

ETCHE

Modélisation de la dispersion atmosphérique et de l'opacité des fumées d'incendie

PROJET D'ENTREPOT

Site ITM LAI à SAINT-PAUL-LES-DAX [40]

Rapport d'étude n°1

N/réf. : 222 209 127

Destinataires	ETCHE	ECORCE ICPE conseil Madame Lola DEGENEVE Chargée d'affaires Environnement et Risques Industriels 7 Rue Robert et Reynier 69190 Saint-Fons Lola.degeneve@icpe-conseil.fr
Date :	24/04/2023	

Suivi des modifications

Nom du Fichier	Date	Objet des modifications	Rédacteur	Relecteur	Superviseur
Rapport_étude_Ecorce_Icpe_Conseil_ETCHE _ITM_St-Paul-lès- Dax_Dispersion_Opacité_N1	24/04/2023	Création	TS	RG	RG

Sommaire

1. Préambule	5
2. Contexte	5
3. Méthodologies et références utilisées	6
4. Modélisations de la dispersion des fumées toxiques.....	7
4.1. <i>Présentation de la méthode d'analyse de la composition des fumées</i>	<i>7</i>
4.1.1. <i>Définition des termes sources</i>	<i>7</i>
4.1.2. <i>Paramètres thermocinétiques.....</i>	<i>8</i>
4.1.3. <i>Composition des fumées : les polluants</i>	<i>10</i>
4.2. <i>Description des méthodes de résolution.....</i>	<i>11</i>
4.2.1. <i>Présentation du modèle de dispersion numérique.....</i>	<i>11</i>
4.2.2. <i>Conditions météorologiques</i>	<i>11</i>
4.2.3. <i>Évaluation de l'intensité du phénomène.....</i>	<i>12</i>
4.3. <i>Caractérisation des foyers d'incendie</i>	<i>13</i>
4.3.1. <i>Termes sources des incendies</i>	<i>13</i>
4.3.2. <i>Composition des fumées</i>	<i>14</i>
4.3.3. <i>Seuils de toxicité.....</i>	<i>15</i>
4.4. <i>Résultats de la modélisation de la dispersion</i>	<i>15</i>
5. Modélisation de l'opacité des fumées	18
5.1. <i>Visibilité dans le panache de fumées</i>	<i>18</i>
5.2. <i>Résultats de la modélisation de l'opacité</i>	<i>19</i>
6. Conclusion	21

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : DEVENIR DES ELEMENTS ET DES SOURCES POTENTIELLES DE NUISANCE (SOURCE : INERIS)	10
TABLEAU 2 : CONDITIONS METEOROLOGIQUES UTILISEES POUR LES SIMULATIONS NUMERIQUES	11
TABLEAU 3 : VALEURS DE REFERENCE RELATIVES AUX SEUILS D'EFFETS TOXIQUES	12
TABLEAU 4 : VALEURS DE REFERENCE POUR L'EVALUATION DE LA TOXICITE DES FUMEEES (TEMPS D'EXPOSITION : 60 MIN).....	13
TABLEAU 5 : PARAMETRES DU TERME SOURCE DES FUMEEES DE CHAQUE SCENARIO	13
TABLEAU 6 : GAZ TOXIQUES PRIS EN COMPTE DANS LES FUMEEES	14
TABLEAU 7 : CONCENTRATION DE POLLUANTS DANS LES FUMEEES.....	14
TABLEAU 8 : CARACTERISATION DE LA TOXICITE DES FUMEEES.....	15
TABLEAU 9 : RESULTATS DE LA MODELISATION DE LA DISPERSION DES FUMEEES TOXIQUES	15
TABLEAU 10 : VISIBILITE MINIMALE EN FONCTION DE LA VITESSE SUR ROUTE (SOURCE : CEREMA)	18
TABLEAU 11 : VISIBILITES MINIMALES REQUISES SUR LES AXES ROUTIERS A PROXIMITE DU SITE	19
TABLEAU 12 : RESULTATS DE LA MODELISATION DE L'OPACITE DE L'INCENDIE DU FOYER.....	19

Liste des figures

FIGURE 1 : LOCALISATION DU PROJET	5
FIGURE 2 : SCHEMATISATION DE LA GEOMETRIE D'UN INCENDIE SELON HESKESTAD (1984).....	7
FIGURE 3 : RESULTAT DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES FUMEEES D'INCENDIE – SEUIL SEI.....	16
FIGURE 4 : RESULTAT DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES FUMEEES D'INCENDIE– SEUIL SEL.....	16
FIGURE 5 : RESULTAT DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE DES FUMEEES D'INCENDIE– SEUIL SELS	17
FIGURE 6 : DENSITE OPTIQUE EN FONCTION DE LA DISTANCE AU FOYER.....	20

1. Préambule

Ce document est relatif aux modélisations de la dispersion atmosphérique et de l'opacité des fumées toxiques issues d'un incendie susceptible de se produire au sein du projet d'entrepôt ETCHE à Saint-Paul-lès-Dax.

Ces modélisations permettront de déterminer les distances de la source au niveau desquelles la concentration de polluants dans l'air ambiant atteint un seuil de toxicité.

