

R = Rayon d'effet (m)

λ = distance réduite lue sur l'abaque

E = Energie de l'explosion (J)

P atm = 1,013.10⁵ Pa

2.6. Toxicité des fumées d'incendie

La méthode de calcul est celle présentée dans le rapport INERIS Omega 16 « Recensement des substances toxiques (ayant un impact potentiel à court, moyen et long terme) susceptibles d'être émises par un incendie, Verneuil-en-Halatte : INERIS - 203887 - v4.0, 08/06/2023).

La modélisation est également réalisée à l'aide de la version 9.11 du logiciel PHAST.

3. PHD 18 : RUPTURE D'UNE CANALISATION D'HYDROGENE INTERIEURE

3.1. Hypothèses de calcul liées à l'installation

Paramètre	PhD 18		Source
Description du Scénario	Fuite dans l'atelier suite au sectionnement de la canalisation d'hydrogène intérieure.		Analyse de risque
Sécurité	Absence de sécurité		Hypothèse majorante
Produit émis	Hydrogène		Donnée client
Etat du produit	Gaz		-
LIE - LSE	4-75 %		SFPE Handbook
Diamètre canalisation	18 mm		Donnée client
Longueur canalisation	160 m		Donnée client
Pression interne	5,2 bars relatif		Donnée client
Température	15°C (température ambiante atelier)		Hypothèse
Hauteur du rejet	5 m		Hypothèse majorante
Orientation du rejet	Horizontale		Hypothèse majorante
Modèle	Pressure vessel – short pipe – line rupture		Modèles PHAST*
Choix de l'indice de violence	Energie d'inflammation	Forte	Configuration atelier (approche majorante)
	Degré d'encombrement	Faible	
	Degré de confinement	Existant	
	Indice de violence Kinsella	5 - 7	
	Indice de violence retenu	7	

* Compte tenu du très grand volume du local, le modèle de l'explosion non confinée a été utilisé

3.2. Résultats des calculs pour le rejet

La phase de décharge est indépendante des conditions météorologiques. Le calcul fournit les résultats suivants, caractérisant le terme source :

- ▶ Débit du rejet : 0,009 kg/s
- ▶ Vitesse finale du rejet : 435,8 m/s
- ▶ Durée du rejet : 3 600 s
- ▶ Température du rejet : 8,8 °C
- ▶ Fraction liquide : 0 (= 100 % phase gazeuse)

3.3. Résultat des calculs de distances d'effet

3.3.1. Effets de surpression de l'explosion

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de surpression, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Surpression (mbar)	Distance des effets
		PhD 18
Seuil des effets indirects par bris de vitres	20 mbar	19,3 m
Seuils des effets Irréversibles (SEI) Seuil des dégâts légers sur les structures	50 mbar	9,5 m
Seuils des effets létaux (SEL) Seuil des dégâts graves sur les structures	140 mbar	5,1 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) Seuil des effets dominos	200 mbar	4,3 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures	300 mbar	3,8 m

3.3.2. Effets thermiques du Flash Fire

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de flux thermiques, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Distance	Distance des effets
		PhD 18
Seuils des effets Irréversibles (SEI)	1,1 x Distance à la LIE	4 m
Seuils des effets létaux (SEL)	Distance à la LIE	3,6 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS)	Distance à la LIE	3,6 m

3.3.3. Effets thermiques du feu torche

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de flux thermiques, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Flux thermiques (mbar)	Distance des effets
		PhD 18
Seuils des effets Irréversibles (SEI)	3 kW/m ²	Non atteint
Seuils des effets létaux (SEL) Seuil des destructions de vitres significatives	5 kW/m ²	Non atteint
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) Seuil des effets dominos et des dégâts graves sur les structures	8 kW/m ²	Non atteint
Seuil des dégâts très graves sur les structures hors structure béton	16 kW/m ²	Non atteint
Seuil des dégâts très graves sur les structures béton	20 kW/m ²	Non atteint
Seuil de ruine du béton	200 kW/m ²	Non atteint

