



PRD GERMAINVILLE

MODELISATION DES EFFETS LIES A LA DISPERSION DES FUMÉES EN CAS D'INCENDIE

SOMMAIRE

1.	<u>DOCUMENTS DE REFERENCE</u>	3
1.1.	GUIDES TECHNIQUES ET REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	3
1.2.	TEXTES REGLEMENTAIRES	3
2.	<u>DEMARCHE ET MODELES DE CALCUL DES EFFETS TOXIQUES DES FUMEEES D'UN INCENDIE</u>	4
2.1.	METHODOLOGIE GENERALE.....	4
2.2.	DETERMINATION DE LA TOXICITE DES FUMEEES	5
2.3.	MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES FUMEEES	6
2.3.1.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	6
2.3.2.	CONDITIONS OROGRAPHIQUES	7
2.3.3.	« AVERAGING TIME » ET « CORE AVERAGING TIME » OU DUREE DE MOYENNAGE DU NUAGE	7
2.4.	DETERMINATION DES DISTANCES D'EFFETS TOXIQUES	8
2.5.	EVALUATION DE L'IMPACT DES FUMEEES SUR LA VISIBILITE.....	8
3.	<u>PHENOMENE DANGEREUX MODELISE – PRODUITS IMPLIQUES</u>	9
4.	<u>MODELISATION</u>	11
4.1.	DONNEES – HYPOTHESES DE CALCUL	11
4.2.	GAZ TOXIQUES DE COMBUSTION PRODUITS	11
4.3.	COMPOSITION DES FUMEEES.....	12
4.4.	TOXICITE DES FUMEEES	12
4.5.	ETUDE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE	13
4.5.1.	PHASES TRANSITOIRES DE L'INCENDIE.....	14
4.5.2.	INCENDIE PLEINEMENT DEVELOPPE.....	15
4.6.	RESULTATS – CONCLUSIONS.....	16
4.6.1.	DISTANCES D'EFFETS TOXIQUES	16
4.6.2.	IMPACT DES FUMEEES SUR LA VISIBILITE	17

1. DOCUMENTS DE REFERENCE

1.1. GUIDES TECHNIQUES ET REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Cette étude s'appuie sur les guides techniques et rapports d'expertises suivants :

- [R1] G. HESKESTAD – « Engineering Relations for Fire Plumes » – Factory Mutual Research Corporation – Fire safety Journal, 7, 1984, pp 25-32.
- [R2] INERIS-203887-1079442-v3.0 du 11/07/2022 « Recensement des substances toxiques (ayant un impact potentiel à court, moyen et long terme) susceptibles d'être émises par un incendie - Ω 16 ».
- [R3] SFPE – Handbook of fire protection engineering – 3rd edition.
- [R4] G. A. BRIGGS – « Plume Rise », U.S. Atomic Energy Commission, Office of information Services – 1969.
- [R5] INERIS – Rapport d'étude 04/11/2005 N° 71165/P01b – « Estimation de l'exposition aux fumées de l'incendie du 27/06/2005 sur le site de SBM Formulation à Béziers.
- [R6] C. STEINERT – *Smokes and heat production in tunnel fires* – Proceedings of the international Conference on Fires in tunnels – Borås – Suède – 10-11 octobre 1994.

1.2. TEXTES REGLEMENTAIRES

Les textes réglementaires en vigueur, considérés dans le cadre de la présente étude, sont :

- [R7] Arrêté du 29 septembre 2005 – dit arrêté « PCIG » – 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 soumises à autorisation.
- [R8] 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 ».

2. DEMARCHE ET MODELES DE CALCUL DES EFFETS TOXIQUES DES FUMÉES D'UN INCENDIE

2.1. METHODOLOGIE GENERALE

Le développement d'un feu dans un local comprend, en simplifiant, trois phases :

1. une phase ascendante d'extension/propagation ;
2. une phase d'incendie généralisé, stabilisé, à plein régime ;
3. une phase décroissante d'extinction.

Dans la phase de propagation, le feu est gouverné par les conditions d'amenée d'air. C'est un feu avec peu de flammes, produisant des quantités importantes de fumées qui s'élèvent à faible vitesse et faible température initiales. Ces fumées sont fortement chargées en produits de combustion toxiques dus aux imbrûlés.

Dans la phase d'incendie « à plein régime », le feu est largement ventilé (du fait de la ruine de la toiture). Les fumées sont importantes mais elles sont moins chargées en gaz toxiques du fait d'une bonne oxygénation. L'élévation du panache est généralement notable en raison des effets thermoconvectifs des gaz chauds.

Dans la phase décroissante d'extinction, les fumées produites sont émises en quantités de moins en moins importantes et à faible température du fait de la plus faible puissance thermique de l'incendie (arrosage massif, ...). Elles peuvent cependant contenir des particules (imbrûlés, suies) et des gaz toxiques en teneurs encore élevées.

