

## DEN BRAVEN LE MEUX



# Etude de la dispersion des fumées en cas d'incendie des entrepôts de stockage Matières Premières (MP) et Produits Finis (PF)

Approuvé par	VACHON Marc	Expert Senior Maîtrise des Risques Industriels		
Vérfié par	GRUET Chrystelle	Responsable Activité Maîtrise des Risques Industriels		
Rédigé par	VACHON Marc	Expert Senior Maîtrise des Risques Industriels		
	Nom et Prénom	Fonction	Date	Visa

## Historique des évolutions

Indice	Date	Modifications (raisons principales, paragraphes et pages concernés)	Rédacteur / Vérificateur
A	Avril 2020	Première version	M. VACHON / C. GRUET

# SOMMAIRE

<b>RESUME .....</b>	<b>4</b>
<b>1. OBJET DU DOCUMENT .....</b>	<b>5</b>
<b>2. DOCUMENTATION DE REFERENCE .....</b>	<b>6</b>
<b>3. DONNEES .....</b>	<b>7</b>
<b>4. CONDITIONS DE DISPERSION .....</b>	<b>9</b>
<b>5. REACTIONS DE COMBUSTION DES PRODUITS ALIMENTANT L'INCENDIE.....</b>	<b>10</b>
<b>6. CELLULE DE STOCKAGE MP .....</b>	<b>11</b>
6.1. Caractérisation de la molécule équivalente.....	11
6.2. Réaction de combustion .....	11
6.3. Seuils d'effets toxiques des fumées.....	11
6.4. Terme source .....	12
6.5. Résultats .....	13
<b>7. CELLULE DE STOCKAGE PF.....</b>	<b>15</b>
7.1. Caractérisation de la molécule équivalente.....	15
7.2. Réaction de combustion .....	15
7.3. Seuils d'effets toxiques des fumées.....	15
7.4. Terme source .....	15
7.5. Résultats .....	16
<b>8. CONCLUSION .....</b>	<b>18</b>

## RESUME

La société DEN BRAVEN, située sur la commune du Meux (60), est spécialisée dans la fabrication et le conditionnement de mastics et colles polyuréthanes et hybrides.

En plus des ateliers de fabrication des produits, le site dispose de ses propres installations nécessaires au conditionnement des produits finis, au stockage des matières premières et des produits finis, au dépotage des produits en vrac et aux opérations de lavage du matériel.

Des calculs de dispersion de fumées toxiques, supposant un incendie affectant les entrepôts de stockage de Matières Premières et de Produits Finis, ont été menés

La composition des combustibles a été évaluée sur la base des hypothèses suivantes :

- ▶ Matières premières (en masse) : 20%PVC et 80% cellulose,
- ▶ Produits finis (en masse) : 20% cellulose, 50% PU (polyuréthane), 30% PVC.

Les calculs ont montré qu'aucun effet ne serait atteint au niveau du sol. En cas de vent fort (plus de 10 m/s) soufflant dans le sens de la largeur des entrepôts (du Nord-Est vers le Sud-Ouest), les fumées toxiques pourraient s'approcher du sol (à environ 2 m), du fait du sillage induit par la structure des bâtiments. Les effets à 2 m de hauteur concerneraient essentiellement la zone de stockage des déchets mais seraient susceptibles de sortir légèrement des limites de propriété.

Sur l'année, la proportion de vents forts, indépendamment de leur direction, est de 3% [DR01]. La probabilité d'occurrence d'effets toxiques à l'extérieur du site est très faible. De plus la zone vers laquelle seraient convectées les fumées se situe en contrebas et est utilisée pour le stockage de véhicules (fréquentation très limitée).

# 1. OBJET DU DOCUMENT

La société DEN BRAVEN, située sur la commune du Meux (60), est spécialisée dans la fabrication et le conditionnement de mastics et colles polyuréthanes et hybrides.

En plus des ateliers de fabrication des produits, le site dispose de ses propres installations nécessaires au conditionnement des produits finis, au stockage des matières premières et des produits finis, au dépotage des produits en vrac et aux opérations de lavage du matériel.

Le présent document constitue le rapport établi à l'issue du calcul de dispersion de fumées toxiques, dans l'hypothèse d'un incendie affectant les entrepôts de matières premières et de produits finis.

## 2. DOCUMENTATION DE REFERENCE

DR01	DEN BRAVEN – Site du Meux Mise à jour de l'étude de dangers site	Document Bertin Technologies 010873-001-DE001-A (Août 2019)
DR02	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering	NFPA, 2 <sup>nd</sup> Edition (1995)
DR03	Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003	NOR : DEVP1013761C
DR04	INERIS – Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs (DRA-35) : Toxicité et dispersion des fumées d'incendie, Phénoménologie et modélisation des effets (17/03/2005)	DRA35-Ω16
DR05	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	DEVP0540371A

### 3. DONNEES

Le plan de masse des installations est reporté Figure 1 ci-dessous [DR01]. Les entrepôts de matières premières (MP) et de produits finis (PF) y sont repérés.

