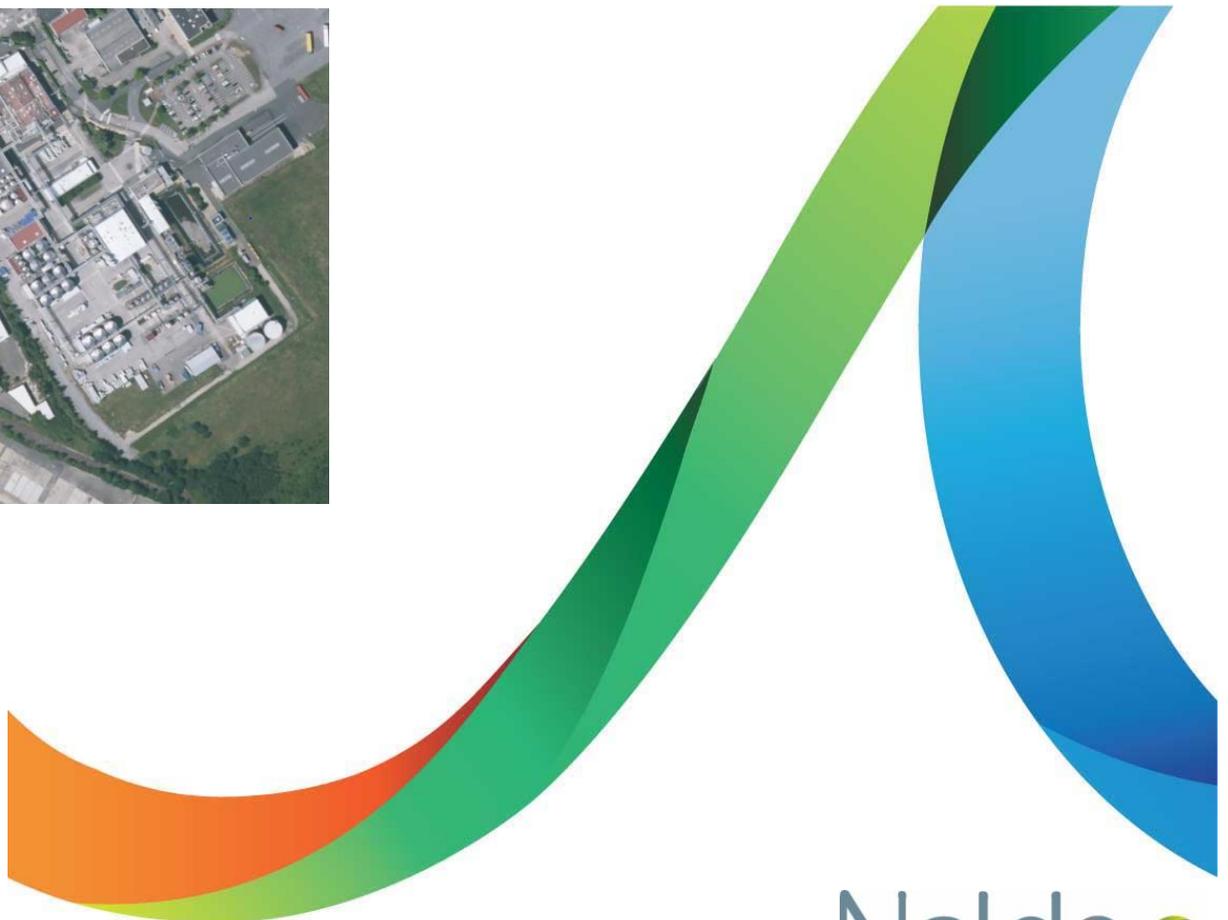
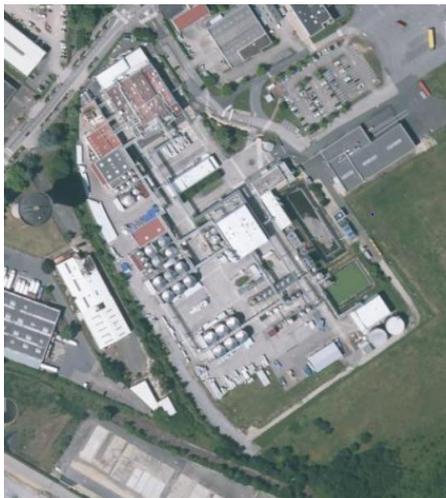




COATEX SITE DE GENAY

Implantation d'une cuve d'IPDI

Evaluation des distances d'effets associées à diverses situations accidentelles



Historique des révisions				
VERSION	DATE	COMMENTAIRES	Rédigé par	Vérifié par
A	Novembre 2021	Création de document	VACHON Marc	PRETTO Stephan

Client : COATEX site de Genay
Projet : Implantation d'une cuve d'IPDI
Objet : Evaluation des distances d'effets associées à diverses situations accidentelles

Référence document : N2100230-251-DE001-A
En date du : 01/12/2021

Approuvé par	VACHON Marc	Chef de Projet Maîtrise des Risques Industriels	
Vérifié par	PRETTO Stephan	Chef de Projet Maîtrise des Risques Industriels	
Rédigé par	VACHON Marc	Chef de Projet Maîtrise des Risques Industriels	
	Nom et Prénom	Fonction	Visa