Afin de rendre compte de cette évolution, et conformément au guide [R2], deux configurations sont étudiées pour la dispersion des fumées en cas d'incendie dans un local :

- les phases transitoires de l'incendie (puissance maximale divisée par 2) ;
- l'incendie pleinement développé (puissance maximale)

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

- la caractérisation du terme source (cf. § 4) :
 - surface du foyer de l'incendie (cf. § 4.1) ;
 - inventaire des produits impliqués dans l'incendie et quantification de la production des fumées toxiques en fonction de la nature et du tonnage des produits présents au moment de l'incendie. Les fumées toxiques produites sont quantifiées sur la base d'hypothèses issues du REX (INERIS [R2]) (cf. § 4.2 et 4.3) ;
 - détermination des caractéristiques thermocinétiques du feu : débit, hauteur et température des fumées émises. Ces caractéristiques thermocinétiques sont évaluées sur la base des corrélations issues des travaux de Heskestad (1984) [R2] (cf. § 4.1) ;
 - détermination de la toxicité des fumées : à partir de la composition de fumées et des seuils de toxicité aiguë des gaz de combustion composant les fumées, sont déterminés des seuils de toxicité équivalents des fumées (cf. § 4.4) ;
- la modélisation de la dispersion atmosphérique des fumées, en tenant compte des conditions météorologiques et orographiques, et détermination des concentrations des fumées au sol et en hauteur (cf. § 4.5) ;
- la détermination des distances d'effets toxiques c'est-à-dire des distances atteintes par les fumées en concentrations correspondant aux seuils de toxicité équivalents des fumées (cf. § 4.6.1) ;

- l'évaluation de l'impact des fumées sur la visibilité (§ 4.6.2).

Les modèles employés sont développés dans les paragraphes qui suivent.

2.2. DETERMINATION DE LA TOXICITE DES FUMÉES

Le mode d'exposition aux fumées est aigu, par opposition aux expositions chroniques ou subchroniques pour lesquelles sont définis d'autres seuils de référence. Le mode d'exposition aux fumées est l'inhalation.

Les seuils d'effets toxiques en situation accidentelle sont définis par l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 ([R7]) 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.

Trois seuils sont définis, correspondant à trois types d'effets :

- le seuil des effets létaux significatif (SELS) : il correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle on peut observer une mortalité de 5% au sein de la population exposée ;
- le seuil des premiers effets létaux (SPEL) : il correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle on peut observer une mortalité de 1% au sein de la population exposée ;
- le seuil des effets irréversibles (SEI) : il correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle des effets irréversibles peuvent apparaître au sein de la population exposée.

Au sein de la population exposée, les sujets hypersensibles ne sont pas considérés (par exemple, les insuffisants respiratoires).

Les effets létaux correspondent à la survenue de décès. Les effets irréversibles correspondent à la persistance dans le temps d'une atteinte lésionnelle ou fonctionnelle, directement consécutive à l'exposition. Les effets réversibles correspondent à un retour à l'état de santé antérieur à l'exposition.

Pour de nombreuses substances, des seuils de toxicité aiguë ont été définis par l'INERIS. A défaut, et selon les recommandations en vigueur (cf. circulaire du 10 mai 2010 [R8], il est possible d'utiliser les seuils américains tels que, par ordre de priorité, les seuils AEGLs (Acute Exposure Guideline Levels) définis par l'US EPA, les seuils ERPG (Emergency Response Planning Guidelines) définis par l'AIHA, les seuils IDLH (Immediately Dangerous to Life ou Health concentrations), les seuils TEEL (Temporary Exposure Emergency Limits) définis par le ministère des transports aux Etats-Unis.

Pour les fumées constituées d'un mélange de gaz ou vapeur toxiques dilués dans l'air entraîné, on définit des seuils de toxicité équivalents :

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

avec :

p_i : proportion de la substance i dans les fumées
(% massique ou % volumique)

$\text{SELS}_i ; \text{SPEL}_i, \text{SEI}_i$: seuil d'effets de la substance i (mg/m^3 ou ppm)

Cette démarche permet de rendre compte du mélange gazeux que sont les fumées, composées de gaz toxiques (CO , HCN , NO_2 , ...) dilués par une grande quantité d'air. En effet, elle permet, de

manière simplifiée, d'une part de prendre en compte la toxicité spécifique à chaque gaz, d'autre part de « sommer » leurs toxicités respectives. Mais, une telle approche, retenue faute de mieux, ne permet pas de prendre en compte les effets de synergies ou d'antagonismes éventuels, induits par la présence simultanée des différents gaz.

2.3. MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES FUMÉES

La dispersion atmosphérique est modélisée au moyen du logiciel PHAST version 8.4.

Le paramétrage de PHAST est 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.

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

- les conditions météorologiques ;
- les conditions orographiques (coefficient de rugosité du terrain uniforme) ;
- un facteur correctif de dispersion du nuage (averaging time).

2.3.1. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Les conditions météorologiques régissent la cinétique de la phase gaz après la phase de rejet.

Elles sont définies par une classe de stabilité (classe de Pasquill), la vitesse de vent à 10 mètres de hauteur et la température ambiante.

Les conditions météorologiques retenues sont celles recommandées dans la circulaire du 10/05/2010 [R8] pour les rejets en hauteur. Elles sont présentées dans le tableau en page suivante.

Stabilité (selon Pasquill)		Vitesse de vent	Température ambiante
A	Très instable	3 m/s	20°C
B	Instable	3 m/s	
		5 m/s	
C	Moyennement instable	5 m/s	
		10 m/s	
D	Neutre	5 m/s	
		10 m/s	
E	Moyennement stable	3 m/s	
F	Stable	3 m/s	15°C

Les atmosphères stables (F) et, à l'inverse, très instables (A) sont défavorables à la dispersion atmosphérique.