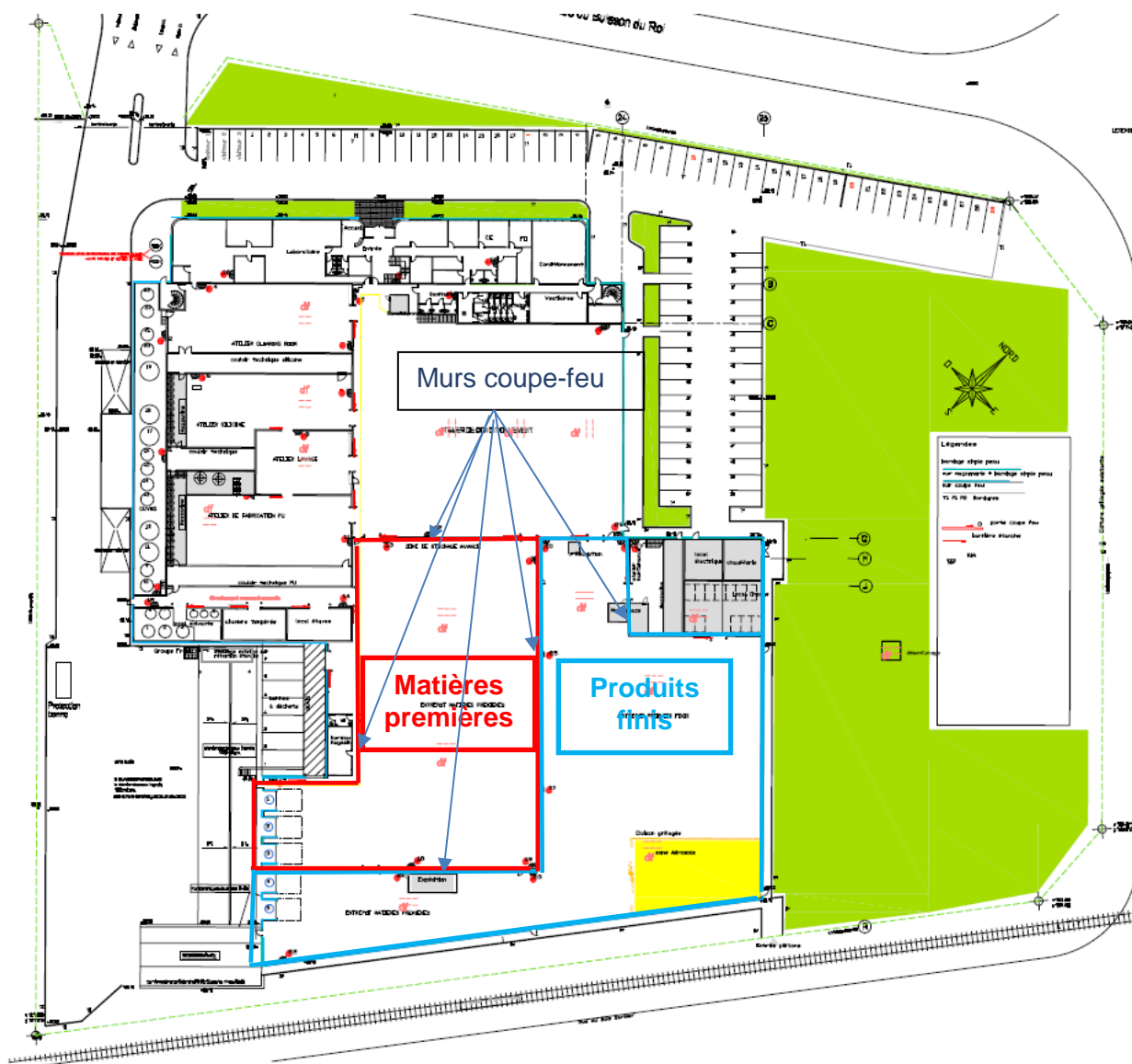


Figure 1 : Plan de masse des installations

Dans le cadre des calculs réalisés, l'emprise au sol des entrepôts a été ramenée à deux aires rectangulaires présentant les caractéristiques suivantes [DR01] :

Entrepôt	Matières Premières	Produits finis
Longueur	56,3 m	60,4 m
Largeur	32,8 m	34,8 m
Hauteur	8 m	8 m
Surface de stockage (exclusion des zones de préparation)	1 200 m <sup>2</sup>	1 545 m <sup>2</sup>
Composition des produits stockés	80% cellulose en masse (hydrocarbures présents assimilés à la cellulose, voir ci-dessous) 20% PVC (Polychlorure de vinyle) en masse	20% cellulose en masse 50% PU (polyuréthane) en masse 30% PVC en masse Aérosols non pris en compte (voir ci-dessous)

