BEG Ingénierie – Orléans (45)

Modélisation des fumées d'incendie d'un entrepôt de stockage

Ressons-sur-Matz (60)

Novembre 2019
Rapport n° 99512/B

BEG Ingénierie
31 rue Henri Poincarré
45062 ORLEANS Cedex 2

A l'attention de Sergio ONSES

Antea Group
Région SUD
Pôle Environnement Dossiers réglementaires, Audit et Conseil

ENVIRONNEMENT

Parc Napollon – 400, avenue du Passe-Temps
Bât. C – 13676 AUBAGNE Cedex
Tél. : 04 42 08 70 70
Fax. : 04 42 08 70 71

Sommaire

Pages

1. INTRODUCTION 5

2. METHODES ET MOYENS DE CALCUL UTILISES POUR LA MODELISATION DES PHENOMENES DANGEREUX 6

2.1 EVALUATION DES EFFETS TOXIQUES DES FUMEES D'INCENDIE 6
2.1.1 Méthodes et moyens de calcul mis en application 6
2.1.2 Caractérisation des débits de polluants 7
2.1.3 Calcul de la puissance thermique totale $\dot{Q}_t$ 8
2.1.4 Calcul de la hauteur d'émission des fumées et de l'air entraîné 8
2.1.5 Modélisation de la dispersion atmosphérique des polluants 8
2.1.6 Seuils d'effets retenus pour la modélisation des phénomènes dangereux 10
2.2 EVALUATION DE LA PERTE DE VISIBILITE ASSOCIEE A L'INCENDIE 13
2.2.1 Concentration volumique des suies 13
2.2.2 Critères de référence 14
2.2.3 Evaluation de la perte de visibilité 14

3. MODELISATION DU PHENOMENE DANGEREUX N°1 15

3.1 EVALUATION DES EFFETS TOXIQUES LIES AUX FUMEES 15
3.1.1 Estimation de la vitesse de combustion 15
3.1.2 Caractéristiques du terme source 17
3.1.3 Durée d'exposition 17
3.1.4 Evaluation de l'intensité des effets du phénomène dangereux n°1 - Conclusion 18
3.2 EVALUATION DE LA PERTE DE VISIBILITE ASSOCIEE A L'INCENDIE 20
3.2.1 Données d'entrée 20
3.2.2 Résultats 20

4. MODELISATION DU PHENOMENE DANGEREUX N°2 23

4.1 EVALUATION DES EFFETS TOXIQUES LIES AUX FUMEES 23
4.1.1 Estimation de la vitesse de combustion 23
4.1.2 Caractéristiques du terme source 25
4.1.3 Durée d'exposition 25
4.1.4 Evaluation de l'intensité des effets du phénomène dangereux n°1 - Conclusion 26
4.2 EVALUATION DE LA PERTE DE VISIBILITE ASSOCIEE A L'INCENDIE 28
4.2.1 Données d'entrée 28
4.2.2 Résultats 28

5. BILAN 31

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Conditions météorologiques retenues pour la modélisation 9
Tableau 2 : Valeurs de référence relatives aux seuils de toxicité aiguë 10
Tableau 3 : Valeurs seuils de toxicité aiguë à retenir en l'absence de connaissance en toxicologie 11
Tableau 4 : Seuils d'effets irréversibles (SEI) pour des expositions de 60 minutes 12
Tableau 5 : Seuils des premiers effets létaux (SPEL) pour des expositions de 60 minutes..... 12
Tableau 6 : Seuils d'effets létaux significatifs (SELS) pour des expositions de 60 minutes..... 12
Tableau 7 : PhD1 – Proportions de matériaux dans les palettes de type 2663 15
Tableau 8 : Quantités de matières combustibles présentes dans la cellule du bâtiment A 15
Tableau 9 : Caractéristiques de combustion des produits présents 16
Tableau 10 : Caractéristiques moyennes de combustion des matières combustibles présentes .. 16
Tableau 11 : Débits massiques de polluants – PhD1 17
Tableau 12 : PhD1 – Distances d'effets (au sol et en hauteur) 19
Tableau 13 : PhD1 – Distance de visibilité en fonction de la concentration des fumées 20
Tableau 14 : PhD1 – Perte de visibilité (au sol et en hauteur) 22
Tableau 15 : PhD2 – Proportions de matériaux dans les palettes de type 2663 23
Tableau 16 : Quantités de matières combustibles présentes dans la cellule du bâtiment B 23
Tableau 17 : Caractéristiques de combustion des produits présents 24
Tableau 18 : Caractéristiques moyennes de combustion des matières combustibles présentes .. 24
Tableau 19 : Débits massiques de polluants – PhD2 25
Tableau 20 : PhD2 – Distances d'effets (au sol et en hauteur) 27
Tableau 21 : PhD2 – Distance de visibilité en fonction de la concentration des fumées 28
Tableau 22 : PhD2 – Perte de visibilité (au sol et en hauteur) 30

Liste des Figures

Figure 1 : PhD1 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux effets irréversibles (SEI) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées 18
Figure 2 : PhD1 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux premiers effets létaux (SPEL) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées 18
Figure 3 : PhD1 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux effets létaux significatifs (SELS) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées 19
Figure 4 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 3 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD1 21
Figure 5 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 10 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD1 21
Figure 6 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 250 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD1 22
Figure 7 : PhD2 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux effets irréversibles (SEI) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées 26
Figure 8 : PhD2 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux premiers effets létaux (SPEL) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées 26
Figure 9 : PhD2 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux effets létaux significatifs (SELS) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées 27
Figure 10 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 3 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD2 29
Figure 11 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 10 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD2 29
Figure 12 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 250 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD2 30

1. Introduction

Dans le cadre de la réalisation d'une étude de dangers d'un entrepôt situé à Ressons-sur-Matz (60), BEG Ingénierie souhaite un appui technique pour la réalisation de l'étude de dispersion atmosphérique d'un incendie de cellules de stockage **afin de pouvoir évaluer les éventuels effets toxiques et les pertes de visibilité générées par les fumées de l'incendie.**

Les deux cas étudiés dans le présent rapport sont :

- Phénomène dangereux n°1 : Incendie de 1 cellule :
    - 1 cellule de stockage de 11 900 m^2 dans le bâtiment A stockant des matières plastiques (rubrique 2663) d'une contenance totale de 13 560 t ;
- Phénomène dangereux n°2 : Incendie de 1 cellule :
    - 1 cellule de stockage de 5 370 m^2 dans le bâtiment B stockant des matières plastiques (rubrique 2663) d'une contenance totale de 4 680 t.

2. Méthodes et moyens de calcul utilisés pour la modélisation des phénomènes dangereux

2.1 Evaluation des effets toxiques des fumées d'incendie

2.1.1 Méthodes et moyens de calcul mis en application

La méthodologie d'évaluation des effets toxiques des fumées de l'incendie est basée sur le rapport INERIS Ω-16 *« Toxicité et dispersion des fumées d'incendie – Phénoménologie et modélisation des effets »*.

Sous l'effet d'une augmentation de température, les produits stockés sont susceptibles de conduire à la formation de substances toxiques telles que HF, HBr, HI, HCN, NO_2, HCl, CO, CO_2.

La composition des fumées va dépendre du produit et des atomes le constituant. Sous l'effet de la chaleur, la molécule va en effet se dissocier :

- le fluor, le chlore et le brome contenus dans les molécules halogénées se combinent alors avec l'hydrogène pour former de l'acide fluorhydrique, de l'acide chlorhydrique et bromhydrique ;
- l'azote, le carbone pour former de l'acide cyanhydrique, des oxydes d'azote et de carbone.

La démarche d'évaluation de la toxicité des fumées et de leur impact potentiel sur la santé repose sur :

- la définition du terme source (débit de polluant et consommation d'oxygène pour la combustion et donc d'air, surélévation du panache),
- la dispersion et la diffusion du polluant à l'atmosphère,
- l'évaluation des effets sur les populations (calcul des concentrations au sol sous l'axe du panache, comparaison aux seuils d'effets toxiques retenus).