Une atmosphère neutre (D) est plutôt favorable à la dispersion mais cet effet peut être contrecarré par un vent fort (10 m/s) qui rabat le panache de fumées vers le sol.

Quelles que soient les conditions atmosphériques, l'humidité relative de l'air est considérée égale à 70%.

A chaque classe de stabilité est associée une hauteur de couche d'inversion de température qui joue le rôle de « couvercle thermique » puisque cette couche est quasiment infranchissable par un nuage de polluants.

Ce phénomène se produit généralement la nuit pendant laquelle le sol se refroidit plus vite que l'atmosphère (température à quelques centaines de mètres d'altitude supérieure à celle mesurée au niveau du sol). Le phénomène est accentué en cas de vent faible.

Une hauteur de la couche d'inversion est considérée par défaut, dans le logiciel PHAST, en fonction de la classe de stabilité atmosphérique. Elle est la plus faible pour les conditions F, égale à 100 m.

Toutefois, dans le cas d'un incendie de grande ampleur, compte tenu de l'énergie thermo-cinétique initiale des fumées, la couche d'inversion serait « transpercée » et le panache de fumées s'élèverait dans le champ proche de l'incendie (typiquement les 100 premiers mètres). Ceci a été confirmé par le REX (Buncefield, SBM Béziers [R5]).

Dans ce cas (incendie de grande ampleur), la hauteur à partir de laquelle une couche d'inversion serait en mesure de stopper l'élévation du panache malgré son énergie thermo-cinétique restante, doit être ajustée. Pour ce faire, on retient les corrélations proposées par Briggs [R4] qui permettent de calculer l'altitude de culmination Δh d'un panache se dispersant dans une atmosphère très stable. Or une couche d'inversion de température est justement une zone de forte stabilité atmosphérique. Finalement, l'altitude Δh a été retenue comme correspondant à une bonne estimation de l'altitude de la couche d'inversion [R5].

2.3.2. 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 deux 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).

Pour rendre compte de l'état du sol aux alentours du site, nous avons considéré, dans le logiciel PHAST, une rugosité de surface de 1 m (valeur classiquement retenue dans les études de dangers, représentative d'une zone industrielle ou urbanisée).

A noter : le terrain est considéré plat. Le paramètre de rugosité ne permet pas de prendre en compte les reliefs marqués.

2.3.3. « AVERAGING TIME » ET « CORE AVERAGING TIME » OU DUREE DE MOYENNAGE DU NUAGE

Dans le logiciel PHAST, il existe deux paramètres distincts pour le temps de moyennage du nuage : l'averaging time et le core averaging time. Ces deux paramètres n'interviennent que dans la phase de dispersion passive.

L'averaging time correspond à une correction numérique des concentrations moyennes calculées sur l'axe du nuage en fonction de la durée effective d'observation du nuage (= durée d'exposition pour les toxiques), afin de tenir compte en particulier des fluctuations réelles de direction du vent autour de sa direction moyenne pendant la durée d'observation. Il est à noter que cette correction n'intervient que dans la phase de dispersion passive (emploi d'un modèle gaussien).

La valeur du core averaging time est utilisée lors du calcul de la dispersion du nuage, tandis que la valeur de l'averaging time est utilisée uniquement lors de la phase de post-traitement, pour certains résultats.

Le choix de l'averaging time (ou durée de moyennage du nuage) dans les logiciels faisant appel à des modèles de type gaussien peut impacter significativement les distances d'effet.

L'averaging time et le core averaging time sont fixés à la même valeur, égale à la durée d'exposition de la cible, laquelle est prise égale à la durée du rejet pour les rejets de longue durée.

2.4. DETERMINATION DES DISTANCES D'EFFETS TOXIQUES

Les distances d'effets toxiques correspondent aux distances maximales au-delà desquelles la concentration en fumées est inférieure au seuil équivalent considéré.

Ces distances sont le résultat de la modélisation de la dispersion atmosphérique.

Elles sont déterminées pour une cible supposée verticale, placée à 1,8 m de hauteur = stature (valeur haute, majorante) d'un homme.

Les effets en hauteur, dans le panache, sont également indiqués à titre informatif. Une hauteur de 30 m maximum est considérée (valeur courante pour la hauteur maximale d'un bâtiment (immeuble de grande hauteur)).

2.5. EVALUATION DE L'IMPACT DES FUMÉES SUR LA VISIBILITÉ

Les imbrûlés, constitués de particules de carbone et d'aérosols de produits non brûlés, sont responsables de la couleur noire du panache (particules de carbones majoritairement) et de l'absorption de la lumière entraînant une diminution de la visibilité.

La réglementation des ICPE ne précise pas de critère pour la perte de visibilité qui n'a pas d'impact direct sur la santé (blessures irréversibles ou létalité). L'impact potentiel est indirect et lié au risque de sur-accident de la circulation en particulier.

