Destinataire

BUREAU VERITAS EXPLOITATION

Alice PAUMARD

TERRENA

Projet GASTRONOME

Analyse des conséquences de l'incendie d'un stockage d'emballages vides – Emission de fumées toxiques

Rapport N°: 797665-6261132/12–RAP1–V0

VERSION	DATE D'EMISSION	AUTEUR	VERIFICATEUR	APPROBATEUR
0	10/10/2019	M. DESMERCIERES	NT. LE	H. LEDOUX

© Bureau Veritas Exploitation - Toute reproduction interdite

SOMMAIRE

1. Scénario étudié 3

2. Généralités 3

3. Conditions ambiantes 3

4. Détermination du débit de fumées toxiques 4

5. Détermination des valeurs seuils de concentration 5

6. Modélisations de la dispersion atmosphérique 5

7. Conclusion 8

Annexe 1 : Courbes iso-concentration – Temps d'exposition de 60 min

Annexe 2 : Courbes iso-concentration – Temps d'exposition de 30 min

1. Scénario étudié

Le scénario étudié est l'incendie d'un stockage d'emballages vides.

2. Généralités

L'étude des conséquences de ce scénario d'accident comporte plusieurs phases :

- Détermination du débit en gaz de combustion en fonction des conditions de stockage et des caractéristiques des produits ;
- Détermination des valeurs seuils de concentration ;
- Modélisation de la dispersion atmosphérique du nuage de gaz toxique formé, en fonction du site et des conditions atmosphériques.

Ces modélisations ont été effectuées à l'aide du logiciel PHAST de DNV Technica (version 6.7).

3. Conditions ambiantes

Les modélisations de dispersion atmosphérique ont été effectuées pour les conditions atmosphériques suivantes :

- Vitesse du vent 3 m/s, stabilité atmosphérique A (extrêmement instable de Pasquill) ;
- Vitesse du vent 3 m/s, stabilité atmosphérique B (très instable de Pasquill) ;
- Vitesse du vent 5 m/s, stabilité atmosphérique B (très instable de Pasquill) ;
- Vitesse du vent 5 m/s, stabilité atmosphérique C (instable de Pasquill) ;
- Vitesse du vent 10 m/s, stabilité atmosphérique C (instable de Pasquill) ;
- Vitesse du vent 5 m/s, stabilité atmosphérique D (neutre de Pasquill) ;
- Vitesse du vent 10 m/s, stabilité atmosphérique D (neutre de Pasquill) ;
- Vitesse du vent 3 m/s, stabilité atmosphérique E (stable de Pasquill) ;
- Vitesse du vent 3 m/s, stabilité atmosphérique F (très stable de Pasquill) ;
- Température ambiante : 293 K (20°C) pour les stabilités A à E et 288 K (15°C) pour la stabilité F ;
- Humidité relative : 70%.

Le paramètre de rugosité du sol est de 0,17. Il correspond à un site industriel.

Les vitesses de vent et la stabilité atmosphérique correspondante sont conformes à la fiche n°2 de la circulaire du 10 mai 2010.

4. Détermination du débit de fumées toxiques

Les émissions de gaz toxiques susceptibles d'être engendrées par un éventuel incendie du stockage étudié ont été évaluées ; les produits à considérer étant les produits de combustion de matériaux de type « bois – papier – carton » et de type « plastiques »), à savoir :

- le monoxyde de carbone (CO) ;
- le dioxyde de carbone (CO_2).

Le monoxyde de carbone a été déterminé comme le produit toxique majorant dégagé dans un incendie se déclarant dans ce type de stockage.

Les données des composants du stockage d'emballages vides étudié sont fournies par le tableau ci-après :

Composition stockage	Répartition (%)	Quantité de CO formé lors de la combustion (en g/g) [1]
Bois (palette) – Carton – Papier	50	0,004
Plastiques	50	0,060 [2]
Valeur moyenne au prorata des % massiques	-	**0,032**

[1] Les valeurs de quantité de monoxyde de carbone formé lors de la combustion sont issues du guide « SFPE Handbook of fire protection engineering », Third Edition.

[2] Les plastiques ont été assimilés à du polystyrène pour les 2 raisons suivantes :

- *le polystyrène est, avec le polyéthylène, l'un des plastiques industriels les plus courants dans la vie quotidienne,*
- *la quantité de CO formé lors de la combustion du polystyrène est supérieure à celle de CO formé lors de la combustion du polyéthylène (0,060 versus 0,024 g/g).*

Les hypothèses retenues pour la détermination du débit auquel le monoxyde de carbone est susceptible de se dégager sont présentées ci-après :

- la surface du stockage est de 440 m^2 ;
- nous avons considéré que les fumées sont rejetées à l'atmosphère à une altitude égale à la hauteur des flammes. La hauteur moyenne de flamme issue du rapport des flux thermiques est de 11,0 m ;
- la vitesse de combustion a été prise égale à 17 $g/m^2/s$ (valeur issue du guide FLUMILOG) ;
- la quantité de monoxyde de carbone formé par la combustion de ce stockage a été évaluée à 0,032 g/g.

Le débit auquel le monoxyde de carbone est susceptible de se dégager est ainsi de 0,24 kg/s.

De plus, le logiciel PHAST permet de prendre en compte l'entraînement d'air dans la flamme. D'après la méthode de Delichatsios, nous admettons que l'entraînement d'air équivaut à 10 fois la stœchiométrie en haut de la flamme.

5. Détermination des valeurs seuils de concentration

Les effets toxiques sur un individu dépendent de la concentration en produit et de la durée d'exposition.