2.1.2 Caractérisation des débits de polluants

Les composés élémentaires constitutifs d'un produit, au cours d'un incendie conduisent généralement à la formation des produits suivants :

- pour la combustion complète du carbone, à la formation de monoxyde et de dioxyde de carbone suivant un rapport molaire CO/CO_2 égal à 0,1 soit 0,21 g de CO par gramme de carbone,
- une part significative de l'azote (60 %) se recombine en azote moléculaire (N_2), le reste (40 %) étant converti à part égale en acide cyanhydrique (HCN) et en oxydes d'azote (NO_2),
- la totalité du soufre s'oxyde en dioxyde de soufre (SO_2), les autres espèces chimiques étant a priori moins toxiques,
- la totalité du chlore se transforme en acide chlorhydrique (HCl),
- la totalité du fluor se transforme en acide fluorhydrique (HF),
- la totalité du brome se transforme en acide bromhydrique (HBr),
- le phosphore reste piégé sous forme solide. Concernant les produits issus du phosphore, sa prise en compte est actuellement difficile en l'absence de données fiables.

Dans le cadre de l'étude, ces hypothèses peuvent être considérées comme majorantes, admettant l'absence de résidus solides de combustion. En réalité, du carbone, du soufre et de l'azote se retrouvent dans les imbrûlés, restant piégés sous forme solide.

Sur les bases précédentes, les émissions massiques en composés gazeux par masse unitaire de l'élément initial s'établissent conformément au tableau ci-dessous :

Pour 1 g de :	Substance dégagée	(g)
N	N_2 HCN NO_2	1,21 0,36 0,64
C	CO CO_2	0,21 3,33
S	SO_2	2,00
Br	HBr	1,01
Cl	HCl	1,03
F	HF	1,05

Les débits d'émission Q exprimés en g/g de produit combustible peuvent se calculer de la façon suivante :

$$Q = \frac{C_{m(p)}}{\mathrm{M_m}} \cdot \sum_i (n_i . M_i \cdot Q_i)$$

Avec : $C_{m(p)}$: concentration massique de la matière active m dans le produit p,
M_m : masse molaire de la matière active m,
n_i : nombre d'atomes de l'élément i dans la matière active,
M_i : masse molaire de l'élément i.

2.1.3 Calcul de la puissance thermique totale $\dot{Q}_t$

La puissance thermique totale est déterminée par la relation suivante :

$$\dot{Q}_t = m * S * PCI$$

Où :
m est la vitesse de combustion (en g/m^2/s)
PCI est le Pouvoir Calorifique Inférieur (en J/g)
S est la surface en feu (m^2)

2.1.4 Calcul de la hauteur d'émission des fumées et de l'air entraîné

La hauteur d'émissions des fumées est déterminée par la relation (Heskestad) :

$$L = 0{,}166\ (10^3 * Q_c)^{0.4}$$

où Q_c est la puissance thermique convectée en MW (prise égale à 60 % de la puissance thermique totale $\dot{Q}_t$).

Le débit massique des fumées à la hauteur L peut être calculé à l'aide de la relation suivante :

$$D = 3{,}24 \cdot \dot{Q}_t$$

où $\dot{Q}_t$ est la puissance thermique totale (en MW).

2.1.5 Modélisation de la dispersion atmosphérique des polluants

Le calcul de la dispersion dans l'atmosphère est réalisé avec le logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools), de DNV Technica, dans sa version 7.21.

PHAST utilise une méthode de dispersion gaz lourd et gaussienne. Le modèle prend en compte tous les aspects importants influençant le transport - diffusion des polluants, à savoir :

- les particularités de la topographie du site, par l'intermédiaire d'un paramètre de rugosité (fixé à 0,17 pour un environnement industriel et/ou urbain/semo-urbain),
- des conditions météorologiques spécifiques,
- la nature des traceurs chimiques traditionnels qui pour la plupart existent en base de données permettant de constituer des mélanges de produits toxiques.

Les conditions météorologiques retenues seront celles définies <u>pour les rejets verticaux et/ou en hauteur</u> dans la fiche n°2 (sur la dispersion toxique) de la partie 1 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 (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003*.

Elles sont présentées dans le tableau ci-après.

Stabilité atmosphérique	Instable < ----------> Stable								
	A	B		C		D		E	F
Vitesse du vent (m/s)	3	3	5	5	10	5	10	3	3
T° ambiante (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	15
T° du sol (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	15
Humidité relative (%)	70	70	70	70	70	70	70	70	70
Rayonnement solaire (kW/m^2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0

Tableau 1 : Conditions météorologiques retenues pour la modélisation

Hauteur de la couche d'inversion

Le modèle de dispersion PHAST considère que la couche d'inversion de température (susceptible d'être observée) est « infranchissable » par le panache de fumées et que la dispersion ne s'opère que dans un volume limité les 2 plans horizontaux que constituent le sol et la couche d'inversion (située à l'altitude $Z_{inversion}$).
Toutefois, compte tenu de l'énergie thermo-cinétique initiale des fumées, dans le champ proche (typiquement les 100 premiers mètres), il est clair que malgré une inversion de température, le panache de fumées s'élèverait de toute façon.
Ainsi le fait de limiter la dispersion atmosphérique entre le sol et la couche d'inversion a pour conséquence de surestimer les concentrations à hauteur d'homme.

Pour déterminer une valeur de $Z_{inversion}$ défavorable au sens de la dispersion mais réaliste compte-tenu de la modélisation retenue ensuite, l'altitude critique Zc, à partir de laquelle une couche d'inversion serait en mesure de stopper l'élévation des panaches malgré leurs énergies thermo-cinétiques restantes, doit être calculée.
Pour ce faire, on retient les corrélations proposées par Briggs qui permettent de calculer l'altitude de culmination 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 Zc.

$$\Delta h = 2{,}6 \cdot \left(\frac{F_b}{u.s}\right)$$

où le paramètre de flottabilité F_b vaut :

$$F_b = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho}\right) \cdot g \cdot r^2 \cdot w_s$$

et le paramètre de stabilité s vaut :

$$s = \frac{g}{T} \cdot \frac{d\theta}{dz}$$

avec

ρ_s : densité des gaz rejetés à la cheminée,
ρ : densité de l'air,
r : le diamètre de la cheminée,
w_s : la vitesse des gaz rejetés à la cheminée,
g : l'accélération de la gravité,
T : la température ambiante,
θ : la température potentielle,
z : l'altitude.

2.1.6 Seuils d'effets retenus pour la modélisation des phénomènes dangereux

Les seuils retenus dans le cadre de la modélisation des phénomènes dangereux sont définis par 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 des dangers des installations classées soumises à autorisation* ».

Les conséquences d'un accident sont évaluées en termes de toxicité aiguë sur les populations exposées au passage d'un nuage de gaz toxique.

Les valeurs de référence retenues pour les installations classées sont présentées dans le tableau suivant.

Seuils de toxicité aiguë pour l'homme par inhalation			
	Types d'effets constatés	**Concentration d'exposition**	**Référence**
Exposition de 1 à 60 minutes	Effets Létaux Significatifs	SELS (CL 5 %)	Seuils de toxicité aiguë Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. 2003 (et ses mises à jour ultérieures)
	Premiers Effets Létaux	SPEL (CL 1 %)	
	Effets Irréversibles	SEI	
	Effets Réversibles	SER	

Tableau 2 : Valeurs de référence relatives aux seuils de toxicité aiguë

Ces valeurs sont toujours associées à des durées d'exposition, le plus souvent de 1 à 60 minutes, mais dans certains cas, des valeurs sont disponibles pour des périodes plus longues (2 heures par exemple).

Ces valeurs, définies par le Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL), existent pour un certain nombre de substances.
En revanche, dans certains cas, bien que le produit soit classé toxique, voire très toxique, il n'existe pas de valeur publiée par le Ministère relative à la toxicité aiguë. Dans ce cas, on utilise les valeurs internationales reconnues proposées dans le tableau du chapitre 1.1.11 de la partie 1 de la circulaire du 10 mai 2010[1], reprenant le guide pratique de l'INERIS « C*hoix des valeurs de toxicité aigüe en cas d'absence de valeurs françaises* » de juillet 2009 :

	Durée d'exposition (min)						
	10	**20**	**30**	**60**	**120**	**240**	**480**
SELS (SEL 5%)	-	-	-	-	-	-	-
SPEL (SEL 1%)	AEGL-3	-	AEGL-3	ERPG-3 AEGL-3	-	AEGL-3	AEGL-3
SEI	AEGL-2	-	AEGL-2 (IDLH)	ERPG-2 AEGL-2	-	AEGL-2	AEGL-2

AEGL : Acute Exposure Guideline Levels de l'US-EPA
ERPG : Emergency Response Planning Guidelines de l'AIHA
IDLH : Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations du NIOSH

Tableau 3 : Valeurs seuils de toxicité aiguë à retenir en l'absence de connaissance en toxicologie

Dans le cas d'un mélange de plusieurs produits toxiques, il est d'usage de prendre un seuil équivalent qui dépend à la fois des concentrations des divers polluants dans le mélange et des seuils qui leur sont propres.