La prestation s'inscrit dans le cadre du montage d'un Dossier, en accord avec la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement [ICPE].

2. Contexte

Le projet concerne un entrepôt situé à Saint-Paul-lès-Dax entre la D947 (Avenue Pierre Benoit) et l'allée des Cavaliers.

Les caractéristiques des incendies modélisés sur Flumilog ont été préalablement fournies.

La figure suivante présente la localisation géographique du site.



Figure 1 : Localisation du projet

3. Méthodologies et références utilisées

D'une manière générale, les phénomènes dangereux seront modélisés selon les méthodologies développées dans les références suivantes :

- INERIS, « Omega 16 - Recensement des substances toxiques (ayant un impact potentiel à court, moyen et long terme) susceptibles d'être émises par un incendie » v3.0, 11/07/2022 ;
- INERIS « Omega 2 - Modélisations de feux industriels (2014) » et dans le document du TNO – Yellow Book ;
- SFPE, The SFPE Handbook of Fire Protection Handbook, NFPA, 3rd edition, 2002 ;
- National Institute of Standards and Technology [NIST] ;
- CEREMA, « Conception des routes et autoroutes », 2018.

Les modélisations étudiées dans la suite de ce document concernent **la dispersion des fumées d'incendie avec recherche des conséquences toxiques et d'opacité**. Celles-ci sont obtenues avec le logiciel PHAST v8.71 (DNV).

4. Modélisations de la dispersion des fumées toxiques

4.1. Présentation de la méthode d'analyse de la composition des fumées

4.1.1. Définition des termes sources

Le « terme source » désigne la composition, en nature et en quantité, des fumées émises par l'incendie considéré.

Il constitue en pratique les données d'entrée pour la dispersion atmosphérique.

La composition physique et chimique du terme source dépend principalement des caractéristiques thermocinétiques de l'incendie, de la composition des fumées en polluants, et de l'influence de la ventilation au niveau du foyer.

Les caractéristiques thermocinétiques nécessaires à la définition du terme source sont les suivantes :

- Le débit de fumées — qui va fixer la quantité de produits émise dans l'atmosphère ;
- La vitesse d'émission — qui dépend principalement de la température des gaz de combustion (la vitesse ascensionnelle résulte des forces d'Archimède sur le volume de gaz chauds) ;
- La hauteur d'émission — qui correspond à la hauteur moyenne des flammes ;
- La température — qui résulte principalement de la nature des combustibles ainsi que des conditions de ventilation du foyer.

Il est supposé que l'incendie modélisé se rapporte à un feu ouvert (feu bien ventilé). Ces feux ont lieu avec un excès d'air dans des espaces ouverts, en l'occurrence, il est pris comme hypothèse que tous les feux se déroulent à l'air libre. Les combustibles gazeux et volatiles générés par la chaleur des flammes se mélangent avec l'air environnant et produisent une flamme de diffusion ayant une hauteur moyenne. Sous ces conditions, la combustion et la décomposition des produits sont supposées complètes.

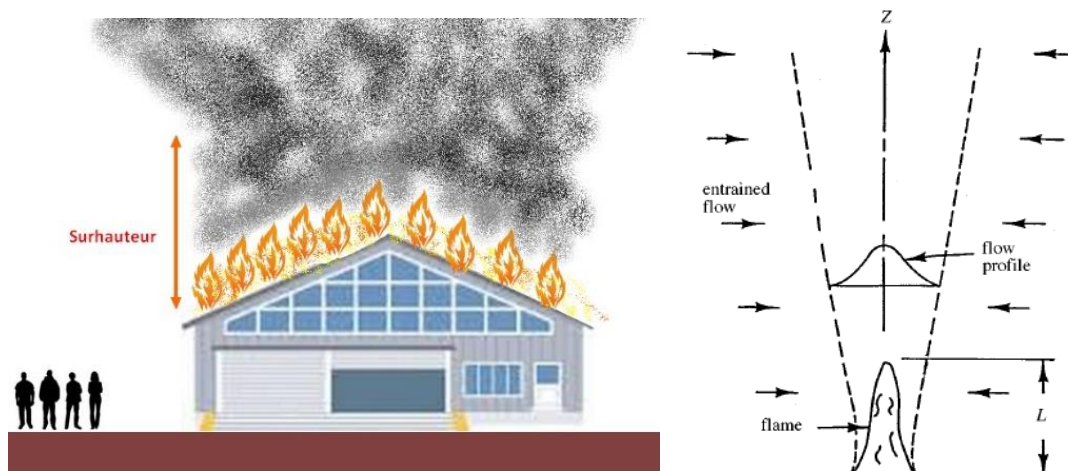


Figure 2 : Schématisation de la géométrie d'un incendie selon Heskestad (1984)

4.1.2. Paramètres thermocinétiques

- **Chaleur de combustion ΔH_c**

À défaut de valeur de valeur disponible dans la littérature, la chaleur de combustion ΔH_c peut être assimilée au pouvoir calorifique inférieur (PCI).

