

ANNEXE 13 : Rapport fumées toxiques suite à incendie atelier TS (19 pages)

SAFRAN CHATELLERAULT

Analyse des conséquences de l'incendie de l'atelier de traitement de surface – Emission de fumées toxiques

Rapport N°: 797665/7288159-3–RAP1–V0

VERSION	DATE D'EMISSION	AUTEURS	VERIFICATEUR	APPROBATEUR
0	24/09/2019	R. DIAZ MENDOZA M. DESMERCIERES	NT. LE	H. LEDOUX

BUREAU VERITAS EXPLOITATION

Société par Actions Simplifiée – 8 cours du Triangle 92800 PUTEAUX – RCS : Nanterre 790 184 675 – Capital Social de 36 315 050 euros

© Bureau Veritas Exploitation - Toute reproduction interdite



SOMMAIRE

1 Généralités	4
2 Modélisation de la dispersion des fumées générées par l'incendie de l'atelier de traitement de surface	5
2.1 Caractérisation de l'incendie étudié	5
2.2 Détermination des caractéristiques thermocinétiques du feu	5
2.2.1 Vitesse de combustion moyenne des produits impliqués dans l'incendie	5
2.2.2 Puissance de l'incendie	5
2.2.3 Débit massique des fumées	5
2.2.4 Hauteur d'émission des fumées	6
2.2.5 Température des fumées	6
2.3 Détermination de la composition des fumées émises	6
2.3.1 Décomposition des produits impliqués dans l'incendie en éléments simples	7
2.3.2 Identification des gaz toxiques de combustion formés	13
2.3.3 Détermination des débits d'émission de gaz toxiques	14
2.3.4 Détermination de la composition des fumées émises	15
2.4 Détermination des valeurs seuils de concentration	15
2.4.1 Seuils évalués pour la quantification des conséquences	15
2.4.2 Seuils de toxicité aiguë des différents gaz toxiques émis	16
2.4.3 Seuils de toxicité aiguë équivalents retenus dans le cadre de la présente étude	20
2.5 Dispersion atmosphérique des fumées toxiques	21
2.5.1 Méthode d'évaluation des conséquences	21
2.5.2 Conditions naturelles retenues	22
2.5.3 Résultats des modélisations	24
3 Conclusions	29



Acronymes

- AEGL : Acute Exposure Guideline Level
- AIHA : American Industrial Hygienist Association
- CL : Concentration Létale
- ERPG : Emergency Response Planning Guideline
- IDLH : Immediately Dangerous Life or Health
- INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
- NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health
- PAC : Protective Action Criteria
- PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur
- PHAST : Process Hazard Analysis Software Tool
- SEI : Seuil des Effets Irréversibles
- SELS : Seuil des Effets Létaux Significatifs
- SER : Seuil des Effets Réversibles
- SPEL : Seuil des (Premiers) Effets Létaux
- TEEL : Temporary Emergency Exposure Level
- US-DOE : United States Department Of Energy
- US-EPA : United States Environmental Protection Agency
- VSTAF : Valeurs Seuils de Toxicité Aiguë Françaises



1 Généralités

La démarche de modélisation des effets des fumées comprend 6 étapes :

- **la caractérisation de l'incendie étudié :**
 - la surface du foyer de l'incendie,
 - l'inventaire des produits impliqués dans l'incendie ;
- **la détermination des caractéristiques thermocinétiques du feu :** vitesse de combustion moyenne des produits impliqués, puissance thermique, débit de fumées, hauteur d'émission des fumées et température des fumées émises. Ces caractéristiques thermocinétiques seront évaluées sur la base des corrélations issues des travaux de Heskestad (source : G. HESKESTAD – « Engineering Relations for Fire Plumes » – Factory Mutual Research Corporation – Fire safety Journal, 7, 1984) ;
- **la détermination de la composition des fumées émises** en fonction de la nature et du tonnage des produits impliqués dans l'incendie. Les fumées toxiques produites seront quantifiées sur la base d'hypothèses issues du rapport Ω -16 « Toxicité et dispersion des fumées d'incendie – Phénoménologie et modélisation des effets », INERIS, mars 2005 (référence : INERIS–DRA–N°46055-CL57149) ;
- **la détermination des valeurs seuils de concentration ;**
- **le calcul de la dispersion atmosphérique des fumées toxiques** en tenant compte des conditions météorologiques et orographiques ;
- **l'analyse des conséquences en termes d'effets toxiques.** Cette analyse est effectuée en comparant les concentrations au sol obtenues précédemment aux seuils de toxicité équivalents des fumées définis au préalable.



2 Modélisation de la dispersion des fumées générées par l'incendie de l'atelier de traitement de surface

2.1 Caractérisation de l'incendie étudié

Le scénario étudié est l'incendie de l'atelier de traitement de surface d'une surface de 1080 m² (45 m x 24 m) suite à un départ de feu dans l'atelier.

L'atelier présente plusieurs de cuves de traitement de surface de dimensions différentes en inox, en polypropylène et en polyéthylène ; tandis que les produits de traitement ont des caractéristiques différentes (acides, bases, etc.).

2.2 Détermination des caractéristiques thermocinétiques du feu

2.2.1 Vitesse de combustion moyenne des produits impliqués dans l'incendie

Le produit en feu considéré dans la modélisation des effets thermiques de l'incendie de l'atelier de traitement de surface est un mélange pétrolier assimilé à du fuel lourd, dont la vitesse de combustion est de 35 g/m²/s.

2.2.2 Puissance de l'incendie

La quantité de chaleur dégagée lors d'une combustion est fonction de la chaleur de combustion moyenne et de vitesse de combustion moyenne des produits impliqués dans l'incendie.

Ces deux paramètres conditionnent la puissance de l'incendie, lequel est modulé par le rendement (généralement du processus de combustion). Un phénomène de combustion se caractérise non seulement en terme d'énergie totale, mais aussi en terme de puissance qui influe sur le milieu ainsi que sur son propre développement. De fait, plus la puissance fournie est grande, plus la température s'élève. Enfin, la vitesse de combustion permet de mesurer la puissance thermique émise par le foyer.

$$P = m'' \times A \times PCI$$

Avec :

- P : Puissance thermique (en W)
- m'' : Vitesse spécifique de combustion (en g/m²/s)
- A : Surface en feu (en m²)
- PCI : Chaleur de combustion du combustible (en J/g)

Avec un PCI moyen de 127 kJ/kg pour les types de produits impliqués dans l'incendie étudié, la puissance thermique de l'incendie est alors de : **P = 4,81 MW.**

2.2.3 Débit massique des fumées

Le débit de fumées est estimé en appliquant le modèle de Heskestad (1984) qui tient compte de la dilution des flammes par l'air. Selon cette corrélation, le débit des fumées (gaz et vapeurs toxiques émis + air de dilution/entraînement) est proportionnel à la puissance de l'incendie :

$$Q_{\text{fumées}} = 3,24 \times P$$



Avec :

- $Q_{\text{fumées}}$: Débit de fumées émises par l'incendie (en kg/s)
- P : Puissance thermique (en MW)

On obtient alors un débit massique de fumées de 15,6 kg/s.

2.2.4 Hauteur d'émission des fumées

Il a été considéré que les fumées sont rejetées à l'atmosphère à une altitude égale à la hauteur des flammes.

La hauteur de flamme issue du rapport des flux thermiques est de 26 m. Il est à noter que cette hauteur est une hauteur moyenne car en réalité ces dernières sont animées d'un mouvement intermittent.

2.2.5 Température des fumées

Dans le cas d'un incendie généralisé, Heskestad a montré qu'à la hauteur d'émission des fumées l'écart moyen entre la température des fumées et la température de l'air ambiant est de l'ordre de 250K.

La température des fumées a donc été prise égale à 265°C.

2.3 Détermination de la composition des fumées émises

La nature des substances émises par combustion (pour les matières combustibles) ou décomposition thermique (pour les incombustibles) est fonction de la composition chimique des produits impliqués. Ces substances sont présentes dans les fumées soit sous forme gazeuse, soit sous forme liquide (dissoutes dans des gouttelettes d'eau ou sous forme d'aérosols) ou absorbés dans les particules de suies.