Enfin, dans le cadre des durées d'expositions différentes de celles données dans la littérature (ou pour tenir compte de la variation de la concentration pendant la durée de l'exposition), il est utilisé une équation qui permet d'évaluer la dose intégrée conduisant aux mêmes effets (effets létaux significatifs, premiers effets létaux ou effets irréversibles).

Cette équation (loi de Haber) est du type Dose = C^n x t où :

- C = concentration inhalée ou d'exposition (mg/m^3 ou ppm),
- t = temps d'exposition (min),
- n = constante de Haber, spécifique à chaque produit.

[1] Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche, de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

Les seuils de toxicité aiguë des composés considérés dans cette étude sont donnés ci-après (pour une durée d'exposition de 60 minutes) :

Substances dégagées	SEI ppm	Référence de la valeur seuil retenue
CO	800	Seuils de toxicité aiguë – INERIS– DRC-09-103128-05616A
CO_2	40 000	Pas de seuils de toxicité aigüe en France Utilisation du Revised IDLH
HCl	40	Seuils de toxicité aiguë – INERIS– DRC-08-94398-11984A Extrapolation à 120 minutes par loi de Haber
HCN	10	Pas de valeur SEI en France compte-tenu des études disponibles (Seuils de toxicité aiguë – INERIS–DRC-08-94398-12727A) Utilisation de l'ERPG-2 (cf. Tableau 3)
NO_2	40	Seuils de toxicité aiguë – INERIS–DRC-08-94398-13333A

Tableau 4 : Seuils d'effets irréversibles (SEI) pour des expositions de 60 minutes

Substances dégagées	SPEL ppm	Référence de la valeur seuil retenue
CO	3 200	Seuils de toxicité aiguë – INERIS– DRC-09-103128-05616A
CO_2	40 000	Pas de seuils de toxicité aigüe en France De façon conservative et conformément au document INERIS « Oméga-16 - Toxicité et dispersion des fumées d'incendie : Phénoménologie et modélisation » de mars 2005, lorsqu'un des seuils n'est pas disponible, on retient le seuil correspondant à l'effet inférieur (par exemple, on utilise le SEI comme SEPL, et/ou le SEPL pour le SELS).
HCl	240	Seuils de toxicité aiguë – INERIS– DRC-08-94398-11984A
HCN	41	Seuils de toxicité aiguë – INERIS–DRC-08-94398-12727A
NO_2	70	Seuils de toxicité aiguë – INERIS–DRC-08-94398-13333A

Tableau 5 : Seuils des premiers effets létaux (SPEL) pour des expositions de 60 minutes

Substances dégagées	SELS ppm	Référence de la valeur seuil retenue
CO	3200	La détermination du SELS n'a pas été possible compte-tenu des études disponibles (Seuils de toxicité aiguë – INERIS–DRC-09-103128-05616A) De façon conservative et conformément au document INERIS « Oméga-16 - Toxicité et dispersion des fumées d'incendie : Phénoménologie et modélisation » de mars 2005, lorsqu'un des seuils n'est pas disponible, on retient le seuil correspondant à l'effet inférieur (par exemple, on utilise le SEI comme SEPL, et/ou le SEPL pour le SELS).
CO_2	40 000	Pas de seuils de toxicité aigüe en France De façon conservative et conformément au document INERIS « Oméga-16 - Toxicité et dispersion des fumées d'incendie : Phénoménologie et modélisation » de mars 2005, lorsqu'un des seuils n'est pas disponible, on retient le seuil correspondant à l'effet inférieur (par exemple, on utilise le SEI comme SEPL, et/ou le SEPL pour le SELS).
HCl	379	Seuils de toxicité aiguë – INERIS– DRC-08-94398-11984A
HCN	63	Seuils de toxicité aiguë – INERIS–DRC-08-94398-12727A
NO_2	73	Seuils de toxicité aiguë – INERIS–DRC-08-94398-13333A

Tableau 6 : Seuils d'effets létaux significatifs (SELS) pour des expositions de 60 minutes

2.2 Evaluation de la perte de visibilité associée à l'incendie

L'émission des fumées d'un incendie est accompagnée d'une émission de suies qui entraîne une atténuation de la visibilité. Cette perte visuelle est proportionnelle à la concentration (ou la fraction volumique) en suies.

La méthodologie d'évaluation de la perte de visibilité liée à l'émission des fumées d'un incendie est extraite :

- du « Handbook for fire calculations and Fire Assessment in the Process Industry » (SCANDPOWER A/S – SINTEF – NBL, 1992) ;
- de la fiche « Face au risque n°288 de décembre 1992 » du CNPP[2].

2.2.1 Concentration volumique des suies

La méthode consiste à évaluer, dans un premier temps, le débit des fumées de combustion comprenant tout ce qui est produit par le feu : les gaz et les particules de suies.
Ce débit est calculé selon la méthodologie définie au paragraphe précédent.
La production de suies est proportionnelle à la vitesse de combustion (en kg/s) des produits en feu (évalué à partir de la composition des matériaux pris dans l'incendie).

A partir du rapport initial suies/fumées ainsi déterminé (ratio), on évalue la concentration volumique des suies à partir de la concentration volumique des fumées selon :

$$C_s^v = ratio \times \frac{\rho(fumées)}{\rho(suies)} \cdot C_f^v$$

Où : C^v_s est la concentration volumique des suies,
C^v_f est la concentration volumique des fumées,
ρ(fumées) : masse volumique des fumées (kg/m^3) : définie avec PHAST ;
ρ(suies) : masse volumique des suies (kg/m^3) : 1200 kg/m^3 (bibliographie).

[2] *CNPP : Centre national de prévention et de protection*

2.2.2 Critères de référence

La fiche « Face au risque n°288 de décembre 1992 » du CNPP a préconisé des valeurs à prendre en compte pour évaluer l'éventuelle perte de visibilité dans l'environnement. Ces valeurs sont les suivantes :

- une concentration en suies de 100 mg/m³ diminue la visibilité à 3 m,
- une concentration en suies de 30 mg/m³ diminue la visibilité à 10 m,
- une concentration en suies de 1,3 mg/m³ diminue la visibilité à 250 m.

En estimant la masse volumique des suies à 1 200 kg/m³ (bibliographie), les concentrations en suies nécessaire pour une éventuelle perte de visibilité dans l'environnement sont les suivantes :

- une concentration en suies de $8{,}32.10^{-2}$ ppm diminue la visibilité à 3 m,
- une concentration en suies de $2{,}50.10^{-2}$ ppm diminue la visibilité à 10 m,
- une concentration en suies de $1{,}08.10^{-3}$ ppm diminue la visibilité à 250 m.

2.2.3 Evaluation de la perte de visibilité

L'évaluation de la dispersion des concentrations en fumées/suies dans l'atmosphère (et la perte potentielle de visibilité associée) est ensuite réalisée avec le logiciel PHAST, en conservant les mêmes caractéristiques d'émissions, les mêmes conditions météorologiques et le même paramétrage du logiciel que pour l'évaluation des effets toxiques.

3. Modélisation du phénomène dangereux n°1

3.1 Evaluation des effets toxiques liés aux fumées

3.1.1 Estimation de la vitesse de combustion

Le scénario étudié est l'incendie d'une cellule :

- 1 cellule de stockage de 11 900 m² dans le bâtiment A stockant des matières plastiques (rubrique 2663) d'une contenance totale de 13 560 t.

Les palettes pèsent 600 kg, dont 30 kg de palette en bois et 570 kg de produit stockés.
Les proportions de matériaux dans les palettes de type 2663 sont données ci-après.