Il existe différentes méthodes qui permettent de calculer des valeurs acceptables de PCI à partir de la composition élémentaire ou de la formule chimique du produit. Parmi les premières corrélations développées, la formule de Boie, validée sur un nombre important de composés de type C, H, O, N, S, est probablement la plus appropriée pour un calcul raisonnable dans le domaine de l'incendie.

Pouvoir calorifique supérieur :

$$PCS = 35,160 * C + 116,225 * H - 11,090 * O + 6,280 * N + 10,485 * S$$

Pouvoir calorifique inférieur :

$$PCI = PCS - 21,96 * H$$

Où C, H, O, N, S sont les fractions massiques des éléments respectifs dans le produit.

- **Puissance convective Q_c**

La quantité de chaleur dégagée lors d'une combustion est fonction de la chaleur et de la vitesse de combustion. Ces deux paramètres conditionnent la puissance de la partie convectée de l'incendie, qui représente généralement 2/3 de la puissance totale.

$$Q_c = \frac{2}{3} * Q_t$$

et $Q_t = m'' * S * \Delta H_c$

Où :

- Q_t : Puissance thermique totale du panache [kW]
- Q_c : Puissance thermique convectée par le panache [kW]
- m'' : Vitesse de combustion surfacique [kg/(m².s)]
- S : Surface en feu [m²]
- ΔH_c : Chaleur de combustion du produit [kJ/kg]

- **Diamètre équivalent D_{eq}**

Dans le cas d'un feu de forme non circulaire, le diamètre équivalent D_{eq} est calculé à partir de la surface S de l'incendie :

$$D_{eq} = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}}$$

Où :

- D_{eq} : Diamètre équivalent [m]
- S : Surface en feu [m²]

Dans la configuration d'une cellule de forme allongée, dont la longueur est deux fois plus grande que la largeur, le diamètre équivalent est pris égal à la largeur de la cellule.

- **Débit total de fumées \dot{m}**

D'après Heskestad (1984), le débit total \dot{m} de fumées traversant la section à la hauteur d'émission $z-z_0$ peut être relié à la puissance thermique totale dégagée par l'incendie au moyen de la relation suivante :

$$\dot{m} = 0,071 * Q_c^{\frac{1}{3}} (z - z_0)^{\frac{5}{3}} (1 + 0,026 Q_c^{\frac{2}{3}} (z - z_0)^{\frac{-5}{3}})$$

Où :

- \dot{m} : Débit total des fumées [kg/s]
- Q_c : Puissance thermique convectée par le panache [kW]
- $z-z_0$: Hauteur d'émission des fumées [m]
- z_0 : Origine virtuelle du feu [m] telle que $z_0 = -1,02D + 0,083Q_c^{2/5}$ ou $z_0 = 0$ si stockage en rack

- **Vitesse de combustion surfacique m''**

Le taux de combustion moyen des produits est une valeur fixe fonction de la substance considérée et exprimée en $kg/(m^2.s)$. Les valeurs utilisées dans le présent document proviennent de la bibliographie.

- **Hauteur d'émission z_1**

Il existe plusieurs manières d'estimer la hauteur d'émissions des polluants. L'INERIS propose d'utiliser la formule d'Heskestad (1984) pour laquelle la hauteur z_1 correspond à la limite entre la partie de la flamme réactive et le panache essentiellement inerte où la température atteint l'écart de 250 °C par rapport à l'air ambiant tel que :

$$z_1 = -1,02D_{eq} + 0,083Q^{\frac{2}{5}}$$

Où :

- D_{eq} : Diamètre équivalent [m²]
 - Q : Puissance thermique de l'incendie [kW]
- La hauteur d'émission des fumées peut être considérée égale à la hauteur des flammes calculée par FLUMilog si celle-ci est plus pénalisante que l'équation d'Heskestad, ou à celle des exutoires d'un bâtiment si celui-ci résiste suffisamment à l'incendie.

- **Température du panache T_0**

La température moyenne des fumées correspond à la moitié de l'élévation de la température sur l'axe du panache par rapport à l'atmosphère tel que défini par Heskestad (1984) :

$$T_0 = 12,4. Q_c^{2/3} (z - z_0)^{(5/3)}$$

Où :

- T_0 : Température moyenne dans le panache [K]
- Q_c : Puissance thermique convectée par le panache [kW]
- $z-z_0$: Hauteur d'émission des fumées [m]

- **Vitesse ascensionnelle d'émission des fumées v_a**

La vitesse d'ascension des fumées est donnée par la relation suivante :

$$v_a = 1,02 * Q_c^{\frac{1}{3}} * (z - z_0)^{\frac{-1}{3}}$$

Où :

- V_a : Vitesse ascensionnelle d'émission des fumées [m/s]
- Q_c : Puissance thermique [kW]
- $z-z_0$: Hauteur d'émission des fumées [m]

4.1.3. Composition des fumées : les polluants

Les produits impliqués dans l'incendie vont se décomposer sous l'effet de la chaleur. Il faut retenir que les composés formés à la suite de cette dégradation sont potentiellement toxiques.

Le foyer est dimensionné à l'aide des hypothèses développées dans le document de l'INERIS intitulé « Recensement des substances toxiques (ayant un impact potentiel à court, moyen et long terme) susceptibles d'être émises par un incendie » (19/01/2022) et résumées dans le tableau suivant.