Les seuils d'effets létaux et irréversibles du monoxyde de carbone retenus pour une durée d'exposition de 60 et 30 minutes sont les suivants :

- Seuils des Effets Irréversibles (SEI) : 800 ppm (pour 60 min) et 1500 ppm (pour 30 min) ;
- Seuils des Premiers Effets Létaux (SPEL) : 3200 ppm (pour 60 min) et 4200 ppm (pour 30 min) ;
- Seuils des Effets Létaux Significatifs (SELS) : Non déterminés.

Ces valeurs sont issues du rapport INERIS "Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Seuils de Toxicité Aigüe – Monoxyde de carbone (CO) – 1998" (référence INERIS-DRC-08-94398-12846A).

6. Modélisations de la dispersion atmosphérique

A partir des débits calculés précédemment et en fonction des conditions météorologiques, la modélisation des dispersions atmosphériques des nuages formés a été effectuée à l'aide du logiciel PHAST version 6.7.

Il y a lieu de noter que les modélisations ne prennent pas en compte l'influence des bâtiments sur l'écoulement. Cet écoulement est donc considéré comme exempt de singularités telles qu'effet sillage, tourbillon ou rabattement.

Les zones d'extensions maximales du nuage pour les valeurs de concentrations seuils définies au paragraphe 5 et pour les conditions atmosphériques définies au paragraphe 3 sont présentées ci-après :

* **Vent 3 m.s^{-1} stabilité A**	**au centre du nuage**		**au sol**
– effets irréversibles 60 minutes	:	9,5 m	non atteints
– effets irréversibles 30 minutes	:	7,0 m	non atteints
– premiers effets létaux 60 minutes	:	4,0 m	non atteints
– premiers effets létaux 30 minutes	:	3,5 m	non atteints

* **Vent 3 m.s^{-1} stabilité B**	**au centre du nuage**		**au sol**
– effets irréversibles 60 minutes	:	14,0 m	non atteints
– effets irréversibles 30 minutes	:	10,0 m	non atteints
– premiers effets létaux 60 minutes	:	6,0 m	non atteints
– premiers effets létaux 30 minutes	:	5,0 m	non atteints

* **Vent 5 m.s^{-1} stabilité B**	**au centre du nuage**		**au sol**
– effets irréversibles 60 minutes	:	11,5 m	non atteints
– effets irréversibles 30 minutes	:	8,5 m	non atteints
– premiers effets létaux 60 minutes	:	5,0 m	non atteints
– premiers effets létaux 30 minutes	:	4,5 m	non atteints

* **Vent 5 m.s^{-1} stabilité C**		**au centre du nuage**	**au sol**
– effets irréversibles 60 minutes	:	16,5 m	non atteints
– effets irréversibles 30 minutes	:	12,0 m	non atteints
– premiers effets létaux 60 minutes	:	7,0 m	non atteints
– premiers effets létaux 30 minutes	:	6,0 m	non atteints
* **Vent 10 m.s^{-1} stabilité C**		**au centre du nuage**	**au sol**
– effets irréversibles 60 minutes	:	12,5 m	non atteints
– effets irréversibles 30 minutes	:	9,5 m	non atteints
– premiers effets létaux 60 minutes	:	6,0 m	non atteints
– premiers effets létaux 30 minutes	:	5,0 m	non atteints
* **Vent 5 m.s^{-1} stabilité D**		**au centre du nuage**	**au sol**
– effets irréversibles 60 minutes	:	22,0 m	non atteints
– effets irréversibles 30 minutes	:	15,5 m	non atteints
– premiers effets létaux 60 minutes	:	9,0 m	non atteints
– premiers effets létaux 30 minutes	:	7,5 m	non atteints
* **Vent 10 m.s^{-1} stabilité D**		**au centre du nuage**	**au sol**
– effets irréversibles 60 minutes	:	17,0 m	non atteints
– effets irréversibles 30 minutes	:	12,0 m	non atteints
– premiers effets létaux 60 minutes	:	7,5 m	non atteints
– premiers effets létaux 30 minutes	:	6,0 m	non atteints
* **Vent 3 m.s^{-1} stabilité E**		**au centre du nuage**	**au sol**
– effets irréversibles 60 minutes	:	33,5 m	non atteints
– effets irréversibles 30 minutes	:	21,5 m	non atteints
– premiers effets létaux 60 minutes	:	10,0 m	non atteints
– premiers effets létaux 30 minutes	:	7,5 m	non atteints
* **Vent 3 m.s^{-1} stabilité F**		**au centre du nuage**	**au sol**
– effets irréversibles 60 minutes	:	45,0 m	non atteints
– effets irréversibles 30 minutes	:	27,5 m	non atteints
– premiers effets létaux 60 minutes	:	10,5 m	non atteints
– premiers effets létaux 30 minutes	:	7,5 m	non atteints

D'après les résultats donnés par PHAST, les concentrations maximales atteintes au niveau du sol sont les suivantes :

Conditions atmosphériques	Concentration (en ppm)	Distance (en m)
3 $m.s^{-1}$ / A	31	30
3 $m.s^{-1}$ / B	29	45
5 $m.s^{-1}$ / B	21	45
5 $m.s^{-1}$ / C	22	65
10 $m.s^{-1}$ / C	13	65
5 $m.s^{-1}$ / D	23	100
10 $m.s^{-1}$ / D	15	95
3 $m.s^{-1}$ / E	15	200
3 $m.s^{-1}$ / F	4	590

La concentration maximale calculée par le logiciel PHAST est d'environ 31 ppm pour un vent de 3 $m.s^{-1}$ et une classe de stabilité atmosphérique A à 30 m de la source sous le vent et au sol.