Pour définir la nature des gaz ou vapeurs nocifs ou toxiques émis, les produits impliqués dans l'incendie sont décomposés en éléments simples (C, H, O, N, Cl, ...). La proportion des différents gaz et vapeurs toxiques émis et les débits de production de ces gaz et vapeurs seront évalués sur la base d'hypothèses fondées sur des résultats d'essais. Seuls les gaz ou vapeurs toxiques gazeux majeurs sont pris en compte dans les calculs de dispersion. Les produits de combustion secondaires, telles que les suies, aérosols, produits sublimés, imbrûlés, etc. ne sont pas retenus pour les raisons qui suivent :

- les mécanismes et les taux de production de ces composés secondaires dépendent de très nombreux paramètres (nature des molécules, taille et oxygénation du foyer, ...). On sait, par exemple, que la formation des suies et imbrûlés est favorisée par la présence de doubles liaisons dans la molécule et par la grandeur du foyer. Inversement, la présence d'eau ou d'oxygène dans la molécule diminue la quantité de suies formées. Cependant, à notre connaissance, aucune étude expérimentale n'a permis de quantifier d'une part les produits secondaires de combustion et, d'autre part, leurs effets sur la santé, lesquels vont dépendre des produits, mais aussi de la taille des particules. Plus celles-ci sont grosses, moins elles sont dangereuses car elles sont arrêtées au niveau des bronches et du nez. Or, si les particules formées sont très petites (diamètre < 1 micron), au niveau du foyer, elles ont tendance à s'agglomérer en se dispersant pour générer des particules de dimensions supérieures à 20 µm ;
- il est généralement admis (peut-être par manque de connaissances sur les produits secondaires de combustion), que les principaux facteurs de blessures, voire de décès, au cours d'un incendie sont la chaleur et les gaz toxiques de combustion (CO, HCl, NOx, ...).



Par ailleurs, il ne sera pas tenu compte des éventuelles réactions entre produits qui pourraient potentiellement générer d'autres gaz ou vapeurs par recombinaison des éléments chimiques.

2.3.1 Décomposition des produits impliqués dans l'incendie en éléments simples

Pour définir la nature des gaz toxiques émis, les produits impliqués dans l'incendie sont décomposés en éléments simples (C, H, O, N ...), les hypothèses suivantes ont été retenues :

- pour certains produits (huile minérale blanche, naphta lourd pétrole hydrotraité), la formule chimique n'a pas été trouvée. Il a été considéré la formule suivante : C_8H_{16} associé aux solvants.
- les baignoires de traitement pour lesquels le volume de bain n'était pas mentionné n'ont pas été pris en compte ;
- Les baignoires de traitement pour lesquels la concentration n'était pas mentionnée ont été pris en compte en considérant le volume de produit présent égal à celui du bain.



Dénomination du bain	Produits chimiques --> Gaz toxiques	Formule chimique	Masse produit (kg)	% massique par atome (pour chaque produit)									
				C	Cl	N	S	P	F	H	O	Autres	Total
NOUVELLE 3500	Acide chlorhydrique	HCl	17		97,26%					2,74%			100,00%
NOUVELLE 3500	Chlorure ferrique	FeCl3	43		65,62%							34,38%	100,00%
NOUVELLE 3500	Acide nitrique	HNO3	3			22,22%				1,59%	76,19%		100,00%
NOUVELLE 3500	Acide chlorhydrique	HCl	46		97,26%					2,74%			100,00%
NOUVELLE 3500	Chlorure ferrique	FeCl3	25		65,62%							34,38%	100,00%
NOUVELLE 3500	Carbonate de potassium	Na2CO3	8	11,32%							45,28%	43,40%	100,00%
	Toluène	C7H8	1,6	91,30%						8,70%			100,00%
2660	Huile minérale	C8H16		85,71%						14,29%			100,00%
2470	ISOTRIDECANOL ETHOXYLATED	C15H32O2	60	73,77%						13,11%	13,11%		100,00%
2470	Fatty acids, tall-oil, compounds with triethanolamine	C6H15NO3	18	48,32%		9,40%				10,07%	32,21%		100,00%
2470	BUTYLHYDROXYTOLUENE	C15H24O	3	81,82%						10,91%	7,27%		100,00%
2480	AMINOETHANOL	C2H7NO	3,33	39,34%		22,95%				11,48%	26,23%		100,00%
2480	DIPENTENE	C10H16	2,8	88,24%						11,76%			100,00%
2480	ALCOOL GRAS C12 15 ETHOXYLE	C12H26O	11,1	77,42%						13,98%	8,60%		100,00%
2480	2METHOXYMETHYLETHOXY PROPANOL	C7H16O3	5,6	56,76%						10,81%	32,43%		100,00%
2490	TRISODIUM PHOSPHATE	H24Na3O16P	16					8,16%		6,32%	67,37%	18,16%	100,00%
2201	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	440,2							2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
2204	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	85,2							2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
2204	PERMENGANIC ACID SODIUM SALT	HMnO4	35,5							0,83%	53,33%	45,83%	100,00%
2206	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	85,2							2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
2206	PERMENGANIC ACID SODIUM SALT	HMnO4	35,5							0,83%	53,33%	45,83%	100,00%
2207	ACIDE CITRIQUE	C6H8O7	39,4	37,50%						4,17%	58,33%		100,00%
2207	TRIAMMONIUM CITRATE	C6H17N3O7	19,7	29,63%		17,28%				7,00%	46,09%		100,00%
2210	Acide sulfamique	H3NSO3	35,5			14,42%	33,06%			3,09%	49,43%		100,00%
2210	Acide nitrique	HNO3	71			22,22%				1,59%	76,19%		100,00%



Dénomination du bain	Produits chimiques --> Gaz toxiques	Formule chimique	Masse produit (kg)	% massique par atome (pour chaque produit)									
				C	Cl	N	S	P	F	H	O	Autres	Total
2212	Acide sulfamique	H3NSO3	35,5			14,42%	33,06%			3,09%	49,43%		100,00%
2212	Acide nitrique	HNO3	71			22,22%				1,59%	76,19%		100,00%
2213	A METHANESULFONIQUE	CH4O3S	481,4	12,49%			33,40%			4,16%	49,95%		100,00%
2217	ACIDE CITRIQUE	C6H8O7	50	43,90%						4,88%	51,22%		100,00%
2217	TRIAMMONIUM CITRATE	C6H17N3O7	25	29,63%		17,28%				7,00%	46,09%		100,00%
2218	ACIDE CITRIQUE	C6H8O7	50	43,90%						4,88%	51,22%		100,00%
2218	TRIAMMONIUM CITRATE	C6H17N3O7	25	29,63%		17,28%				7,00%	46,09%		100,00%
2145	NAPHTA LOURD PETROLE	C8H16	910	85,71%						14,29%			100,00%
2145	SULFONAT DE BARIUM	C24H20BaN2O6 S2	35	45,46%		4,42%	10,13%			3,16%	15,15%	21,67%	100,00%
2145	BUTOXYETHANOL	C6H14O2	35	61,02%						11,86%	27,12%		100,00%
2150	METHOXYPROPOXY]PROPANE 1 OL	C7H16O3	1,1	56,76%						10,81%	32,43%		100,00%
2165	NITRATE DE CALCIUM	Ca(NO3)2	9			17,07%					58,54%	24,39%	100,00%
2165	BIS DITHYDROGENOPHOSPHATE DE ZINC	Zn(H2PO4)2	9					27,26%		1,76%	42,22%	28,76%	100,00%
2165	NITRATE DE ZINC	Zn(NO3)2	3,6			14,78%					50,69%	34,53%	100,00%
2165	ACIDE ORTHOPHOSPHORIQUE	H3PO4	3,6					31,63%		3,06%	65,31%		100,00%
1806	AMINOETHANOL	C2H7NO	21,1	39,34%		22,95%				11,48%	26,23%		100,00%
1806	DIPENTENE	C10H16	17,6	88,24%						11,76%			100,00%
1806	ALCOOL GRAS C12 15 ETHOXYLE	C12H26O	70,3	77,42%						13,98%	8,60%		100,00%
1806	2METHOXYMETHYLETHOXY PROPANOL	C7H16O3	35,2	56,76%						10,81%	32,43%		100,00%
1807	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	589							2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
1811	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	456							2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
1811	PERMENGANIC ACID SODIUM SALT	HMnO4	190							0,83%	53,33%	45,83%	100,00%
1812	ACIDE CITRIQUE	C6H8O7	211	43,90%						4,88%	51,22%		100,00%
1812	TRIAMMONIUM CITRATE	C6H17N3O7	105,5	29,63%		17,28%				7,00%	46,09%		100,00%
1812	1,3 DIETHYL 2 THIOUREA	C5H12N2S	3,5	45,42%		21,20%	24,30%			9,08%			100,00%

Bureau Veritas Exploitation – Agence Expertise & Projets – Service Risques Industriels