Tableau 1 : Caractéristiques des entrepôts

L'entrepôt de matières premières stocke des cartons, des containers de liquides (majoritairement des hydrocarbures classés non inflammables) ainsi que du PVC en poudre. Les produits de combustion sont donc constitués de monoxyde de carbone (CO), de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) et de chlorure d'hydrogène (HCl) émanant de la combustion du PVC. Le caractère toxique des fumées est principalement lié à la présence de HCl. L'exploitant a réalisé un inventaire qui a montré que le stock de PVC représente entre 14 et 17% de la masse totale (courriel du 30/03/2020). Pour les calculs de dispersion de fumées, il a été pris en compte la composition simplifiée mais néanmoins pénalisante reportée Tableau 1, les hydrocarbures présents étant assimilés à la cellulose (bois, cartons).

L'entrepôt de produits finis stocke des aérosols conditionnés (en transit sur le site), les mastics et colles polyuréthane conditionnés ainsi que du PVC. Pour les calculs de dispersion de fumées, il a été pris en compte la composition simplifiée mais néanmoins pénalisante reportée Tableau 1. **A terme les aérosols ne seront plus stockés sur le site.** Les gaz propulseurs des aérosols n'ont donc pas été inclus dans la composition, ce qui est défavorable vis-à-vis de la dispersion des produits de combustion dans la mesure où la présence de gaz liquéfiés contribue à augmenter l'énergie de combustion et donc la quantité de mouvement des fumées (panache moins sensible aux effets du vent).

Les parois sont coupe-feu (minimum 2 heures) sur 2 à 3 côtés. Au niveau de l'entrepôt PF les deux parois coupe-feu sont perpendiculaires l'une à l'autre. De ce fait, quelle que soit la direction du vent, au moins une paroi coupe-feu est présente en amont ou en aval de l'écoulement.

La présence des parois coupe-feu induit un effet de guidage des fumées type « cheminée ». Il est donc fait le choix de prendre en compte cet effet en supposant une émission à hauteur de paroi.



## 4. CONDITIONS DE DISPERSION

Les conditions atmosphériques retenues pour les modélisations sont définies par la circulaire du 10 mai 2010 [DR03].

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

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

**Tableau 2 : Détails des conditions atmosphériques 3F et 5D**

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

Stabilité atmosphérique (classes de Pasquill)	Vitesse de vent
A	3
B	3 et 5
C	5 et 10
D	5 et 10
E	3
F	3

**Tableau 3 : Détails des conditions atmosphériques à utiliser pour un rejet vertical ou un rejet de gaz léger ou un rejet en altitude**

Dans les cas envisagés (rejet vertical de gaz légers), les neuf conditions de dispersion sont retenues.

La température de l'atmosphère et du sol peut être fixée à 20°C pour les conditions de stabilité atmosphérique comprises entre A et E et à 15°C pour la condition de stabilité atmosphérique F. L'humidité relative est prise égale à 70%.

La hauteur des rugosités au sol est fixée à 950 mm, valeur pénalisante du point de vue de la dispersion au voisinage de l'entrepôt (une importante hauteur de rugosité contribue à augmenter la hauteur de la couche limite atmosphérique, réduire la vitesse à proximité du sol et par conséquent diminuer l'influence des effets de dilution).

## 5. REACTIONS DE COMBUSTION DES PRODUITS ALIMENTANT L'INCENDIE

Les 3 produits supposés alimenter l'incendie sont :

- La cellulose (bois, cartons),
- Le PVC,
- Le polyuréthane.

Des formules chimiques brutes approximatives de chaque produit, établies en considérant la présence d'un seul atome de carbone dans les molécules, sont fournies dans la référence [DR02].

Produit	Formule brute [DR02]
Cellulose	CH <sub>1,7</sub> O <sub>0,83</sub>
PVC	CH <sub>1,5</sub> Cl <sub>0,5</sub>
PU	CH <sub>1,7</sub> O <sub>0,3</sub> N <sub>0,08</sub>

Tableau 4 : Formules brutes approximatives des combustibles

La référence [DR02] indique également les quantités de CO produites par unité de masse de produit brûlé. De plus Il est fait l'hypothèse que 35% de l'azote présent dans le combustible est transformé en HCN (cyanure d'hydrogène) et NO<sub>2</sub> (dioxyde d'azote) en proportion équimolaire [DR04].

A partir de ces hypothèses, les réactions de combustion dans l'air des différents produits peuvent être écrites, les réactions concernant chaque entrepôt étant des combinaisons linéaires (au prorata des pourcentages massiques) de celles-ci.