Tableau 1 : Devenir des éléments et des sources potentielles de nuisance (source : INERIS)

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

4.2. Description des méthodes de résolution

4.2.1. Présentation du modèle de dispersion numérique

Le calcul de la dispersion dans l'atmosphère est réalisé avec le logiciel PHAST (v8.71). Ce logiciel, commercialisé par DNV Software, est largement utilisé dans l'industrie pour l'estimation des conséquences d'accidents. Il a été rigoureusement validé et vérifié en continu par des experts depuis plus de 30 ans. Le logiciel comporte un module de dispersion atmosphérique appelé « UDM » pour Unified Dispersion Model. Cet outil est un modèle intégral qui permet de prendre en compte les mécanismes physiques des fluides tels que :

- La turbulence dynamique lors de rejet sous forme de jet ;
- Les effets de gravité pour les gaz lourds ;
- Les effets de flottabilité pour les gaz légers.

Le modèle intégral utilise un modèle gaussien pour calculer la trajectoire et la dilution du panache dans sa phase passive.

4.2.2. Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques utilisées pour les différentes simulations sont celles indiquées dans 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.

Tableau 2 : Conditions météorologiques utilisées pour les simulations numériques

Condition météorologique	Classe de stabilité atmosphérique (Pasquill)	Vitesse de vent à 10 m du sol	Température sol et atmosphère	Humidité
A 3	Très fortement instable	3 m/s	20 °C	70 %
B 3	Très instable	3 m/s		
B 5	Très instable	5 m/s		
C 5	Instable	5 m/s		
C 10	Instable	10 m/s		
D 5	Neutre	5 m/s		
D 10	Neutre	10 m/s		
E 3	Stable	3 m/s	15 °C	
F 3	Très stable	3 m/s		

4.2.3. Évaluation de l'intensité du phénomène

Dans le cas étudié ici, il sera évalué le risque présenté par les fumées par rapport à une cible de 1,8 m (hauteur moyenne d'un visage pour l'Homme) placée au sol.

L'intensité des effets est représentée par la mesure physique de l'intensité du phénomène dangereux par rapport à des seuils définis.

Les seuils considérés pour caractériser l'intensité d'un phénomène dangereux sont ceux indiqués dans l'Annexe II 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.

Tableau 3 : Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets toxiques

Seuils d'effets toxiques pour l'homme par inhalation			
Durée d'exposition	Types d'effets	Concentration d'exposition	Zones de danger
De 1 à 60 minutes	Létaux significatifs	SELS (CL 5 %)	Zone des dangers très graves pour la vie humaine
	Létaux	SEL (CL 1 %)	Zone des dangers graves pour la vie humaine
	Irréversibles	SEI	Zone des dangers significatifs pour la vie humaine

SELS : Seuil des Effets Létaux Significatifs

SEL : Seuil des Effets Létaux

SEI : Seuil des Effets Irréversibles

CL : Concentration Létale

Le temps d'exposition considéré est de 60 minutes (durée d'exposition maximale). Afin de considérer les effets cumulés (« Effet cocktail »), il est défini un seuil toxicologique équivalent. À chaque type d'effet correspond un seuil équivalent défini par la formule suivante :

$$Seuil_{eq} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{Seuil_i}}$$

Où :

- n : nombre de composés
- Xi : fraction massique de polluant exprimée en pourcentage

Tableau 4 : Valeurs de référence pour l'évaluation de la toxicité des fumées (temps d'exposition : 60 min)

POLLUANTS	Unité	SELS	SEL	SEI	Source
Dioxyde de carbone (CO ₂) CAS : 124-38-9	[mg/m ³] ppm	73 200 ⁽¹⁾ 40 000 ⁽¹⁾	73 200 ⁽¹⁾ 40 000 ⁽¹⁾	73 200 ⁽¹⁾ 40 000 ⁽¹⁾	INERIS – Fiche de seuils de toxicité aiguë
Monoxyde de carbone (CO) CAS : 630-08-0	[mg/m ³] ppm	3 680 ⁽²⁾ 3 200 ⁽²⁾	3 680 3 200	920 800	
Monoxyde d'azote (NO) CAS : 10102-43-9	[mg/m ³] ppm	738 ⁽²⁾ 600 ⁽²⁾	738 600	98 80	
Dioxyde d'azote (NO ₂) CAS : 10102-44-0	[mg/m ³]	137	132	75	
	ppm	73	70	40	
Chlorure d'hydrogène (HCl) CAS : 7647-01-0	[mg/m ³]	565	358	60	
	ppm	379	240	40	
Acide fluorhydrique (HF) CAS : 7664-39-3	[mg/m ³]	232	155	82	
	ppm	283	189	100	
Acide phosphorique (HCN) CAS : 74-90-8	[mg/m ³]	69	45	11	
	ppm	63	41	10	

(1) Valeur non déterminée, il a été considéré par défaut la valeur IDLH « Immediately Dangerous to Life or Health »

(2) Valeur non déterminée, il a été considéré par défaut la valeur du SEL

4.3. Caractérisation des foyers d'incendie

En tenant compte des modélisations des flux thermiques réalisées par le *BE ECORCE Icp* Conseil et l'absence des effets dominos associés, les trois cellules étant similaires, un seul foyer est considéré pour la modélisation de la dispersion atmosphérique : **incendie généralisé d'une cellule (palettes 2662)**.