7. Conclusion

Compte tenu des hypothèses de calcul prises en compte et des résultats de la modélisation exposés précédemment, la concentration maximale de monoxyde de carbone calculée par le logiciel PHAST est d'environ 31 ppm pour un vent de 3 $m.s^{-1}$ et une classe de stabilité atmosphérique A à 30 m de la source sous le vent et au sol.

Seuil des effets irréversibles pour des durées d'exposition de 60 et 30 minutes

Le seuil des effets irréversibles n'est pas atteint au niveau du sol.

Seuil des premiers effets létaux pour des durées d'exposition de 60 et 30 minutes

Le seuil des premiers effets létaux n'est pas atteint au niveau du sol.

ANNEXE 1 – Incendie du stockage d'emballages vides

TEMPS D'EXPOSITION DE 60 MIN

COURBES ISO-CONCENTRATIONS - Monoxyde de carbone (CO)

Vent 3 m/s stabilité A

Nuage en coupe

Vent 5 m/s stabilité B

Nuage en coupe

Vent 5 m/s stabilité C

Nuage en coupe

Vent 5 m/s stabilité D

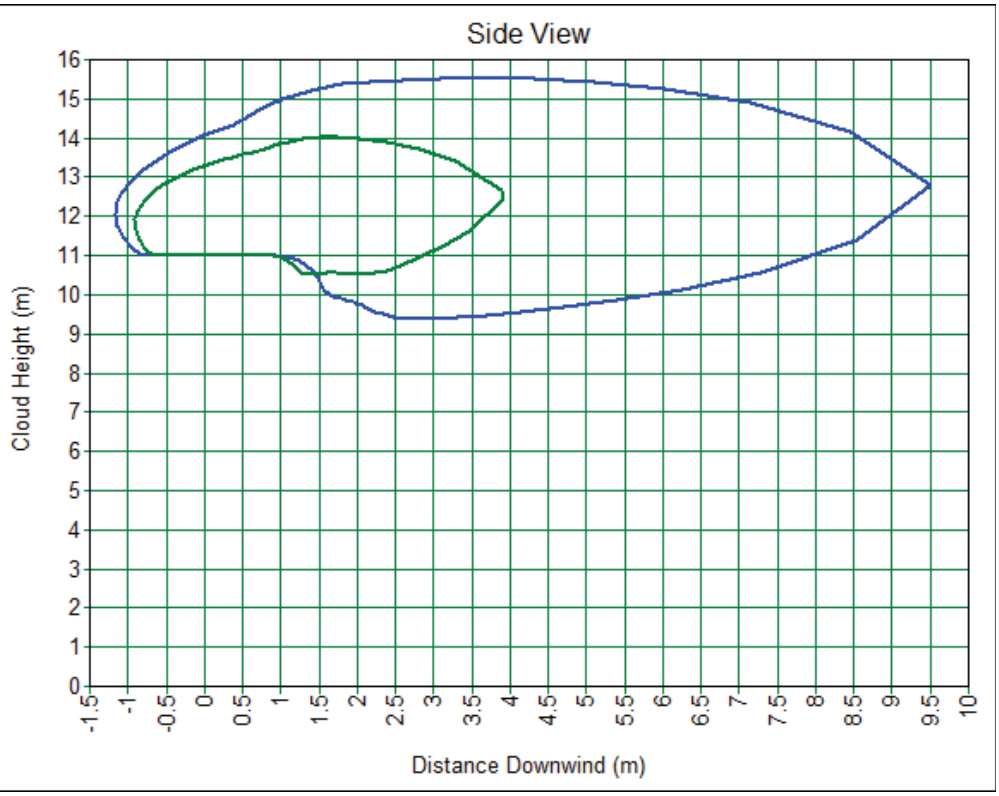
Nuage en coupe

Vent 3 m/s stabilité F

Nuage en coupe

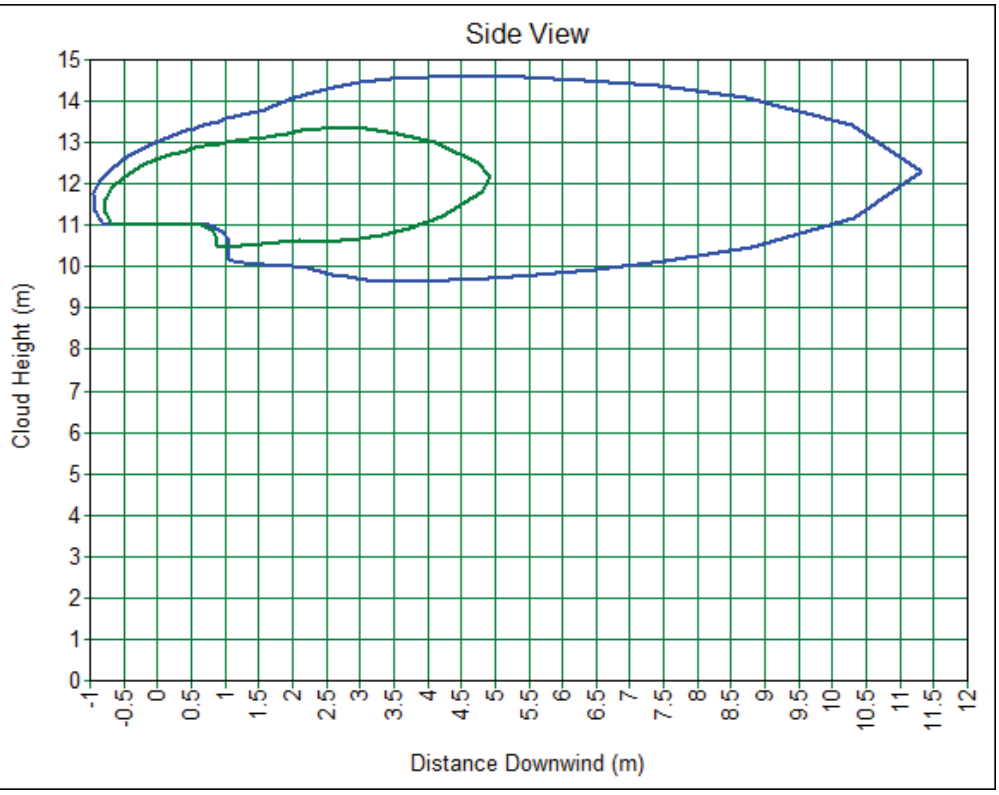
Study Folder: TERRENA
Audit No: 1866697
Model: Rejet de CO - Distances d'effets toxiques
Weather: Category 3/A
Material: CARBON MONOXIDE (1h)
Averaging Time: Toxic(=Exposure)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 3.3 s