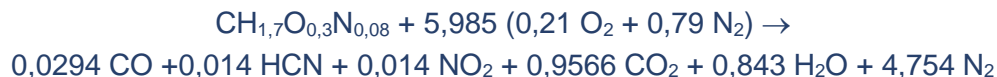
### ► Cellulose



### ► PVC



### ► PU



## 6. CELLULE DE STOCKAGE MP

### 6.1. Caractérisation de la molécule équivalente

Sur la base de la répartition massique indiquée au chapitre 3, la formule brute déterminée pour la molécule équivalente est la suivante :



Les débits de combustion des différents composés sont évalués à partir des données figurant dans la référence [DR02] :

Composé	Débit de combustion (g/m <sup>2</sup> /s)
Bois / Papiers / Carton	14
Polychlorure de vinyle (PVC)	6
Polyuréthane (PU)	29

Tableau 5 : Débits de combustion des différents constituants

Le débit de combustion moyen, compte tenu de la répartition massique, est évalué à 12,4 g/m<sup>2</sup>/s.

### 6.2. Réaction de combustion

La réaction de combustion de la molécule équivalente dans l'air prend la forme :



### 6.3. Seuils d'effets toxiques des fumées

Conformément à l'arrêté du 29 septembre 2005 [DR05] et à la fiche 1.1.11 de la circulaire du 10 mai 2010 [DR03], la durée d'exposition retenue est de 60 minutes.

Les seuils d'effet des principaux toxiques émis pour une durée d'exposition de 60 minutes sont récapitulés ci-après.

Les effets toxiques sont combinés suivant la loi d'additivité mentionnée par l'INERIS dans son ouvrage référencé OMEGA 16 [DR04]. Le seuil équivalent noté  $\text{Seuil}_{\text{équivalent}}$  d'effet toxique est calculé selon la formule suivante :

$$\frac{1}{\text{Seuil}_{\text{équivalent}}} = \sum \frac{X_i}{\text{Seuil}_i}$$

avec :

$X_i$  : fraction molaire du polluant identifié

$\text{Seuil}_i$  : seuil d'effet du polluant  $i$  suivant le tableau 2 présenté ci-dessous.

Les seuils sont ramenés au mélange de gaz constituant les fumées.

Les seuils d'effets toxiques [DR05] sont les suivants pour le mélange de fumées.

Composé toxique	CO	HCl	Fumées
Fraction molaire dans les fumées	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,0153	/
Seuil des effets irréversibles sur une heure (ppm)	800	40	2 594
Seuil des premiers effets létaux sur une heure (ppm)	3 200	240	15 496
Seuil des effets létaux significatifs sur une heure (ppm)	3 200	379	24 288

Tableau 6 : Seuils d'effets toxiques cellule MP

## 6.4. Terme source

Le terme source est reconstitué pour une surface de stockage de 1 200 m<sup>2</sup> supposant que l'incendie déstructure entièrement la répartition en racks dans les cellules et que le combustible occupe alors toute la surface disponible, hormis la zone de préparation. Avec un taux de combustion de 12,4 g/m<sup>2</sup>/s, le débit total de combustion vaut 14,9 kg/s.

D'après la réaction de combustion, la quantité d'air stœchiométrique nécessaire à la combustion est de 5,17 kg d'air par kg de combustible.

Le débit total de fumées vaut 92 kg/s.

La hauteur de rejet est fixée à 8 m.

Le terme source finalement retenu pour le calcul de dispersion des fumées est le suivant :

Terme source incendie cellule MP	
Composition des fumées	0,0156 CO + 0,9844 CO <sub>2</sub> + 0,0888 HCl + 0,7879 H <sub>2</sub> O + 3,9301 N <sub>2</sub>
Débit	92 kg/s
Diamètre pour l'effet cheminée	Largeur de la cellule soit 32,8 m
Température	600°C
Hauteur d'émission	8 m
Direction d'émission	Verticale

Tableau 7 : Terme source incendie cellule MP

## 6.5. Résultats

Les calculs sont effectués à l'aide du logiciel PHAST® version 8.22.

Aucun effet au sol n'est atteint comme le montre les figures ci-dessous (seuil des effets irréversibles dans les différentes conditions atmosphériques).