De façon forfaitaire, on considèrera qu'il y a un risque pour les tiers, circulant sur les voies de circulation aux alentours du site, lorsque la visibilité devient inférieure à la distance de freinage (DF) ; quelques valeurs de DF :

- | | |
|---|------------|
| • agglomération | DF = 16 m |
| • nationale | DF = 52 m |
| • autoroute pluie (vitesse 110 km/h) | DF = 78 m |
| • autoroute beau temps (vitesse 130 km/h) | DF = 109 m |

Pour évaluer la visibilité, le modèle de STEINERT est utilisé [R6] :

$$V = \frac{k}{DO}$$

avec :

- V : visibilité (m)
- k : coefficient compris entre 1 et 10 selon les auteurs. Dans une approche pénalisante nous prendrons k = 1
- DO : densité optique (m⁻¹) - $DO = 36040 \frac{CO_2}{T_f}$ où :

Tf : température des fumées au point où est calculée DO (K) – Tf au sol = T ambiante

CO₂ : fraction volumique de CO₂ au même point (m³ de CO₂/ m³ de mélange gazeux)

Ce modèle intègre une corrélation entre la concentration en suies et imbrulés et la concentration en CO₂ (dont la valeur est plus facilement disponible (essais ou bibliographie)).

Quelques valeurs des taux de production de CO₂ d'une part et de suies d'autre part sont données dans le tableau ci-dessous (source : SFPE [R3]) :

	Taux de production de CO ₂ (g/g)	Taux de production de suies (g/g)	Ratio suies / CO ₂
Bois	1,27	0,015	0,012
Polyéthylène	2,76	0,06	0,022
Hydrocarbures	2,64	0,059	0,022
Huiles minérales	2,37	0,097	0,041
Caoutchouc (pneus)	0,96	0,078	0,081
Polycarbonate	1,5	0,112	0,075

On constate que, pour les produits listés (qui sont des produits couramment impliqués dans des incendies), le ratio suies / CO₂ varie de 0,012 pour le bois (pourtant réputé émettre beaucoup de suies) à 0,081 pour le caoutchouc.

Par conséquent, pour des produits type hydrocarbures, huiles minérales ou plastiques, le coefficient k de la formule de Steinert peut être pris égal à 1 (valeur la plus pénalisante).

Pour des produits dont la combustion génère moins de suies, k peut être pris égal à 5 (= valeur moyenne de la fourchette de valeurs proposées [1 – 10]).

3. PHENOMENE DANGEREUX MODELISE – PRODUITS IMPLIQUES

Les cellules et les produits concernés de l'entrepôt sont présentés ci-dessous :

Cellule	C2	C9	C9
Stockage	1510	1510	"Livres" : 500 kg de papier et 25 kg de bois palette
Longueur en m	154	154	154
Largeur en m	54	48	48
hauteur au faitage en m	19,6 (à l'acrotère)	18,2	18,2
Surface en m3	8316	7392	7392
Hauteur de stockage en m	16	16	16

Pour la modélisation des fumées toxiques, nous retenons le cas de la cellule C2 qui correspond au cas majorant.

La composition de la palette type 1510 retenue est la suivante ; elle est cohérente avec celle de la palette type 1510 de Flumilog et privilégie les produits susceptibles de générer le plus de gaz toxiques (PVC, PU) :

- Bois : 25%
- papier-carton : 25%
- PE / PP : 30%
- PVC : 10%
- PU : 10%

Extrait de la notice d'utilisation de FLUMILOG v2 du 04/08/2011 :

Pour la rubrique 1510, un échantillon est composé de 25 kg de bois de palette. La masse des produits plastiques ne peut excéder la moitié de la masse des produits contenus sur la palette (le bois de palette étant exclu) et le reste varie aléatoirement entre bois, carton, eau, acier, verre, aluminium.

Par ailleurs, afin de tenir compte des conditions de ventilation du feu, deux scénarios de dispersion de fumées sont retenus et modélisés dans la présente étude :

- scénario 1 : phases transitoires de l'incendie ;
- scénario 2 : incendie pleinement développé.

4. MODELISATION

4.1. DONNEES – HYPOTHESES DE CALCUL

La puissance de l'incendie est issue du calcul FLUMILOG.

Les caractéristiques du terme source (débit des fumées, altitude, température et vitesse de rejet) sont déterminées conformément au guide [R2].

	Incendie pleine puissance	Phases transitoires de l'incendie
Dimensions de la zone considérée	Longueur : 154 m Largeur : 54 m Hauteur : 19,6 m	Longueur : 154 m Largeur : 54 m Hauteur : 19,6 m
Produits mis en jeu	Palette 1510	Palette 1510
Puissance de l'incendie	8336380 kW (Pmax)	4168190 kW (Pmax/2)
Débit des fumées	30044 kg/s	15022 kg/s
Altitude de rejet des fumées	82,8 m	62,7 m
Température des fumées	204°C	204°C
Vitesse de rejet	29 m/s	25,2 m/s
Hauteur et position de la cible	La cible est supposée verticale, placée à 1,8 m de hauteur = stature maximale d'un homme. Les effets en hauteur sont également indiqués jusqu'à 30 m de hauteur maximum (= hauteur d'un immeuble).	
Logiciel de calcul	PHAST 8.4	

4.2. GAZ TOXIQUES DE COMBUSTION PRODUITS

Les effets toxiques des fumées d'incendie sont évalués sur la base des données disponibles dans le rapport [R2].