Table des matières

1	CONTEXTE ET OBJET DU DOCUMENT	4
2	DOCUMENTS DE REFERENCE	5
3	DESCRIPTION SUCCINCTE DU PROJET	6
4	SITUATIONS ACCIDENTELLES IDENTIFIEES	8
5	PROPRIETES DE L'IPDI	9
5.1	Masse molaire.....	9
5.2	Température d'ébullition.....	9
5.3	Tension de vapeur	9
5.4	Chaleur massique du liquide.....	10
5.5	Chaleur de vaporisation	10
5.6	Point d'éclair.....	10
5.7	Seuils d'effets toxiques des vapeurs d'IPDI.....	11
5.8	Propriétés déduites	11
5.8.1	Chaleur de combustion	11
5.8.2	Limite inférieure d'inflammabilité.....	12
5.8.3	Taux de combustion.....	12
5.8.4	Masse d'air à la stœchiométrie	12
6	METHODES DE CALCUL MISES EN ŒUVRE	13
7	EVALUATION DES DISTANCES D'EFFETS	14
7.1	Montée en pression de la cuve suite à introduction d'eau.....	14
7.1.1	Pression de calcul de la cuve	14
7.1.2	Dimensionnement du disque de rupture.....	15
7.2	Dispersion de vapeurs d'IPDI suite à épandage dans la rétention.....	16
7.3	Feu de nappe suite à épandage dans la rétention	17
7.3.1	Effets thermiques	17
7.3.2	Effets toxiques.....	18

1 CONTEXTE ET OBJET DU DOCUMENT

La société COATEX, qui appartient au groupe ARKEMA, fabrique et vend, dans la zone industrielle Lyon-Nord sur les communes de Genay et Neuville-sur-Saône (69), des additifs à base de dérivés acryliques ou uréthanes.

Le site est classé à autorisation Seveso seuil haut au titre de la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

COATEX souhaite mettre en place une cuve vrac horizontale aérienne de 35m³ de diisocyanate d'isophorone (IPDI). Afin de s'assurer de la faisabilité du projet du point de vue des risques engendrés, COATEX souhaite évaluer au préalable les distances d'effets associées à différentes situations accidentelles.

Le présent document constitue le rapport établi à l'issue de l'étude menée.

2 DOCUMENTS DE REFERENCE

[DR.01]	COATEX Projet nouvelle cuve d'IPDI	Courriel du 15 octobre 2021
[DR.02]	COVESTRO Safety Data Sheet DESMODUR I	
[DR.03]	Evonik Industries VESTANAT® IPDI Properties and Handling	
[DR.04]	Isophorone diisocyanate supplier CasNO.4098-71-9 (lookchem.com)	
[DR.05]	INERIS Ω 16 Toxicité et dispersion des fumées d'incendie - Phénoménologie et modélisation des effets	Rapport d'étude n° 57149 17 Mars 2005
[DR.06]	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	NOR : DEVP1013761C

3 DESCRIPTION SUCCINCTE DU PROJET

La cuve sera implantée au niveau du stockage de matières premières MP17. Les figures ci-dessous [DR.01] permettent de localiser la cuve.



Figure 1 – Emplacement prévu pour la cuve sur le site

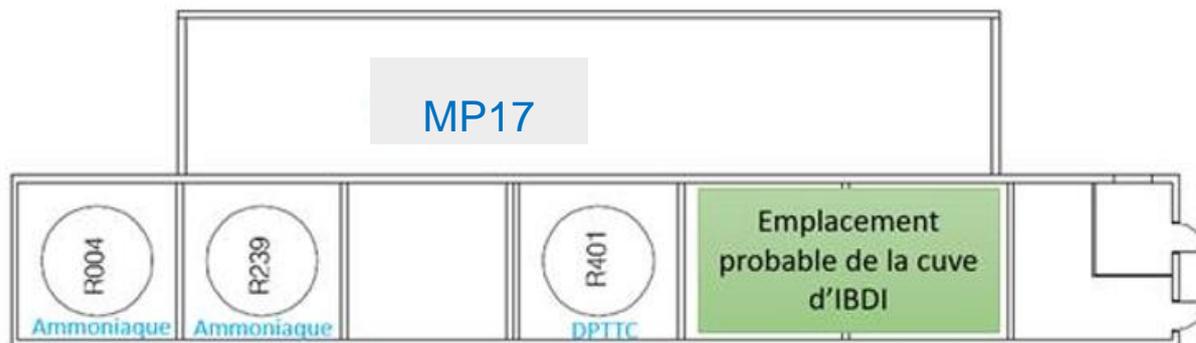


Figure 2 – Emplacement prévu pour la cuve dans la zone MP17

La cuve sera en acier inoxydable 316 L. Son volume sera de 35 m³. Elle sera disposée horizontalement dans une rétention de 55 m³ (emprise de 10 m sur 5 m, hauteur de 1,1 m).