4. PHD 28 : RUPTURE D'UNE CANALISATION D'HYDROGENE EXTERIEURE

4.1. Hypothèses de calcul liées à l'installation

Paramètre	PhD 28		Source
Description du Scénario	Fuite suite au sectionnement de la canalisation d'hydrogène extérieure.		Analyse de risque
Sécurité	Absence de sécurité		Hypothèse majorante
Produit émis	Hydrogène		Donnée client
Etat du produit	Gaz		-
LIE - LSE	4-75 %		SFPE Handbook
Diamètre canalisation	18 mm		Donnée client
Longueur canalisation	200 m		Donnée client
Pression interne	8 bars relatif		Donnée client
Température	15°C		Hypothèse
Hauteur du rejet	2 m		Hypothèse majorante
Orientation du rejet	Horizontale		Hypothèse majorante
Modèle	Pressure vessel – short pipe – line rupture		Modèles PHAST
Choix de l'indice de violence	Energie d'inflammation	Forte	Hypothèse retenue habituellement pour les explosions en champ libre
	Degré d'encombrement	Inexistant	
	Degré de confinement	Inexistant	
	Indice de violence Kinsella	4-5	
	Indice de violence retenu	5	
Averaging time	18.75 s		Valeur utilisée dans le cas des produits inflammables

4.2. Résultats des calculs pour le rejet

La phase de décharge est indépendante des conditions météorologiques. Le calcul fournit les résultats suivants, caractérisant le terme source :

- ▶ Débit du rejet : 0,012 kg/s
- ▶ Vitesse finale du rejet : 560,8 m/s
- ▶ Durée du rejet : 3600 s
- ▶ Température du rejet : 4,5 °C
- ▶ Fraction liquide : 0 (= 100 % phase gazeuse)

4.3. Résultat des calculs de distances d'effet

4.3.1. Effets de surpression de l'explosion

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de surpression, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Surpression (mbar)	Distance des effets
		PhD 28
Seuil des effets indirects par bris de vitres	20 mbar	11,4 m
Seuils des effets Irréversibles (SEI) Seuil des dégâts légers sur les structures	50 mbar	5,6 m
Seuils des effets létaux (SEL) Seuil des dégâts graves sur les structures	140 mbar	3,2 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) Seuil des effets dominos.	200 mbar	2,7 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures	300 mbar	-

4.3.2. Effets thermiques du Flash Fire

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de flux thermiques, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Distance	Distance des effets
		PhD 28
Seuils des effets Irréversibles (SEI)	1,1 x Distance à la LIE	3,7 m
Seuils des effets létaux (SEL)	Distance à la LIE	3,4 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS)	Distance à la LIE	3,4 m

4.3.3. Effets thermiques du feu torche

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de flux thermiques, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Flux thermiques (mbar)	Distance des effets
		PhD 28
Seuils des effets Irréversibles (SEI)	3 kW/m ²	4,9 m
Seuils des effets létaux (SEL) Seuil des destructions de vitres significatives	5 kW/m ²	4,3 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) Seuil des effets dominos et des dégâts graves sur les structures	8 kW/m ²	3,9 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures hors structure béton	16 kW/m ²	3,3 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures béton	20 kW/m ²	3,1 m
Seuil de ruine du béton	200 kW/m ²	Non atteint

5. PHD 29 : RUPTURE D'UN PIQUAGE SUR LE RESERVOIR D'HYDROGENE

5.1. Hypothèses de calcul liées à l'installation

Paramètre	PhD 29		Source
Description du Scénario	Fuite suite à la rupture d'un piquage sur le réservoir d'hydrogène extérieur.		Analyse de risque
Sécurité	Absence de sécurité		Hypothèse majorante
Produit émis	Hydrogène		Donnée client
Etat du produit	Gaz		-
LIE - LSE	4-75 %		SFPE Handbook
Diamètre piquage	40 mm		Donnée client
Longueur canalisation	2 m		Donnée client
Pression interne	40 bars relatif		Donnée client
Température	15°C		Hypothèse
Hauteur du rejet	1 m		Donnée client
Orientation du rejet	Horizontale		Hypothèse majorante
Modèle	Pressure vessel – short pipe – line rupture		Modèles PHAST
Choix de l'indice de violence	Energie d'inflammation	Forte	Hypothèse retenue habituellement pour les explosions en champ libre
	Degré d'encombrement	Inexistant	
	Degré de confinement	Inexistant	
	Indice de violence Kinsella	4-5	
	Indice de violence retenu	5	
Averaging time	18.75 s		Valeur utilisée dans le cas des produits inflammables