4.3.1. Termes sources des incendies

Les valeurs utilisées pour caractériser les foyers sont choisies dans une optique de majoration des résultats.

Tableau 5 : Paramètres du terme source des fumées de chaque scénario

Caractéristiques de l'incendie	Foyer 1
Durée de l'incendie ¹	97 min
Puissance maximale ¹	11 825 MW
Température des fumées ²	270 °C
Hauteur d'émission des fumées ¹	11,6 m
Débit d'émission des fumées ²	15 392,8 kg/s
Vitesse des fumées ²	1 050,24 m/s

¹ Résultats de FLUMilog

² Calculés avec les équations d'Heskestad

4.3.2. Composition des fumées

La composition des gaz des fumées dépend des combustibles. Les composants cités dans le tableau ci-dessous sont représentatifs des stockages étudiés lors de la modélisation des flux thermiques.

Tableau 6 : Gaz toxiques pris en compte dans les fumées

	Composants	Pourcentage massique	Gaz toxiques susceptibles de se former
	Foyer 1		
Palette 2662	Bois	9,5 %	CO, CO ₂
	Plastique PE	28,5 %	CO, CO ₂
	PVC	4,8 %	CO, CO ₂ , HCl
	Plastique PA	2,4 %	CO, CO ₂ , NO, NO ₂ , HCN
	Plastique PU	2,4 %	CO, CO ₂ , NO, NO ₂ , HCN
Panneaux photovoltaïques	EVA Transparent	3,6 %	CO, CO ₂
	Polyéthylène téréphtalate	0,2 %	CO, CO ₂
	Polyfluorure de vinylidène	0,2 %	CO, CO ₂ , HF
	Polyvinyle butyrate	0,6 %	CO, CO ₂
	Éthylène tétrafluoroéthylène	0,2 %	CO, CO ₂ , HF
	Phosphore	0,2 %	Peu former du H ₃ PO ₄
	Silicium	38,6 %	-
	Verre	5,7 %	-
	Cadre		-
	Bore	0,2 %	-
	Diséléniure de cuivre et d'indium	0,2 %	-
	Tellure de cadmium	0,2 %	-
	Argent + Cuivre	0,2 %	-
	Caoutchouc	0,2 %	CO, CO ₂
	Câblage PVC	0,2 %	CO, CO ₂ , HCl

D'après les données précédentes, il est possible de calculer les concentrations massiques de chaque polluant présent dans les fumées. La composition des fumées est complétée par de l'air entrainé par les effets thermo-convectifs de l'incendie.

Tableau 7 : Concentration de polluants dans les fumées

Foyer 1	
Polluant	Concentration massique
Dioxyde de carbone (CO ₂)	5,226 %
Monoxyde de carbone (CO)	0,372 %
Monoxyde d'azote (NO)	0,017 %
Dioxyde d'azote (NO ₂)	0,017 %
Chlorure d'hydrogène (HCl)	0,128 %
Cyanure d'hydrogène (HCN)	0,011 %
Fluorure d'hydrogène (HF)	0,011 %

4.3.3. Seuils de toxicité

Le tableau suivant présente les seuils de toxicité des fumées calculés pour chaque scénario.

Tableau 8 : Caractérisation de la toxicité des fumées

	Unité	Foyer 1
Seuil des effets irréversibles (SEI)	ppm	20 083
Seuil des effets létaux (SEL)	ppm	83 080
Seuil des effets létaux significatifs (SELS)	ppm	109 902

4.4. Résultats de la modélisation de la dispersion

Tableau 9 : Résultats de la modélisation de la dispersion des fumées toxiques

Conditions météorologiques	Distance par rapport au bord du foyer atteinte à hauteur d'Homme (1,80 m)		
	Distance SEI (m)	Distance SEL (m)	Distance SELs (m)
A 3	N/A	N/A	N/A
B 3	N/A	N/A	N/A
B 5	N/A	N/A	N/A
C 5	N/A	N/A	N/A
C 10	N/A	N/A	N/A
D 5	N/A	N/A	N/A
D 10	N/A	N/A	N/A
E 3	N/A	N/A	N/A
F 3	N/A	N/A	N/A
Flux sortant des limites ICPE à hauteur d'Homme	-	-	-

N/A : non atteint à hauteur d'Homme

Il est à noter que les fumées ne retombent pas au niveau du sol, par conséquent aucun effet toxique n'est atteint à hauteur d'homme (1,80 m).

Les figures suivantes illustrent ces résultats et correspondent à la visualisation en vue latérale des résultats de la modélisation de la dispersion atmosphérique des polluants toxiques pour les seuils réglementaires considérés (SEI, SEL et SELs) en fonction des conditions météorologiques.