Matériaux	Palette type 2663
Bois	5 %
Polypropylène (PP)	19 %
Polyéthylène (PE)	19 %
Polystyrène (PS)	19 %
Polychlorure de vinyle (PVC)	19 %
Polyuréthane (PU)	19 %

Tableau 7 : PhD1 – Proportions de matériaux dans les palettes de type 2663

Les quantités de matières combustibles présentes sont les suivantes (sur la base de 22 600[3] palettes de type 2663) :

Matériaux	Quantité présente en tonnes
Bois	678,0
Polypropylène (PP)	2576,4
Polyéthylène (PE)	2576,4
Polystyrène (PS)	2576,4
Polychlorure de vinyle (PVC)	2576,4
Polyuréthane (PU)	2576,4
Total	**13 560**

Tableau 8 : Quantités de matières combustibles présentes dans la cellule du bâtiment A

[3] 22 600 palettes de 600 kg soit 13 560 tonnes

Les caractéristiques des combustibles présents sont les suivantes :

Matériaux	Vitesse de combustion ($g/m^2/s$)	Source	PCI (MJ/kg)	Source
Polypropylène (PP)	14	Document « an introduction to fire dynamics » 2nd, Dougal Drysdale	43,4	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002
Polyéthylène (PE)	14	Document « an introduction to fire dynamics » 2nd, Dougal Drysdale	43,6	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002
Polystyrène (PS)	35	Document « an introduction to fire dynamics » 2nd, Dougal Drysdale	39,2	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002
Polychlorure de vinyle (PVC)	21,7	A study of the flammability of plastics in vehicle components and parts by A. Tewarson (Factory Mutual) October 1997	16,4	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002
Polyuréthane (PU)	26	Document « an introduction to fire dynamics » 2nd, Dougal Drysdale	23,2	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002
Bois	13	Document « an introduction to fire dynamics » 2nd, Dougal Drysdale	16,4	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002

Tableau 9 : Caractéristiques de combustion des produits présents

Le tableau suivant présente les résultats des caractéristiques de combustion moyennes du stockage en fonction de sa composition :

Matériaux	Quantité présente (en tonnes)	Vitesse de combustion ($g/m^2/s$)	PCI (MJ/kg)
PP	2576,4	14	43,40
PE	2576,4	14	43,60
PS	2576,4	35	39,20
PVC	2576,4	21,7	16,40
PU	2576,4	26	23,20
Bois	678,0	13	16,40
Caractéristiques moyennes de combustion du stockage		***21,68***	***32,32***

Tableau 10 : Caractéristiques moyennes de combustion des matières combustibles présentes

Les conséquences de l'incendie de ce stockage seront donc modélisées en retenant :

- **une vitesse de combustion moyenne de 21,68 $g/m^2/s$,**
- **un pouvoir calorifique de 32,32 MJ/kg.**

3.1.2 Caractéristiques du terme source

La surface de la zone de stockage est de 11 900 m².

Les débits de polluants sont calculés selon la méthodologie présentée au chapitre 2.1, en considérant une vitesse de régression moyenne de 21,68 g/m²/s. Ils sont présentés dans le tableau suivant :

Composé	CO_2	CO	HCl	HCN	NO_2	Air	Fumées totales
Débit massique (en kg/s)	575	36,6	28,7	3,1	5,2	26 367	27 016

Tableau 11 : Débits massiques de polluants – PhD1

Le débit total des fumées (polluants + air entraîné) est de 27 016 kg/s au sommet des flammes.
La hauteur d'émission des fumées toxiques, calculée selon méthodologie présentée au chapitre 2.1.3, est de 79 m.

3.1.3 Durée d'exposition

Selon le « *Glossaire des risques technologiques* » (partie 3 de la circulaire du 10 mai 2010), la cinétique est définie comme *la vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur aux conséquences sur les éléments vulnérables*.

La cinétique d'un phénomène dangereux pourra être qualifiée de lente dans son contexte si elle permet la mise en œuvre de mesures de sécurité suffisantes dans le cadre d'un plan d'urgence interne et externe, pour protéger les personnes à l'extérieur de l'installation avant qu'elles ne soient atteintes par les effets du phénomène dangereux.

Dans le cadre de l'étude, **la durée d'exposition considérée est de 60 minutes,** correspondant à la durée maximale d'exposition envisagée pour les seuils d'effets toxiques dans l'Arrêté Ministériel du 29/05/2005 (cf. Tableau 2 : Valeurs de référence relatives aux seuils de toxicité aiguë).

Avec les débits d'air et de produits toxiques, les seuils équivalents retenus pour une exposition de 60 minutes sont :

- SEI équivalent : 17 873 ppm,
- SPEL équivalent : 76 202 ppm,
- SELS équivalent : 103 857 ppm.

3.1.4 Evaluation de l'intensité des effets du phénomène dangereux n°1 - Conclusion

Les figures suivantes présentent les panaches de fumées (en coupe verticale dans le sens du vent) correspondant aux différents effets.

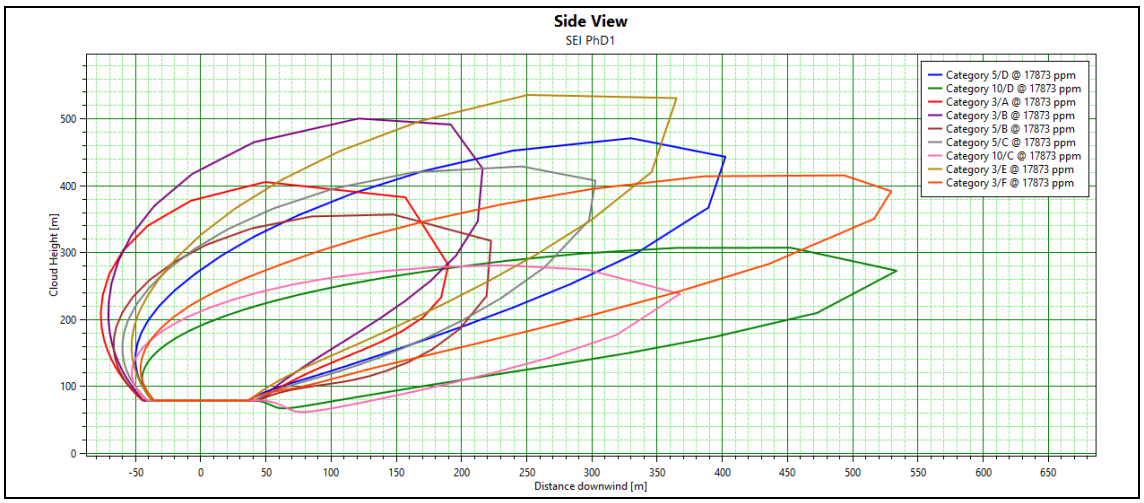

Figure 1 : PhD1 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux effets irréversibles (SEI) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées

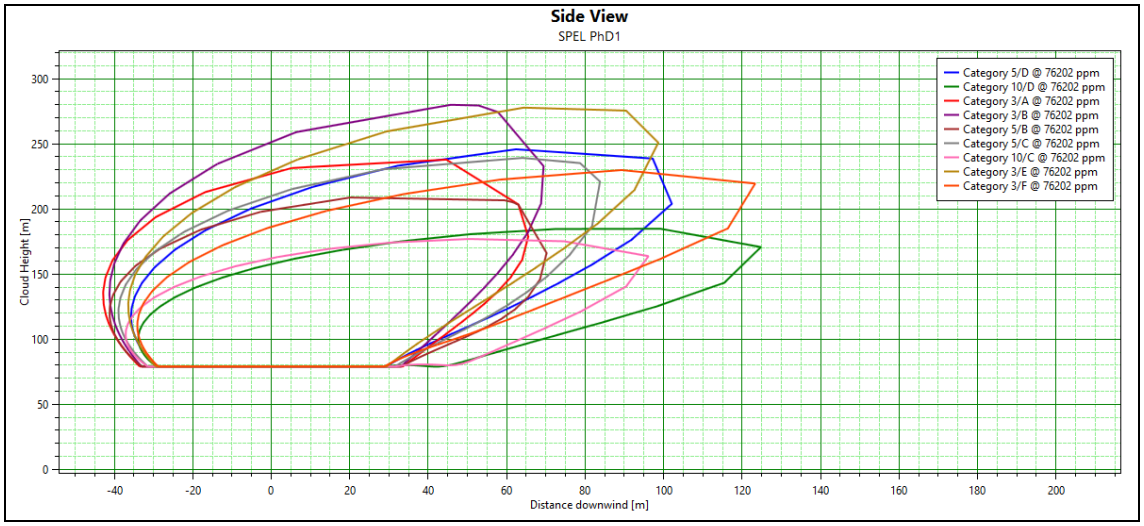

Figure 2 : PhD1 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux premiers effets létaux (SPEL) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées