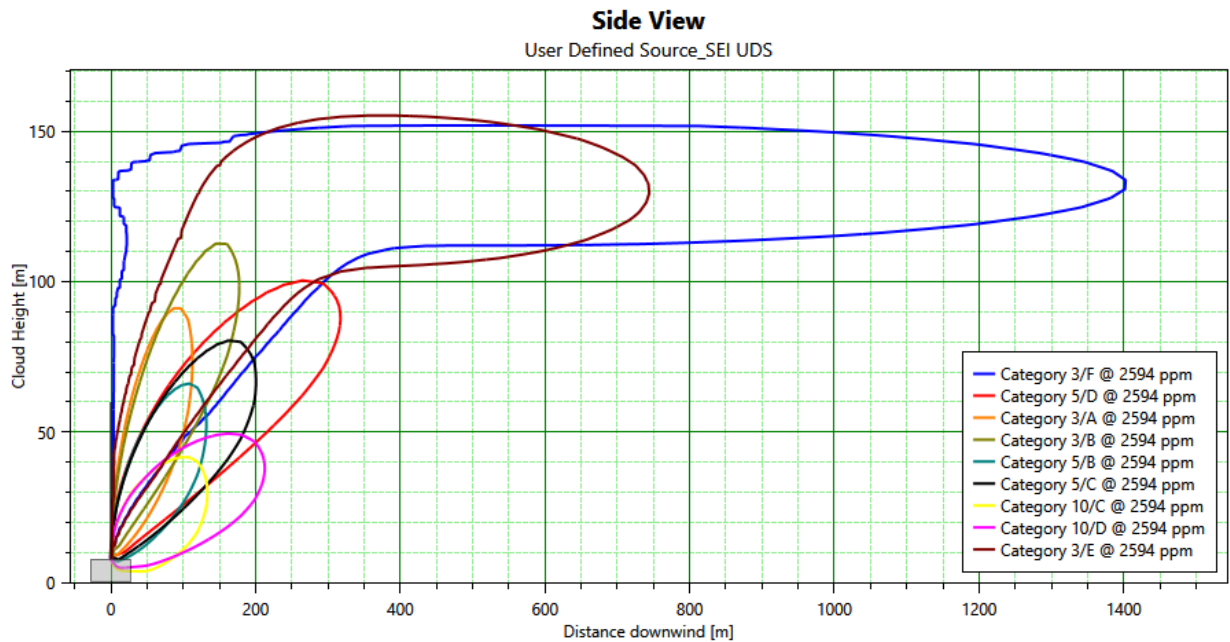


Figure 2 : Panache effets irréversibles cellule MP (rejet avec vent dans le sens de la longueur)

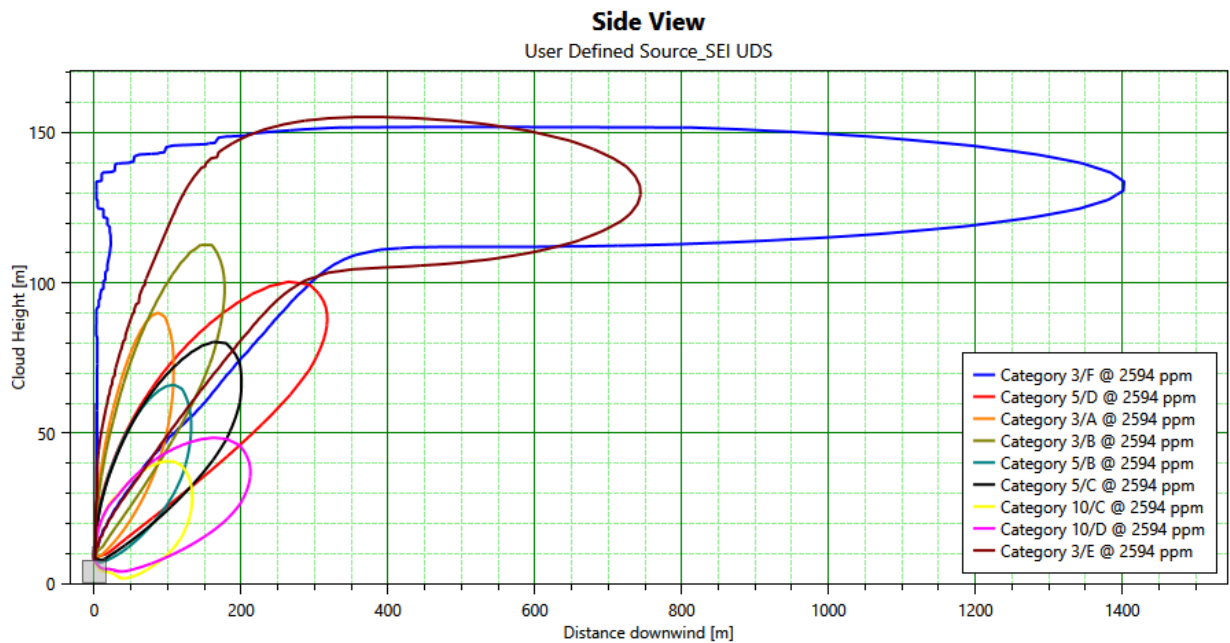
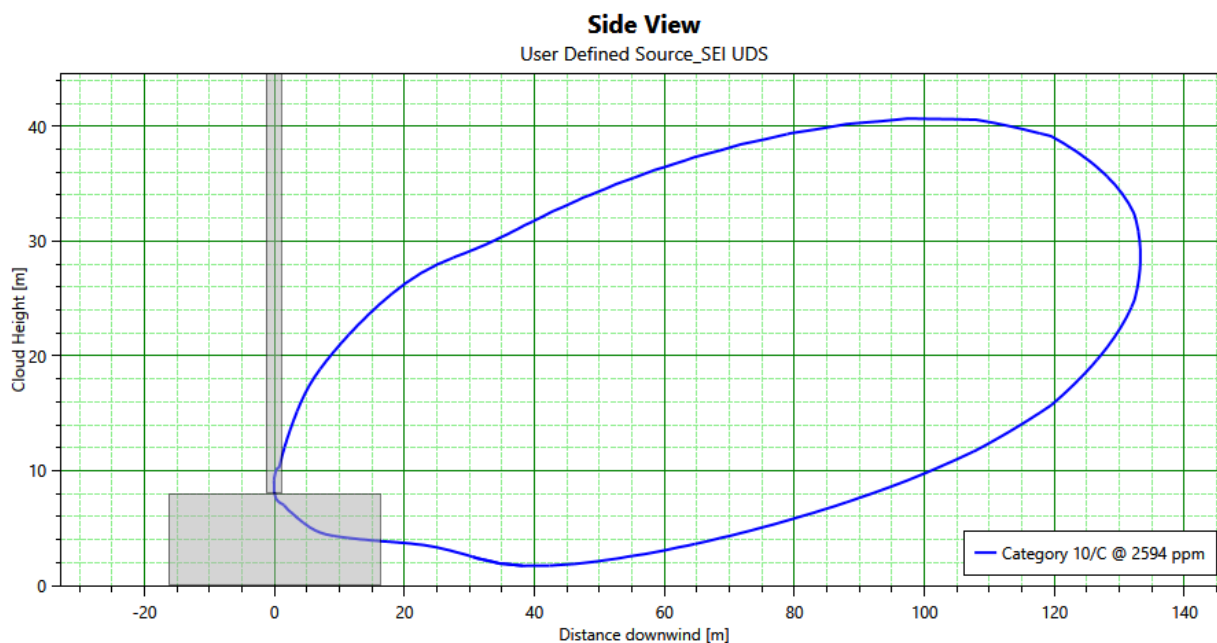