Compte tenu de l'incompatibilité de l'IPDI avec l'eau (réaction violente dégageant du dioxyde de carbone), une toiture de 200 m² sera mise en place ; elle abritera la cuve ainsi qu'une partie de la zone de dépotage.

La cuve sera équipée d'un disque de rupture permettant d'évacuer une éventuelle surpression dans l'hypothèse d'une entrée d'eau.

4 SITUATIONS ACCIDENTELLES IDENTIFIEES

Les situations accidentelles identifiées ainsi que les phénomènes dangereux envisagés sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Situations accidentelles	Phénomènes dangereux	Evaluations à mener
Entrée d'eau la cuve	Montée en pression - Eclatement	Distances d'effets associées à l'éclatement de la cuve Dimensionnement du disque de rupture
Epanchage d'IPDI dans la rétention	Dispersion toxique de vapeurs	Distances d'effets toxiques
	Feu de nappe (inflammation de l'IPDI par effet domino)	Distances d'effets thermiques Distances d'effets toxiques liés à la dispersion des fumées

Tableau 1 – Situations accidentelles et phénomènes dangereux envisagés

L'occurrence d'une explosion n'est pas prise en compte. En effet, la tension de vapeur du produit à température ambiante est extrêmement faible (voir chapitre 5).

5 PROPRIETES DE L'IPDI

L'IPDI ne figure pas dans la base de données du logiciel PHAST®. Certaines informations ont été trouvées dans différentes sources ([DR.02], [DR.03], [DR.04]). D'autres ont pu être déduites.

5.1 Masse molaire

La formule brute de l'IPDI s'écrit $C_{12}H_{18}N_2O_2$.

La masse molaire est donnée dans la fiche de donnée de sécurité du produit. Elle est de 222,32 g/mol.

5.2 Température d'ébullition

La température d'ébullition T_b de l'IPDI est de 310°C.

5.3 Tension de vapeur

L'évolution de la tension de vapeur en fonction de la température est reproduite ci-dessous.

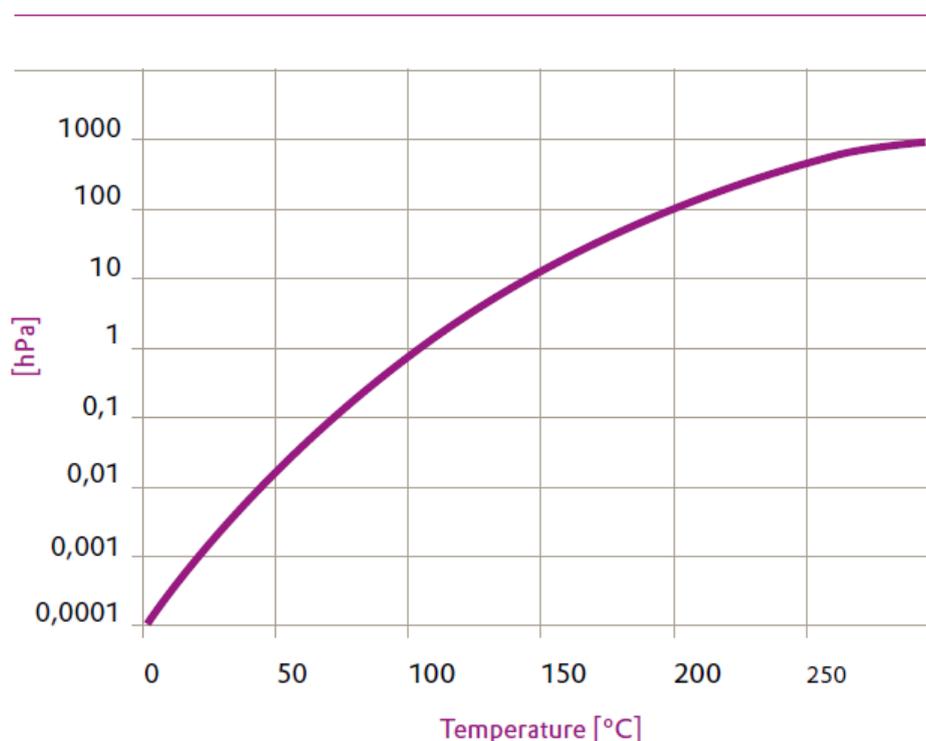


Figure 3 – Tension de vapeur de l'IPDI en fonction de la température

A 20°C, la tension de vapeur de l'IPDI est d'environ 0,1 Pa.