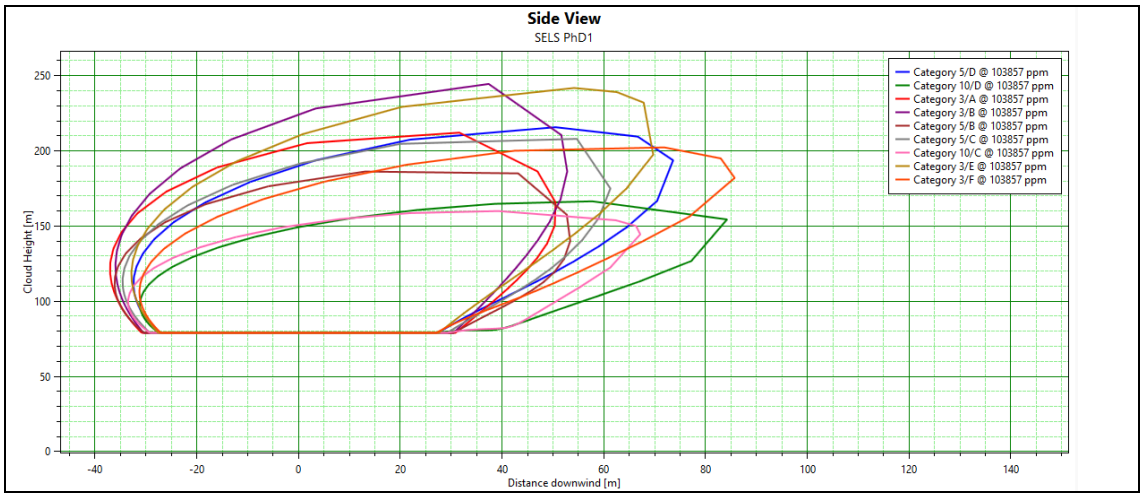

Figure 3 : PhD1 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux effets létaux significatifs (SELS) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées

Les distances d'effets pour une durée d'exposition de 60 minutes sont les suivantes :

Seuil	Distance
SEI	• **Aucun effet toxique n'est observé à hauteur d'homme (h < 2 m)** • Hauteur minimale d'atteinte du seuil toxique : 62 m à 75 m de la source • Distance maximal atteinte par les fumées toxiques : 533 m de la source à h = 273 m
SPEL	• **Aucun effet toxique n'est observé à hauteur d'homme (h < 2 m)** • Hauteur minimale d'atteinte du seuil toxique : 79 m à la source • Distance maximal atteinte par les fumées toxiques : 124 m de la source à h = 170 m
SELS	• **Aucun effet toxique n'est observé à hauteur d'homme (h < 2 m)** • Hauteur minimale d'atteinte du seuil toxique : 79 m à la source • Distance maximal atteinte par les fumées toxiques : 85 m de la source à h = 182 m

Tableau 12 : PhD1 – Distances d'effets (au sol et en hauteur)

3.2 Evaluation de la perte de visibilité associée à l'incendie

3.2.1 Données d'entrée

- Débit des fumées : 27 016 kg/s ;
- Débit de suies : 29,93 kg/s (0,116 [4] x débit massique de combustion) ;
- Ratio suies/fumées = $1{,}11.10^{-3}$ [kg/kg] ;
- ρ(fumées) : 0,66 kg/m^3 (PHAST) ;
- ρ(suies) : 1 200 kg/m^3.

D'où :

$$\mathbf{C^v_s = 6{,}09.10^{-7}\ C^v_f}$$

Avec :
C^v_s : concentration volumique des suies (ppm)
C^v_f : concentration volumique des fumées (ppm)

Ainsi, les concentrations en fumées à rechercher dans PHAST sont :

Visibilité	3 m	10 m	250 m
Concentrations en fumées	136 777 ppm	41 033 ppm	1 778 ppm

Tableau 13 : PhD1 – Distance de visibilité en fonction de la concentration des fumées

3.2.2 Résultats

Les figures suivantes présentent les panaches de fumées (en coupe verticale dans le sens du vent) correspondant aux trois « seuils » de perte de visibilité (3 m, 10 m et 250 m).

[4] Valeur évaluée à partir des « ratios » de production de suies lors de la combustion des différents matériaux pris dans l'incendie (source : SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition – 2002)

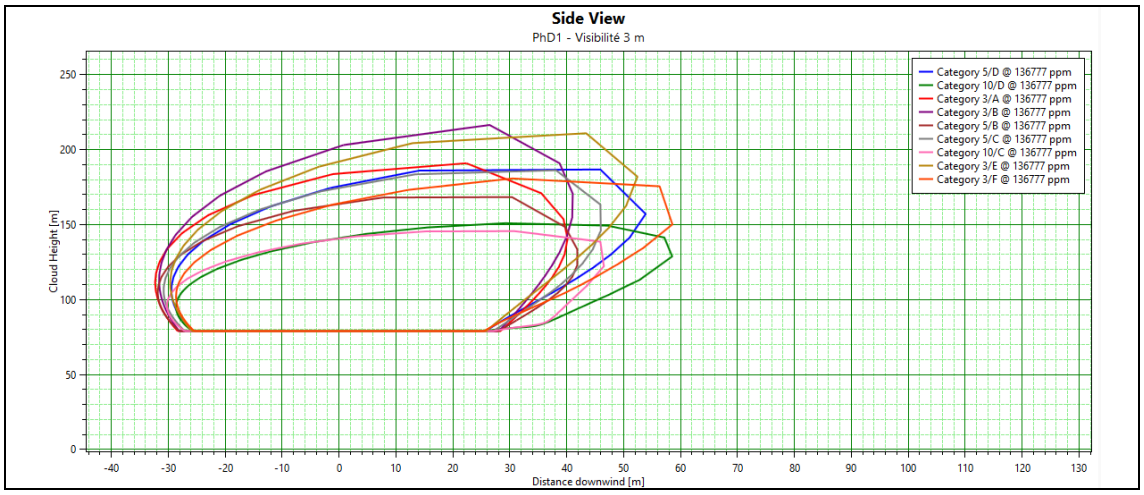

Figure 4 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 3 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD1

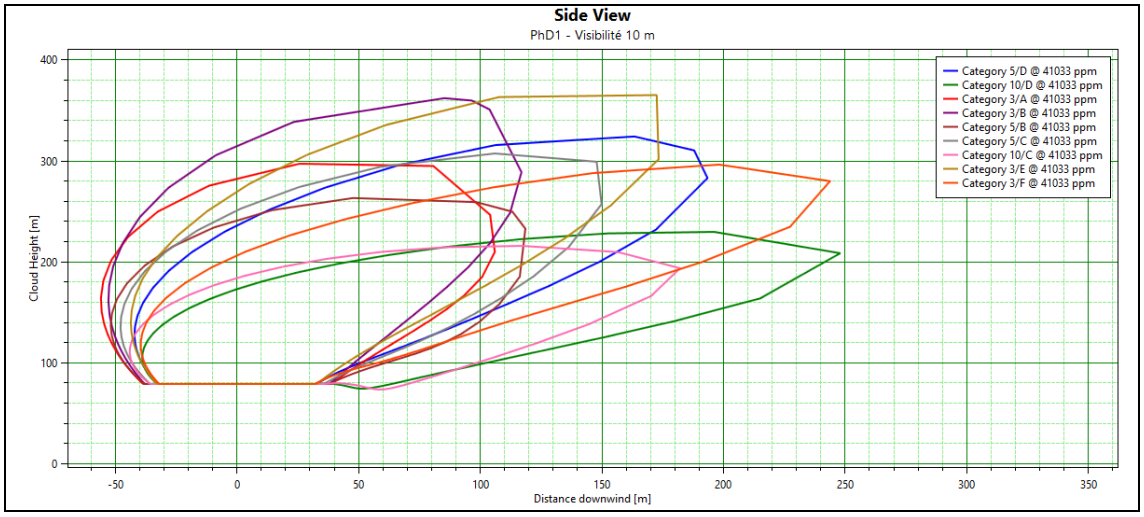

Figure 5 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 10 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD1