Figure 3 : Panache effets irréversibles cellule MP (rejet avec vent dans le sens de la largeur)

A une douzaine de mètres des bords du bâtiment, par vent fort (10 m/s) lorsque le vent souffle dans le sens de la largeur, la zone des effets irréversibles descendrait jusqu'à 2 m de haut.



**Figure 4 : Panache effets irréversibles cellule MP par vent fort (rejet avec vent dans le sens de la largeur)**

Toutefois cette situation affecterait en grande partie la zone de stockage des déchets et la zone de chargement/déchargement camions (internes au site).

Il est à noter que les contours des effets irréversibles sont en général représentatifs de la zone de perte importante de visibilité.

## 7. CELLULE DE STOCKAGE PF

### 7.1. Caractérisation de la molécule équivalente

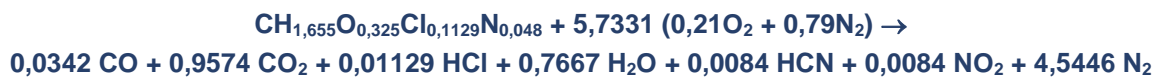
Sur la base de la répartition massique indiquée au chapitre 3, la formule brute déterminée pour la molécule équivalente est la suivante :



Le débit de combustion moyen, compte tenu de la répartition massique, est évalué à 15,6 g/m<sup>2</sup>/s.

### 7.2. Réaction de combustion

La réaction de combustion de la molécule équivalente dans l'air prend la forme :



### 7.3. Seuils d'effets toxiques des fumées

Les seuils d'effets toxiques [DR05] sont les suivants pour le mélange de fumées.

Composé toxique	CO	HCl	HCN	NO2	Fumées
Fraction molaire dans les fumées	0,0053	0,0176	0,0013	0,0013	/
Seuil des effets irréversibles sur une heure (ppm)	800	40	4,6 (SPEL/9)	40	1 312
Seuil des premiers effets létaux sur une heure (ppm)	3 200	240	41	70	7 981
Seuil des effets létaux significatifs sur une heure (ppm)	3 200	379	63	73	11 550

Tableau 8 : Seuils d'effets toxiques cellule PF

### 7.4. Terme source

Le terme source est reconstitué pour une surface de stockage de 1 545 m<sup>2</sup> supposant que l'incendie déstructure entièrement la répartition en racks dans les cellules et que le combustible occupe alors toute la surface disponible, hormis la zone de préparation. Avec un taux de combustion de 15,6 g/m<sup>2</sup>/s, le débit total de combustion vaut 24,1 kg/s.

D'après la réaction de combustion, la quantité d'air stœchiométrique est de 7,017 kg d'air par kg de combustible.

Le débit total de fumées vaut 193 kg/s.

La hauteur de rejet est fixée à 8 m.