Dénomination du bain	Produits chimiques --> Gaz toxiques	Formule chimique	Masse produit (kg)	% massique par atome (pour chaque produit)										
				C	Cl	N	S	P	F	H	O	Autres	Total	
1812	ACIDE CITRIQUE	C6H8O7	211	43,90%							4,88%	51,22%		100,00%
1812	TRIAMMONIUM CITRATE	C6H17N3O7	105,5	29,63%		17,28%					7,00%	46,09%		100,00%
1812	1,3 DIETHYL 2 THIOUREA	C5H12N2S	3,5	45,42%		21,20%	24,30%				9,08%			100,00%
1615	ACIDE NITROBENZOIQUE	C7H5NO4	75	50,30%		8,38%					2,99%	38,32%		100,00%
1615	AMMONIAC	NH3	12,5			82,35%					17,65%			100,00%
1615	ETHYLENEDIAMINE	C2H4(NH2)2	150	40,00%		46,67%					13,33%			100,00%
1615	DIETHYL DITHIOCARBAMATE DE SODIUM	C5H10NS2Na	2,5	35,05%		8,18%	37,50%				5,84%		13,43%	100,00%
1640	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	525								2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
1645	AMINOETHANOL	C2H7NO	16,1	39,34%		22,95%					11,48%	26,23%		100,00%
1645	DIPENTENE	C10H16	13,4	88,24%							11,76%			100,00%
1645	ALCOOL GRAS C12 15 ETHOXYLE	C12H26O	53,6	77,42%							13,98%	8,60%		100,00%
1645	2METHOXYMETHYLETHOXY PROPANOL	C7H16O3	26,8	56,76%							10,81%	32,43%		100,00%
1645	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	1015								2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
1645	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	1860								2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
1675	2METHOXYMETHYLETHOXY PROPANOL	C7H16O3	2,7	56,76%							10,81%	32,43%		100,00%
1411	AMINOETHANOL	C2H7NO	14,4	39,34%		22,95%					11,48%	26,23%		100,00%
1411	DIPENTENE	C10H16	12	88,24%							11,76%			100,00%
1411	ALCOOL GRAS C12 15 ETHOXYLE	C12H26O	48,1	77,42%							13,98%	8,60%		100,00%
1411	2METHOXYMETHYLETHOXY PROPANOL	C7H16O3	24	56,76%							10,81%	32,43%		100,00%
1408	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	875								2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
1407	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	403								2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
1404	AMINOETHANOL	C2H7NO	14,4	39,34%		22,95%					11,48%	26,23%		100,00%
1404	DIPENTENE	C10H16	12	88,24%							11,76%			100,00%
1404	ALCOOL GRAS C12 15 ETHOXYLE	C12H26O	48,1	77,42%							13,98%	8,60%		100,00%
1404	2METHOXYMETHYLETHOXY PROPANOL	C7H16O3	24	56,76%							10,81%	32,43%		100,00%

Bureau Veritas Exploitation – Agence Expertise & Projets – Service Risques Industriels



Dénomination du bain	Produits chimiques --> Gaz toxiques	Formule chimique	Masse produit (kg)	% massique par atome (pour chaque produit)									
				C	Cl	N	S	P	F	H	O	Autres	Total
1403	AMINOETHANOL	C2H7NO	50,4	39,34%		22,95%				11,48%	26,23%		100,00%
1403	HYDROXYDE POTASSIUM	KOH	2,9							1,78%	28,52%	69,70%	100,00%
1403	1METHYL 2 PYRROLIDONE	C5H9NO	86,4	60,61%		14,14%				9,09%	16,16%		100,00%
1401	PROPANOL	C3H8O	1	60,00%						13,33%	26,67%		100,00%
1002	AMINOETHANOL	C2H7NO	11,1	39,34%		22,95%				11,48%	26,23%		100,00%
1002	DIPENTENE	C10H16	9,3	88,24%						11,76%			100,00%
1002	ALCOOL GRAS C12 15 ETHOXYLE	C12H26O	37	77,42%						13,98%	8,60%		100,00%
1002	2METHOXYMETHYLETHOXY PROPANOL	C7H16O3	18,5	56,76%						10,81%	32,43%		100,00%
1002	AMINOETHANOL	C2H7NO	12	39,34%		22,95%				11,48%	26,23%		100,00%
1002	DIPENTENE	C10H16	10	88,24%						11,76%			100,00%
1002	ALCOOL GRAS C12 15 ETHOXYLE	C12H26O	40	77,42%						13,98%	8,60%		100,00%
1002	2METHOXYMETHYLETHOXY PROPANOL	C7H16O3	20	56,76%						10,81%	32,43%		100,00%
1003	AMINOETHANOL	C2H7NO	11,1	39,34%		22,95%				11,48%	26,23%		100,00%
1003	DIPENTENE	C10H16	9,3	88,24%						11,76%			100,00%
1003	ALCOOL GRAS C12 15 ETHOXYLE	C12H26O	37	77,42%						13,98%	8,60%		100,00%
1003	2METHOXYMETHYLETHOXY PROPANOL	C7H16O3	18,5	56,76%						10,81%	32,43%		100,00%
1006	2METHOXYMETHYLETHOXY PROPANOL	C7H16O3	2	56,76%						10,81%	32,43%		100,00%
roulements	PROPANOL	C3H8O	1	60,00%						13,33%	26,67%		100,00%
roulements	NAPHTA LOURD PETROLE HYDROTRAITE	C8H16	38,4	85,71%						14,29%			100,00%
roulements	NAPHTA LOURD PETROLE HYDROTRAITE	C8H16	38,4	85,71%						14,29%			100,00%
roulements	NAPHTA LOURD PETROLE HYDROTRAITE	C8H16	38,4	85,71%						14,29%			100,00%
12	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	11,2							2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
16	Acide chlorhydrique	HCl	70		97,26%					2,74%			100,00%
11	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	11,2							2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
10	Acide chlorhydrique	HCl	70		97,26%					2,74%			100,00%
nouvelle chaîne	Acide nitrique	HNO3	3248			22,22%				1,59%	76,19%		100,00%



Dénomination du bain	Produits chimiques --> Gaz toxiques	Formule chimique	Masse produit (kg)	% massique par atome (pour chaque produit)										
				C	Cl	N	S	P	F	H	O	Autres	Total	
nouvelle chaîne	Acide nitrique	HNO3	3248			22,22%					1,59%	76,19%		100,00%
nouvelle chaîne	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	5600								2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
nouvelle chaîne	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	5600								2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
nouvelle chaîne	HYDROXIDE DE SODIUM	NaOH	11200								2,50%	40,00%	57,50%	100,00%
14 cuves PP	Polypropylène	C3H6	85,6	85,71%							14,29%			100,00%
1 cuves PE	Polyéthylène	C2H4	14,4	85,71%							14,29%			100,00%

2.3.2 Identification des gaz toxiques de combustion formés

Les principaux gaz toxiques susceptibles de se dégager lors de la combustion des produits impliqués dans l'incendie étudié sont donc les suivants :

Formule chimique	Principaux gaz de combustion toxiques susceptibles de se dégager
HCl	HCl
FeCl ₃	HCl
HNO ₃	NO ₂
Na ₂ CO ₃	CO, CO ₂
C ₇ H ₈	CO, CO ₂
C ₈ H ₁₆	CO, CO ₂
C ₁₅ H ₃₂ O ₂	CO, CO ₂
C ₆ H ₁₅ NO ₃	CO, CO ₂ , HCN, NO ₂
C ₁₅ H ₂₄ O	CO, CO ₂
C ₂ H ₇ NO	CO, CO ₂ , HCN, NO ₂
C ₁₀ H ₁₆	CO, CO ₂
C ₁₂ H ₂₆ O	CO, CO ₂
C ₇ H ₁₆ O ₃	CO, CO ₂
C ₆ H ₈ O ₇	CO, CO ₂
C ₆ H ₁₇ N ₃ O ₇	CO, CO ₂ , HCN, NO ₂
CH ₄ O ₃ S	CO, CO ₂ , SO ₂
C ₂₄ H ₂₀ Ba ₂ N ₂ O ₆ S ₂	CO, CO ₂ , SO ₂
C ₆ H ₁₄ O ₂	CO, CO ₂
C ₅ H ₁₂ N ₂ S	CO, CO ₂ , SO ₂
C ₇ H ₅ NO ₄	CO, CO ₂ , HCN, NO ₂
C ₂ H ₄ (NH ₂) ₂	CO, CO ₂ , HCN, NO ₂
C ₅ H ₁₀ NS ₂ Na	CO, CO ₂ , HCN, NO ₂ , SO ₂
C ₅ H ₉ NO	CO, CO ₂ , HCN, NO ₂
C ₃ H ₈ O	CO, CO ₂
C ₃ H ₆	CO, CO ₂
C ₂ H ₄	CO, CO ₂