5.2. Résultats des calculs pour le rejet

La phase de décharge est indépendante des conditions météorologiques. Le calcul fournit les résultats suivants, caractérisant le terme source :

- ▶ Débit du rejet : 2,6 kg/s
- ▶ Vitesse finale du rejet : 2 030,9 m/s
- ▶ Durée du rejet : 299 s
- ▶ Température du rejet : -116,4 °C
- ▶ Fraction liquide : 0 (= 100 % phase gazeuse)

5.3. Résultat des calculs de distances d'effet

5.3.1. Effets de surpression de l'explosion

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de surpression, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Surpression (mbar)	Distance des effets
		PhD 29
Seuil des effets indirects par bris de vitres	20 mbar	146,3 m
Seuils des effets Irréversibles (SEI) Seuil des dégâts légers sur les structures	50 mbar	74,0 m
Seuils des effets létaux (SEL) Seuil des dégâts graves sur les structures	140 mbar	43,1 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) Seuil des effets dominos.	200 mbar	37,6 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures	300 mbar	-

5.3.2. Effets thermiques du Flash Fire

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de flux thermiques, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Distance	Distance des effets
		PhD 29
Seuils des effets Irréversibles (SEI)	1,1 x Distance à la LIE	49,8 m
Seuils des effets létaux (SEL)	Distance à la LIE	45,3 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS)	Distance à la LIE	45,3 m

5.3.3. Effets thermiques du feu torche

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de flux thermiques, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Flux thermiques (mbar)	Distance des effets
		PhD 29
Seuils des effets Irréversibles (SEI)	3 kW/m ²	53,2 m
Seuils des effets létaux (SEL) Seuil des destructions de vitres significatives	5 kW/m ²	45,7 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) Seuil des effets dominos et des dégâts graves sur les structures	8 kW/m ²	40,2 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures hors structure béton	16 kW/m ²	34,2 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures béton	20 kW/m ²	32,7 m
Seuil de ruine du béton	200 kW/m ²	23,5 m

6. PHD 30 : RUPTURE DU FLEXIBLE LORS DU DECHARGEMENT D'HYDROGENE PAR CAMION-CITERNE

6.1. Hypothèses de calcul liées à l'installation

Paramètre	PhD 30		Source
Description du Scénario	Fuite suite à la rupture du flexible lors du déchargement d'hydrogène par camion-citerne.		Analyse de risque
Sécurité	Fermeture automatique des clapets en cas de chute de pression détectée par manomètre (10 s)		Donnée client
Produit émis	Hydrogène		Donnée client
Etat du produit	Gaz		-
LIE - LSE	4-75 %		SFPE Handbook
Diamètre canalisation	40 mm		Donnée client
Longueur canalisation	2 m		Donnée client
Pression interne	40 bars relatif		Donnée client
Température	15°C		Hypothèse
Hauteur du rejet	1 m		Donnée client
Orientation du rejet	Horizontale		Hypothèse majorante
Modèle	Pressure vessel – short pipe – line rupture		Modèles PHAST
Choix de l'indice de violence	Energie d'inflammation	Forte	Hypothèse retenue habituellement pour les explosions en champ libre
	Degré d'encombrement	Inexistant	
	Degré de confinement	Inexistant	
	Indice de violence Kinsella	4-5	
	Indice de violence retenu	5	
Averaging time	18.75 s		Valeur utilisée dans le cas des produits inflammables

6.2. Résultats des calculs pour le rejet

La phase de décharge est indépendante des conditions météorologiques. Le calcul fournit les résultats suivants, caractérisant le terme source :

- ▶ Débit du rejet : 2,6 kg/s
- ▶ Vitesse finale du rejet : 2 030,9 m/s
- ▶ Durée du rejet : 10 s
- ▶ Température du rejet : -116,4 °C
- ▶ Fraction liquide : 0 (= 100 % phase gazeuse)

Dans les conditions de diamètre, pression et température considérées, le nuage d'hydrogène atteint ses dimensions maximales en moins de 10 secondes. Aussi, la taille du nuage et donc les effets thermiques et de surpression en cas d'inflammation de ce nuage restent identiques.

