

INGEA



Etude de la réduction de visibilité et de la dispersion toxique suite à un incendie affectant un nouvel entrepôt de stockage

Approuvé par	VACHON Marc	Expert Senior Maîtrise des Risques Industriels		
Vérifié par	SERAL Yann	Ingénieur 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	05/2020	Première version	M. VACHON / Y. SERAL
B	05/2020	Correction de la localisation de l'entrepôt	M. VACHON / Y. SERAL
C	05/2020	Correction d'une coquille résiduelle	M. VACHON / Y. SERAL
D	06/2020	Mise à jour du plan de masse	M. VACHON / Y. SERAL

SOMMAIRE

1.	OBJET DU DOCUMENT	4
2.	DOCUMENTATION DE REFERENCE	5
3.	DONNEES	6
4.	CONDITIONS DE DISPERSION	8
5.	DISPERSION DES FUMÉES.....	9
5.1.	Combustible.....	9
5.2.	Combustion de la cellulose	9
5.3.	Combustion du polyéthylène (PE).....	9
5.4.	Combustion de l'huile	10
5.5.	Réaction de combustion globale	10
5.6.	Terme source	10
5.7.	Effets toxiques	11
5.8.	Résultats	12
5.8.1.	Effets toxiques.....	12
5.8.2.	Réduction de la visibilité	12
6.	CONCLUSION.....	15
7.	ANNEXE : DESCRIPTION DE LA METHODE DE CALCUL MISE EN ŒUVRE	16
7.1.	Spécification du terme source.....	16
7.2.	Opacification locale de l'atmosphère	17

1. OBJET DU DOCUMENT

INGEA établit un Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE) pour un futur entrepôt destiné à stocker des produits fabriqués par la société DAILYCER. Cet entrepôt sera implanté sur la commune de Faverolles (80).

Le futur entrepôt est classé ICPE au titre de la rubrique 1510.

Dans l'hypothèse d'un incendie affectant l'entrepôt, une étude visant à évaluer la dispersion toxique des fumées ainsi que la perte de visibilité associée à la présence de particules dans ces fumées doit être menée.