800 ppm
3200 ppm



Study Folder: TERRENA
Audit No: 1866697
Model: Rejet de CO - Distances d'effets toxiques
Weather: Category 5/B
Material: CARBON MONOXIDE (1h)
Averaging Time: Toxic(=Exposure)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 2.381 s

800 ppm
3200 ppm

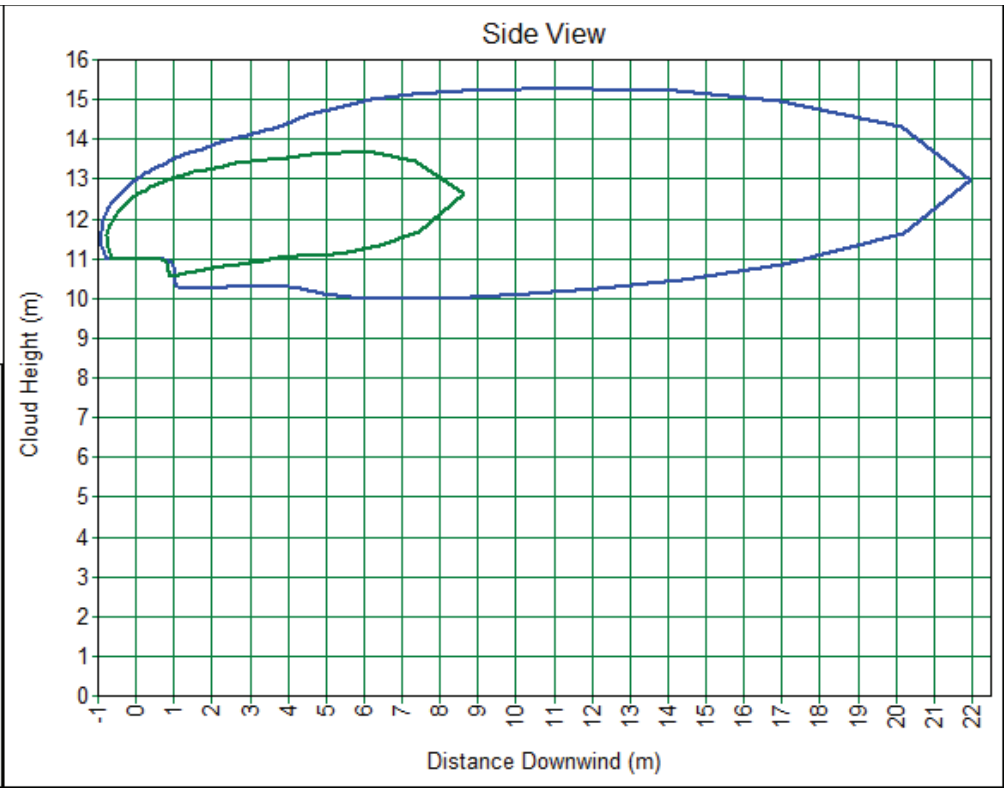


Study Folder: TERRENA
Audit No: 1866697
Model: Rejet de CO - Distances d'effets toxiques
Weather: Category 5/C
Material: CARBON MONOXIDE (1h)
Averaging Time: Toxic(=Exposure)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 3.327 s

800 ppm
3200 ppm

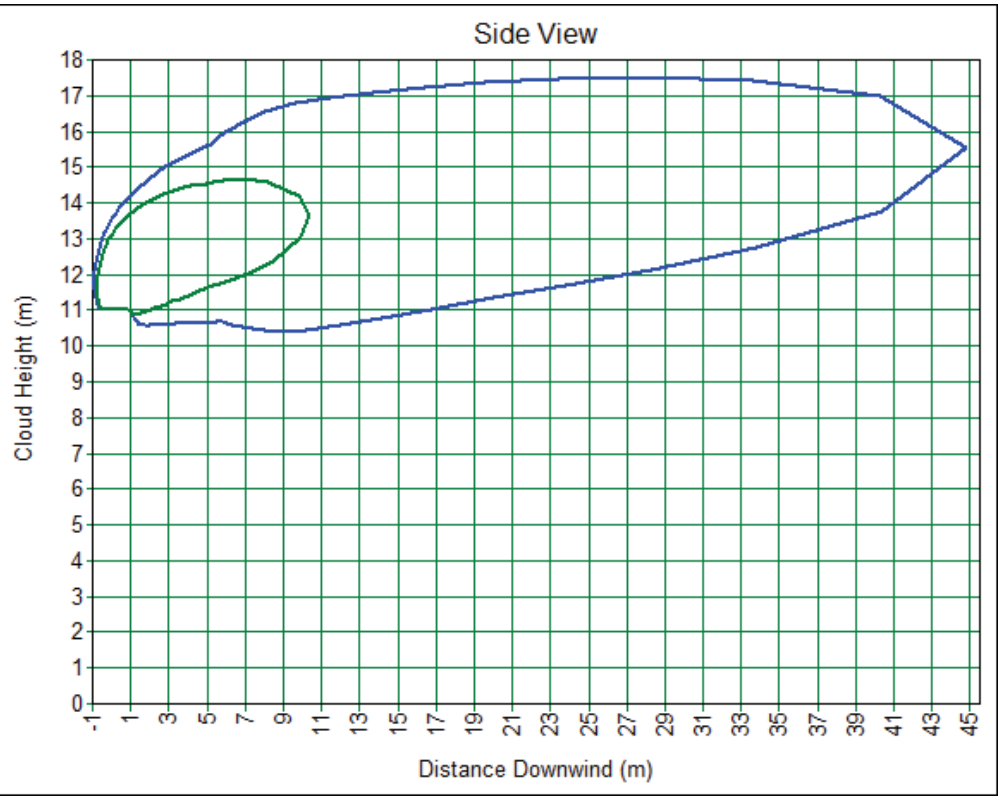
Study Folder: TERRENA
Audit No: 1866697
Model: Rejet de CO - Distances d'effets toxiques
Weather: Category 5/D
Material: CARBON MONOXIDE (1h)
Averaging Time: Toxic(=Exposure)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 4.404 s