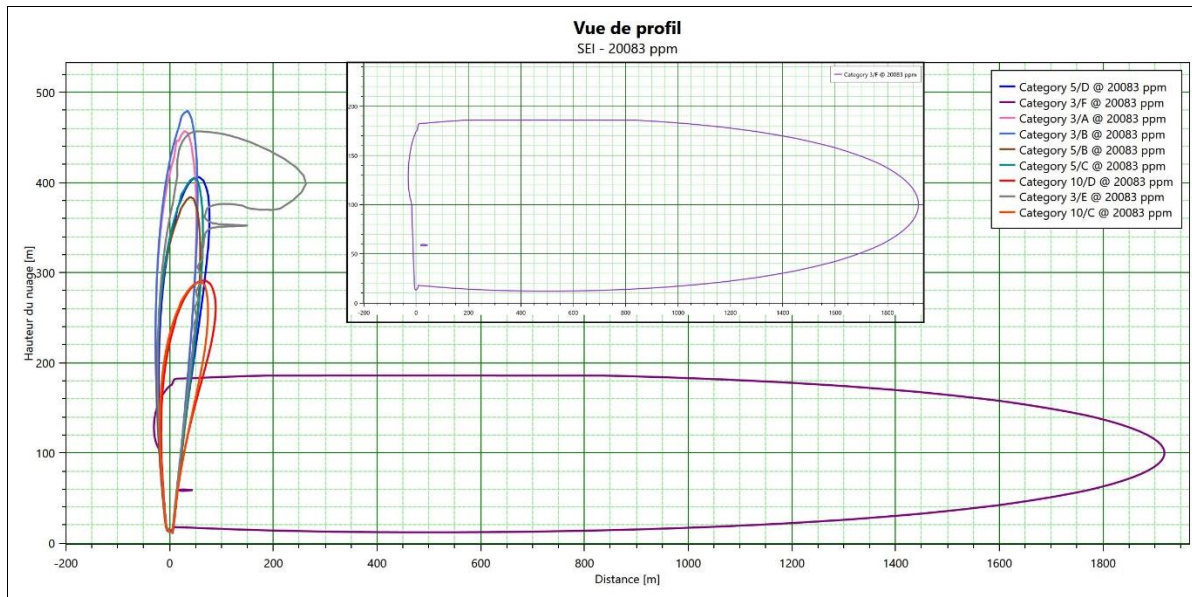


Figure 3 : Résultat de la dispersion atmosphérique des fumées d'incendie – Seuil SEI

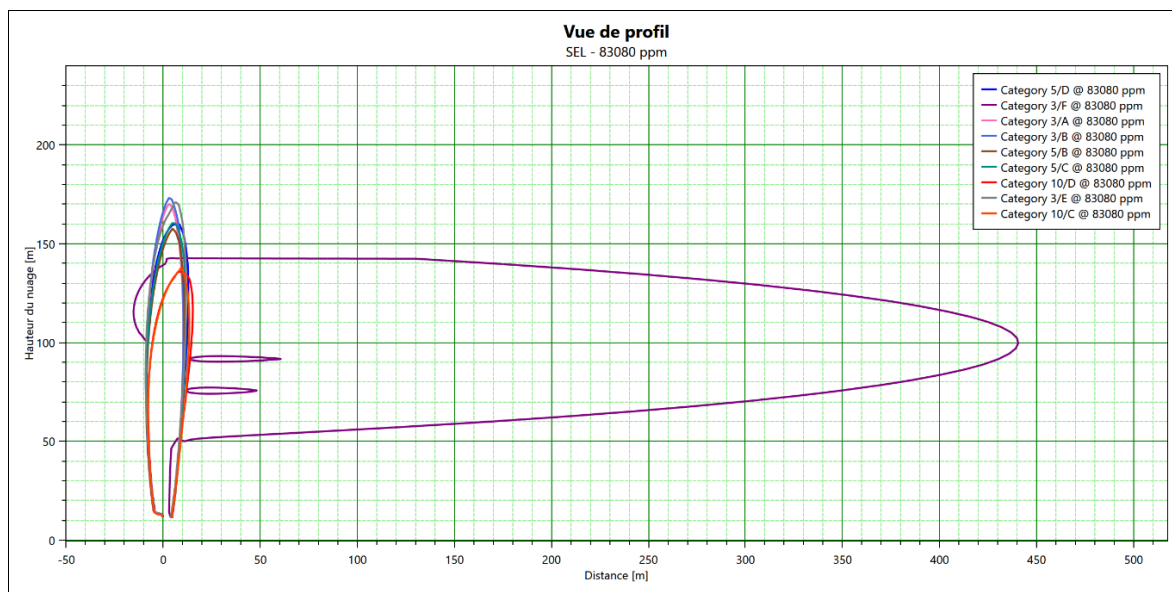


Figure 4 : Résultat de la dispersion atmosphérique des fumées d'incendie – Seuil SEL