Le terme source finalement retenu pour le calcul de dispersion des fumées est le suivant :

Terme source incendie cellule MP	
Composition des fumées	0,0342 CO + 0,9574 CO <sub>2</sub> + 0,01129 HCl + 0,7667 H <sub>2</sub> O + 0,0084 HCN + 0,0084 NO <sub>2</sub> + 4,5446 N <sub>2</sub>
Débit	193 kg/s
Diamètre pour l'effet cheminée	Largeur de la cellule soit 34,8 m
Température	600°C
Hauteur d'émission	8 m
Direction d'émission	Verticale

Tableau 9 : Terme source incendie cellule PF

## 7.5. Résultats

Les calculs sont effectués à l'aide du logiciel PHAST® version 8.22.

Aucun effet au sol n'est atteint comme le montre les figures ci-dessous (seuil des effets irréversibles dans les différentes conditions atmosphériques).

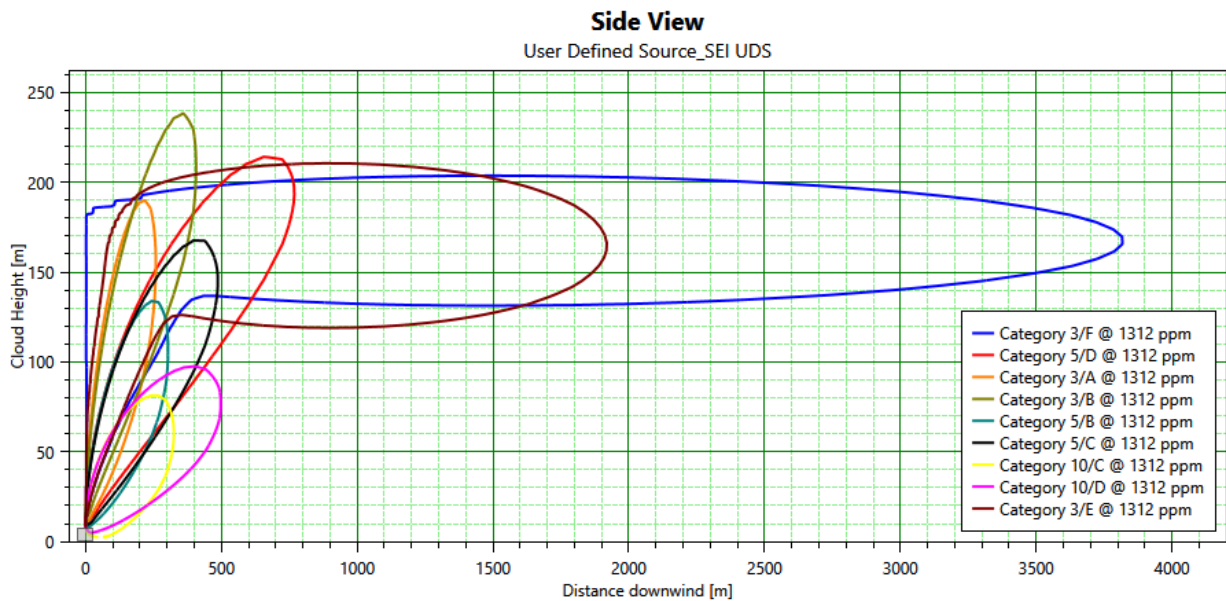
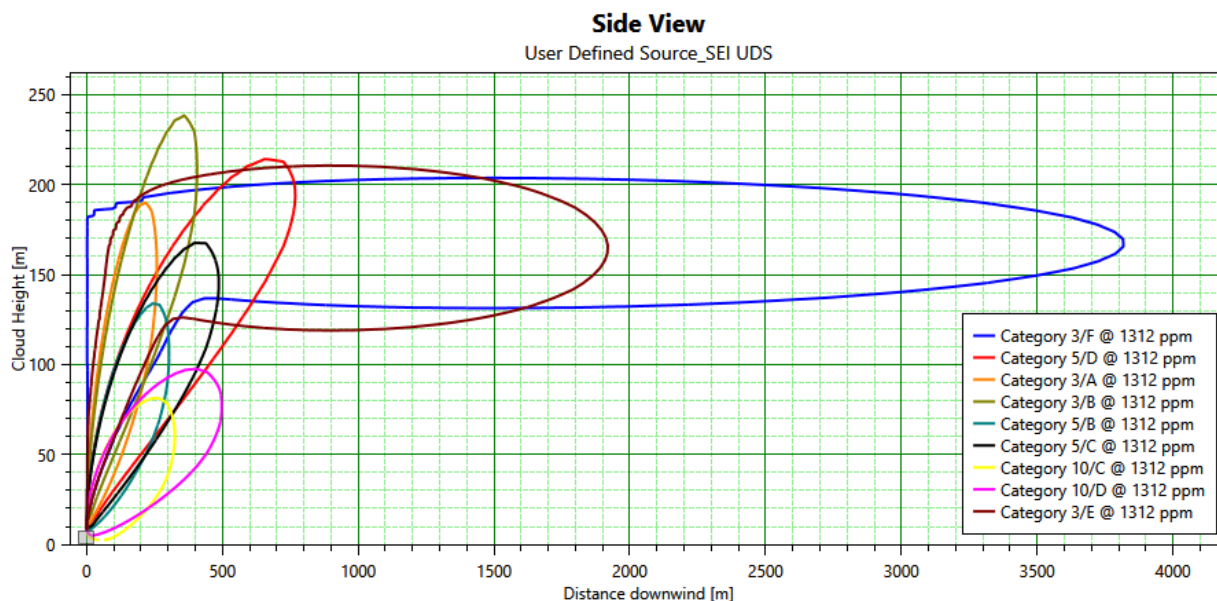