800 ppm
3200 ppm



Study Folder: TERRENA
Audit No: 1866697
Model: Rejet de CO - Distances d'effets toxiques
Weather: Category 3/F
Material: CARBON MONOXIDE (1h)
Averaging Time: Toxic(=Exposure)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 12.63 s

800 ppm
3200 ppm



ANNEXE 2 – Incendie du stockage d'emballages vides

TEMPS D'EXPOSITION DE 30 MIN

COURBES ISO-CONCENTRATIONS - Monoxyde de carbone (CO)

Vent 3 m/s stabilité A

Nuage en coupe

Vent 5 m/s stabilité B

Nuage en coupe

Vent 5 m/s stabilité C

Nuage en coupe

Vent 5 m/s stabilité D

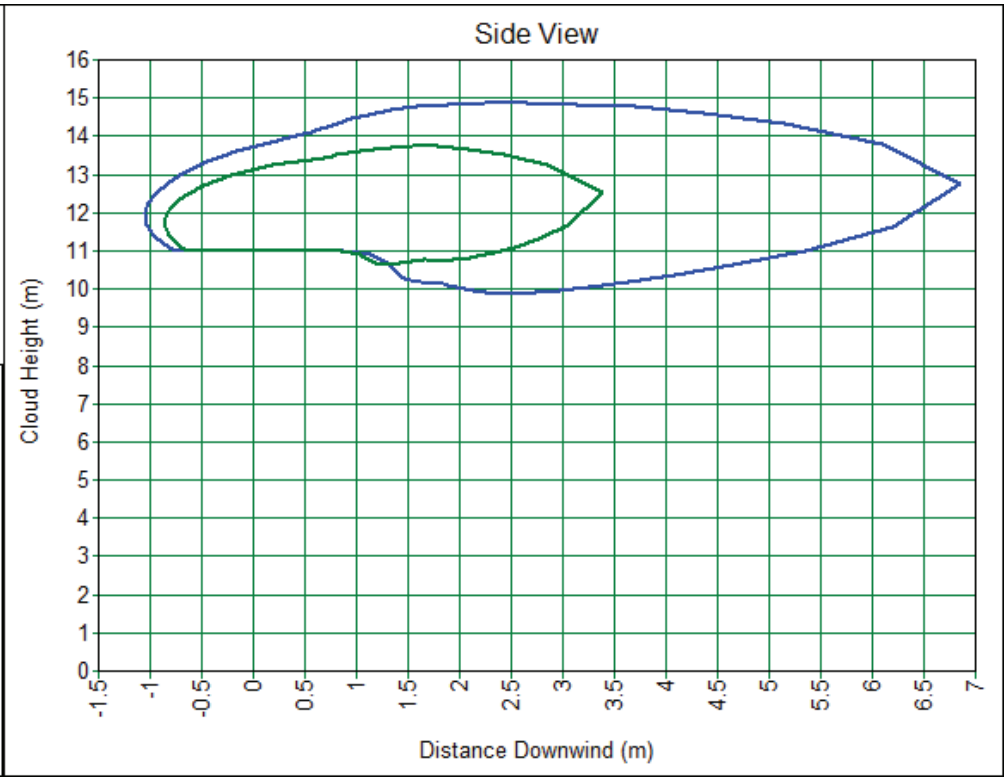
Nuage en coupe