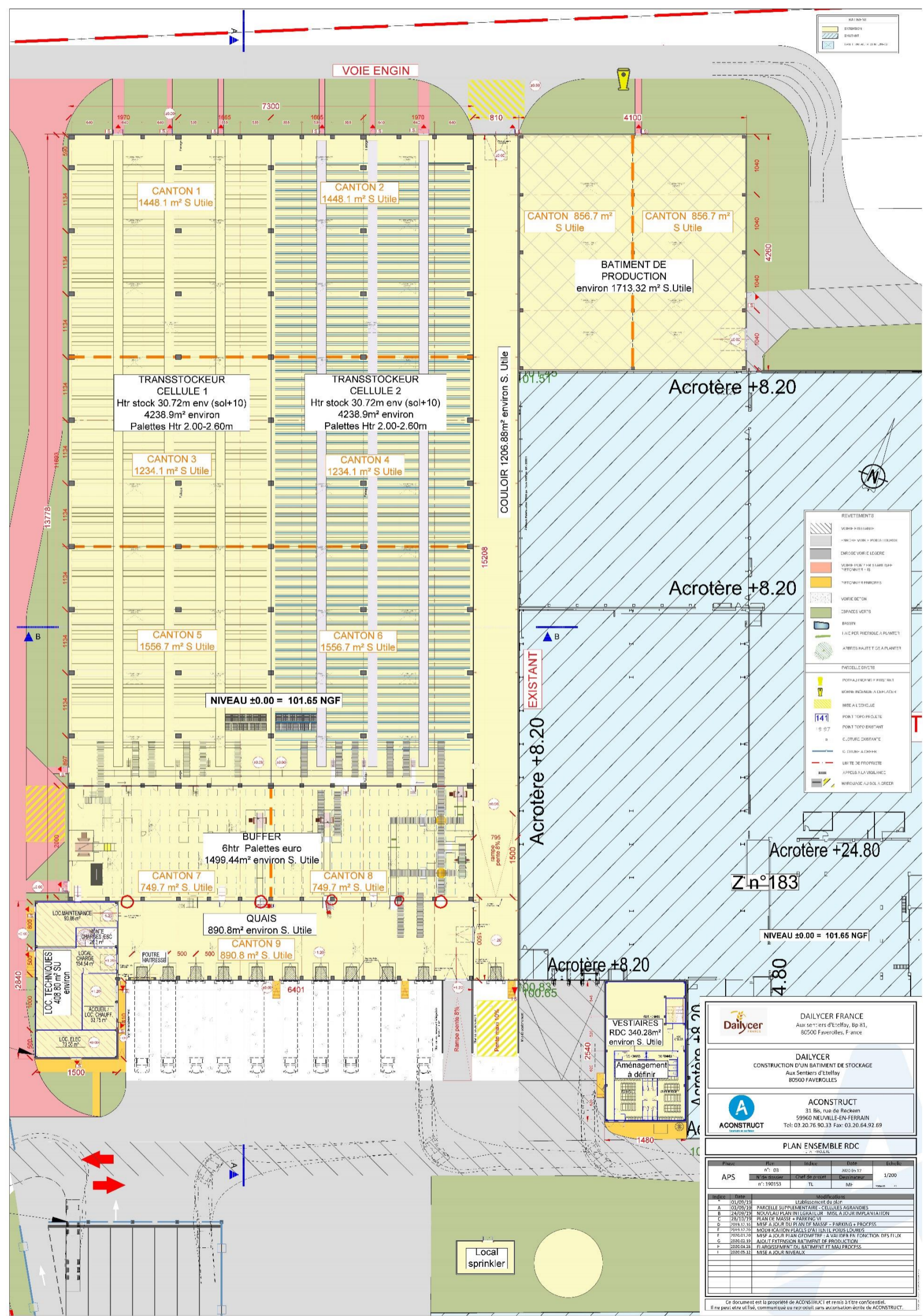
Le présent document constitue le rapport établi par Bertin Technologies à l'issue de cette étude.

2. DOCUMENTATION DE REFERENCE

DR01	Courriels INGEA	4/05/2020 11/05/2020 3/06/2020
DR02	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering	NFPA, 2 nd 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

3. DONNEES

Le plan de masse des installations est reporté figure 1 ci-dessous [DR01].



L'étude concerne les cellules 1 et 2.

Les dimensions de chaque cellule sont les suivantes :

- Longueur 116,9 m,
- Largeur 36,3 m,
- Hauteur 33,3 m.

La surface de stockage est de 4 240 m².

Toutes les parois sont coupe-feu, au minimum REI60 en partie haute. Les fumées vont se trouver guidées (effet type cheminée) jusqu'à hauteur de toiture, quelle que soit la direction du vent.

Il est donc fait le choix de prendre en compte cet effet en supposant une émission des fumées à hauteur de toiture.

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 1 : 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 2 : 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 (rejets verticaux de gaz légers en altitude), 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. DISPERSION DES FUMÉES

5.1. Combustible

La composition type d'une palette type pour l'activité exercée est la suivante :

- 279 kg de céréales,
- 57 kg de matière grasse (huile principalement),
- 5,35 kg de plastique (film),
- 48 kg de carton (étuis + caisse),
- 20 kg palette bois.

Ce qui donne approximativement en proportions massiques :

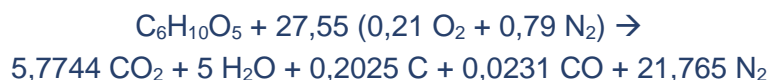
- 84,8% de cartons, bois et amidon assimilés à la cellulose ($C_6H_{10}O_5$),
- 13,9% d'huile assimilée à l'acide oléique ($C_{18}H_{34}O_2$),
- 1,3% de polyéthylène ($(C_2H_4)_n$).