	Facteurs d'émission (en g/kg)				
	CO ₂	CO	NO ₂	HCN	HCl
Plastiques - PVC seul	460	630	0,6	0,009	320
Plastiques - PE seul	2800	24	1,7	0,017	-
Plastiques - PU seul	1500	30	90	1,8	-
Bois brut	1600	56	2,3	-	32
Papier	1600	58	1,4	0,01	-

4.3. COMPOSITION DES FUMÉES

Compte tenu des taux de production en gaz toxiques et du débit des fumées calculés ci-avant, on en déduit la composition des fumées suivante :

	Incendie pleine puissance	Phases transitoires de l'incendie
CO (% dans les fumées)	0,02%	0,04%
CO ₂ (% dans les fumées)	0,86%	1,72%
HCN (% dans les fumées)	0,00009%	0,00018%
NO ₂ (% dans les fumées)	0,0049%	0,0098%
HCl (% dans les fumées)	0,02%	0,04%

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

4.4. TOXICITE DES FUMÉES

Les seuils de toxicité équivalents des fumées sont évalués à partir de la composition des fumées et des seuils de toxicité aiguë de chacun des composants des fumées dont les valeurs, pour une durée d'exposition de 1 heure (60 minutes) conformément aux pratiques en vigueur (cf. circulaire du 10 mai 2010 [R8] / cas des phénomènes de longue durée, sont donnés ci-dessous :

	Seuils de toxicité aiguë pour une durée d'exposition de 1 heure				
	CO ⁽¹⁾	CO ₂ ⁽²⁾	HCN ⁽³⁾	NO ₂ ⁽⁴⁾	HCl ⁽⁵⁾
SELS mg/m ³ ppm	ND	ND	69	138	565
	ND	ND	63	73	379
SPEL mg/m ³ ppm	3 680	ND	45	132	358
	3 200	ND	41	70	240
SEI mg/m ³ ppm	920	73 333	7,8	75	61
	800	40 000	7,1	40	40

⁽¹⁾ Fiche seuils de toxicité aiguë du monoxyde de carbone – INERIS DRC-09-103128-05616A.

⁽²⁾ Pas de données disponibles ; la valeur retenue est l'IDLH. Le CO₂ n'est pas dimensionnant car beaucoup moins toxique que les autres gaz de combustion ; <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html> - Revised IDLH values (en accord avec le guide de choix de l'INERIS).

Par défaut le SPEL est pris égal au SEI (hypothèse dimensionnante).

⁽³⁾ Fiche seuils de toxicité aiguë de l'acide cyanhydrique – INERIS–DRC-08-94398-12727A.

Le rapport élaboré par l'INERIS en avril 2005 ne présente pas de SEI du fait de l'absence de données toxicologiques pertinentes. Dans ces conditions, en accord avec la circulaire du 10 mai 2010 [15], il est possible d'utiliser les seuils américains, en priorité, les seuils ERPG (Emergency Response Planning Guidelines) définis par l'AIHA (ERPG-2 pour le SEI) puis les seuils AEGLs (Acute Exposure Guideline Levels) définis par l'US EPA (AEGL-2 pour le SEI). Pour HCN, l'ERPG-2 est de 10 ppm et

l'AEGL-2 est de 7,1 ppm. De façon conservatrice, cette valeur est retenue. A noter elle est très faible comparée au SEL de HCN ou au SEI de NO₂ définies au niveau européen. En effet, les seuils américains sont protecteurs ramenés aux définitions et au contexte réglementaire de maîtrise de l'urbanisation, en raison de la prise en compte des sous-populations sensibles.

(4) Fiche seuils de toxicité aiguë du dioxyde d'azote – INERIS – DRC-08-94398-13333A.

(5) Fiche seuils de toxicité aiguë du chlorure d'hydrogène – INERIS – DRC-08-94398-11984A.

Les seuils de toxicité équivalents des fumées ainsi évaluées sont :

	Incendie pleine puissance	Phases transitoires de l'incendie
SELSeq mg/m ³ ppm	918 711 762 560	459 356 381 280
SELeq mg/m ³ ppm	918 711 762 560	459 356 381 280
SEleq mg/m ³ ppm	238 696 198 125	119 348 99 063

