



La quantité totale de substances inflammables représentée par l'aire en vert est estimée à 100 T : 55 T pour les stockages couverts (4 préfabriqués au Nord de la zone concernée), 25 T pour les armoires extérieures (le long de l'usine désaffectée) et 20 T pour les 2 cuves de solvants usés (iso-propanol principalement). Les conteneurs sont stockés sur 2 niveaux maximum.

A cette quantité d'inflammables, il faut rajouter environ 10 T de plastiques (conteneurs contenant les liquides de la zone) et 1 T de palettes en bois (palettes décalées de 20 m environ).

Le scénario envisage l'incendie généralisé de l'aire de stockage des produits liquides inflammables (zone en vert). **La surface concernée est globalement un rectangle de 36 m de longueur pour 28 m de largeur.**

Les solvants stockés sont de l'acétone, de l'isopropanol, heptane, méthanol... La substance la plus représentative choisie est l'iso-propanol pour les calculs liés à la modélisation des effets thermiques.

**La modélisation portera sur le devenir du panache des fumées d'incendie, générées par l'incendie modélisé ci-dessus.**

## 2. Seuils d'effets toxiques retenus dans le cadre de la modélisation des phénomènes dangereux

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	SEPL (CL 1 %)	
	Effets Irréversibles	SEI	
	Effets Réversibles	SER	

Tableau 1 : Valeurs de référence relatives aux seuils de toxicité aiguë

Ces valeurs sont toujours associées à des durées d'exposition, le plus souvent 30 minutes, mais dans certains cas, des valeurs sont disponibles pour des périodes plus courtes (1 minute) ou plus longues (2 heures). Ces valeurs, définies par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD), 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, conformément au chapitre 1.1.11 de la circulaire du 10 mai 2010, on utilise les valeurs internationales reconnues présentées ci-dessous :

	Durée d'exposition (min)						
	10	20	30	60	120	240	480
<b>SELS</b> (SEL 5%)	-	-	-	-	-	-	-
<b>SPEL</b> (SEL 1%)	AEGL-3	-	AEGL-3	ERPG-3 AEGL-3	-	AEGL-3	AEGL-3
<b>SEI</b>	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 2 : 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'exposition 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  $Dose = C^n \times t$  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.

Les seuils de toxicité aiguë de ces composés sont donnés ci-dessous (pour une durée d'exposition de 60 minutes) :

Substances dégagées	SEI	Référence de la valeur seuil retenue
	ppm	
CO	800	Seuils de toxicité aiguë – INERIS– DRC-09-103128-05616A
CO <sub>2</sub>	20 000	Pas de seuils de toxicité aiguë en France Revised IDLH utilisé conformément au chapitre 1.1.11 de la partie 1 de la circulaire du 10 mai 2010 Extrapolation à 60 minutes

Tableau 3 : Seuils d'effets irréversibles pour des expositions de 60 minutes

Substances dégagées	SPEL	Référence de la valeur seuil retenue
	ppm	
CO	3 200	Seuils de toxicité aiguë – INERIS– DRC-09-103128-05616A
CO <sub>2</sub>	20 000	Pas de seuils de toxicité aiguë en France De façon conservatrice 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).

Tableau 4 : Seuils des premiers effets létaux SPEL pour des expositions de 60 minutes

Substances dégagées	SELS	Référence de la valeur seuil retenue
	ppm	
CO	3 200	Pas de seuils de toxicité aiguë en France De façon conservatrice 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 <sub>2</sub>	20 000	Pas de seuils de toxicité aiguë en France De façon conservatrice 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).

Tableau 5 : Seuils d'effets létaux significatifs SELS pour des expositions de 60 minutes

### 3. Méthodes et moyens de calcul mis en application

#### 3.1. Evaluation des effets toxiques des fumées d'un incendie

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<sub>2</sub>, HCl, CO, CO<sub>2</sub>.

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).

### **3.1.1. CARACTERISATION DES DEBITS 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>), le reste (40 %) étant converti à part égale en acide cyanhydrique (HCN) et en oxydes d'azote (NO<sub>2</sub>),
- la totalité du soufre s'oxyde en dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), 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 <sub>2</sub>	1,21
	HCN	0,36
	NO <sub>2</sub>	0,64
C	CO	0,21
	CO <sub>2</sub>	3,33
S	SO <sub>2</sub>	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 :

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

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.

### 3.1.2. CALCUL DE LA HAUTEUR DE FLAMME ET DE L'AIR ENTRAINE

La hauteur de flammes est déterminée par la relation (Heskestad) :

$$L = 0,166 \cdot (10^3 \cdot \dot{Q}_c)^{0,4}$$

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).