5.2. Combustion de la cellulose

Les hypothèses prises en compte pour l'écriture de la réaction de combustion de la cellulose sont les suivantes :

- La quantité de particules produites (assimilées au carbone pur) est supposée équivalente à celle du bois (15 g par kg de matière brûlée [DR02]),
- La quantité de CO produite est supposée équivalente à celle du bois (4 g par kg de matière brûlée [DR02]),

La réaction de combustion dans l'air s'écrit :



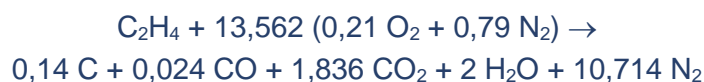
La chaleur de combustion effective (tenant compte de la production d'imbrûlés) vaut 12,4 MJ/kg. La fraction d'énergie rayonnée est de 30% et le débit de combustion de 14 g/m²/s.

5.3. Combustion du polyéthylène (PE)

La formule chimique du PE est celle du monomère C_2H_4 .

Lorsque ce produit brûle, le taux de production de CO est de 24 g/kg et le taux de production de particules (assimilées au carbone) de 60 g/kg [DR02].

La réaction de combustion dans l'air s'écrit par conséquent :



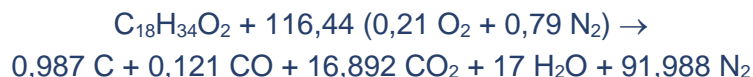
La chaleur de combustion effective (tenant compte de la production d'imbrûlés) vaut 38,4 MJ/kg. La fraction d'énergie rayonnée est de 43% et le débit de combustion de 18 g/m²/s (supposé identique à celui du polypropylène [DR02]).

5.4. Combustion de l'huile

L'huile est assimilée à l'acide oléique $C_{18}H_{34}O_2$.

Lorsque ce produit brûle, le taux de production de CO est de 12 g/kg et le taux de production de particules (assimilées au carbone) de 42 g/kg¹ [DR02] (valeurs pour des hydrocarbures similaires).

La réaction de combustion dans l'air s'écrit par conséquent :



La chaleur de combustion effective (tenant compte de la production d'imbrûlés) vaut 33,7 MJ/kg. La fraction d'énergie rayonnée est de 35% et le débit de combustion de 19 g/m²/s (valeur calculée à l'aide du logiciel PHAST®).

5.5. Réaction de combustion globale

Il est fait l'hypothèse d'une émission de fumées durant une heure pour un incendie pleinement développé.

Les fractions molaires de cellulose, de polyéthylène et d'acide oléique déduites de la composition massique retenue (voir paragraphe 5.1) valent respectivement 95,04%, 2,32% et 2,64%. La réaction globale s'écrit (combinaison linéaire des réactions mentionnées ci-dessus aux paragraphes 5.2, 5.3 et 5.4) :



La chaleur de combustion effective associée au mélange est de 17,6 MJ/kg.

La fraction d'énergie rayonnée vaut 32% et le débit de combustion est de 14,7 g/m²/s.

5.6. Terme source

Le terme source est reconstitué selon la méthode exposée en annexe. Pour une surface de stockage de 4 240 m², supposant que l'incendie déstructure entièrement la répartition en racks dans la cellule et que le combustible occupe alors toute la surface disponible, le débit total de combustible vaut 62,3 kg/s.

La quantité d'air nécessaire à la combustion est d'environ 6 kg d'air par kg de combustible.

Le débit total de fumées vaut 436,9 kg/s.

La fraction massique y_p de particules dans les fumées vaut $2,76 \cdot 10^{-3}$.

La hauteur de rejet est fixée à 33,3 m.

¹ Ces valeurs correspondent à celles identifiées pour des hydrocarbures similaires

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

Terme source incendie cellule de stockage	
Composition des fumées	0,2603 C + 0,031 CO + 6,3641 CO ₂ + 5,7303 H ₂ O + 26,5266 N ₂
Débit	436,9 kg/s
Température	600°C
Section d'émission	Section de la cellule
Hauteur d'émission	33,3 m
Direction d'émission	Verticale

Tableau 3 : Terme source incendie cellule de stockage

5.7.Effets toxiques

La seule espèce toxique dans les fumées est le monoxyde de carbone. Sa concentration est de 800 ppm, égale à la concentration correspondant aux effets irréversibles pour une exposition d'une heure.