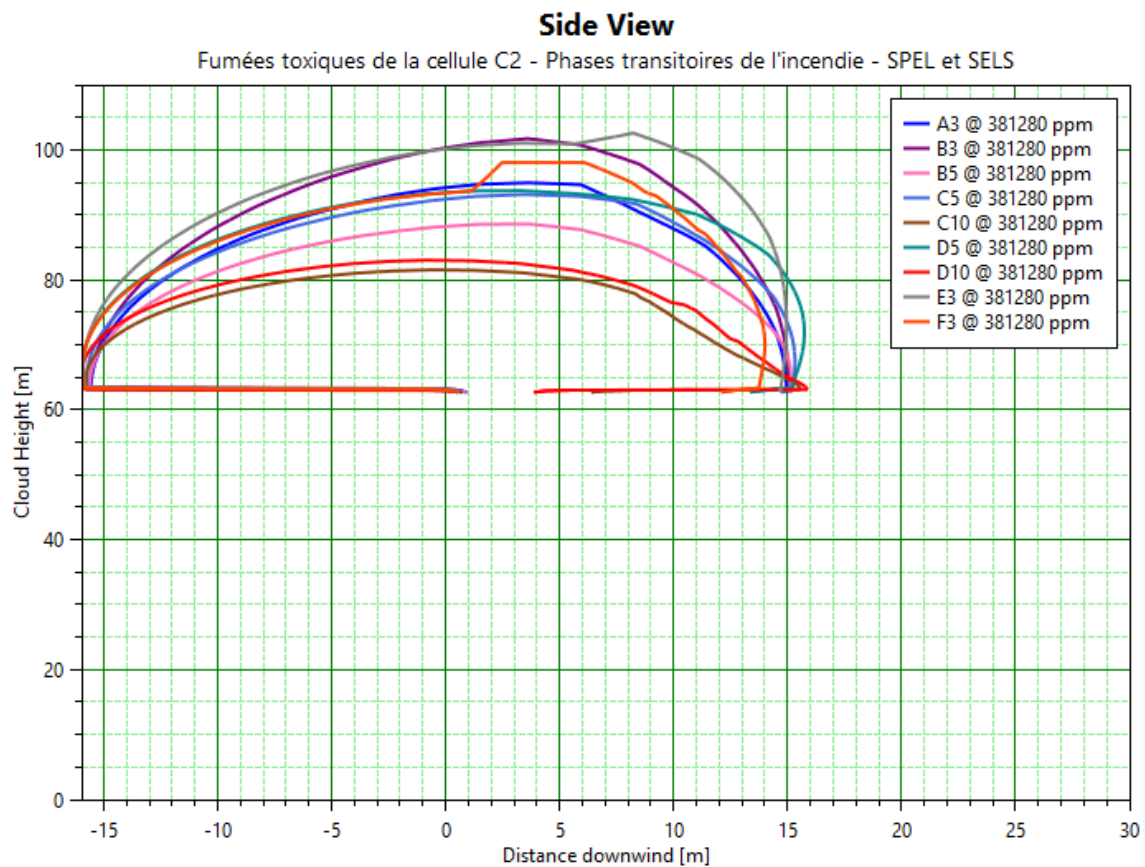
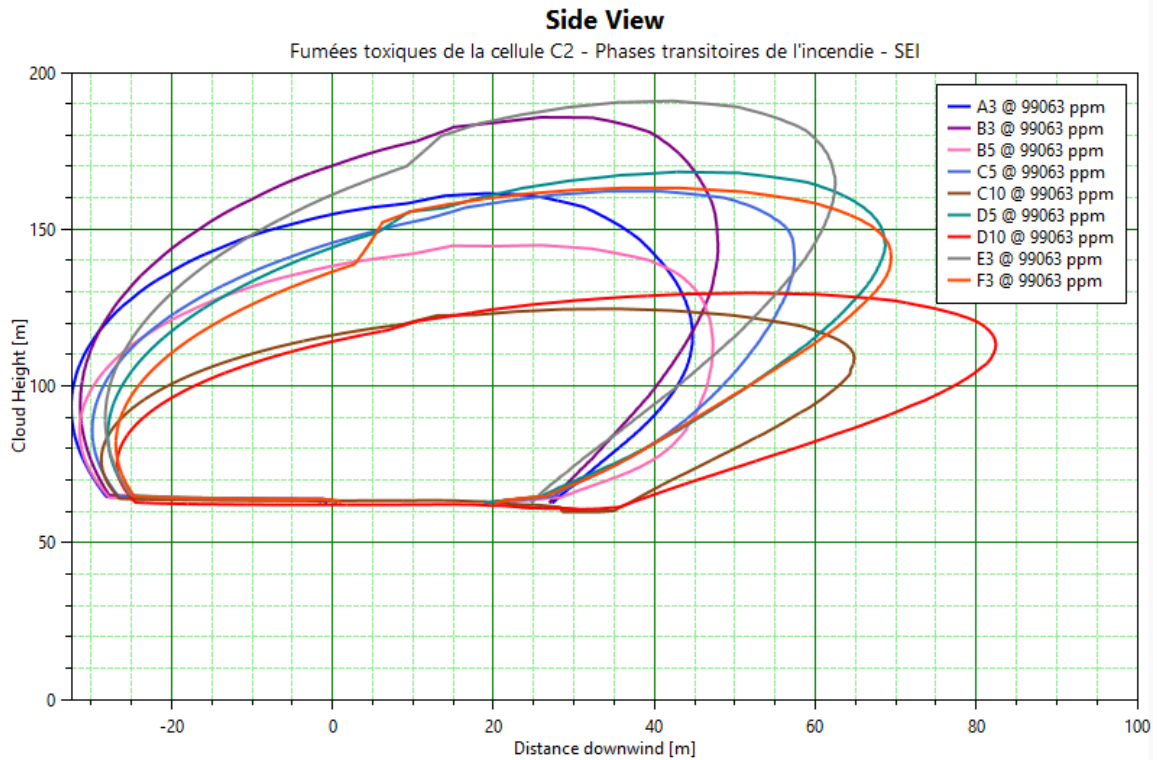
Nota : Le SELSeq n'est pas déterminé car pas de valeurs disponibles pour le CO et le CO₂. Par défaut, il sera pris égal dans cette étude au SPELeq.