2.3.3 Détermination des débits d'émission de gaz toxiques

Les débits massiques d'émission spécifiques à chaque gaz toxique retenu ont été déterminés à partir de l'équation suivante :

$$D_{\text{polluant}} = W_{\text{polluant}} \times m'' \times A / 1000$$

Avec :

- D_{polluant} : Débit d'émission du gaz toxique (en kg/s)
- W_{polluant} : Fraction massique du gaz toxique (fraction basée sur la composition atomique)
- m'' : Vitesse moyenne de combustion (en g/m²/s)
- A : Surface en feu (en m²)

Afin de déterminer les fractions massiques de chaque toxique, les hypothèses suivantes sur le devenir des atomes issues du rapport INERIS Ω-16 « Toxicité et dispersion des fumées d'incendie – Phénoménologie et modélisation des effets », mars 2005 (référence : INERIS–DRA–N°46055-CL57149) ont été retenues :

Atome	Principaux gaz toxiques susceptibles de se dégager	Hypothèses de dégagement de gaz toxiques
C	Monoxyde de carbone (CO) Dioxyde de carbone (CO ₂)	Tout le carbone se retrouve sous forme de CO et CO ₂ selon le ratio molaire CO/CO ₂ = 0,1
N	Cyanure d'hydrogène (HCN)	40% de l'azote se retrouve sous forme de HCN et de NO ₂ (à part égale)
	Dioxyde d'azote (NO ₂)	
Cl	Chlorure d'hydrogène (HCl)	Tout le chlore se retrouve sous forme de HCl
S	Dioxyde de soufre (SO ₂)	Tout le soufre se retrouve sous forme de SO ₂

Les débits massiques des gaz toxiques émis sont alors les suivants :

- Monoxyde de carbone (CO) = 0,4 kg/s ;
- Dioxyde de carbone (CO₂) = 6,7 kg/s ;
- Cyanure d'hydrogène (HCN) = 0,6 kg/s ;
- Dioxyde d'azote (NO₂) = 1 kg/s ;
- Chlorure d'hydrogène (HCl) = 0,6 kg/s ;
- Dioxyde de soufre (SO₂) = 0,4 kg/s.

2.3.4 Détermination de la composition des fumées émises

Compte tenu des débits massiques de gaz toxiques émis et du débit total des fumées calculés précédemment, on en déduit la composition des fumées suivante (% massique) :

- Monoxyde de carbone (CO) : 2,73 % ;
- Dioxyde de carbone (CO₂) : 42,88 % ;
- Cyanure d'hydrogène (HCN) : 3,95 % ;
- Dioxyde d'azote (NO₂) : 6,73 % ;
- Chlorure d'hydrogène (HCl) : 1,52 % ;
- Dioxyde de soufre (SO₂) : 2,33 %.

Le complément est constitué par l'air entraîné avec les fumées par les effets thermo-convectifs.

2.4 Détermination des valeurs seuils de concentration

2.4.1 Seuils évalués pour la quantification des conséquences

Les seuils de référence retenus sont les seuils de l'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.

Les valeurs seuils applicables pour les effets toxiques (ou VSTAF pour Valeurs Seuils de Toxicité Aiguë Françaises) sont présentées dans le tableau suivant (tableau extrait de l'annexe II relative aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes dangereux pouvant survenir dans des installations classées de l'arrêté du 29 septembre 2005) :

	Types d'effets constatés	Concentration d'exposition	Référence
Exposition de 1 à 60 min	Létaux	SELS (CL5%) SPEL (CL1%)	Seuils de toxicité aiguë – Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable – INERIS
	Irréversibles	SEI	
	Réversibles	SER	

Notion de seuil équivalent

Il est important de noter que, dans le cas de fumées d'incendie, plusieurs gaz toxiques sont susceptibles d'être émis simultanément à l'atmosphère.

Les seuils (souvent exprimés en concentration massique ou volumique) à retenir pour caractériser la toxicité des fumées ne sont pas propres à un gaz pur mais à un mélange de gaz. Dans ce cas, si le mélange est composé de n gaz polluants notés P1, P2, ... Pi, des seuils « équivalents » peuvent être estimés au moyen des relations suivantes :

$$\text{SELS}_{\text{équivalent}} = \frac{1}{\sum \frac{p_i}{\text{SELS}_i}} \quad \text{SPEL}_{\text{équivalent}} = \frac{1}{\sum \frac{p_i}{\text{SPEL}_i}} \quad \text{SEI}_{\text{équivalent}} = \frac{1}{\sum \frac{p_i}{\text{SEI}_i}}$$

Avec :

- SEI_i : Seuil des Effets Irréversibles de la substance i (en mg/m³)
- SPEL_i : Seuil des Premiers Effets Létaux de la substance i (en mg/m³)
- SELS_i : Seuil des Effets Létaux Significatifs de la substance i (en mg/m³)
- p_i : Fraction massique d'une substance i dans les fumées (fraction volumique)

Ces relations permettent, de manière simplifiée, d'une part de prendre en compte la toxicité spécifique à chaque gaz et d'autre part d'additionner leurs toxicités respectives. Cette démarche est décrite par l'INERIS dans le rapport Ω-16 « Toxicité et dispersion des fumées d'incendie – Phénoménologie et modélisation des effets », mars 2005 (référence : INERIS–DRA–N°46055-CL57149).

Cependant, il est clair qu'une telle approche, retenue faute de mieux, ne permet pas de prendre en compte tout effet de synergies ou d'antagonismes éventuels, induit par la présence simultanée des différents gaz.

Dans le cadre de la présente étude, les gaz toxiques susceptibles d'être émis (cf. paragraphe §2.3.2) sont les suivants :

- le monoxyde de carbone (CO) ;
- le dioxyde de carbone (CO₂) ;
- le cyanure d'hydrogène (HCN) ;
- le dioxyde d'azote (NO₂) ;
- le chlorure d'hydrogène (HCl) ;
- Le dioxyde de soufre (SO₂).

2.4.2 Seuils de toxicité aiguë des différents gaz toxiques émis

2.4.2.1 Seuils de toxicité aiguë du monoxyde de carbone

Concentration	Temps (min.)				
	10	20	30	60	120
Seuil des effets létaux significatifs – SELS · mg/m ³ · ppm	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND
Seuil des premiers effets létaux – SPEL · mg/m ³ · ppm	8050 7000	5750 5000	4830 4200	3680 3200	2645 2300
Seuil des effets irréversibles – SEI · mg/m ³ · ppm	2990 2600	2070 1800	1725 1500	920 800	460 400
Seuil des effets réversibles – SER · mg/m ³ · ppm	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND

ND: Non déterminé

Source : Rapport INERIS "Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Seuils de Toxicité Aiguë – Monoxyde de carbone" (référence : INERIS-DRC-09-103128-05616A)



2.4.2.2 Seuils de toxicité aiguë du dioxyde de carbone

Il n'existe pas à ce jour de fiche INERIS pour le dioxyde de carbone ; aucune VSTAF n'est en effet définie par la réglementation française. En absence de ces données, il s'est donc posé la question du choix des valeurs seuils à considérer pour le dioxyde de carbone.

Sur la base du rapport d'étude de l'INERIS intitulé « Guide pratique de choix des valeurs seuils de toxicité aiguë en cas d'absence de valeurs françaises » (référence : N° DRC-08-94398-02798B ; février 2009), la méthodologie suivante a été appliquée :

- **Etape n°1 : Recensement des valeurs disponibles** – par ordre de priorité :
 - Acute Exposure Guideline Level (AEGL),
 - Emergency Response Planning Guideline (ERPG),
 - Immediately Dangerous Life or Health (IDLH),
 - Protective Action Criteria (PAC), anciennement Temporary Emergency Exposure Level (TEEL) ;
- **Etape n°2 : Choix des valeurs seuils à retenir.**

Recensement des valeurs disponibles

Les sites Internet des organismes suivants ont été consultés afin de compiler les valeurs disponibles :

- United States Environmental Protection Agency (US-EPA) pour les valeurs AEGL ;
- American Industrial Hygienist Association (AIHA) pour les valeurs ERPG ;
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) pour les valeurs IDLH ;
- United States Department Of Energy (US-DOE) pour les valeurs PAC.