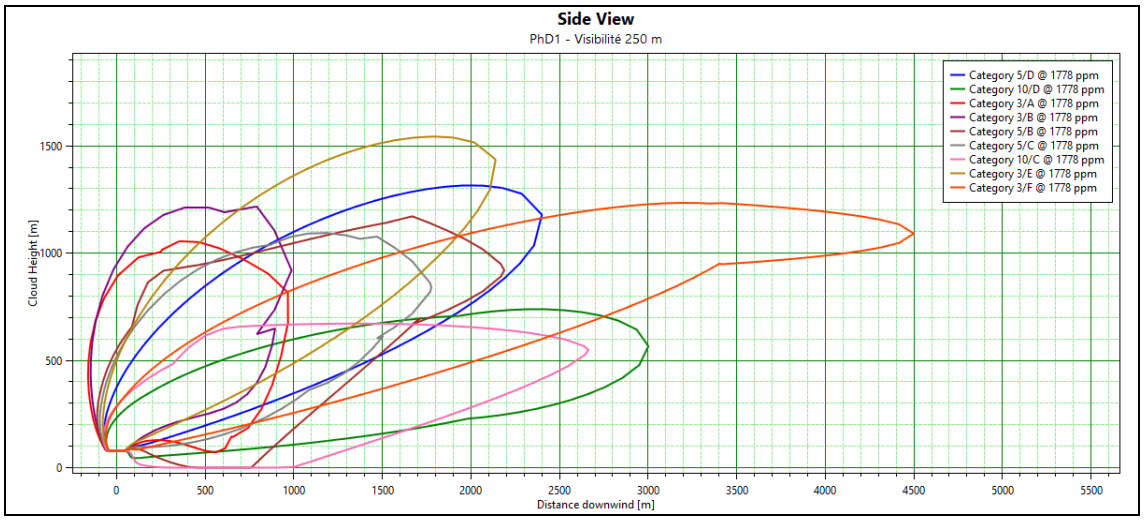

Figure 6 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 250 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD1

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Visibilité	Distance
Visibilité 3 m	• **Pas de perte de visibilité au sol (h < 2m) ;** • **Pas de perte de visibilité en hauteur (h = 5, 10 ou 20 m) ;** • Hauteur minimale des fumées provoquant la perte de visibilité : 79 m à la source ; • Distance maximale de perte de visibilité depuis la source : 58 m à une hauteur de 128 m.
Visibilité 10 m	• **Pas de perte de visibilité au sol (h < 2m) ;** • **Pas de perte de visibilité en hauteur (h = 5, 10 ou 20 m) ;** • Hauteur minimale des fumées provoquant la perte de visibilité : 73 m à 58 m de source ; • Distance maximale de perte de visibilité depuis la source : 247 m à une hauteur de 208 m.
Visibilité 250 m	• **Perte de visibilité au sol (h = 1,8 m) entre 247 et 956 m de la source ;** • **Perte de visibilité en hauteur (h = 5 m) entre 202 et 1 010 m de la source ;** • **Perte de visibilité en hauteur (h = 10 m) entre 158 et 1 027 m de la source ;** • **Perte de visibilité en hauteur (h = 20 m) entre 120 et 1 064 m de la source ;** • Hauteur minimale des fumées provoquant la perte de visibilité : 0 m (seuil atteint au niveau du sol) ; • Distance maximale de perte de visibilité depuis la source : 4 500 m à une hauteur de 1 091 m.

Tableau 14 : PhD1 – Perte de visibilité (au sol et en hauteur)

4. Modélisation du phénomène dangereux n°2

4.1 Evaluation des effets toxiques liés aux fumées

4.1.1 Estimation de la vitesse de combustion

Le scénario étudié est l'incendie d'une cellule :

- 1 cellule de stockage de 5 370 m² dans le bâtiment B stockant des matières plastiques (rubrique 2663) d'une contenance totale de 4 680 t.

Les palettes pèsent 600 kg, dont 30 kg de palette en bois et 570 kg de produit stockés.
Les proportions de matériaux dans les palettes de type 2663 sont données ci-après.

Matériaux	Palette type 2663
Bois	5 %
Polypropylène (PP)	19 %
Polyéthylène (PE)	19 %
Polystyrène (PS)	19 %
Polychlorure de vinyle (PVC)	19 %
Polyuréthane (PU)	19 %

Tableau 15 : PhD2 – Proportions de matériaux dans les palettes de type 2663

Les quantités de matières combustibles présentes sont les suivantes (sur la base de 7 800[5] palettes de type 2663) :

Matériaux	Quantité présente en tonnes
Bois	234,0
Polypropylène (PP)	889,2
Polyéthylène (PE)	889,2
Polystyrène (PS)	889,2
Polychlorure de vinyle (PVC)	889,2
Polyuréthane (PU)	889,2
Total	**4 680**

Tableau 16 : Quantités de matières combustibles présentes dans la cellule du bâtiment B

[5] 7 800 palettes de 600 kg soit 4 680 tonnes

Les caractéristiques des combustibles présents sont les suivantes :

Matériaux	Vitesse de combustion ($g/m^2/s$)	Source	PCI (MJ/kg)	Source
Polypropylène (PP)	14	Document « an introduction to fire dynamics » 2nd, Dougal Drysdale	43,4	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002
Polyéthylène (PE)	14	Document « an introduction to fire dynamics » 2nd, Dougal Drysdale	43,6	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002
Polystyrène (PS)	35	Document « an introduction to fire dynamics » 2nd, Dougal Drysdale	39,2	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002
Polychlorure de vinyle (PVC)	21,7	A study of the flammability of plastics in vehicle components and parts by A. Tewarson (Factory Mutual) October 1997	16,4	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002
Polyuréthane (PU)	26	Document « an introduction to fire dynamics » 2nd, Dougal Drysdale	23,2	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002
Bois	13	Document « an introduction to fire dynamics » 2nd, Dougal Drysdale	16,4	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition - 2002

Tableau 17 : Caractéristiques de combustion des produits présents

Le tableau suivant présente les résultats des caractéristiques de combustion moyennes du stockage en fonction de sa composition :

Matériaux	Quantité présente (en tonnes)	Vitesse de combustion ($g/m^2/s$)	PCI (MJ/kg)
PP	889,2	14	43,40
PE	889,2	14	43,60
PS	889,2	35	39,20
PVC	889,2	21,7	16,40
PU	889,2	26	23,20
Bois	234,0	13	16,40
Caractéristiques moyennes de combustion du stockage		***21,68***	***32,32***

Tableau 18 : Caractéristiques moyennes de combustion des matières combustibles présentes

Les conséquences de l'incendie de ce stockage seront donc modélisées en retenant :

- **une vitesse de combustion moyenne de 21,68 $g/m^2/s$,**
- **un pouvoir calorifique de 32,32 MJ/kg.**

4.1.2 Caractéristiques du terme source

La surface de la zone de stockage est de 5 370 m².

Les débits de polluants sont calculés selon la méthodologie présentée au chapitre 2.1, en considérant une vitesse de régression moyenne de 21,68 g/m²/s. Ils sont présentés dans le tableau suivant :

Composé	CO_2	CO	HCl	HCN	NO_2	Air	Fumées totales
Débit massique (en kg/s)	260	16,5	13,0	1,4	2,4	11 898	12 191

Tableau 19 : Débits massiques de polluants – PhD2

Le débit total des fumées (polluants + air entraîné) est de 12 191 kg/s au sommet des flammes.
La hauteur d'émission des fumées toxiques, calculée selon méthodologie présentée au chapitre 2.1.3, est de 57 m.

4.1.3 Durée d'exposition

Selon le « *Glossaire des risques technologiques* » (partie 3 de la circulaire du 10 mai 2010), la cinétique est définie comme *la vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur aux conséquences sur les éléments vulnérables*.

La cinétique d'un phénomène dangereux pourra être qualifiée de lente dans son contexte si elle permet la mise en œuvre de mesures de sécurité suffisantes dans le cadre d'un plan d'urgence interne et externe, pour protéger les personnes à l'extérieur de l'installation avant qu'elles ne soient atteintes par les effets du phénomène dangereux.

Dans le cadre de l'étude, **la durée d'exposition considérée est de 60 minutes,** correspondant à la durée maximale d'exposition envisagée pour les seuils d'effets toxiques dans l'Arrêté Ministériel du 29/05/2005 (cf. Tableau 2 : Valeurs de référence relatives aux seuils de toxicité aiguë).