4.5. ETUDE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

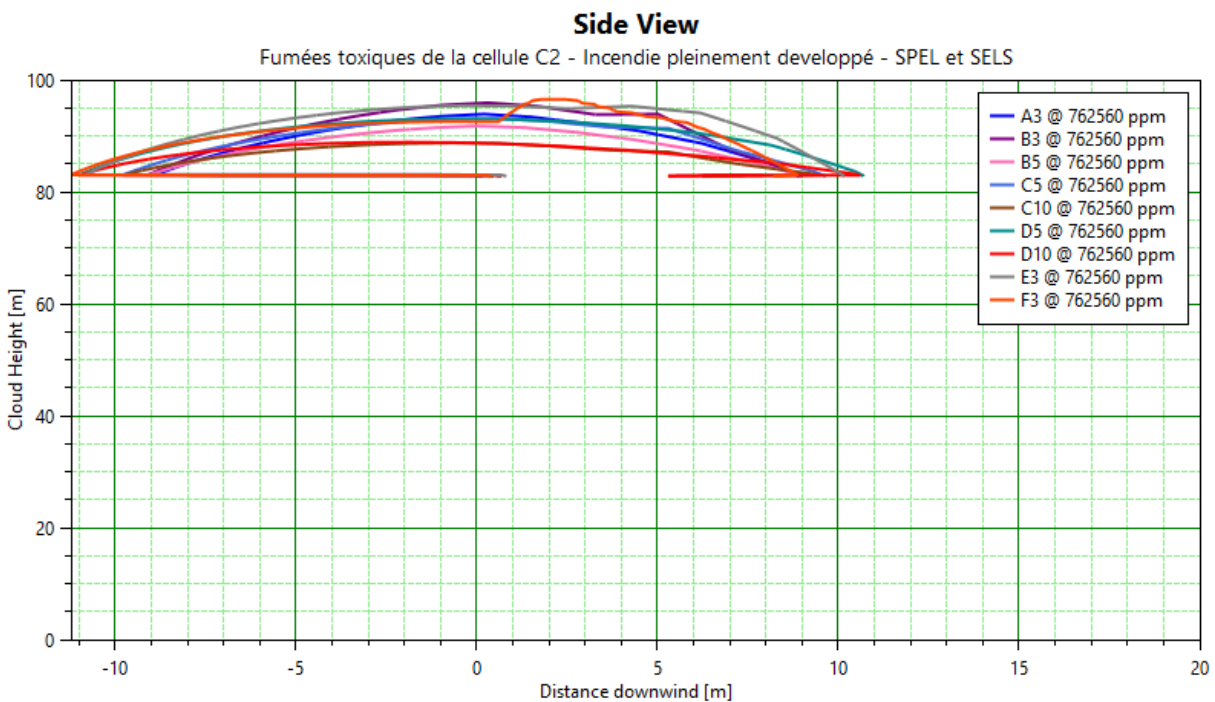
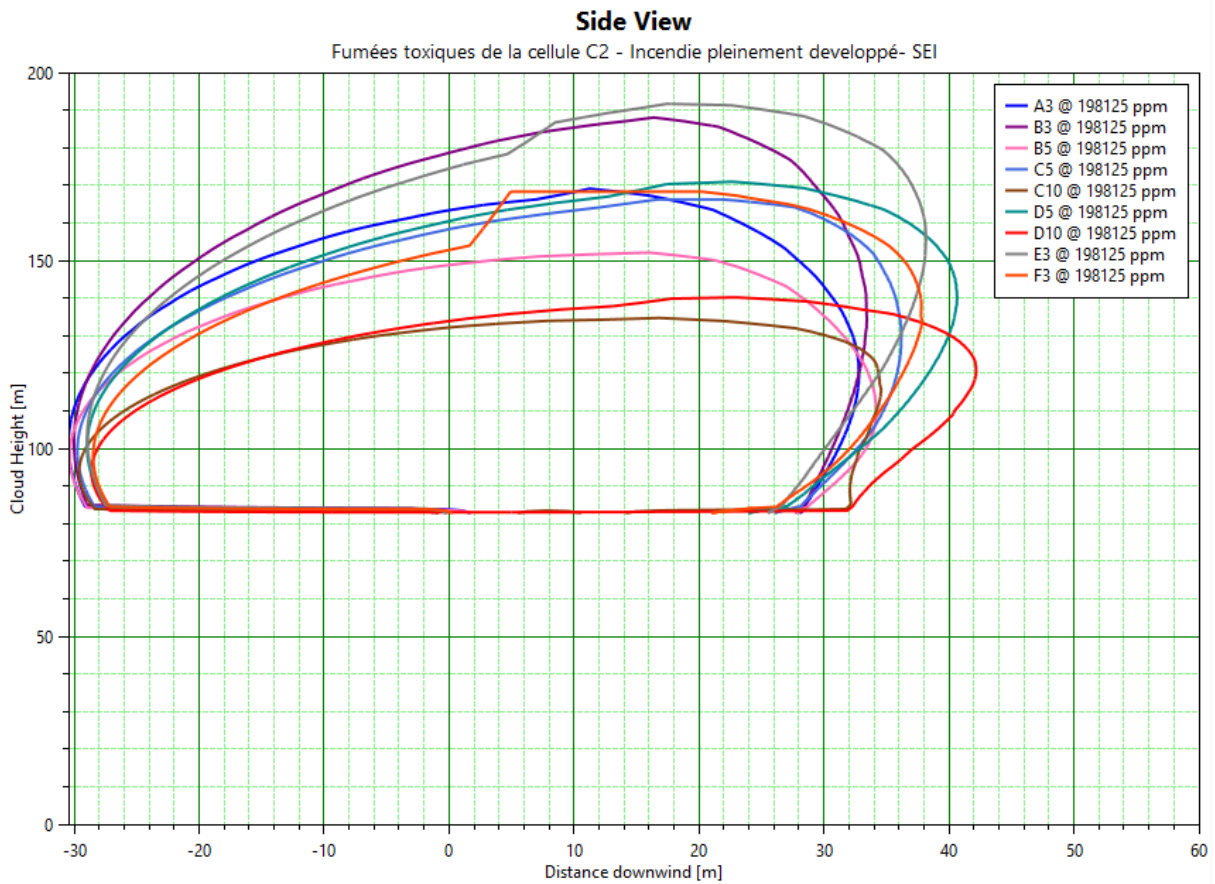
Voir graphes et distances d'effets en pages suivantes.