Les fumées ne présenteront donc pas de risque d'effets toxiques aigus à distance de l'entrepôt. Le risque est à éventuellement à prendre en compte vis-à-vis des personnes au contact direct du sinistre.

5.8. Résultats

5.8.1. Effets toxiques

Aucun effet toxique à distance du foyer n'est à redouter.

5.8.2. Réduction de la visibilité

La forme du panache de fumées à la concentration en fumées correspondant à une réduction de visibilité à 10 m (opacification complète), soit 11 901 ppm, est illustrée ci-dessous, d'une part dans des conditions de vent fort (10 m/s), d'autre part dans les conditions amenant à une distance maximale de dispersion en altitude (conditions 3F).

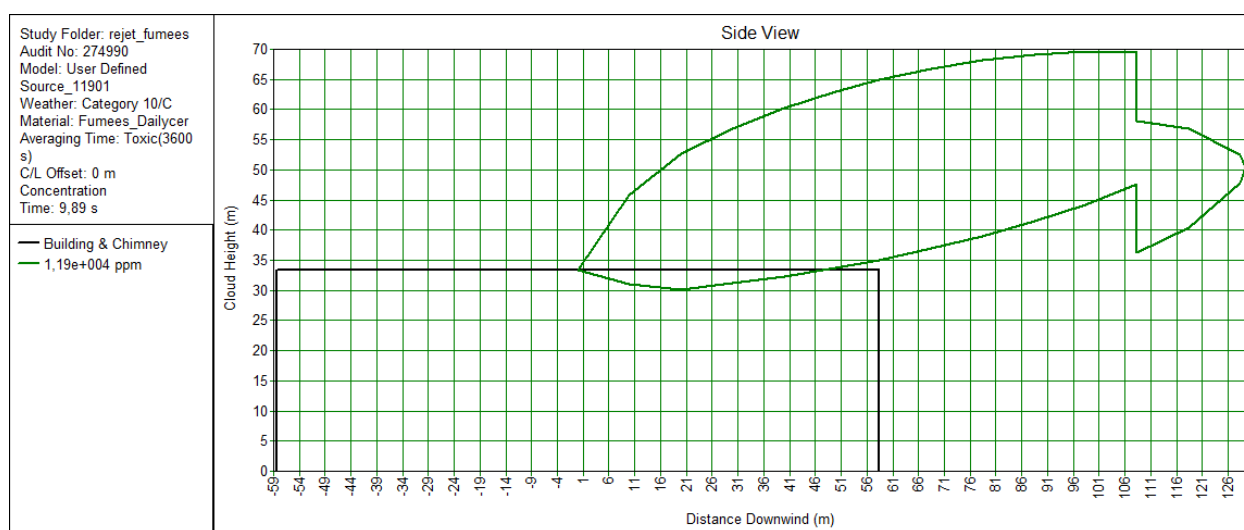


Figure 2 : Vue de côté du panache en conditions 10C

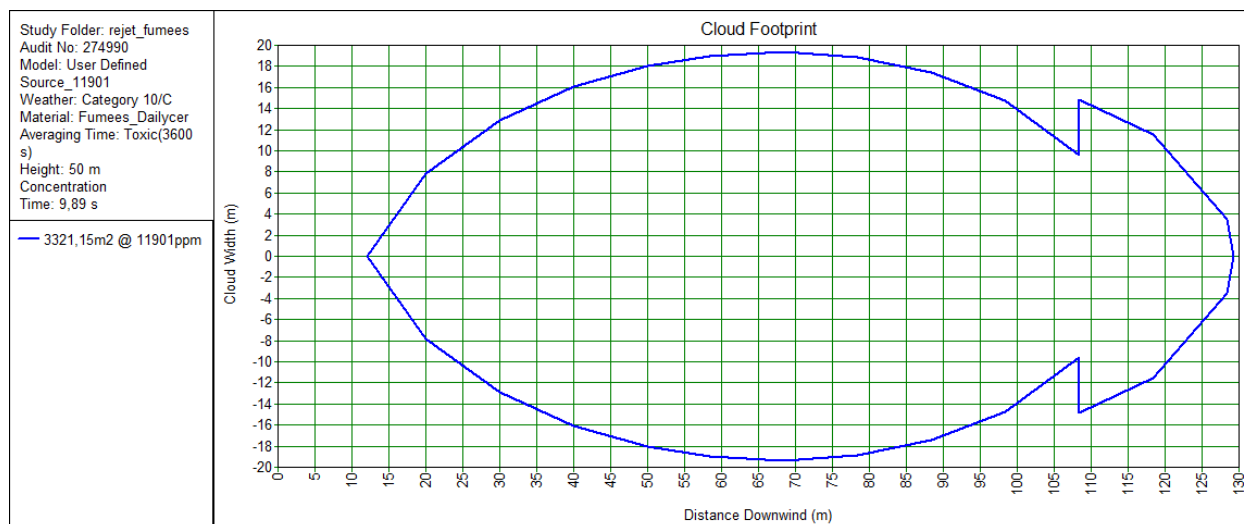


Figure 3 : Empreinte du panache en conditions 10C à 50 m de hauteur

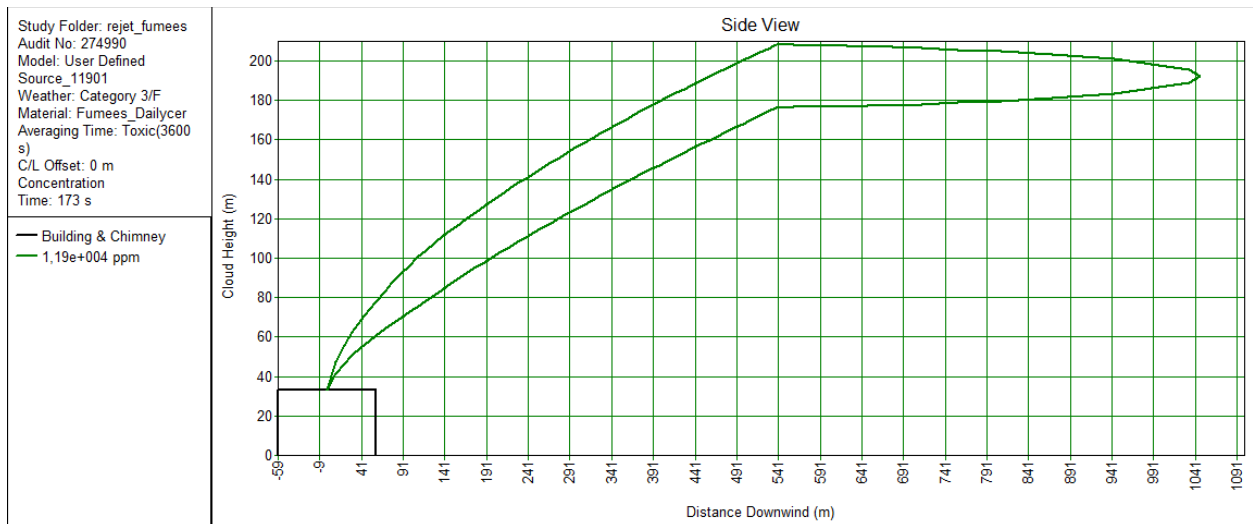


Figure 4 : Vue de côté du panache en conditions 3F

Les vues de côté du panache induisant une réduction de visibilité à des distances de 50 m (concentration en fumées de 2 380 ppm) et 100 m (concentration en fumées de 1 190 ppm) dans les conditions les plus pénalisantes (10C) sont fournies ci-dessous.