5.4 Chaleur massique du liquide

L'évolution de la chaleur massique du liquide en fonction de la température est représentée

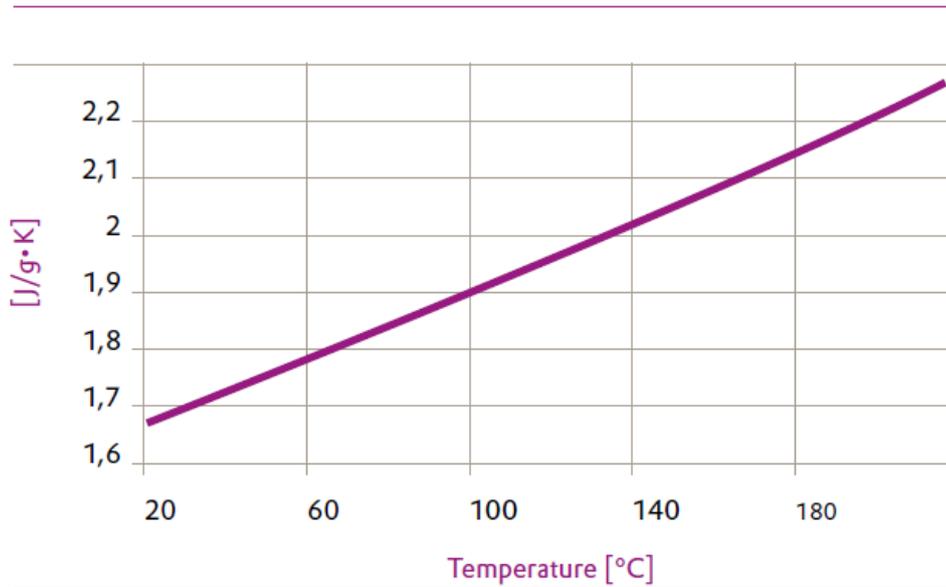


Figure 4 – Chaleur massique de l'IPDI en fonction de la température

A 20°C la chaleur massique c de l'IPDI est de 1 670 J/kg/K

5.5 Chaleur de vaporisation

La chaleur de vaporisation Q_v est de 52,6 kJ/mol [DR.04] soit 236,6 kJ/kg.

5.6 Point d'éclair

Le point d'éclair de l'IPDI est de 150°C

5.7 Seuils d'effets toxiques des vapeurs d'IPDI

Les PAC (Protective Action Criteria) sont disponibles sur le site de l'INERIS ([INERIS - isocyanate de 3-isocyanatométhyl-3,5,5-triméthylcyclohexyle](#)).

Les valeurs de ces seuils ont été vérifiées sur la base de la LC50 données dans la fiche de données de sécurité pour le rat sur une durée d'exposition de 4 heures (0,031 mg/l). Les résultats obtenus sont en bon accord. Il est donc retenu les valeurs suivantes sur une heure d'exposition :

	Effets irréversibles	Effets létaux
Seuils	0,14 ppm	0,6 ppm

Tableau 2 – Seuils d'effets toxiques des vapeurs d'IPDI

5.8 Propriétés déduites

Les propriétés qui peuvent être déduites sont les suivantes :

- Chaleur de combustion,
- Limite inférieure d'inflammabilité,
- Taux de combustion,
- Masse d'air requise à la stœchiométrie.

5.8.1 Chaleur de combustion

La chaleur de combustion Q_c (en MJ/kg) peut être évaluée à l'aide des relations de Boie et Dulong [DR.05] :

$$Q_c = 35,160 y_C + 94,265 y_H - 11,090 y_O + 6,280 y_N \text{ (formule de Boie)}$$

$$Q_c = 33,8 y_C + 122,193 y_H - 18,019 y_O + 9,412 y_N \text{ (formule de Dulong)}$$

Avec :

y_C : fraction massique atomique de carbone dans la molécule (0,649)

y_H : fraction massique atomique d'hydrogène dans la molécule (0,081)

y_O : fraction massique atomique d'oxygène dans la molécule (0,144)

y_N : fraction massique atomique d'azote dans la molécule (0,126)

Il vient :

$Q_c = 29,6$ MJ/kg selon la relation de Boie,

$Q_c = 28$ MJ/kg selon la relation de Dulong.

Il est retenu la valeur approximative de 29 MJ/kg.

5.8.2 Limite inférieure d'inflammabilité

La limite inférieure d'inflammabilité peut être déduite du point d'éclair. En effet, la concentration volumique à la saturation, à température de point d'éclair, correspond approximativement à la limite inférieure d'inflammabilité. Pour des vapeurs se comportant comme un gaz parfait, la concentration volumique est donnée par :

$$X = p_v / p_\infty$$

p_v désignant la tension de vapeur et p_∞ la pression ambiante (101325 Pa). A 150°C (point d'éclair), la tension de vapeur de l'IPDI est de 1 200 Pa (voir paragraphe 5.3). Par conséquent la limite inférieure d'inflammabilité vaut :

$$X_{LFL} = 1,2 \%$$

5.8.3 Taux de combustion

Le taux de combustion τ_c à température ambiante T_∞ peut être évalué à l'aide de la relation empirique mise en œuvre dans le logiciel PHAST® :

$$\tau_c = 10^{-3} Q_c / [c (T_b - T_\infty) + Q_v]$$

Avec :

$$Q_c = 29 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$$

$$c = 1 \,670 \text{ J/kg/K}$$

$$T_b = 310^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 20^\circ\text{C}$$

$$Q_v = 236 \,600 \text{ J/kg}$$

Il vient :

$$\tau_c = 40 \text{ g/m}^2/\text{s}$$

5.8.4 Masse d'air à la stœchiométrie

La réaction de combustion tenant compte de la formation d'acide cyanhydrique et de dioxyde d'azote [DR.05] s'écrit :



Le débit d'air à la stœchiométrie est donc de 9,5 kg air par kg d'IPDI.