Vent 3 m/s stabilité F

Nuage en coupe

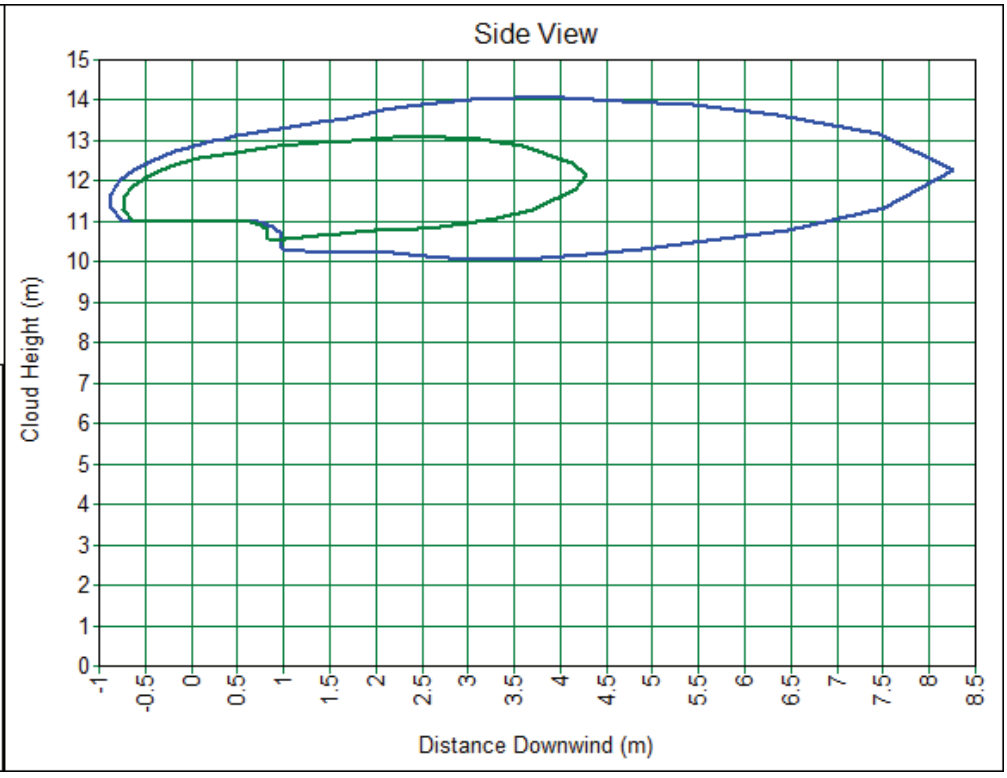
Study Folder: TERRENA
Audit No: 1880629
Model: Rejet de CO - Distances d'effets toxiques
Weather: Category 3/A
Material: CARBON MONOXIDE (30 min)
Averaging Time: Toxic(=Exposure)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 2.45 s

1500 ppm
4200 ppm



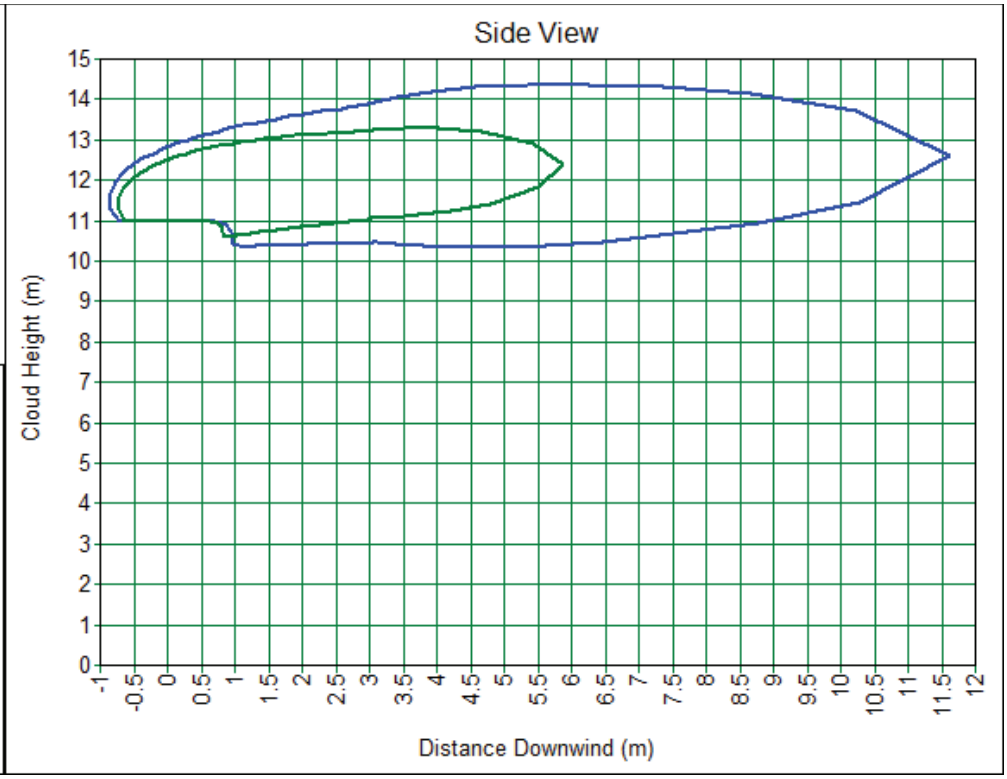
Study Folder: TERRENA
Audit No: 1880629
Model: Rejet de CO - Distances d'effets toxiques
Weather: Category 5/B
Material: CARBON MONOXIDE (30 min)
Averaging Time: Toxic(=Exposure)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 1.789 s