Les éléments suivants ont été récoltés :

- aucune valeur AEGL n'est disponible pour le dioxyde de carbone ;
- aucune valeur ERPG n'est disponible pour le dioxyde de carbone ;
- le NIOSH recommande de considérer une valeur de 40 000 ppm pour la valeur révisée de l'IDLH (1994) du dioxyde de carbone (source : <https://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>) ;
- aucune valeur PAC n'est disponible pour le dioxyde de carbone.

Choix des valeurs seuils à retenir

La présente étude va donc uniquement s'appuyer sur la valeur révisée de l'IDLH (1994), soit 40 000 ppm (72 000 mg/m³).

On peut définir l'IDLH comme la concentration maximale dans l'air jusqu'à laquelle un travailleur peut s'échapper sans risquer de mourir ou de ressentir des effets irréversibles sur la santé à la suite d'irritation respiratoire ou oculaire sévère et d'autres effets délétères (désorientation ou incoordination). Elle correspond ainsi au Seuil des Effets Irréversibles (SEI).

2.4.2.3 Seuils de toxicité aiguë du cyanure d'hydrogène

Concentration	Temps (min.)				
	1	10	20	30	60
Seuil des effets létaux significatifs - SELS · mg/m ³ · ppm	703 639	191 174	130 118	103 94	69 63
Seuil des premiers effets létaux - SPEL · mg/m ³ · ppm	431 392	121 110	82,5 75	66 60	45 41
Seuil des effets irréversibles - SEI · mg/m ³ · ppm	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND
Seuil des effets réversibles - SER · mg/m ³ · ppm	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND

ND: Non déterminé

Source : Rapport INERIS "Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Seuils de Toxicité Aiguë – Cyanure d'hydrogène" (référence : INERIS–DRC-08-94398-12727A)

2.4.2.4 Seuils de toxicité aiguë du dioxyde d'azote

Concentration	Temps (min.)				
	1	10	20	30	60
Seuil des effets létaux significatifs - SELS · mg/m ³ · ppm	406 216	222 118	184 98	165 88	137 73
Seuil des premiers effets létaux - SPEL · mg/m ³ · ppm	320 170	188 100	169 90	150 80	132 70
Seuil des effets irréversibles - SEI · mg/m ³ · ppm	197 105	113 60	103 55	94 50	75 40
Seuil des effets réversibles - SER · mg/m ³ · ppm	10 5	10 5	10 5	10 5	10 5

ND: Non déterminé

Source : Rapport INERIS "Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Seuils de Toxicité Aiguë – Dioxyde d'azote" (référence : INERIS–DRC-08-94398-13333A).

2.4.2.5 Seuils de toxicité aiguë du chlorure d'hydrogène

Concentration	Temps (min.)				
	1	10	20	30	60
Seuil des effets létaux significatifs – SELS					
· mg/m ³	29 763	3 202	1 638	1 106	565
· ppm	19 975	2 149	1 099	742	379
Seuil des premiers effets létaux – SPEL					
· mg/m ³	16 390	1 937	1 013	700	358
· ppm	11 000	1 300	680	470	240
Seuil des effets irréversibles – SEI					
· mg/m ³	3 590	358	179	119	60
· ppm	2 410	240	120	80	40
Seuil des effets réversibles – SER					
· mg/m ³	ND	ND	ND	ND	ND
· ppm	ND	ND	ND	ND	ND

ND: Non déterminé

Source : Rapport INERIS "Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Seuils de Toxicité Aiguë – Chlorure d'hydrogène" (référence : INERIS– DRC-08-94398-11984A)

2.4.2.6 Seuils de toxicité aiguë du dioxyde de soufre

Concentration	Temps (min.)							
	1	10	20	30	60	120	240	480
Seuil des effets létaux significatifs – SELS								
· mg/m ³	6 373	3 531	2 956	2 665	2 231	1 867	1 563	1 310
· ppm	2 451	1 358	1 137	1 025	858	718	601	504
Seuil des premiers effets létaux – SPEL								
· mg/m ³	5 385	2 985	2 499	2 252	1 885	1 578	1 321	1 108
· ppm	2 071	1 148	961	866	725	607	508	426
Seuil des effets irréversibles – SEI								
· mg/m ³	598	333	281	250	211	174	146	122
· ppm	230	128	108	96	81	67	56	47
Seuil des effets réversibles – SER								
· mg/m ³	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
· ppm	3	3	3	3	3	3	3	3

Source : Rapport INERIS "Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Seuils de Toxicité Aiguë – Dioxyde de soufre" (référence : INERIS– DRC-08-94398-12130A)

2.4.3 Seuils de toxicité aiguë équivalents retenus dans le cadre de la présente étude

Les seuils de toxicité aiguë des gaz toxiques retenus dans le cadre de la présente étude lors des calculs des seuils équivalents sont les seuils correspondant à une **durée d'exposition de 60 min** ; ils sont repris dans le tableau suivant :

	Seuil de toxicité aiguë par inhalation		
	SEI (mg/m ³)	SEL (mg/m ³)	SELS (mg/m ³)
CO	920	3 680	3 680
CO₂	72 000	72 000	72 000
HCN	50	45	69
NO₂	75	132	137
HCl	60	358	565
SO₂	211	1 885	2 231

⁽¹⁾ Le seuil des effets létaux significatifs n'étant pas connu pour le monoxyde de carbone, la valeur du seuil des premiers effets létaux a également été retenue pour ce seuil suivant une approche prudente dans le cadre de la présente étude.

⁽²⁾ Les seuils des premiers effets létaux et des effets létaux significatifs n'étant pas connus pour le dioxyde de carbone, la valeur révisée de l'IDLH a également été retenue pour ces seuils létaux suivant une approche prudente dans le cadre de la présente étude. Il est à noter que cette hypothèse est sans impact car le dioxyde de carbone n'est pas dimensionnant du fait de sa très faible toxicité comparée à celle des autres gaz émis.

⁽³⁾ Le rapport élaboré par l'INERIS en avril 2005 ne présente pas de SEI pour le cyanure d'hydrogène du fait de l'absence de données toxicologiques pertinentes. Afin de pouvoir réaliser les modélisations, il a été repris les valeurs des fiches de 1998 (Courbes de toxicité aiguë par inhalation – Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement – Direction de la prévention de la pollution et des risques – Juin 1998).

Sur la base de la composition des fumées déterminée au paragraphe §2.3.4 et des éléments mentionnés au paragraphe §2.4.1, les seuils de toxicité aiguë équivalents retenus dans le cadre de la présente étude sont les suivants :

SELS équivalent	850 mg/m ³ 587 ppm
SPEL équivalent	622 mg/m ³ 429 ppm
SEI équivalent	481 mg/m ³ 332 ppm

2.5 Dispersion atmosphérique des fumées toxiques

2.5.1 Méthode d'évaluation des conséquences

Les modélisations ont été réalisées à l'aide du logiciel PHAST v6.7, développé par DNV Technica, PHAST étant l'acronyme anglais de Process Hazard Analysis Software Tool.

La modélisation du phénomène de dispersion atmosphérique (effets de dérive et de dilution par l'air) est ainsi fonction de 4 groupes de paramètres :

- les conditions initiales du terme source (durée de la fuite, température du gaz/vapeur, entraînement d'air...);
- les propriétés physiques et chimiques du gaz/vapeur (densité, présence de gouttelettes...);
- le régime d'écoulement ou de dispersion du nuage;
- les conditions météorologiques (vitesse du vent, stabilité de l'atmosphère).

Le logiciel PHAST calcule pour chaque temps t , la concentration $C(t)$ au centre du nuage. Il moyenne cette concentration en fonction du temps d'intégration retenu (« averaging time ») et intègre cette concentration moyenne au cours du temps pour calculer la dose toxique :

$$\text{Dose} = \int_0^Y \overline{C^N}(t) dt = \overline{C}_{\text{Seuil}}^N \times t_{\text{ref}}$$

Avec :

- Y : Temps d'exposition, généralement voisin de la durée de relâchement continu
- \overline{C} : Concentration moyennée pendant le temps d'intégration
- N : Coefficient de concentration
- C_{Seuil} : Concentration seuil entraînant l'apparition d'un effet redouté
- t_{ref} : Temps de référence correspondant à l'exposition nécessaire pour entraîner l'effet redouté

Remarques :

- Il y a lieu de noter que les modélisations ne prennent pas en compte l'influence des bâtiments sur l'écoulement. Cet écoulement est donc considéré comme exempt de singularités telles qu'effet sillage, tourbillon ou rabattement.
- Le paramétrage du logiciel PHAST a été fait conformément au « Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation du logiciel PHAST à l'usage des industriels de l'industrie chimique » – UIC – DT 102 – Septembre 2012.