### 3.2. Logiciel PHAST

Les calculs du terme source (débit d'émission) et la dispersion atmosphérique des rejets de polluants sont effectués à partir du logiciel PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools), de DNV Technica, dans sa dernière version 6.6.

PHAST utilise une méthode de dispersion gaz lourds et gaussienne.

Le code source de ce logiciel concerne la dispersion de jets, de gaz denses, légers ou passifs incluant les phases de formation de flaque et de ré-évaporation.

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 (considéré égal à 0,17 pour une configuration industrielle),
- 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.

Pour les rejets continus, le modèle considère un panache totalement développé qui continue à être alimenté en polluant. Les résultats donnent les caractéristiques des sections verticales perpendiculaires à l'axe de ce panache (dimensions, concentrations, temps nécessaire pour atteindre la section depuis le point de rejet, etc.). Ces sections sont circulaires si le panache est dispersé en altitude ou elliptique tronqué si le panache touche le sol et s'effondre.

Pour la modélisation de la dispersion d'un rejet instantané, le modèle donne la position et les propriétés au centre du nuage pour différents instants consécutifs. Le nuage est supposé elliptique s'il est situé en altitude; et il est supposé de forme elliptique tronquée si le nuage touche le sol et s'effondre.

PHAST prend aussi en compte, le cas échéant :

- les effets de vaporisation de gouttelettes ;
- l'évaporation de la flaque formée au sol ;
- la quantité de mouvement du nuage, dépendant des conditions initiales de rejet, progressivement dissipée du fait de l'entraînement de l'air et de l'éventuel frottement du nuage avec le sol,
- la dilution du nuage, etc.

Les conditions météorologiques retenues seront celles définies 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 suivant.

Stabilité atmosphérique	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 <sup>2</sup> )	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	

Tableau 6 : Conditions météorologiques retenues pour la modélisation

#### 4. Zones d'effet des phénomènes dangereux

##### 4.1 ZONES D'EFFET DU PHENOMENE DANGEREUX

Le tableau ci-dessous reprend les distances d'effets du phénomène dangereux modélisé et les principales données intermédiaires.

Phénomènes dangereux (PD)		Principales hypothèses	Résultats intermédiaires	Effets toxiques		
N°	Intitulé			SEI	SPEL	SELS
2	Incendie généralisé des stockages couverts + armoires SCALA + conteneurs de solvants usés + cuves de solvants usés (effets toxiques)	Dimensions du stockage : rectangle de 36 m x 28 m Vitesse de régression de l'isopropanol : 39,6 g/m <sup>2</sup> /s Composition de l'isopropanol : C3 H8 O	Emission des fumées à 36 m	Pas d'effets au sol	Pas d'effets au sol	Pas d'effets au sol

La durée d'exposition considérée est de 60 min.

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

- SEI équivalent : 320 301 ppm,
- SPEL équivalent : 689 880 ppm,
- SELS équivalent : 689 880 ppm.

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



GUERIN Risques Industriels  
Modélisations pour l'étude de dangers du site NORCHIM (60)- n° A 63265/A