6 METHODES DE CALCUL MISES EN ŒUVRE

Le calcul de dimensionnement de l'évent est explicité dans le paragraphe concerné (paragraphe 7.1).

Les calculs de dispersion toxique sont menés à l'aide du logiciel PHAST® version 8.23.

Les conditions atmosphériques retenues sont définies par la circulaire du 10 mai 2010 **Erreur ! Source du envoi introuvable.**

Dans la grande majorité des cas, les conditions dites 3F (représentatives des conditions nocturnes) et 5D (représentatives des conditions diurnes), sont considérées. Les caractéristiques de ces conditions sont détaillées dans le tableau ci-dessous :

	Conditions 3F	Conditions 5D
Classe de stabilité	F (stable)	D (neutre)
Vitesse du vent	3 m/s	5 m/s
Température ambiante	15°C	20°C
Température du sol	15°C	20°C
Humidité relative de l'air	70%	70%

Tableau 3 - Détails des conditions atmosphériques 3F et 5D

Dans le cas d'un rejet vertical, ou d'un rejet de gaz léger, ou d'un rejet en altitude ayant pour conséquence une dispersion toxique, les conditions atmosphériques suivantes sont prises en compte, selon la circulaire du 10 mai 2010 :

Stabilité atmosphérique (Classes de Pasquill)	Vitesse de vent (m/s)
A	3
B	3 et 5
C	5 et 10
D	5 et 10
E	3
F	3

Tableau 4 - Détails des conditions atmosphériques à utiliser pour un rejet vertical ou un rejet de gaz léger ou un rejet en altitude

Pour les calculs de dispersion toxique des vapeurs d'IPDI, les conditions atmosphériques prises en compte sont les conditions 3F et 5D. En effet, les vapeurs sont lourdes et sont émises à proximité du sol.

Pour le calcul de dispersion toxique des fumées d'incendie, toutes les conditions atmosphériques sont prises en compte car il s'agit d'un rejet vertical de gaz légers.

Enfin, les calculs de distance d'effets thermiques du feu de nappe sont menés à l'aide de l'outil SARA développé par ARKEMA.

7 EVALUATION DES DISTANCES D'EFFETS

7.1 Montée en pression de la cuve suite à introduction d'eau

Les calculs sont menés de la façon suivante :

- Evaluation de la pression de calcul de la cuve afin de faire en sorte que les effets de surpression en cas d'éclatement, dans l'hypothèse d'un dégagement de dioxyde de carbone sur introduction d'eau, n'affectent pas de tiers à l'extérieur du site,
- Dimensionnement du disque de rupture permettant d'évacuer la surpression dans la cuve.

7.1.1 Pression de calcul de la cuve

La distance minimale entre la future cuve et les limites de propriété est d'environ 50 m.



Figure 5 – Distances entre l'emplacement de la future cuve et les limites de propriétés

La pression de rupture de la cuve est donc à définir de telle sorte que la distance au seuil des effets irréversibles (50 mbar) soit de l'ordre de 50 m.

Il est fait l'hypothèse d'une cuve quasiment vide de liquide dans laquelle de l'eau est introduite par erreur. Aucune barrière de protection visant à limiter la montée en pression n'est prise en compte.

Les distances d'effets sont calculées à l'aide de la feuille « Vessel Burst » de l'outil SARA en considérant une rupture pneumatique liée au dégagement de dioxyde de carbone (rapport des chaleurs massiques γ de 1,3). Le volume est pris égal à 35 m³.

Pour une pression de rupture de 8,5 bar absolus, les distances d'effets seraient les suivantes :

	Distance d'effets
Bris de vitres (20 mbar)	98 m
Effets irréversibles (50 mbar)	49 m
Premiers effets létaux (140 mbar)	21 m
Effets létaux significatifs Premiers effets domino (200 mbar)	17 m

Tableau 5 – Seuils d'effets de surpression associées à l'éclatement pneumatique de la cuve

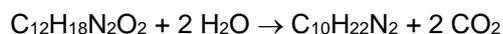
La pression relative de rupture correspond à environ 2,5 fois la pression relative de calcul.

Par conséquent, la pression relative de calcul peut être fixée à 3 barg, soit 4 bar absolus.

7.1.2 Dimensionnement du disque de rupture

La pression d'ouverture du disque de rupture est prise égale à 0,9 fois la pression de calcul soit 2,7 barg (3,7 bar absolus).

La réaction entre l'IPDI et l'eau s'écrit :



Il est fait l'hypothèse d'une erreur de dépotage alors que la cuve est remplie à 90% d'IPDI, le fait de minimiser le volume libre maximisant la montée en pression. On suppose l'introduction d'eau dans la cuve au débit de 30 m³/h soit 8,25 kg/s. En supposant une réaction quasi-instantanée, le débit de production de CO₂ vaudrait 20,2 kg/s, compte tenu de la stœchiométrie de la réaction (18 g d'eau produisent 44 g de CO₂). Ce débit correspond à un débit volumique Q_g d'environ 11 m³/s de CO₂ à température ambiante.