1500 ppm
4200 ppm



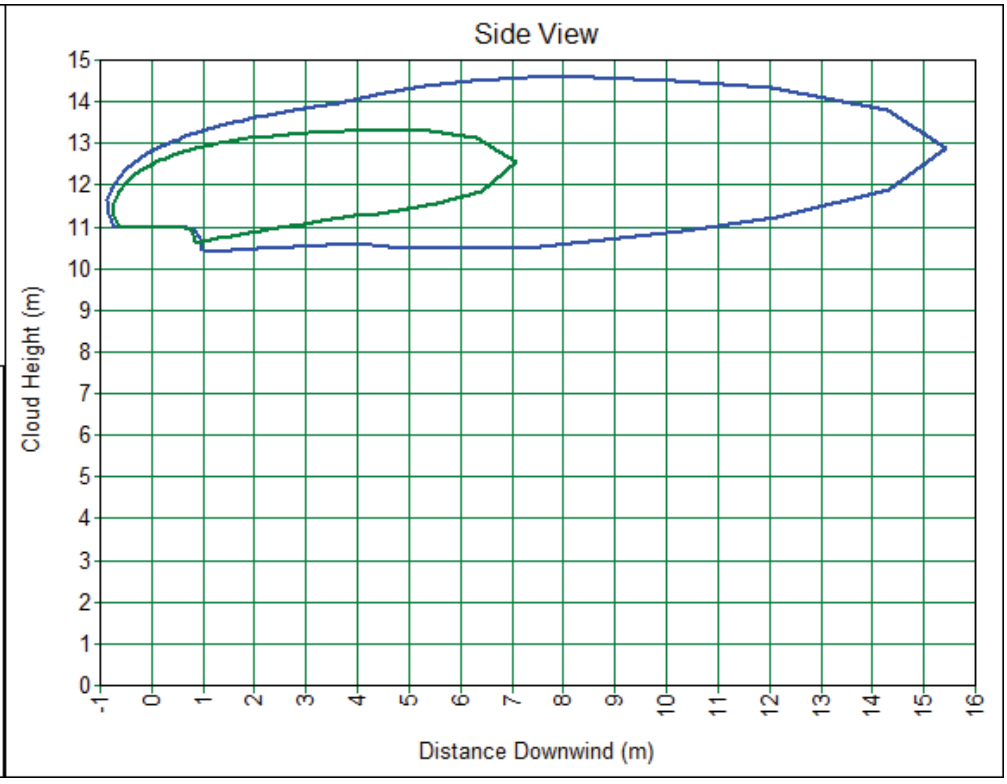
Study Folder: TERRENA
Audit No: 1880629
Model: Rejet de CO - Distances d'effets toxiques
Weather: Category 5/C
Material: CARBON MONOXIDE (30 min)
Averaging Time: Toxic(=Exposure)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 2.468 s

1500 ppm
4200 ppm



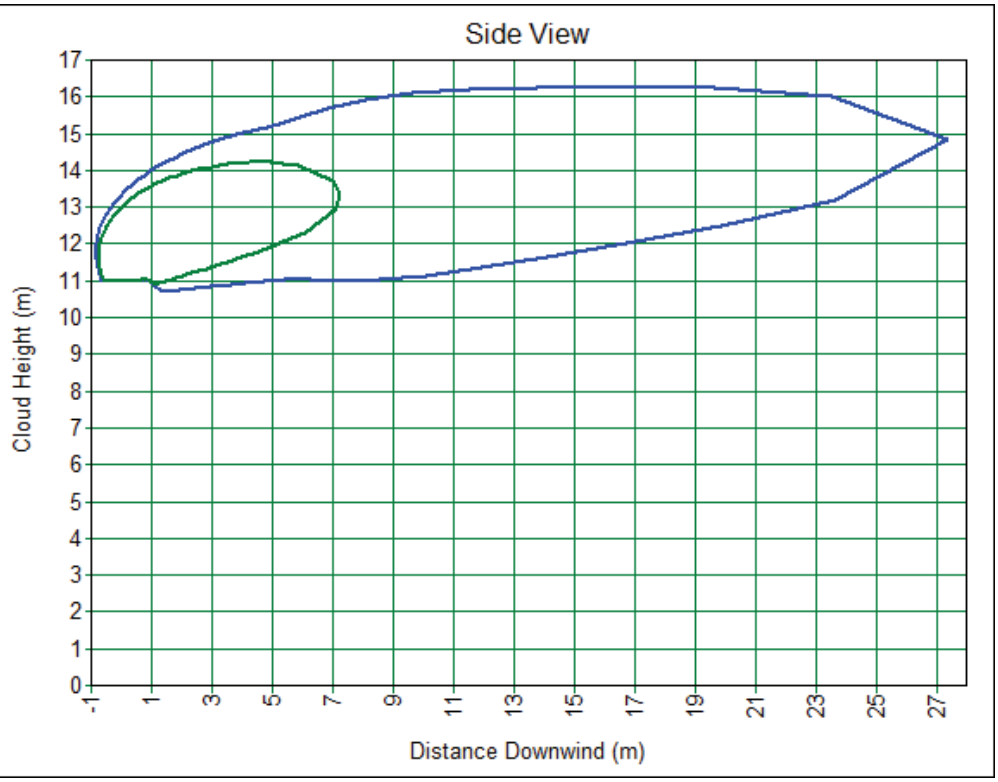
Study Folder: TERRENA
Audit No: 1880629
Model: Rejet de CO - Distances d'effets toxiques
Weather: Category 5/D
Material: CARBON MONOXIDE (30 min)
Averaging Time: Toxic(=Exposure)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 3.179 s

1500 ppm
4200 ppm



Study Folder: TERRENA
Audit No: 1880629
Model: Rejet de CO - Distances d'effets toxiques
Weather: Category 3/F
Material: CARBON MONOXIDE (30 min)
Averaging Time: Toxic(=Exposure)
C/L Offset: 0 m
Concentration
Time: 8.05 s

1500 ppm
4200 ppm



Destinataire

BUREAU VERITAS EXPLOITATION

Alice PAUMARD

TERRENA

Projet GASTRONOME

Analyse des conséquences de l'incendie d'un stockage d'emballages vides – Emission de fumées noires

Rapport N°: 797665-6261132/12–RAP2–V0

VERSION	DATE D'EMISSION	AUTEUR	VERIFICATEUR	APPROBATEUR
0	10/10/2019	M. DESMERCIERES	NT. LE	H. LEDOUX

© Bureau Veritas Exploitation - Toute reproduction interdite

SOMMAIRE

1. Scénario étudié 3
2. Généralités 3
3. Conditions ambiantes 3
4. Détermination du débit de fumées noires 4
5. Détermination des valeurs seuils de concentration 4
6. Modélisations de la dispersion atmosphérique 5
7. Conclusion 6

1. Scénario étudié

Le scénario étudié est l'incendie d'un stockage d'emballages vides.