Notion de temps d'observation (« Averaging time »)

Selon la durée de la fuite, les conditions atmosphériques ont le temps de changer ou non. La plupart des modèles de dispersion considèrent que le vent a une direction, selon laquelle se fait le rejet, et une vitesse, ces deux paramètres étant supposés constants au cours de la simulation. Or, il est clair que lors d'une fuite d'une durée de 30 min par exemple, le vent va évoluer et va subir des fluctuations autour de sa direction principale, atténuant les pics de concentration au centre du nuage en permettant à celui-ci de s'étoffer. Il existe un moyen de prendre en compte ces légères fluctuations de la direction du vent autour d'une direction privilégiée qui reste celle du rejet : **il faut introduire la notion d'« averaging time », c'est-à-dire introduire un « temps d'observation ».**

L'averaging time doit être relié aux effets que l'on souhaite décrire ; **pour les effets toxiques, nécessitant une exposition plus ou moins longue**, le nuage se disperse pendant un temps non négligeable et la direction du vent a le temps de fluctuer un peu autour de son axe privilégié. **On accorde donc la valeur de l'averaging time avec le temps d'exposition des cibles, que l'on suppose égal à la durée de fuite.**

De plus, il est à noter qu'il existe deux paramètres distincts pour le temps de moyennage dans le logiciel PHAST : **la valeur du « core averaging time »** est utilisée lors du calcul de la dispersion passive du nuage tandis que **la valeur de l'« averaging time »** est utilisée uniquement lors de la phase de post-traitement, pour certains résultats.

En pratique, conformément aux préconisations de DNV et de l'INERIS, **la valeur du « core averaging time » est prise égale à la valeur de l'« averaging time » du scénario considéré.**

Au final, l'hypothèse suivante est retenue :

$$t_{av}^{core} = t_{av}^{scenario} = t_{fuite}$$

2.5.2 Conditions naturelles retenues

2.5.2.1 Conditions météorologiques

Les conditions atmosphériques (stabilité et vitesse de vent) ont une influence certaine sur la dispersion des polluants gazeux. Ces conditions sont usuellement désignées par une lettre (de A à F), indiquant la stabilité atmosphérique mesurée sur l'échelle de Pasquill-Gifford, et un chiffre correspondant à la vitesse du vent.

La modélisation de dispersion atmosphérique a été effectuée pour les conditions atmosphériques suivantes :

- Stabilité atmosphérique A (extrêmement instable de Pasquill) / Vitesse du vent 3 m/s ;
- Stabilité atmosphérique B (très instable de Pasquill-Gifford) / Vitesse du vent 3 m/s ;
- Stabilité atmosphérique B (très instable de Pasquill-Gifford) / Vitesse du vent 5 m/s ;
- Stabilité atmosphérique C (instable de Pasquill-Gifford) / Vitesse du vent 5 m/s ;
- Stabilité atmosphérique C (instable de Pasquill-Gifford) / Vitesse du vent 10 m/s ;
- Stabilité atmosphérique D (neutre de Pasquill-Gifford) / Vitesse du vent 5 m/s ;
- Stabilité atmosphérique D (neutre de Pasquill-Gifford) / Vitesse du vent 10 m/s ;
- Stabilité atmosphérique E (stable de Pasquill) / Vitesse du vent 3 m/s ;
- Stabilité atmosphérique F (très stable de Pasquill) / Vitesse du vent 3 m/s ;
- Température ambiante : 293 K (20°C) pour les stabilités A à E et 288 K (15°C) pour la stabilité F ;
- Humidité relative : 70%.



Les conditions atmosphériques retenues sont conformes à la fiche n°2 de 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 dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

2.5.2.2 Conditions orographiques

Les conditions orographiques traduisent les caractéristiques du terrain, c'est-à-dire essentiellement l'état de « rugosité » du sol, influant sur la turbulence atmosphérique et donc sur la dispersion. La rugosité peut être interprétée comme un coefficient de frottement du nuage sur le sol et produit 2 types d'effets antagonistes :

- elle augmente la turbulence, ce qui favorise la dilution ;
- elle freine le nuage, ce qui favorise l'effet d'accumulation et la concentration.

La rugosité a une influence non négligeable sur la dispersion des nuages de gaz lourds, ayant un comportement « rampant » au sol, du fait de leur densité plus élevée que celle de l'air. Dans le cas de la dispersion des fumées d'incendie, ce paramètre est peu influent car le panache de fumées a une densité proche de celle de l'air (il est composé en majorité de l'air entraîné) et est émis en hauteur (à la hauteur des flammes).

Les calculs de dispersion sont réalisés avec le logiciel PHAST avec un paramètre de rugosité du sol de 0,17 représentatif de sites industriels sans obstacle important.

2.5.3 Résultats des modélisations

Les zones d'extensions maximales pour les valeurs de concentrations seuils définies au paragraphe §2.4.3 et pour les conditions atmosphériques définies au paragraphe §2.5.2.1 sont présentées ci-après.

Remarque : Les distances ont été arrondies à la demi-dizaine supérieure.

* Vent 3 m.s⁻¹ stabilité A	au centre du nuage	au sol
– SEI équivalent 60 min	: 125 m	non atteints
– SPEL équivalent 60 min	: 110 m	non atteints
– SELS équivalent 60 min	: 90 m	non atteints
* Vent 3 m.s⁻¹ stabilité B	au centre du nuage	au sol
– SEI équivalent 60 min	: 180 m	non atteints
– SPEL équivalent 60 min	: 155 m	non atteints
– SELS équivalent 60 min	: 130 m	non atteints
* Vent 5 m.s⁻¹ stabilité B	au centre du nuage	au sol
– SEI équivalent 60 min	: 145 m	non atteints
– SPEL équivalent 60 min	: 125 m	non atteints
– SELS équivalent 60 min	: 105 m	non atteints
* Vent 5 m.s⁻¹ stabilité C	au centre du nuage	au sol
– SEI équivalent 60 min	: 210 m	non atteints
– SPEL équivalent 60 min	: 185 m	non atteints
– SELS équivalent 60 min	: 155 m	non atteints
* Vent 10 m.s⁻¹ stabilité C	au centre du nuage	au sol
– SEI équivalent 60 min	: 155 m	non atteints
– SPEL équivalent 60 min	: 140 m	non atteints
– SELS équivalent 60 min	: 115 m	non atteints
* Vent 5 m.s⁻¹ stabilité D	au centre du nuage	au sol
– SEI équivalent 60 min	: 295 m	non atteints
– SPEL équivalent 60 min	: 255 m	non atteints
– SELS équivalent 60 min	: 215 m	non atteints
* Vent 10 m.s⁻¹ stabilité D	au centre du nuage	au sol
– SEI équivalent 60 min	: 220 m	non atteints
– SPEL équivalent 60 min	: 195 m	non atteints
– SELS équivalent 60 min	: 165 m	non atteints



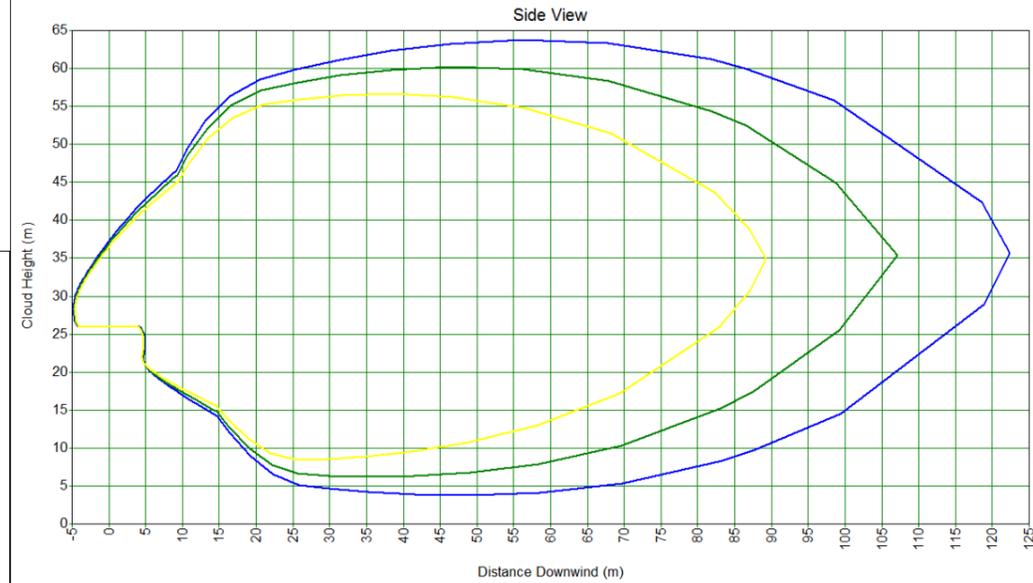
* Vent 3 m.s⁻¹ stabilité E	au centre du nuage	au sol
– SEI équivalent 60 min	: 465 m	non atteints
– SPEL équivalent 60 min	: 395 m	non atteints
– SELS équivalent 60 min	: 320 m	non atteints
* Vent 3 m.s⁻¹ stabilité F	au centre du nuage	au sol
– SEI équivalent 60 min	: 655 m	non atteints
– SPEL équivalent 60 min	: 545 m	non atteints
– SELS équivalent 60 min	: 430 m	non atteints

Les vues de profil des rejets des fumées sont fournies ci-après.