La surface A du disque de rupture est caractérisée à l'aide de la méthode proposée par Fauske pour une montée en pression associée à la production d'un gaz incondensable :

$$A = Q_g / (G V_f)$$

Le terme G V_f correspond à la vitesse d'écoulement au travers du disque de rupture et est telle que :

$$G V_f = [2 V_f (P_r - P_{atm})]^{1/2}$$

Où P_r désigne la pression absolue de rupture.

V_f correspond au volume du réacteur divisé par la masse de mélange réactionnel.

La masse de mélange réactionnel est prise égale à la masse d'IPDI réagissant avec 1 m³ d'eau, correspondant à une durée de dépotage de 2 minutes, soit 7 100 kg (990 kg d'eau auxquels s'ajoutent 6 110 kg d'IPDI).

Il vient

$$V_f = 35 / 7\ 100 = 0,0049 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$G V_f = 86 \text{ m/s}$$

$$A = 0,128 \text{ m}^2$$

Soit un diamètre de disque de 400 mm.

7.2 Dispersion de vapeurs d'IPDI suite à épandage dans la rétention

Pour une tension de vapeur de 0,1 Pa, une température de 20°C et une surface de nappe de 50 m², le débit de vaporisation varie entre 2 et 3 mg/s pour des vitesses de vent de 3 et 5 m/s. Il est retenu la valeur de 3 mg/s. La forme du nuage est représentée ci-après pour les effets irréversibles et létaux.

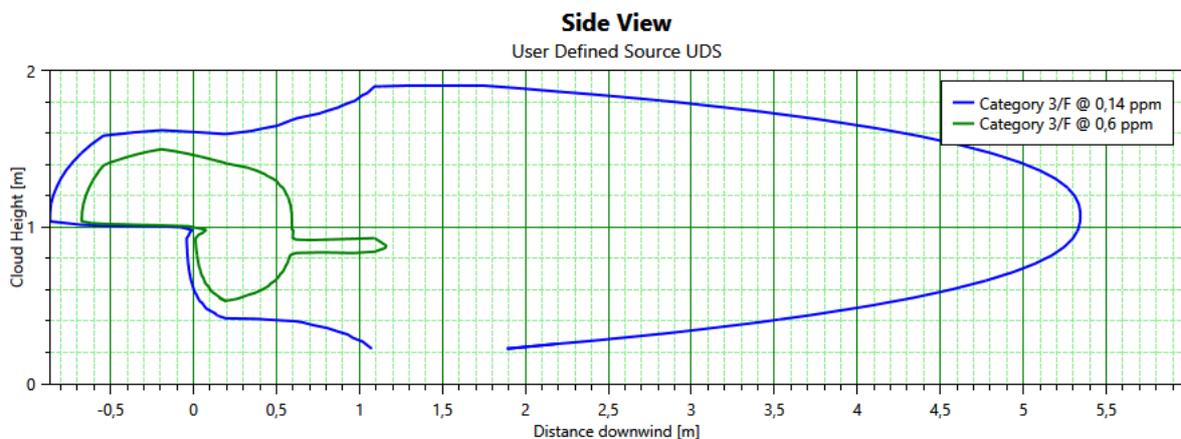


Figure 6 – Dispersion des vapeurs d'IPDI en cas d'épandage dans la rétention – Catégorie 3F

Les distances d'effets sont limitées à l'environnement proche de la rétention.

7.3 Feu de nappe suite à épandage dans la rétention

7.3.1 Effets thermiques

La valeur du pouvoir émissif de la flamme calculée à l'aide de SARA semblant élevée (supérieure à 100 kW/m²), la formule proposée par le TNO a été mise en œuvre avec une fraction rayonnée de 40%.

Les valeurs des paramètres prises en compte pour le calcul du feu de nappe sont présentés ci-dessous.

Ambient temperature	20	°C
Wind speed	3	m/s
Hygrometry (default: 70%)	70	%
Minimum length for calculation	0	m
Maximum length for calculation	50	m
Step of calculation	1	m
Height of target	1,5	m
Equivalent diameter of pool	7,979	m
Molar mass	222	g/mol
Boiling point	310	°C
Burning rate	0,0400	kg/m ² /s
Heat of combustion	6928,7	cal/g
Heat of vaporization at Tb	172,3	cal/g
Gas specific heat at 600°C	0,45	cal/g/K
LFL	1,2	% vol

Tableau 6 – Données prises en compte pour le calcul des effets thermiques du feu de nappe (SARA)

Les distances d'effets sont les suivantes :

	Distance d'effets
Effets irréversibles (3 kW/m ²)	18 m
Premiers effets létaux (5 kW/m ²)	14 m
Effets létaux significatifs Premiers effets domino (8 kW/m ²)	11 m

Tableau 7 – Seuils d'effets thermiques du feu de nappe (épandage dans la rétention)

7.3.2 Effets toxiques

Le calcul est mené en mettant en œuvre la méthode préconisée dans la référence [DR.05].