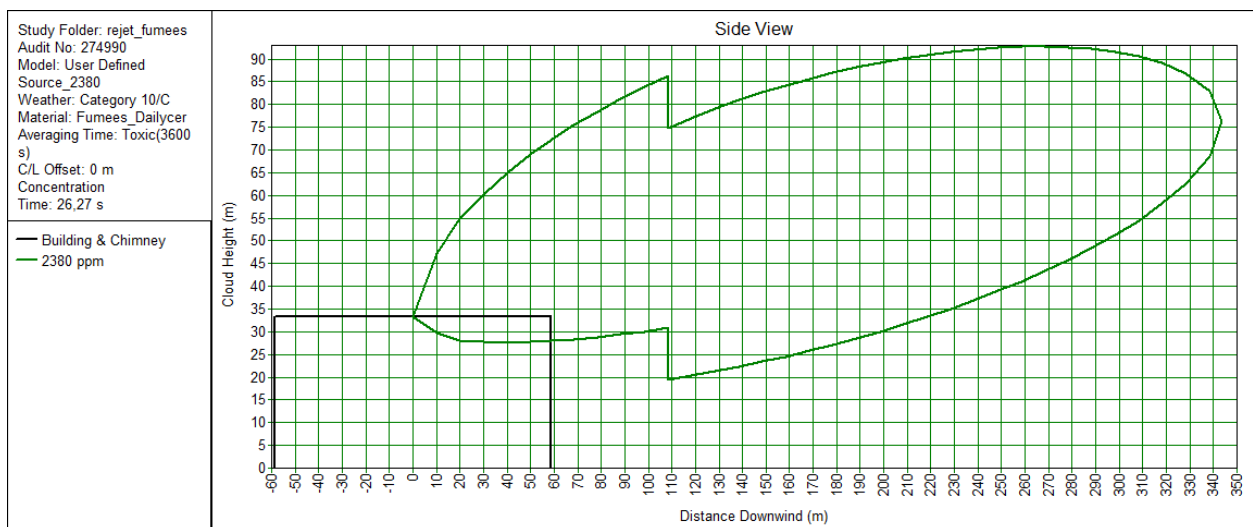


Figure 5 : Vue de côté du panache – Réduction de la visibilité à 50 m

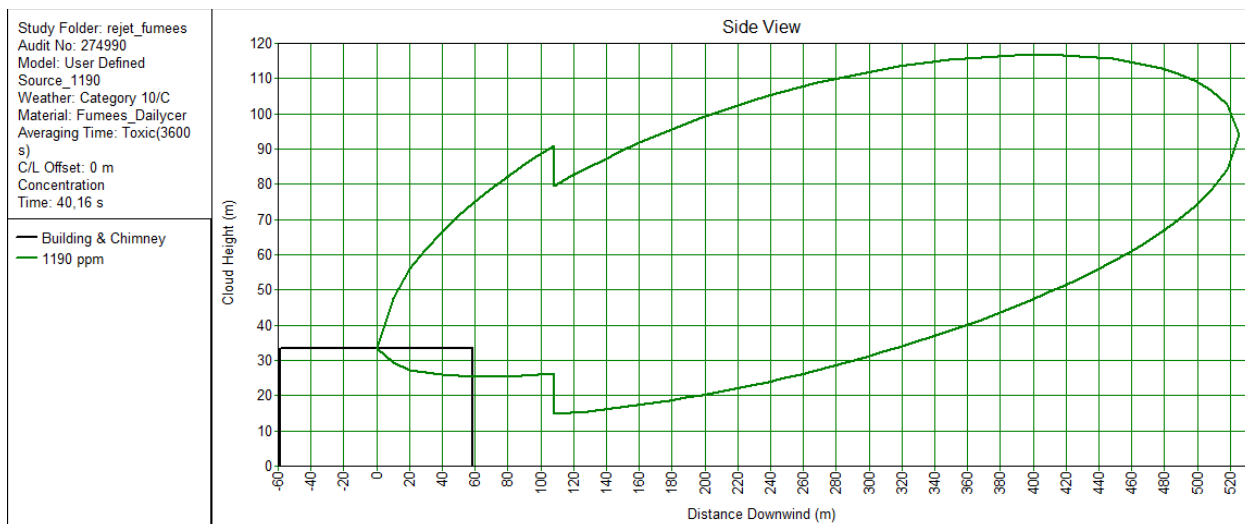


Figure 6 : Vue de côté du panache – Réduction de la visibilité à 100 m

La concentration maximale au sol dans une zone située à environ 250 m des parois de l'entrepôt serait de 340 ppm ce qui correspondrait à une visibilité d'environ 350 m et donc à une atténuation extrêmement faible.