Avec les débits d'air et de produits toxiques, les seuils équivalents retenus pour une exposition de 60 minutes sont :

- SEI équivalent : 17 873 ppm,
- SPEL équivalent : 76 202 ppm,
- SELS équivalent : 103 857 ppm.

4.1.4 Evaluation de l'intensité des effets du phénomène dangereux n°1 - Conclusion

Les figures suivantes présentent les panaches de fumées (en coupe verticale dans le sens du vent) correspondant aux différents effets.

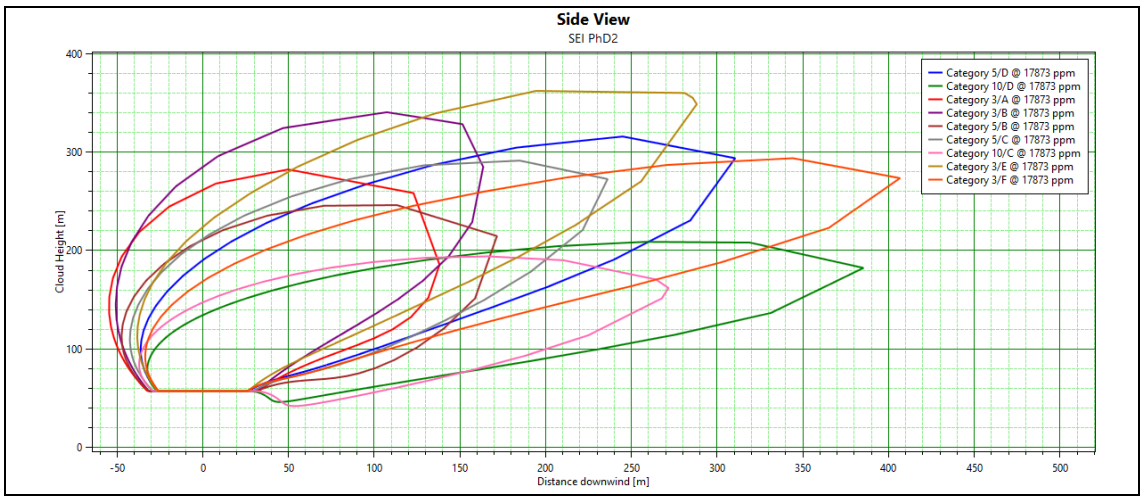

Figure 7 : PhD2 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux effets irréversibles (SEI) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées

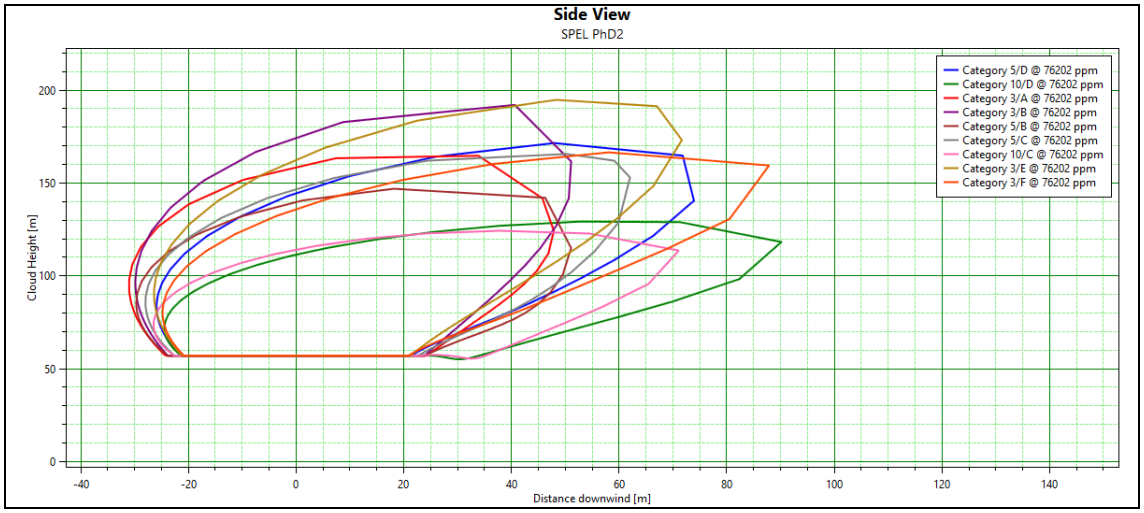

Figure 8 : PhD2 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux premiers effets létaux (SPEL) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées

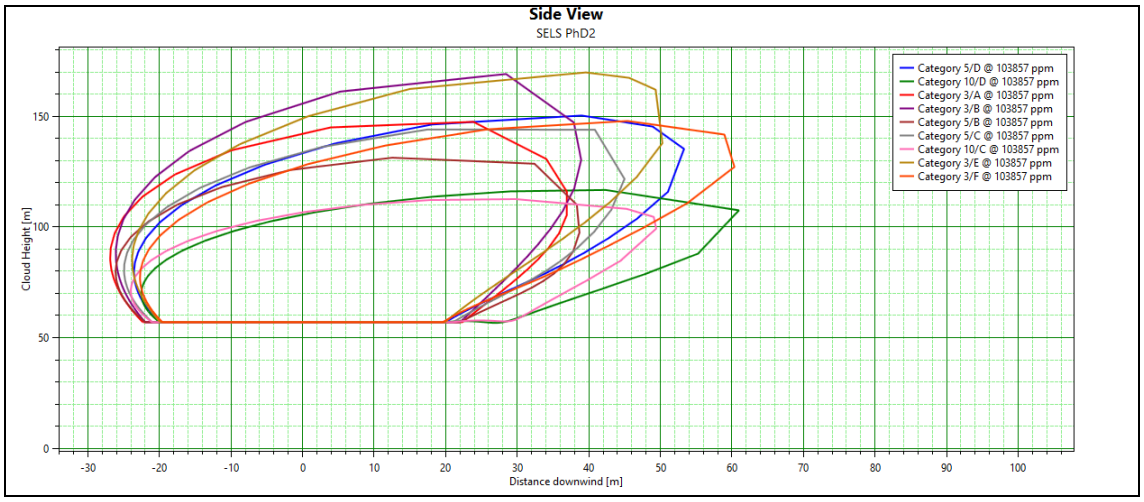

Figure 9 : PhD2 - Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux effets létaux significatifs (SELS) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées

Les distances d'effets pour une durée d'exposition de 60 minutes sont les suivantes :

Seuil	Distance
SEI	• **Aucun effet toxique n'est observé à hauteur d'homme (h < 2 m)** • Hauteur minimale d'atteinte du seuil toxique : 41 m à 50 m de la source • Distance maximal atteinte par les fumées toxiques : 406 m de la source à h = 273 m
SPEL	• **Aucun effet toxique n'est observé à hauteur d'homme (h < 2 m)** • Hauteur minimale d'atteinte du seuil toxique : 55 m à 30 m de la source • Distance maximal atteinte par les fumées toxiques : 90 m de la source à h = 118 m
SELS	• **Aucun effet toxique n'est observé à hauteur d'homme (h < 2 m)** • Hauteur minimale d'atteinte du seuil toxique : 57 m à la source • Distance maximal atteinte par les fumées toxiques : 60 m de la source à h = 107 m

Tableau 20 : PhD2 – Distances d'effets (au sol et en hauteur)

4.2 Evaluation de la perte de visibilité associée à l'incendie

4.2.1 Données d'entrée

- Débit des fumées : 12 191 kg/s ;
- Débit de suies : 13,50 kg/s (0,116 [6] x débit massique de combustion) ;
- Ratio suies/fumées = $1{,}11.10^{-3}$ [kg/kg] ;
- ρ(fumées) : 0,66 kg/m^3 (PHAST) ;
- ρ(suies) : 1 200 kg/m^3.

D'où :

$$\mathbf{C^v_s = 6{,}09.10^{-7}\ C^v_f}$$

Avec :
C^v_s : concentration volumique des suies (ppm)
C^v_f : concentration volumique des fumées (ppm)

Ainsi, les concentrations en fumées à rechercher dans PHAST sont :

Visibilité	3 m	10 m	250 m
Concentrations en fumées	136 777 ppm	41 033 ppm	1 778 ppm

Tableau 21 : PhD2 – Distance de visibilité en fonction de la concentration des fumées

4.2.2 Résultats

Les figures suivantes présentent les panaches de fumées (en coupe verticale dans le sens du vent) correspondant aux trois « seuils » de perte de visibilité (3 m, 10 m et 250 m).