L'entraînement d'air est pris en compte. Les produits sont supposés émis verticalement à hauteur de flamme à la température de 270°C. Les seuils toxiques équivalents sont estimés à l'aide de la relation suivante [DR.05] :

$$1 / \text{Seuil}_{\text{eq}} = \sum X_i / \text{Seuil}_i$$

Avec

Seuil_{eq} : seuil équivalent pour le mélange

Seuil_i : seuil relatif au produit i.

Les seuils d'effets du dioxyde d'azote et de l'acide cyanhydrique sont les suivants :

Seuils de toxicité (durée d'exposition d'une heure)	Valeurs pour le dioxyde d'azote	Valeurs pour l'acide cyanhydrique
Effets irréversibles	40 ppm	7,1 ppm (AEGL-2)
Premiers effets létaux	70 ppm	41 ppm
Effets létaux significatifs	73 ppm	63 ppm

Tableau 8 – Seuils d'effets toxiques du dioxyde d'azote l'acide cyanhydrique (durée d'exposition d'une heure)

Le terme source pris en compte est le suivant :

Grandeur	Valeur
Hauteur de flamme	10,9 m
Débit total de fumées à hauteur de flamme	188 kg/s
Vitesse ascensionnelle	6,6 m/s
Température	270°C
Composition de la phase gazeuse (fractions molaires)	Dioxyde de carbone CO ₂ : 0,0146 Vapeur d'eau H ₂ O : 0,0193 Acide cyanhydrique HCN : 0,00026 Dioxyde d'azote NO ₂ : 0,00026 Oxygène O ₂ : 0,184 Azote N ₂ : 0,782
Seuils d'effets sur une durée d'exposition d'une heure	Effets irréversibles 23 629 ppm Premiers effets létaux 101 323 ppm Effets létaux significatifs 132 518 ppm

Tableau 9 – Terme source – Effets toxiques du feu de nappe dans la rétention

Les formes des nuages sont illustrées ci-après dans les différentes conditions atmosphériques

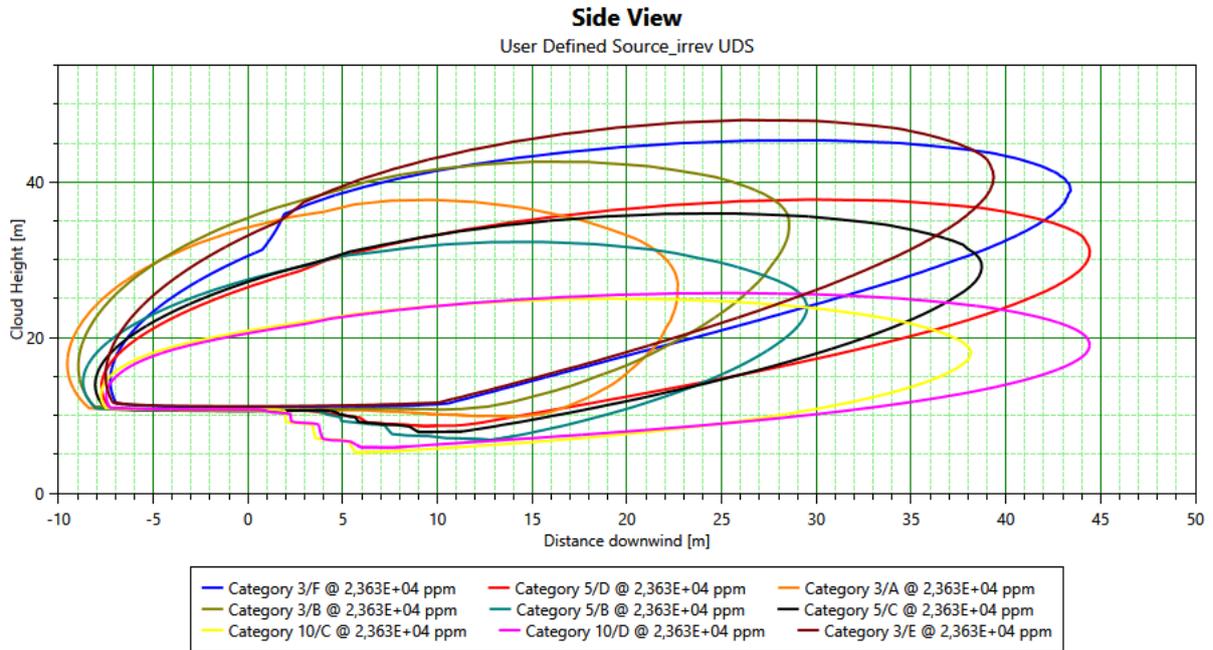


Figure 7 – Dispersion des fumées toxiques en cas d'épandage dans la rétention – Effets irréversibles