Conditions 3A

Study Folder:
SAFRAN_Dispersion de
fumées incendie
Audit No: 1288826
Model: Emission de fumées
incendie (1h)
Weather: Category 3/A
Material: Fumées INCENDIE
(1h)
Averaging Time: Toxic(3600
s)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 31,65 s

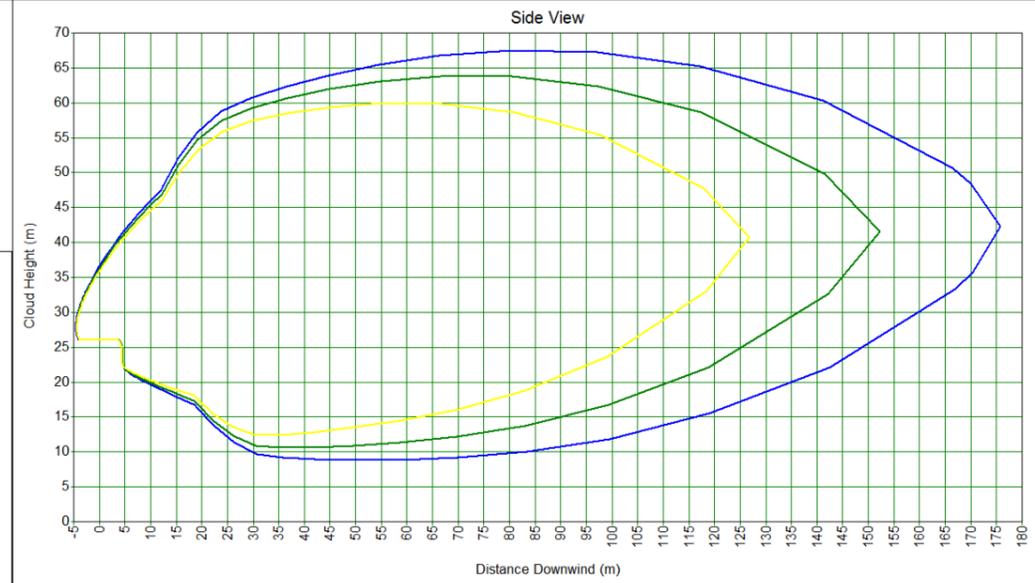
— 332 ppm
— 429 ppm
— 587 ppm



Conditions 3B

Study Folder:
SAFRAN_Dispersion de
fumées incendie
Audit No: 1288826
Model: Emission de fumées
incendie (1h)
Weather: Category 3/B
Material: Fumées INCENDIE
(1h)
Averaging Time: Toxic(3600
s)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 44,89 s

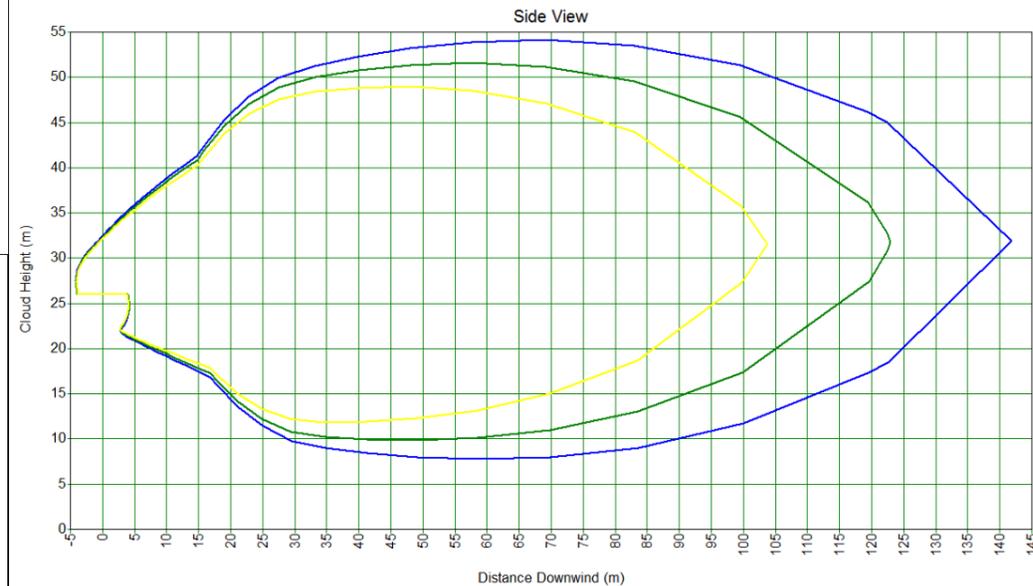
— 332 ppm
— 429 ppm
— 587 ppm



Conditions 5B

Study Folder:
SAFRAN_Dispersion de
fumées incendie
Audit No: 1288826
Model: Emission de fumées
incendie (1h)
Weather: Category 5/B
Material: Fumées INCENDIE
(1h)
Averaging Time: Toxic(3600
s)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 22,75 s

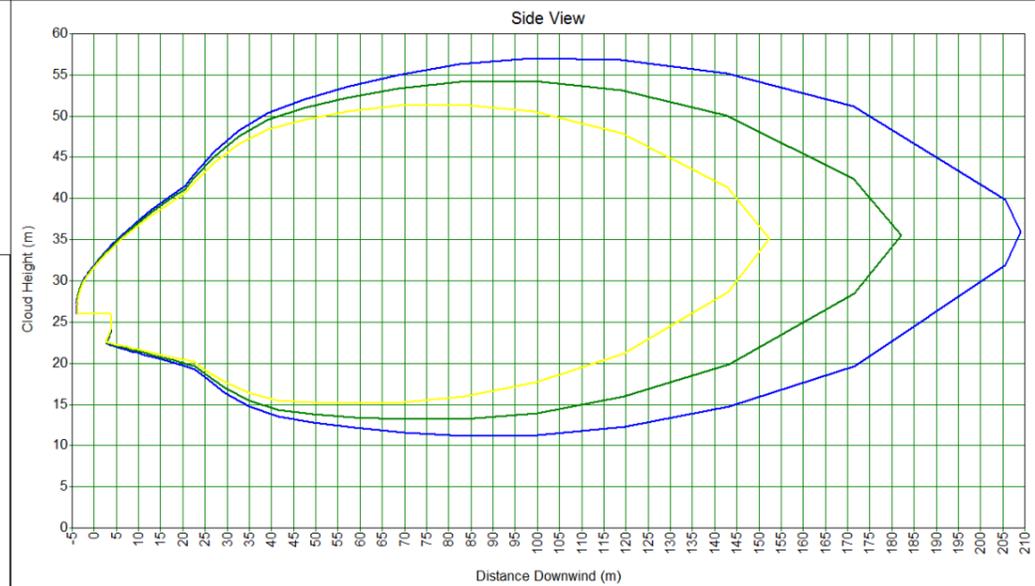
— 332 ppm
— 429 ppm
— 587 ppm



Conditions 5C

Study Folder:
SAFRAN_Dispersion de
fumées incendie
Audit No: 1288826
Model: Emission de fumées
incendie (1h)
Weather: Category 5/C
Material: Fumées INCENDIE
(1h)
Averaging Time: Toxic(3600
s)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 32,25 s