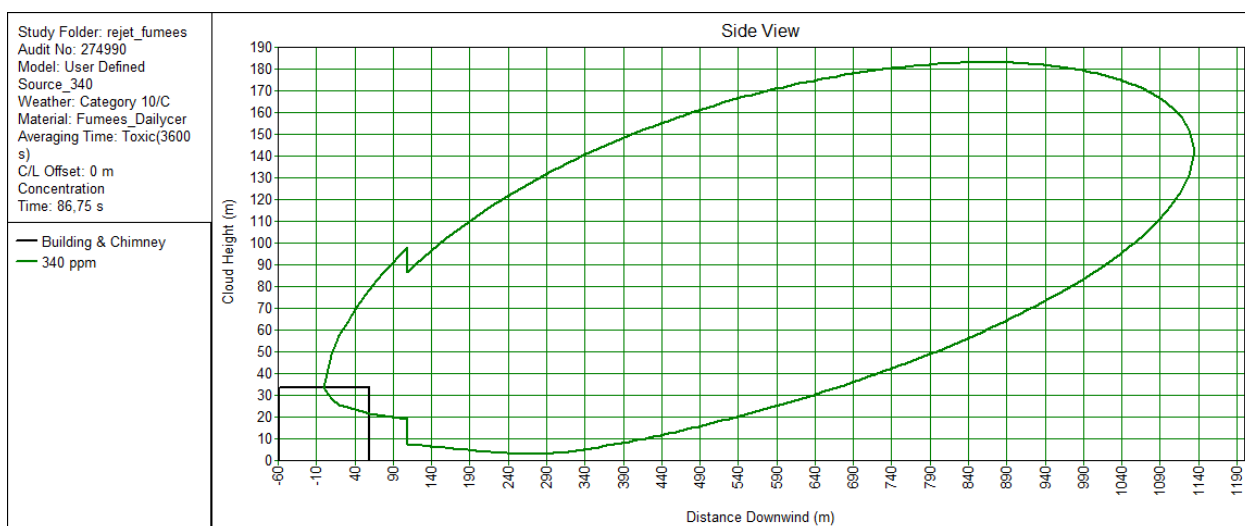


Figure 7 : Vue de côté du panache – Concentration maximale au sol

6. CONCLUSION

La construction d'un entrepôt destiné à stocker des produits fabriqués par la société DAILYCER est en projet sur la commune de Faverolles (80).

Dans l'hypothèse d'un incendie affectant le futur entrepôt, une étude, visant à évaluer la dispersion toxique des fumées ainsi que la perte de visibilité associée à la présence de particules dans ces fumées, a été menée.

Les principales conclusions de cette étude sont les suivantes :

- **Le risque toxique à distance de l'entrepôt peut être écarté, du fait de la composition des produits alimentant l'incendie potentiel,**
- **Le risque d'atténuation importante de la visibilité par les fumées dans le voisinage de l'entrepôt est extrêmement faible,**
- **Le panache serait visible à plusieurs kilomètres dans des conditions atmosphériques stables.**

7. ANNEXE : DESCRIPTION DE LA METHODE DE CALCUL MISE EN ŒUVRE

7.1. Spécification du terme source

Composition des fumées

Connaissant la formule chimique brute du produit, la réaction de combustion peut être caractérisée.

Les espèces présentes majoritairement dans les fumées sont le dioxyde de carbone, la vapeur d'eau et l'azote. Une combustion dans le cadre d'un incendie n'est cependant jamais complète : du monoxyde de carbone (CO) ainsi que des particules (assimilées au carbone pur C) peuvent être émis par une combustion incomplète.