Les résultats obtenus pour ce scénario sont donc les mêmes que ceux indiqués pour le PhD 29.

6.3. Résultat des calculs de distances d'effet

6.3.1. Effets de surpression de l'explosion

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de surpression, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Surpression (mbar)	Distance des effets
		PhD 30
Seuil des effets indirects par bris de vitres	20 mbar	146,3 m
Seuils des effets Irréversibles (SEI) Seuil des dégâts légers sur les structures	50 mbar	74,0 m
Seuils des effets létaux (SEL) Seuil des dégâts graves sur les structures	140 mbar	43,1 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) Seuil des effets dominos.	200 mbar	37,6 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures	300 mbar	-

6.3.2. Effets thermiques du Flash Fire

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de flux thermiques, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Distance	Distance des effets
		PhD 30
Seuils des effets Irréversibles (SEI)	1,1 x Distance à la LIE	49,8 m
Seuils des effets létaux (SEL)	Distance à la LIE	45,3 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS)	Distance à la LIE	45,3 m

6.3.3. Effets thermiques du feu torche

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de flux thermiques, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Flux thermiques (mbar)	Distance des effets
		PhD 30
Seuils des effets Irréversibles (SEI)	3 kW/m ²	53,2 m
Seuils des effets létaux (SEL) Seuil des destructions de vitres significatives	5 kW/m ²	45,7 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) Seuil des effets dominos et des dégâts graves sur les structures	8 kW/m ²	40,2 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures hors structure béton	16 kW/m ²	34,2 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures béton	20 kW/m ²	32,7 m
Seuil de ruine du béton	200 kW/m ²	23,5 m

7. PHD 31 : RUPTURE D'UNE CANALISATION DE GAZ NATUREL EXTERIEURE

7.1. Hypothèses de calcul liées à l'installation

Paramètre	PhD 31		Source
Description du Scénario	Fuite suite au sectionnement de la canalisation de gaz naturel extérieure.		Analyse de risque
Sécurité	Absence de sécurité		Hypothèse majorante
Produit émis	Méthane		Donnée client
Etat du produit	Gaz		-
LIE - LSE	5-15 %		SFPE Handbook
Diamètre canalisation	102 mm		Donnée client
Longueur canalisation	100 m		Donnée client
Pression interne	5,2 bars relatif		Donnée client
Température	15°C		Hypothèse
Hauteur du rejet	2 m		Hypothèse majorante
Orientation du rejet	Horizontale		Hypothèse majorante
Modèle	Pressure vessel – short pipe – line rupture		Modèles PHAST
Choix de l'indice de violence	Energie d'inflammation	Faible	Hypothèse retenue habituellement pour les explosions en champ libre
	Degré d'encombrement	Faible	
	Degré de confinement	Inexistant	
	Indice de violence Kinsella	2-3	
	Indice de violence retenu	4	
Averaging time	18.75 s		Valeur utilisée dans le cas des produits inflammables

7.2. Résultats des calculs pour le rejet

La phase de décharge est indépendante des conditions météorologiques. Le calcul fournit les résultats suivants, caractérisant le terme source :

- ▶ Débit du rejet : 3,0 kg/s
- ▶ Vitesse finale du rejet : 447,6 m/s
- ▶ Durée du rejet : 3600 s
- ▶ Température du rejet : -32,1 °C
- ▶ Fraction liquide : 0 (= 100 % phase gazeuse)