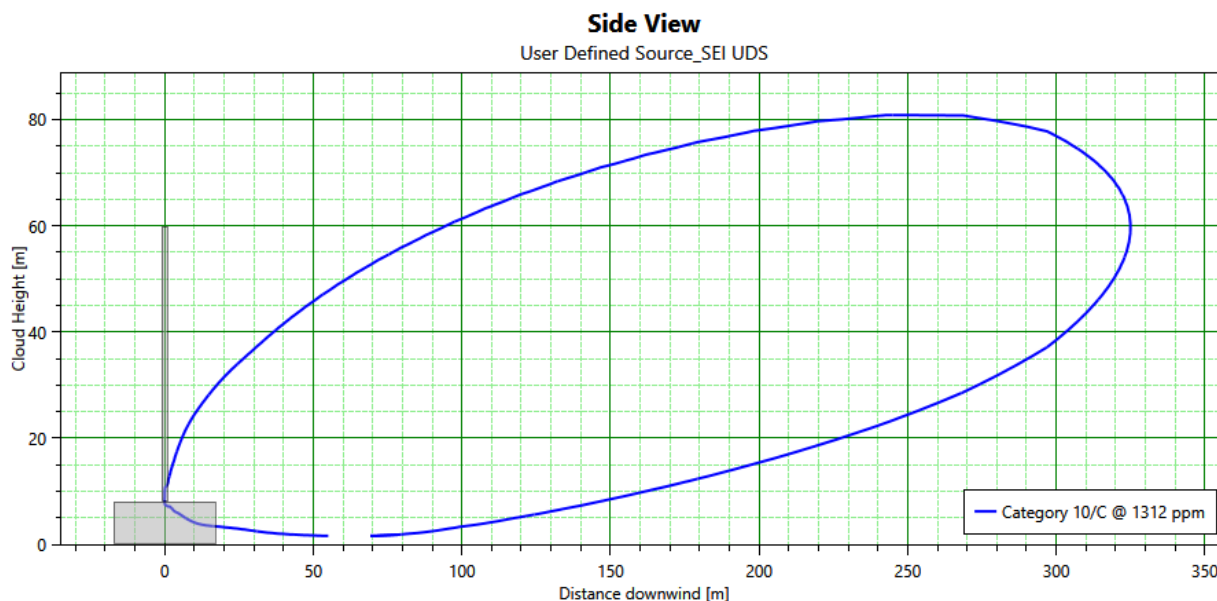
Figure 5 : Panache effets irréversibles cellule PF (rejet avec vent dans le sens de la longueur)





**Figure 6 : Panache effets irréversibles cellule PF (rejet avec vent dans le sens de la largeur)**

A une quarantaine de mètres des bords du bâtiment, par vent fort (10 m/s), la zone des effets irréversibles descendrait jusqu'à 2 m de haut.



**Figure 7 : Panache effets irréversibles cellule PF par vent fort (rejet avec vent dans le sens de la largeur)**

Toutefois cette situation affecterait en grande partie la zone de stockage des déchets et la zone de chargement/déchargement camions (internes au site).

## 8. CONCLUSION

Des calculs de dispersion de fumées toxiques, supposant un incendie affectant les entrepôts de stockage de Matières Premières et de Produits Finis du site du Meux de la société Den Braven, ont été menés

La composition des combustibles a été évaluée sur la base d'hypothèses pénalisantes. Les calculs ont montré qu'aucun effet ne serait atteint au niveau du sol. En cas de vent fort (plus de 10 m/s) soufflant dans le sens de la largeur des entrepôts (du Nord-Est vers le Sud-Ouest), les fumées toxiques pourraient s'approcher du sol (à environ 2 m), du fait du sillage induit par la structure des bâtiments. Les effets concerneraient essentiellement la zone de stockage des déchets mais seraient susceptibles de sortir légèrement des limites de propriété à deux mètres de hauteur.

Sur l'année, la proportion de vents forts est de 3% [DR01], indépendamment de leur direction. La probabilité d'occurrence d'effets toxiques à l'extérieur du site est très faible. De plus la zone vers laquelle seraient convectées les fumées se situe en contrebas et est utilisée pour le stockage de véhicules (fréquentation très limitée).