2. Généralités

L'étude des conséquences de ce scénario d'accident comporte plusieurs phases :

- Détermination du débit de fumées noires en fonction des conditions de l'incendie ;
- Détermination des valeurs seuils de concentration ;
- Modélisation de la dispersion atmosphérique des fumées noires formées en fonction du site et des conditions atmosphériques.

Ces modélisations ont été effectuées à l'aide du logiciel SCREEN de Trinity Consultants Inc. (version 1.1 du modèle de l'EPA).

3. Conditions ambiantes

Les modélisations de dispersion atmosphérique ont été effectuées pour les conditions atmosphériques suivantes :

- Vitesse du vent 1-2 et 3 m/s, stabilité atmosphérique A à E de Pasquill ;
- Vitesse du vent 4 et 5 m/s, stabilité atmosphérique B à E de Pasquill ;
- Vitesse du vent 8 et 10 m/s, stabilité atmosphérique C et D de Pasquill ;
- Vitesse du vent 15 et 20 m/s, stabilité atmosphérique D de Pasquill ;
- Température ambiante : 293 K (20°C).

4. Détermination du débit de fumées noires

Les données des composants du stockage d'emballages vides étudié sont fournies par le tableau ci-après :

Composition stockage	Répartition (%)	Quantité de fumées noires formées lors de la combustion (en g/g) (1)
Bois (palette) – Carton – Papier	50	0,015
Plastiques	50	0,164 (2)
Valeur moyenne au prorata des % massiques	-	**0,09**

(1) Les valeurs de quantité de fumées noires formées lors de la combustion sont issues du guide « SFPE Handbook of fire protection engineering », Third Edition.

(2) Les plastiques ont été assimilés à du polystyrène pour les 2 raisons suivantes :

- *le polystyrène est, avec le polyéthylène, l'un des plastiques industriels les plus courants dans la vie quotidienne,*
- *la quantité de fumées noires formées lors de la combustion du polystyrène est supérieure à celle de fumées noires formées lors de la combustion du polyéthylène (0,164 versus 0,060 g/g).*

Les hypothèses retenues pour la détermination du débit auquel les fumées noires sont susceptibles de se dégager sont présentées ci-après :

- la surface du stockage est de 440 m^2 ;
- nous avons considéré que les fumées sont rejetées à l'atmosphère à une altitude égale à la hauteur des flammes. La hauteur moyenne de flamme issue du rapport des flux thermiques est de 11,0 m ;
- la vitesse de combustion a été prise égale à 17 $g/m^2/s$ (valeur issue du guide FLUMILOG) ;
- la quantité de fumées noires formées par la combustion de ce stockage a été évaluée à 0,09 g/g.

Le débit auquel les fumées noires sont susceptibles de se dégager lors de l'incendie de ce stockage est ainsi de 0,67 kg/s.

5. Détermination des valeurs seuils de concentration

L'effet retenu est la dispersion des fumées opaques pouvant gêner les activités environnantes.

Une fumée de combustion noire contient 3000 à 4000 mg/m^3 d'imbrûlés. Cependant, les fumées deviennent visibles et gênent la visibilité dès 200 à 300 mg/m^3 d'imbrûlés sans qu'il n'y ait, à ce stade, de risque immédiat pour la santé des personnes.

La concentration d'imbrûlés de référence est donc fixée à 200 mg/m^3, correspondant à une visibilité de 5 m pour l'intervention (formule de calcul du « SFPE Handbook of fire protection engineering – Third Edition »).

6. Modélisations de la dispersion atmosphérique

A partir des résultats des débits déterminés précédemment et en fonction des conditions météorologiques, les modélisations de la dispersion atmosphérique des fumées ont été effectuées à l'aide du logiciel SCREEN.

SCREEN est un logiciel de modélisation de la dispersion atmosphérique de fumées à partir d'une source ponctuelle (cheminée), il tient compte des effets d'élévation du panache dus aux conditions thermodynamiques du rejet.

Il y a lieu de noter que les modélisations ne prennent pas en compte l'influence des bâtiments sur l'écoulement. Cet écoulement est donc considéré comme exempt de singularités telles qu'effet sillage, tourbillon ou rabattement.

D'après les résultats donnés par SCREEN, la valeur de 200 mg/m^3 n'est pas atteinte au niveau du sol pour les différentes conditions atmosphériques considérées.

Les concentrations maximales atteintes au niveau du sol sont les suivantes :

Conditions atmosphériques	Concentration (en mg/m^3)	Distance par rapport à la source (en m)
20 m.s^{-1} / D	3,6	230
8 m.s^{-1} / D	1,4	580
4 m.s^{-1} / E	1,9	1310
2 m.s^{-1} / E	2,2	1855
1 m.s^{-1} / E	2,7	2715

La concentration maximale calculée par le logiciel SCREEN est d'environ 3,6 mg/m^3 pour un vent de 20 m.s^{-1} et une classe de stabilité atmosphérique D à 230 m de la source sous le vent et au niveau du sol.

Cette concentration maximale correspond à une visibilité de l'ordre de 290 m.

7. Conclusion

Compte tenu des hypothèses de calcul prises en compte et des résultats des modélisations exposés précédemment, la concentration de référence de 200 mg/m^3 d'imbrûlés à partir de laquelle les fumées gênent la visibilité sans qu'il n'y ait pour autant de risque immédiat pour les personnes n'est pas atteinte au niveau du sol.

La concentration maximale calculée par le logiciel SCREEN est d'environ 3,6 mg/m^3 pour un vent de 20 m.s^{-1} et une classe de stabilité atmosphérique D à 230 m de la source sous le vent et au niveau du sol.

Cette concentration maximale correspond à une visibilité de l'ordre de 290 m.