[6] Valeur évaluée à partir des « ratios » de production de suies lors de la combustion des différents matériaux pris dans l'incendie (source : SFPE Handbook of Fire Protection Engineering - Third Edition – 2002)

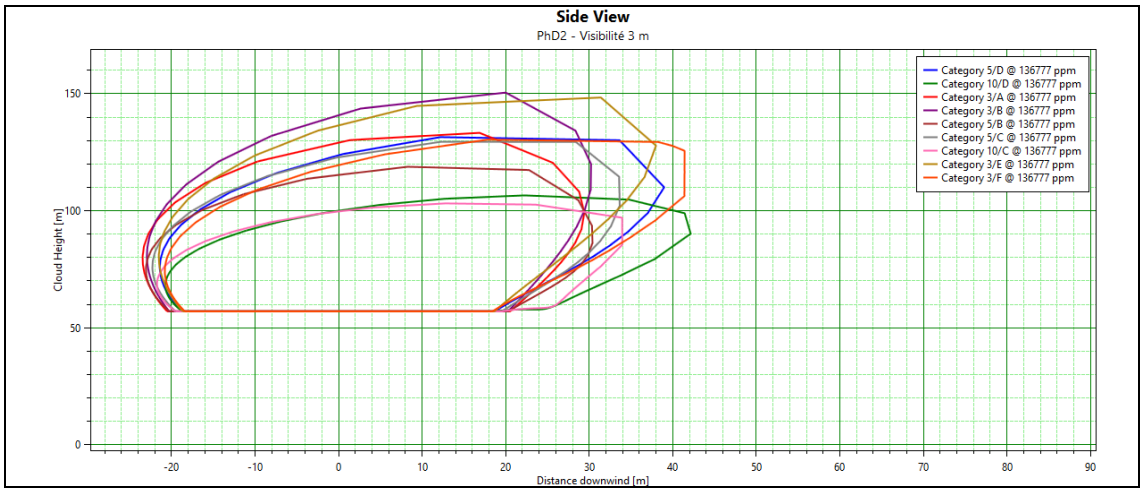

Figure 10 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 3 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD2

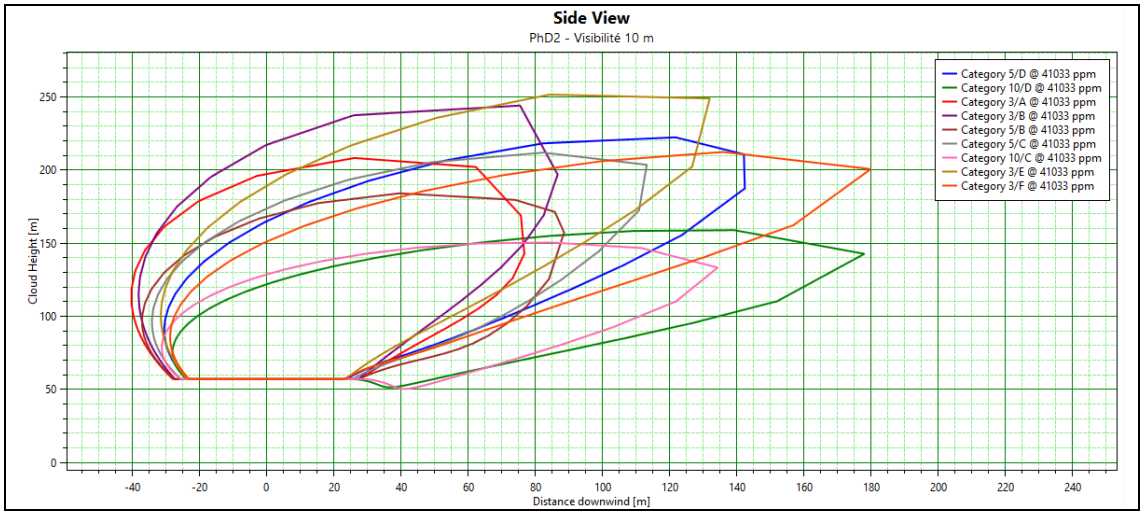

Figure 11 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 10 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD2

Figure 12 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant à une visibilité inférieure à 250 m en présence des différentes conditions météorologiques étudiées – PhD2

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Visibilité	Distance
Visibilité 3 m	• **Pas de perte de visibilité au sol (h < 2m) ;** • **Pas de perte de visibilité en hauteur (h = 5, 10 ou 20 m) ;** • Hauteur minimale des fumées provoquant la perte de visibilité : 57 m à la source ; • Distance maximale de perte de visibilité depuis la source : 42 m à une hauteur de 90 m.
Visibilité 10 m	• **Pas de perte de visibilité au sol (h < 2m) ;** • **Pas de perte de visibilité en hauteur (h = 5, 10 ou 20 m) ;** • Hauteur minimale des fumées provoquant la perte de visibilité : 50 m à 40 m de source ; • Distance maximale de perte de visibilité depuis la source : 180 m à une hauteur de 200 m.
Visibilité 250 m	• **Perte de visibilité au sol (h = 1,8 m) entre 137 et 712 m de la source ;** • **Perte de visibilité en hauteur (h = 5 m) entre 110 et 734 m de la source ;** • **Perte de visibilité en hauteur (h = 10 m) entre 87 et 766 m de la source ;** • **Perte de visibilité en hauteur (h = 20 m) entre 70 et 822 m de la source ;** • Hauteur minimale des fumées provoquant la perte de visibilité : 0 m (seuil atteint au niveau du sol) ; • Distance maximale de perte de visibilité depuis la source : 2 742 m à une hauteur de 710 m.

Tableau 22 : PhD2 – Perte de visibilité (au sol et en hauteur)

5. Bilan

Les modélisations de la dispersion atmosphérique des fumées d'un incendie de cellules de stockage réalisées dans ce rapport mettent en évidence les éléments suivants :

- L'absence d'atteinte des seuils règlementaires (SEI, SPEL, SELS) au niveau du sol La hauteur minimale atteinte par les seuils d'effets irréversibles est de 41 m par rapport au niveau de l'entrepôt (cas du bâtiment B) ;
- Aucune perte de visibilité « 3 m ». La hauteur minimale des fumées provoquant la perte de visibilité est de 57 m (cas du bâtiment B) ;
- Aucune perte de visibilité « 10 m ». La hauteur minimale des fumées provoquant la perte de visibilité est de 50 m (cas du bâtiment B) ;
- Une perte de visibilité « 250 m » :
    - à hauteur d'homme, entre 137 m (cas du bâtiment B) et 956 m (cas du bâtiment A) de l'entrepôt,
    - à 5 m de hauteur, entre 110 m (cas du bâtiment B) et 1 010 m (cas du bâtiment A) de l'entrepôt,
    - à 10 m de hauteur, entre 87 m (cas du bâtiment B) et 1 027 m (cas du bâtiment A) de l'entrepôt,
    - à 20 m de hauteur, entre 70 m (cas du bâtiment B) et 1 064 m (cas du bâtiment A) de l'entrepôt.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'ANTEA GROUP ne saurait engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Fiche signalétique

Rapport

Titre : Modélisation des fumées d'incendie d'un entrepôt de stockage – Ressons-sur-Matz (60)

Numéro et indice de version : 99512/B
Date d'envoi : 02 décembre 2019
Nombre de pages : 32
Diffusion (nombre et destinataires) : -

Nombre d'annexes dans le texte : -
Nombre d'annexes en volume séparé : -

Client

Coordonnées complètes : BEG Ingénierie
31 rue Henri Poincarré
45062 ORLEANS Cedex 2

Nom de l'interlocuteur : Isabelle RELLSTAB / Sergio ONSES

ANTEA

Unité réalisatrice : *Région SUD – Pôle Environnement*

Nom des intervenants et fonction remplie dans le projet :
Interlocuteur commercial : Antonin ROLLAND
Auteur : Antonin ROLLAND

Qualité

Contrôlé par : Stéphane DUBOIS
Date : 02/07/2019 - Version A
02/12/2019 - Version B

N° du projet : *PACP 190057*
Références et date de la commande : BET1310 – MATZIm Ressons en date du 12 juin 2019 + Bon pour accord du 27/11/2019

Mots-clés : Modélisation, incendie, fumées