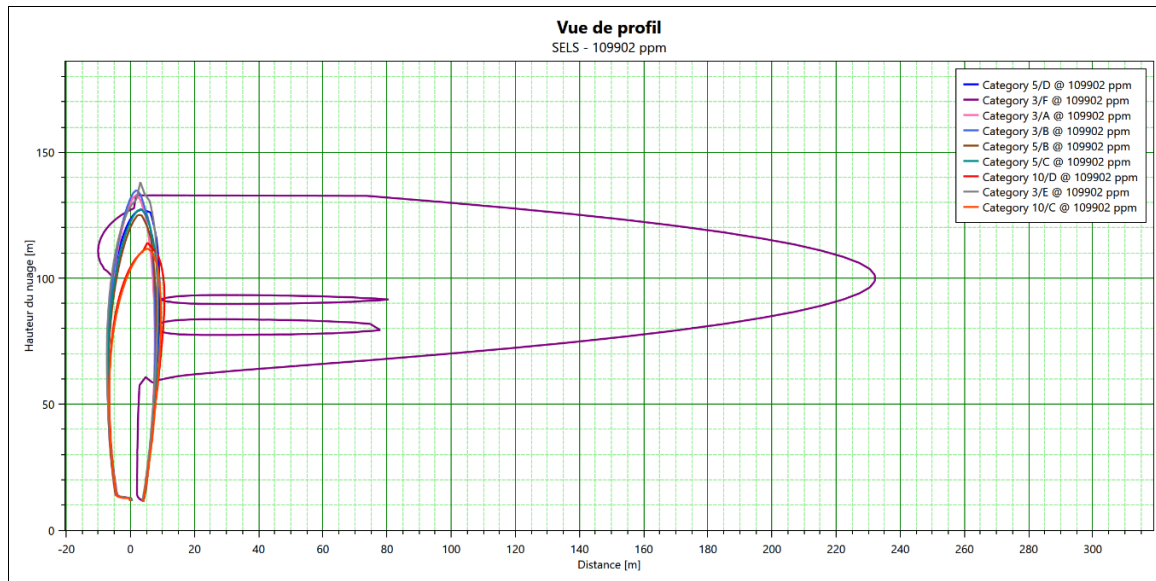


Figure 5 : Résultat de la dispersion atmosphérique des fumées d'incendie– Seuil SELs

5. Modélisation de l'opacité des fumées

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.

Pour évaluer la visibilité, le modèle de Steinert¹ est utilisé :

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

Avec :

- V : visibilité [m] ;
- k : coefficient compris entre 1 et 10 selon les auteurs, ici dans un objectif pénalisant k = 5 ;
- DO : densité optique [m⁻¹] : $DO = 36040 \frac{CO_2}{T_f}$;
- T_f : température des fumées au point où est calculée DO [K] (T_f au sol = T_{ambiante}) ;
- CO₂ : fraction volumique de CO₂ au même point [m³ de CO₂ / m³ de mélange gazeux].

5.1. Visibilité dans le panache de fumées

La visibilité sur un axe routier dépend de la vitesse V₈₅, considérée comme la vitesse en deçà de laquelle roulent 85 % des usagers. Hors carrefour, celle-ci est fixée à la vitesse maximale autorisée sur l'axe routier. La hauteur de visibilité est fixée à 1,10 m de hauteur et doit être supérieure à la distance d'arrêt minimale².

Tableau 10 : Visibilité minimale en fonction de la vitesse sur route (source : CEREMA)

V ₈₅ en km/h	30	50	70	80	90	110	130
Ligne droite [m]	25	51	87	112	135	188	250
Courbe [m]	26,5	55	96	125	152	214	286
Échangeur (entrée) [m]	-	-	85	110	140	195	285
Échangeur sortie [m]	-	83	117	133	150	183	217
Rond-point [m]	38	89	161	204	253	365	-

Les axes routiers autour du projet sont donnés dans le tableau suivant, accompagnés des seuils de référence de visibilité en fonction de la vitesse autorisée sur la voie. Les visibilités minimales considérées sont les plus pénalisantes.

¹ C. Steinert – Smokes and heat production in tunnel fires – Proceedings of the international Conference on Fires in tunnels – Borås – Suède – 10-11 octobre 1994

² CEREMA, « Conception des routes et autoroutes », 2018

Tableau 11 : Visibilités minimales requises sur les axes routiers à proximité du site

Axe de circulation		Vitesse autorisée	Visibilité minimale	Distance du foyer
D947 – Avenue Pierre Benoit	Ligne droite	50 km/h	51 m	160 m
Allée des Cavaliers	Ligne droite	50 km/h	51 m	210 m

Sur la base des hypothèses de calcul et de dispersion, présentées auparavant dans le document, et d'après la méthodologie décrite précédemment, les résultats sur l'opacité des fumées d'incendie des scénarios considérés sont donnés dans les parties suivantes. Ils sont ensuite systématiquement comparés aux distances minimales de visibilité présentées dans le tableau ci-dessus.

Pour circuler sur la voie en sécurité, la visibilité obtenue par modélisation doit être supérieure à la visibilité minimale.