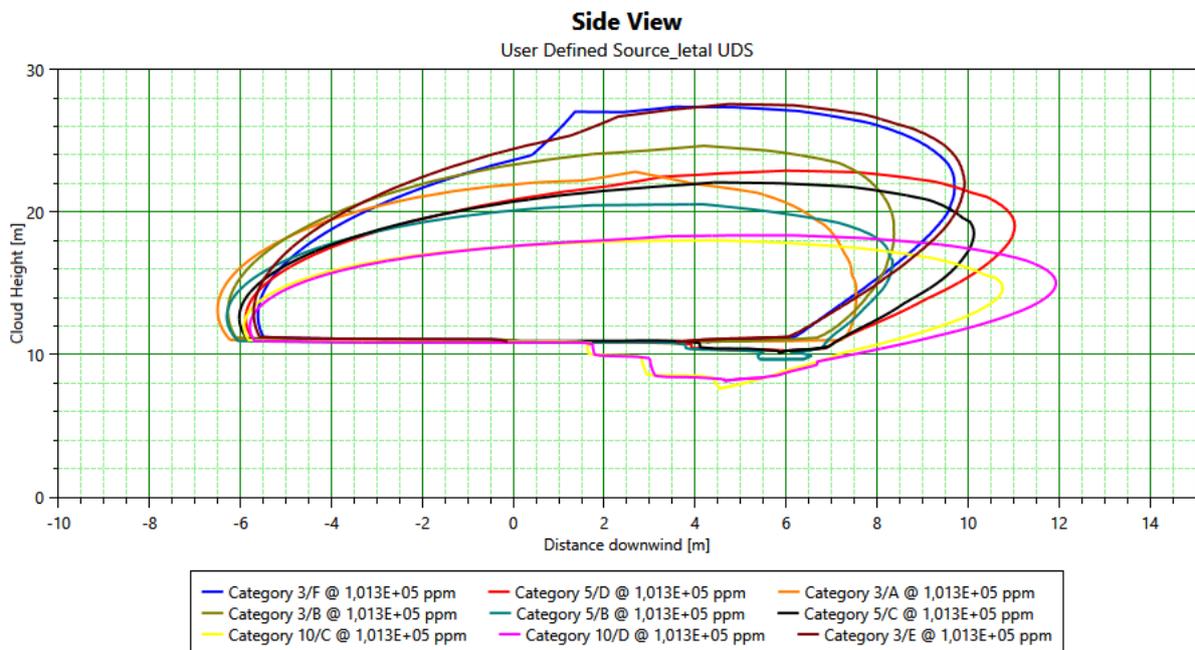


Figure 8 – Dispersion des fumées toxiques en cas d'épandage dans la rétention – Premiers effets létaux

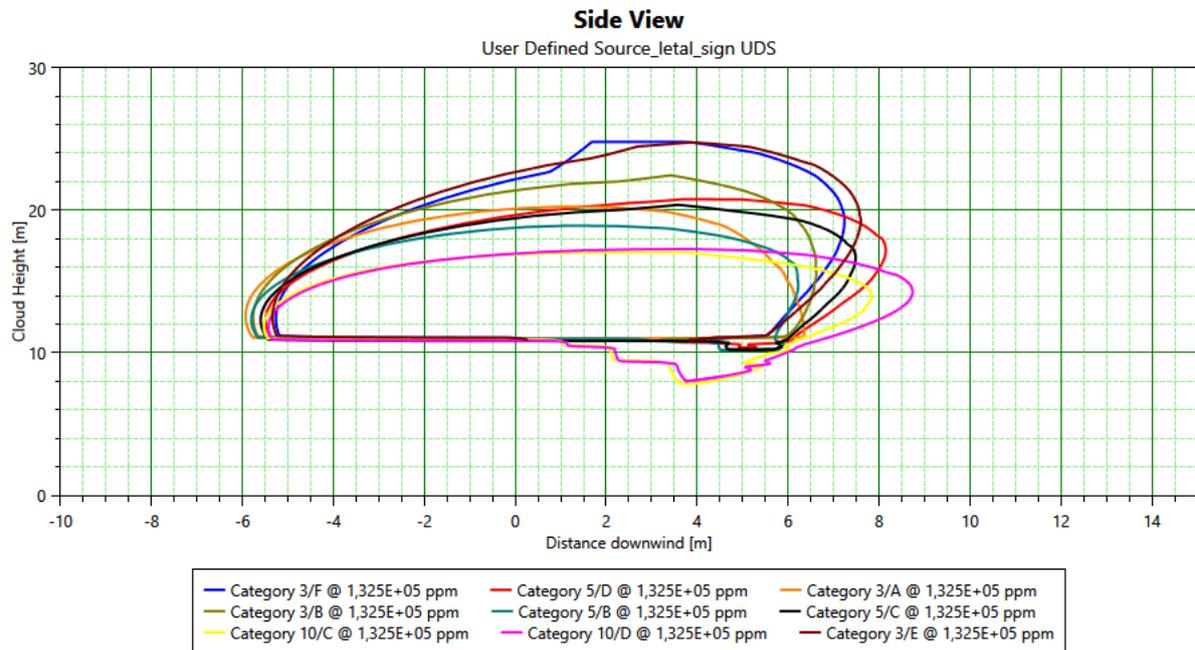


Figure 9 – Dispersion des fumées toxiques en cas d'épandage dans la rétention – Effets létaux significatifs

Aucun effet n'est atteint à hauteur d'homme. La distance d'effets irréversibles maximale est d'environ 45 m à 20 m de hauteur en conditions 10 D (vent fort).