Nota : Les conditions météorologiques considérées sont celles recommandées par la circulaire du 10/05/2010 [R8] pour les rejets en hauteur.

4.5.1. PHASES TRANSITOIRES DE L'INCENDIE



4.5.2. INCENDIE PLEINEMENT DEVELOPPE



Commentaires sur la forme des graphes PHAST :

- Le « palier » qui s'étend sur quelques mètres à dizaines de mètres à la hauteur du rejet ne représente pas la surface de la zone en feu mais résulte du fait que PHAST calcule une surface d'émission à partir du débit et de la vitesse de rejet qui sont imposées. L'abscisse « zéro » correspond au centre de la zone d'émission. En pratique, on considère qu'elle peut être située en tout point de la zone en feu et que, par conséquent, de façon conservative, l'origine des distances d'effets calculées est à compter des bords de la zone en feu.
- A la limite de la surface d'émission calculée, on peut constater, sur quelques mètres, une retombée du panache en dessous de la hauteur d'émission. Ce phénomène est lié à la fois à une « dilatation » du panache dans l'axe vertical (en particulier dans le cas des vents forts) et à une moins bonne résolution en champ propre.
-

4.6. RESULTATS – CONCLUSIONS

4.6.1. DISTANCES D'EFFETS TOXIQUES

	SPEL (SELS par défaut)	SEI
Distances d'effets à hauteur d'homme (1,8 m)		
Phases transitoires de l'incendie Hauteur d'émission des fumées = 62,7 m	Non atteint	Non atteint
Incendie pleinement développé Hauteur d'émission des fumées = 82,8 m (hauteur de flammes)	Non atteint	Non atteint

Distances comptées à partir des bords de la cellule en feu.

A hauteur d'homme, quel que soit le scénario d'incendie (débutant ou généralisé) et quelles que soient les conditions météorologiques, les seuils des effets létaux et irréversibles équivalents des fumées ne sont pas atteints. Il n'y a donc pas de risque toxique.

	SPEL (SELS par défaut)	SEI
Distances d'effets en altitude		
Phases transitoires de l'incendie Hauteur d'émission des fumées = 62,7 m	Pas d'effet en dessous de la hauteur d'émission	Pas d'effet en dessous de 60 m de hauteur
Incendie pleinement développé Hauteur d'émission des fumées = 82,8 m (hauteur de flammes)	Pas d'effet en dessous de la hauteur d'émission	Pas d'effet en dessous de 80 m de hauteur

Distances comptées à partir des bords de la cellule en feu.

Il n'y a pas d'effet en dessous de 30 m de hauteur.

4.6.2. IMPACT DES FUMÉES SUR LA VISIBILITÉ

L'impact des fumées sur la visibilité est à prendre en compte, en particulier au niveau des voies de circulation où la perte de visibilité pourrait augmenter le risque d'accident de véhicules.

Rappelons toutefois que la réglementation des ICPE ne précise pas de critère pour la perte de visibilité qui n'a pas d'impact direct sur la santé (blessures irréversibles ou létalité). L'impact potentiel est indirect et lié au risque de sur-accident de la circulation en particulier.

La voie de circulation la plus proche du site est la N12, distante d'une centaine de mètres de l'entrepôt. La distance de freinage maximale d'un véhicule circulant sur cette voie est de l'ordre de 50 m (voir § 2.5). Ainsi, les fumées seront jugées impactantes si la visibilité dans le panache au niveau de cette voie est réduite à moins de 50 m.

Par défaut, ce même critère de 50 m est retenu vis-à-vis du risque de perte de visibilité au niveau de la voie SCNF qui passe au Nord du site, à environ 35 m de l'entrepôt.

L'évaluation de la visibilité est faite pour une cible à hauteur d'homme, dans la configuration la plus pénalisante qui correspond à l'incendie débutant (pour toutes les conditions météorologiques).

Au niveau du sol, la visibilité minimale est atteinte à 320 m du foyer et correspond à 355 m.

A hauteur d'homme, les fumées n'auraient donc pas d'impact significatif sur la visibilité.

Soulignons que les distances d'effets obtenues (toxiques et sur la visibilité) sont à considérer comme des ordres de grandeur car elles reposent sur un ensemble d'hypothèses et ont été déterminées à l'aide de modèles semi-empiriques ou théoriques.