— 332 ppm
— 429 ppm
— 587 ppm



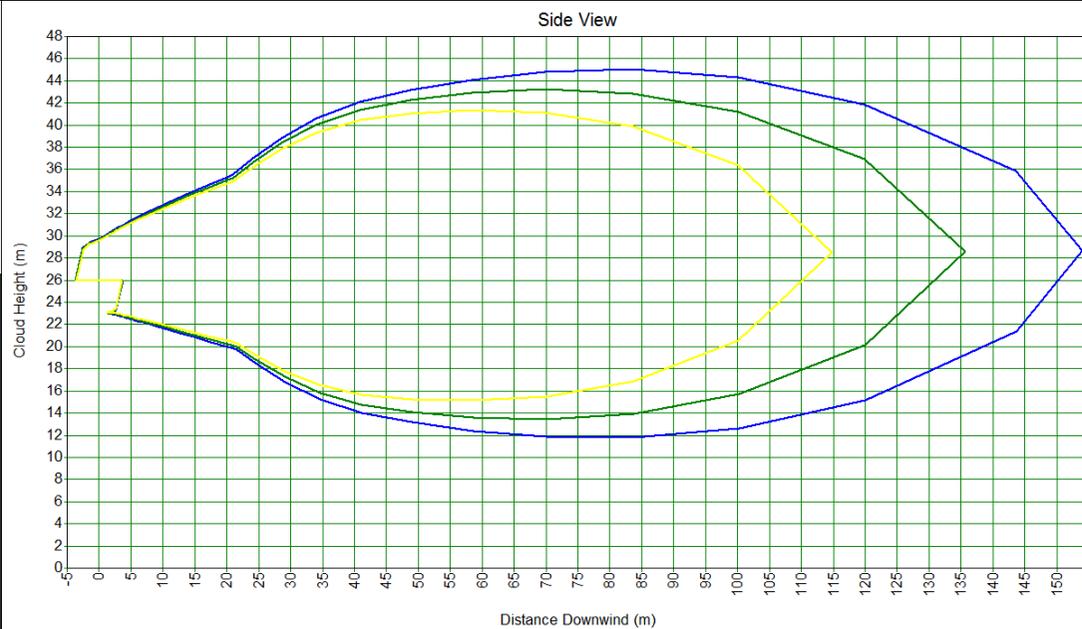


BUREAU
VERITAS

Conditions 10C

Study Folder:
SAFRAN_Dispersion de
fumées incendie
Audit No: 1288826
Model: Emission de fumées
incendie (1h)
Weather: Category 10/C
Material: Fumées INCENDIE
(1h)
Averaging Time: Toxic(3600
s)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 12,46 s

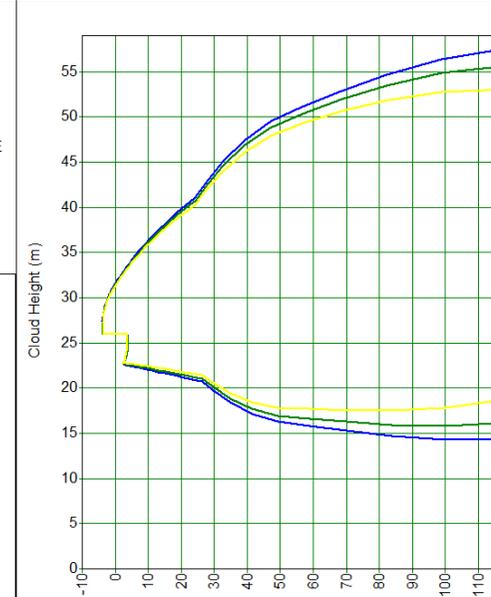
— 332 ppm
— 429 ppm
— 587 ppm



Condition

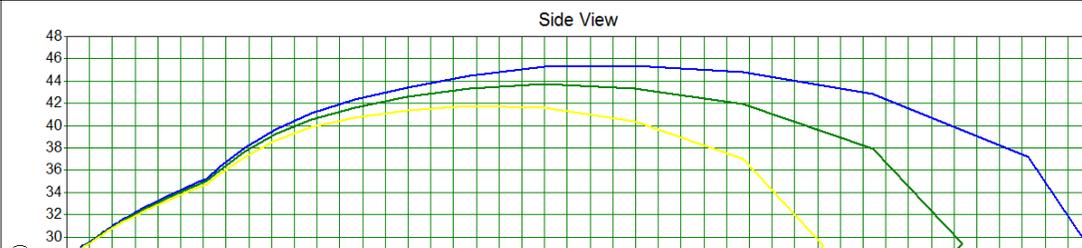
Study Folder:
SAFRAN_Dispersion de
fumées incendie
Audit No: 1288826
Model: Emission de fumées
incendie (1h)
Weather: Category 5/D
Material: Fumées INCENDIE
(1h)
Averaging Time: Toxic(3600
s)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 41,59 s

— 332 ppm
— 429 ppm
— 587 ppm



Conditions 10D

Study Folder:
SAFRAN_Dispersion de
fumées incendie
Audit No: 1288826
Model: Emission de fumées
incendie (1h)
Weather: Category 10/D
Material: Fumées INCENDIE
(1h)
Averaging Time: Toxic(3600
s)
C/L Offset: 0 m
Concentration



Condition

Study Folder:
SAFRAN_Dispersion de
fumées incendie
Audit No: 1288826
Model: Emission de fumées
incendie (1h)
Weather: Category 3/E
Material: Fumées INCENDIE
(1h)
Averaging Time: Toxic(3600
s)
C/L Offset: 0 m
Concentration



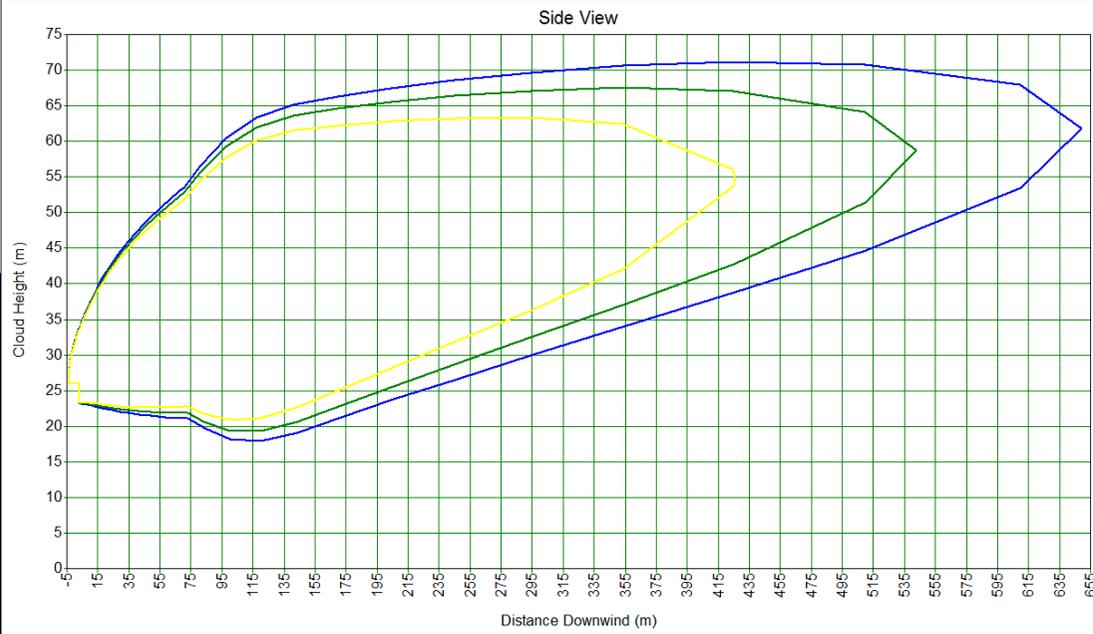


BUREAU
VERITAS

Conditions 3F

Study Folder:
SAFRAN_Dispersion de
fumées incendie
Audit No: 1288826
Model: Emission de fumées
incendie (1h)
Weather: Category 3/F
Material: Fumées INCENDIE
(1h)
Averaging Time: Toxic(3600
s)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 87,34 s

— 332 ppm
— 429 ppm
— 587 ppm





3 Conclusions

Compte tenu des hypothèses de calcul prises en compte et des résultats de la modélisation exposés précédemment, il en ressort les conclusions suivantes :

Seuil des effets irréversibles pour une durée d'exposition de 60 min

⇒ Le seuil des effets irréversibles n'est pas atteint au niveau du sol.

Seuil des premiers effets létaux pour une durée d'exposition de 60 min

⇒ Le seuil des premiers effets létaux n'est pas atteint au niveau du sol.

Seuil des effets létaux significatifs pour une durée d'exposition de 60 min

⇒ Le seuil des effets létaux significatifs n'est pas atteint au niveau du sol.