7.3. Résultat des calculs de distances d'effet

7.3.1. Effets de surpression de l'explosion

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de surpression, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Surpression (mbar)	Distance des effets
		PhD 31
Seuil des effets indirects par bris de vitres	20 mbar	25,7 m
Seuils des effets Irréversibles (SEI) Seuil des dégâts légers sur les structures	50 mbar	13,9 m
Seuils des effets létaux (SEL) Seuil des dégâts graves sur les structures	140 mbar	-
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) Seuil des effets dominos.	200 mbar	-
Seuil des dégâts très graves sur les structures	300 mbar	-

7.3.2. Effets thermiques du Flash Fire

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de flux thermiques, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Distance	Distance des effets
		PhD 31
Seuils des effets Irréversibles (SEI)	1,1 x Distance à la LIE	12,0 m
Seuils des effets létaux (SEL)	Distance à la LIE	10,9 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS)	Distance à la LIE	10,9 m

7.3.3. Effets thermiques du feu torche

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de flux thermiques, mesurées à partir du point de rejet.

Effets	Flux thermiques (mbar)	Distance des effets
		PhD 31
Seuils des effets Irréversibles (SEI)	3 kW/m ²	33,3 m
Seuils des effets létaux (SEL) Seuil des destructions de vitres significatives	5 kW/m ²	30,7 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) Seuil des effets dominos et des dégâts graves sur les structures	8 kW/m ²	29,1 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures hors structure béton	16 kW/m ²	27,1 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures béton	20 kW/m ²	26,5 m
Seuil de ruine du béton	200 kW/m ²	Non atteint

8. PHD 37 : DISPERSION DE FUMÉES TOXIQUES ENGENDRÉES PAR L'INCENDIE DE LA RETENTION D'UNE CUVE VRAC DE PEINTURE

8.1. Définition du terme source

On considère l'incendie généralisé d'une rétention de cuve de stockage vrac de peinture, ce qui entraîne la décomposition thermique de l'ensemble des produits présents.

On considère que les produits présents sont les suivants.

Produits	Formule chimique	Masse (kg)
Toluène	C ₇ H ₈	31 000
Formaldéhyde	CH ₂ O	5 000
Total		36 000 kg

La répartition massique des atomes des produits composant le stockage, et susceptibles de se recomposer en gaz toxiques est la suivante :

Atomes composant le stockage	Masse (kg)
C	30304,35
H	3028,99
O	2666,67
Total	36 000 kg

Lors de l'incendie, ces éléments se recombinent pour donner les produits de décomposition suivant.

Éléments chimiques	Produits formés
Carbone (C)	Conversion en CO ₂ et CO dans les proportions suivantes* : ▶ cas d'un incendie bien ventilé : 90% CO ₂ – 10% CO ▶ cas d'un incendie sous-ventilé : 75% CO ₂ – 25% CO
Chlore (Cl)	A défaut de données expérimentales disponibles, conversion de 100% du Cl présent dans la molécule en HCl
Fluor (F)	A défaut de données expérimentales disponibles, conversion de 100% du F présent dans la molécule en HF lorsque le rapport H/F de la molécule est supérieur à 1, analyse au cas par cas sinon.
Brome (Br)	A défaut de données expérimentales disponibles, conversion de 100% du Br présent dans la molécule en HBr
Azote (N)	Deux aspects à prendre en compte : ▶ conversion de 40% du N présent dans le combustible en NO ▶ formation de NO 'prompt' à hauteur de 2 mg/g
Soufre (S)	A défaut de données expérimentales disponibles, conversion de 100% du S présent dans la molécule en SO ₂
Phosphore (P)	A défaut de données expérimentales disponibles, conversion de 100% du P présent dans la molécule en P ₂ O ₄ puis H ₃ PO ₄ par réaction avec l'humidité de l'air.

**Dans le cadre des modélisations des scénarios retenus, les incendies sont considérés comme bien ventilés.*

La composition des fumées et les seuils d'effets des différents polluants la composant sont listés dans le tableau ci-dessous. Les seuils sont considérés **pour 1 heure d'exposition** (source : INERIS – Fiches de seuils de toxicité aigüe).