La combustion est supposée instantanée à proximité de la source.

La concentration y_p en particules dans les fumées peut être calculée à partir de la réaction de combustion incomplète du produit. Le SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [DR02] indique pour différents produits combustibles :

- La masse de y_{CO} de monoxyde de carbone formée par kg de combustible brûlé,
- La masse y_s de « fumées » (particules) formée par kg de combustible brûlé.

Ces deux valeurs fournissent les équations manquantes pour équilibrer la réaction de combustion en complément des bilans atomiques, en supposant que les particules sont formées exclusivement de carbone solide C. y_{CO} et y_s étant exprimées en kg/kg, les coefficients molaires du carbone et du monoxyde de carbone n_C et n_{CO} de la réaction s'écrivent :

$$n_C = y_s M_p / 0,012$$

$$n_{CO} = y_{CO} M_p / 0,028$$

M_p désignant la masse molaire du combustible en kg/mol.

Les autres coefficients relatifs au dioxyde de carbone, à la vapeur d'eau, à l'azote etc...sont déduits par bilan atomique.

La fraction massique de particules y_p dans les fumées peut ainsi être déduite.

Débit de combustion

Pour un feu se développant en atmosphère libre, le débit de combustion est tel que :

$$\dot{m} = \dot{m}'' A$$

\dot{m}'' : débit de pyrolyse par unité de surface (kg/s/m²)

A : surface en feu (m²)

Température des fumées

La température de fumées est de l'ordre de 600°C.

Vitesse ascensionnelle

Dans le cas d'un panache émis depuis le sol, la vitesse ascensionnelle moyenne \bar{V} du panache est donnée par la relation suivante tirée du SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [DR02]

$$\bar{V} = \frac{1}{2} \times 1,97 \times \dot{Q}_c^{0,2}$$

où Q_c est exprimée en kW.

La relation d'origine donne la vitesse maximale sur l'axe du panache. Le facteur $\frac{1}{2}$ est introduit pour obtenir une vitesse moyenne compte tenu de la forme des profils de vitesse (profils gaussiens assimilés à des profils triangulaires).

Dans le cas d'un panache émis à hauteur de toiture avec effet cheminée (cas envisagé), la vitesse débitante est calculée connaissant la section de la cellule.

Terme source

La totalité du débit de fumées (gaz de pyrolyse et air stœchiométrique consommé au cours de la combustion) est supposé émis à 600°C, à la vitesse ascensionnelle telle que calculée selon la méthode ci-dessus.

7.2. Opacification locale de l'atmosphère

En cas d'incendie de grande ampleur, il existe des risques d'accident liés à une réduction de la visibilité à proximité.

Calcul de la concentration en fumées à distance du foyer

Sur la base de la réaction de combustion préalablement établie, la concentration volumique χ (m^3/m^3) des fumées (mélange de gaz de combustion) aux points considérés est calculée à l'aide du logiciel PHAST®. Le terme source à imposer est évalué selon la méthode décrite au paragraphe 5.1.

Calcul de la concentration en particules à distance du foyer

La concentration C en particules (en kg/m^3) aux points considérés est obtenue par application de la relation :

$$C = \rho_{air} \chi y_p$$

ρ_{air} désignant la masse volumique de l'air à température ambiante ($1,2 \text{ kg/m}^3$). L'hypothèse de fumées à température proche de l'ambiante suppose une importante dilution par l'air, ce qui est en général effectivement vérifié à plusieurs dizaines de mètres du foyer.

Calcul du coefficient d'atténuation

Le coefficient d'atténuation des fumées K (en m^{-1}) est donné par (SFPE Handbook [DR02]) :

$$K = 7600 C$$

Distance de visibilité

Pour des objets réfléchissant la lumière, la distance de visibilité (en m) vaut :

$$S = 3/K$$

Plus la distance de visibilité est importante, moins l'atmosphère est obscurcie par les fumées.