5.2. Résultats de la modélisation de l'opacité

Les résultats de la modélisation de l'opacité sont résumés dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 12 : Résultats de la modélisation de l'opacité de l'incendie du foyer

Condition météorologique	Distance par rapport au bord du foyer	Visibilité minimale	Visibilité à 160 m du site	Visibilité à 210 m du site
Foyer 1				
A3	768 m	> 1 km	> 1 km	> 1 km
B3	3 943 m	> 1 km	> 1 km	> 1 km
B5	656 m	> 1 km	> 1 km	> 1 km
C5	3 852 m	> 1 km	> 1 km	> 1 km
C10	390 m	> 1 km	> 1 km	> 1 km
D5	16 050 m	> 1 km	> 1 km	> 1 km
D10	1 867 m	> 1 km	> 1 km	> 1 km
E3	6 397 m	> 1 km	> 1 km	> 1 km
F3	685 m	69 m	91 m	83 m
Visibilité minimale à respecter			51 m	51 m

La visibilité est jugée suffisante pour toutes les conditions météorologiques sur les deux axes de circulation routière considérés. L'incendie du foyer étudié n'aura pas d'impact majeur sur la visibilité de la zone d'étude.

La figure suivante présente la densité optique en fonction de la distance au foyer pour chaque condition météorologique.

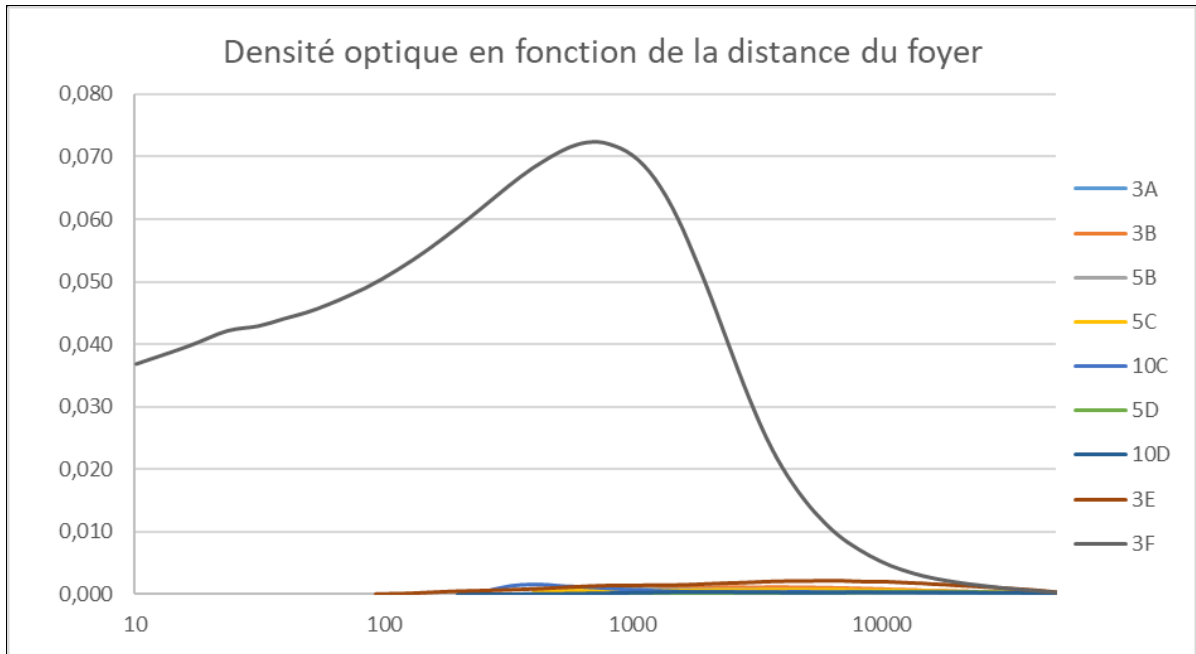


Figure 6 : Densité optique en fonction de la distance au foyer

6. Conclusion

Ce document présente les modélisations de la dispersion atmosphérique des fumées issues d'un incendie pouvant survenir au sein d'un entrepôt à Saint-Paul-lès-Dax.

Ce rapport fait état de la méthodologie mise en œuvre afin de réaliser cette prestation, ainsi que des résultats obtenus.

Les résultats recherchés étaient la toxicité ainsi que l'opacité de ces fumées d'incendie et leur impact sur l'environnement proche des projets.

L'analyse de la dispersion des fumées a démontré une absence d'atteinte des seuils de toxicité en dehors des limites de propriété à hauteur d'Homme pour tous les foyers d'incendie étudiés.

Enfin, le foyer d'incendie étudié n'entraîne pas de dégradation notable de la visibilité pour les axes de circulation considérés.

INFORMATION IMPORTANTE

Ces résultats ne sont valables que pour les hypothèses de travail considérées et ne sont en aucun cas transposables à d'autres scénarios.
L'appropriation et l'usage des résultats sont de la seule responsabilité de l'utilisateur.

Contact

Technisim Consultants

316 rue Paul Bert

69003 Lyon

04 37 69 92 80

technisim@wanadoo.fr

Le contenu de ce rapport est uniquement valable pour le projet faisant l'objet de la présente étude.
Toute utilisation à d'autres fins que celles du projet concerné doit faire l'objet d'une autorisation d'exploitation.

ADDENDA :

L'absence de remarque sous un mois à compter de la date de réalisation de l'étude vaut acceptation.

Toute reprise mineure ou majeure ultérieure sera susceptible de faire l'objet d'un avenant financier spécifique.

Nonobstant, le suivi administratif des services instructeurs est inclus dans la prestation.

→ FIN de DOCUMENT ←