	Composition des fumées		Seuils d'effets toxiques		
	% massique	% mol	SEI ppm	SEL ppm	SELS ppm
CO ₂	2,209	1,467	-	-	-
CO	0,156	0,163	800	3200	3200*
Air	97,635	98,370			
Total	100,00	100,00			

** Lorsque le seuil d'un polluant n'est pas défini dans la bibliographie, le seuil équivalent est calculé en tenant compte du seuil de toxicité supérieur s'il en existe un pour ce même polluant, ce qui est majorant. Dans le cas contraire, le seuil inférieur est pris en compte (cas du CO pour le SELS par exemple), ce qui est minorant mais est la seule option possible.*

Les seuils des effets toxiques équivalents, calculés sur la base des données du tableau précédent, et pris en référence pour les modélisations sont les suivants :

Seuils	PhD 37
Seuil des Effets Irréversibles (SEI)	512 287 ppm
Seuil des premiers Effets Létaux (SEL)	2 049 148 ppm (non atteint)
Seuil des Effets Létaux Significatifs (SELS)	2 049 148 ppm (non atteint)

8.2. Dimensions de la zone concernée

Dimensions	Rétention cuve vrac peinture
Longueur	11 m
Largeur	10 m
Surface	110 m ²

8.3. Autres hypothèses et résultats de calculs

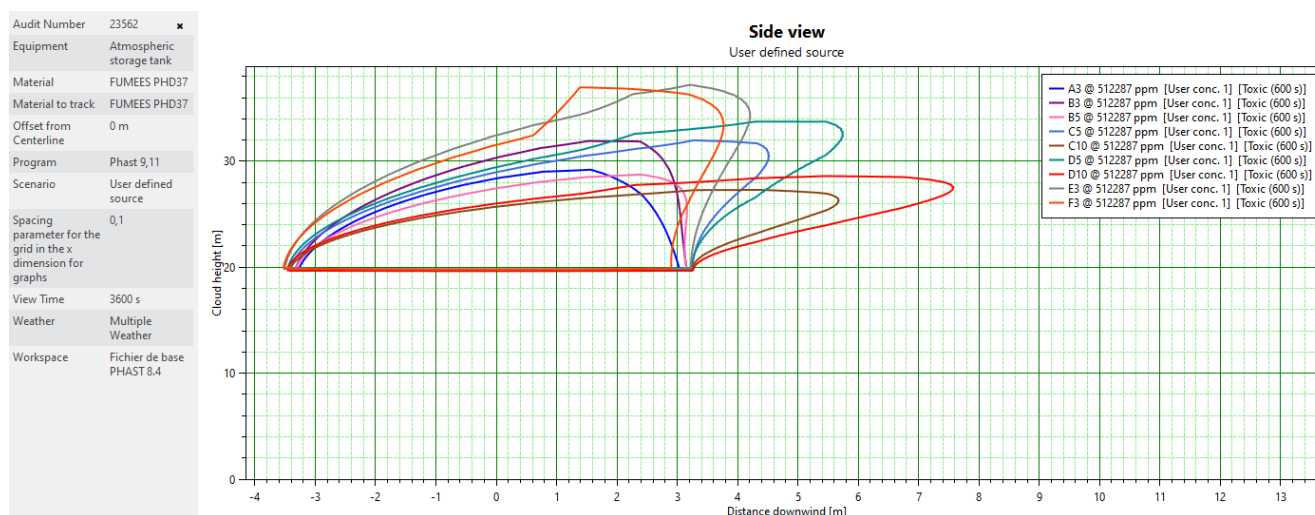
Les autres hypothèses retenues pour le calcul sont les suivantes :

Paramètres	PhD 37	Sources
Produit	Fumées, selon compositions ci-dessus	Données exploitant et calculs
Modèle	User defined source - Leak	Modèles PHAST
Débit massique des fumées	830,13 kg/s	Calculs selon $\Omega 16$ INERIS
Vitesse du rejet	19,55 m/s	Calculs selon $\Omega 16$ INERIS
Puissance de l'incendie	230 340 kW	Calculs selon $\Omega 4$ INERIS
Hauteur du rejet	19,71 m	Calculs selon $\Omega 16$ INERIS
Température du rejet	199°C	Calculs selon $\Omega 16$ INERIS
Durée du rejet	3600 s	Valeur maximale de Phast
Averaging time	600 s	Valeur utilisée dans le cas des produits toxiques
Direction du rejet	Verticale	Scénario

Le rejet est assimilé à une source ponctuelle positionnée au centre de la rétention en feu.

8.4. Résultats des calculs – Sorties graphiques

8.4.1. Panaches de dispersion des gaz toxiques



8.4.2. Tableau de synthèse des résultats

Conformément à l'arrêté du 29 septembre 2005, on recherche les distances correspondant aux seuils SEI, SEL, et SELS pour une cible située à 1,5 m de hauteur.

On recherchera également la distance maximale, et la hauteur minimale d'observation de chaque seuil SEI, SEL et SELS.

Les résultats recherchés sont présentés dans le tableau suivant.

Le rejet est assimilé à une source ponctuelle positionnée au centre de la cellule en feu.

	Seuil des Effets Irréversibles (SEI)	Seuil des Effets Létaux (SEL)	Seuil des Effets Létaux Significatifs (SELS)
Distance maximale du seuil à 1,5 m de hauteur	Non atteint	Non atteint	Non atteint
Distance maximale d'observation du seuil	7 m de la source à 27 m d'altitude (condition D10)	Non atteint	Non atteint
Hauteur minimale d'observation du seuil	19 m de hauteur jusqu'à une distance de la source de 4 m (toutes conditions)	Non atteint	Non atteint

9. PHD 39 : EXPLOSION DU CIEL GAZEUX D'UNE CUVE DE STOCKAGE PEINTURE VRAC

9.1. Hypothèses de calcul liées à l'installation

Paramètre	PhD 39	Source
Description du Scénario	Explosion du ciel gazeux d'une cuve de stockage de peinture considérée vide et non dégazée	Analyse de risque
Produit émis	Assimilé à du Toluène	Donnée client
Etat du produit	Gaz (vapeurs)	-
LIE - LSE	1,2-7,1 %	SFPE Handbook
Volume cuve	30 m ³	Donnée client
Modèle	Multi-énergies (TNO)	-
Choix de l'indice de violence	Energie d'inflammation	Faible
	Degré d'encombrement	Faible
	Degré de confinement	Existant
	Indice de violence Kinsella	3 - 5
	Indice de violence retenu	5
Configuration cuve (approche majorante)		

9.2. Résultats des calculs pour le terme source

	PhD 39
Limite Supérieure d'Explosivité (LSE)	7,1 %
Volume cuve	30 m ³
Volume de gaz explosif dans l'enceinte	2,13 m ³
Masse volumique du gaz à 20°C	4,1 kg/m ³
Masse de gaz explosif dans l'enceinte	8,733 kg
Rendement (selon Lannoy)	100%
Masse de produit corrigée après rendement	8,733 kg
Masse molaire	92,14 g/mol
Enthalpie de combustion ΔcH°	3 947 kJ/mol
Pouvoir calorifique du gaz ou enthalpie de combustion ΔH_r	42 836 kJ/kg
Energie de l'explosion	374 095,4 kJ

9.3. Résultat des calculs de distances d'effet

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant, ils correspondent aux distances des effets relatifs à chaque seuil de surpression, mesurées à partir de la zone explosive.

Effets	Surpression (mbar)	λ pour indice 5 (lu sur abaque)	Distance des effets
			PhD 39
Seuil des effets indirects par bris de vitres	20 mbar	5,7	88,10 m
Seuils des effets Irréversibles (SEI) Seuil des dégâts légers sur les structures.	50 mbar	2,4	37,10 m
Seuils des effets létaux (SEL) Seuil des dégâts graves sur les structures.	140 mbar	0,8	12,37 m
Seuil des effets létaux significatifs (SELS) Seuil des effets dominos.	200 mbar	0,5	7,73 m
Seuil des dégâts très graves sur les structures	300 mbar	-	-