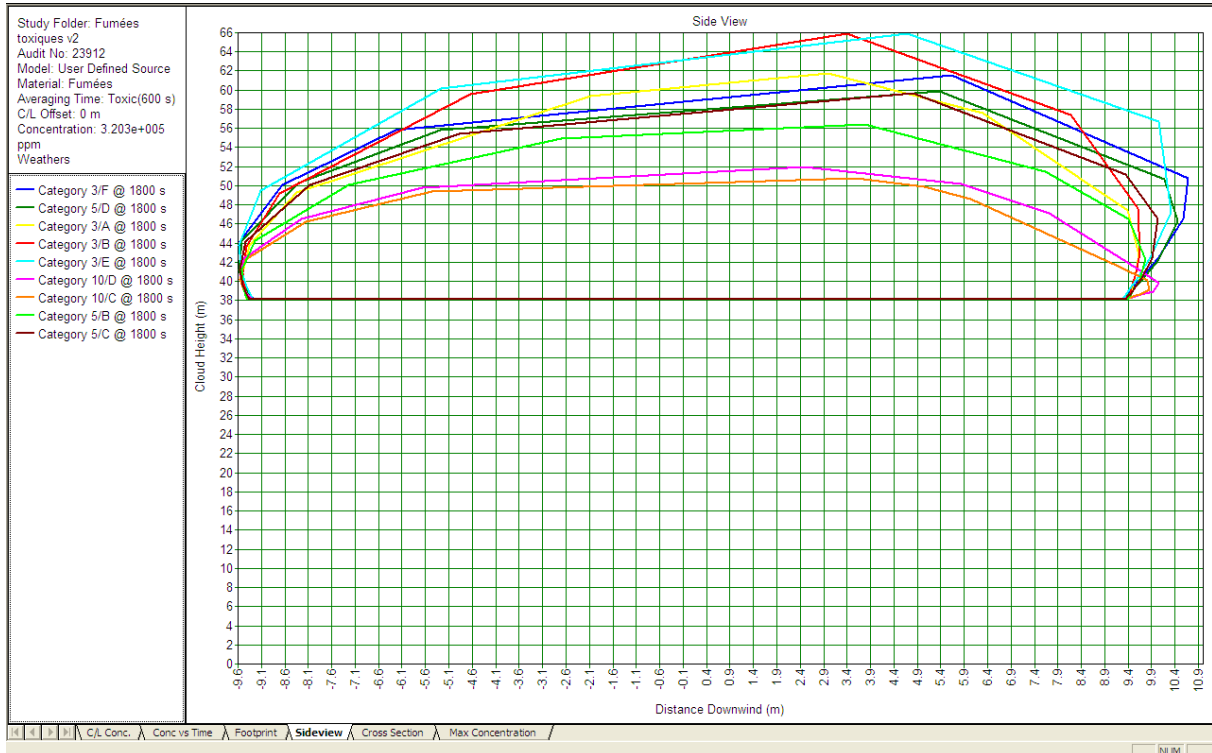


Figure 1 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux effets irréversibles (SEI) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées

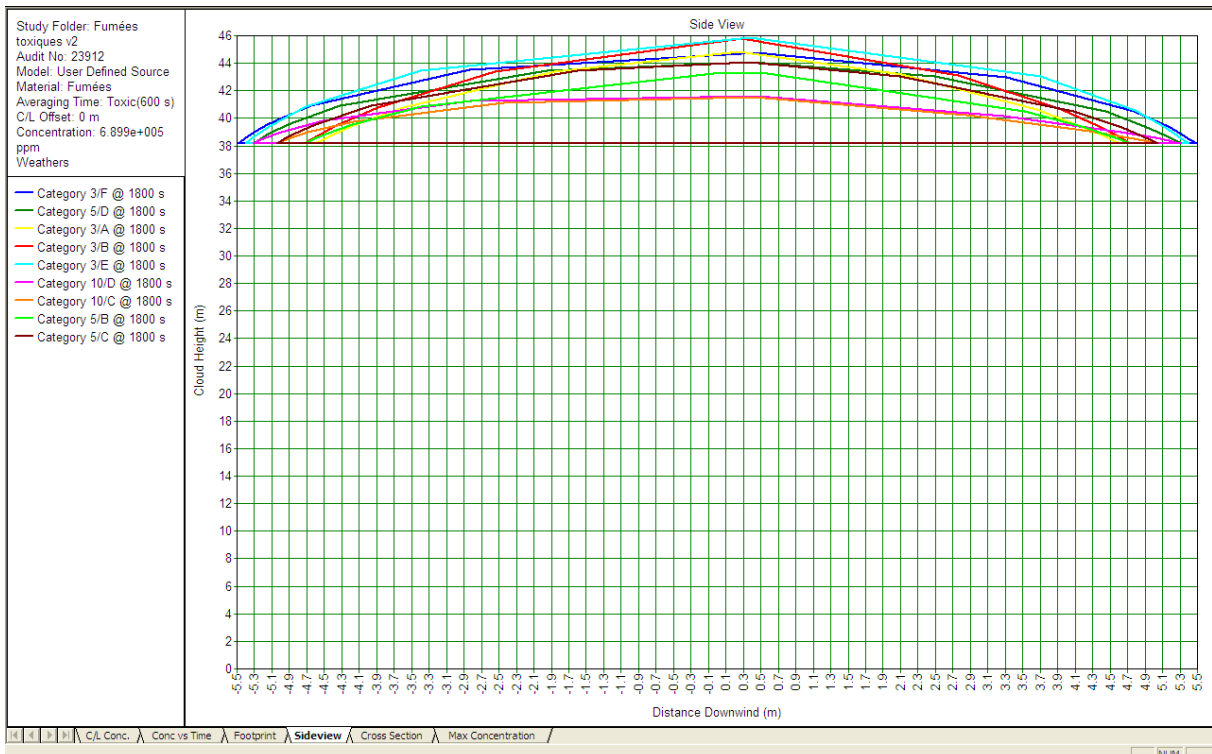


Figure 2 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux premiers effets létaux (SPEL) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées

GUERIN Risques Industriels  
 Modélisations pour l'étude de dangers du site NORCHIM (60)- n° A 63265/A

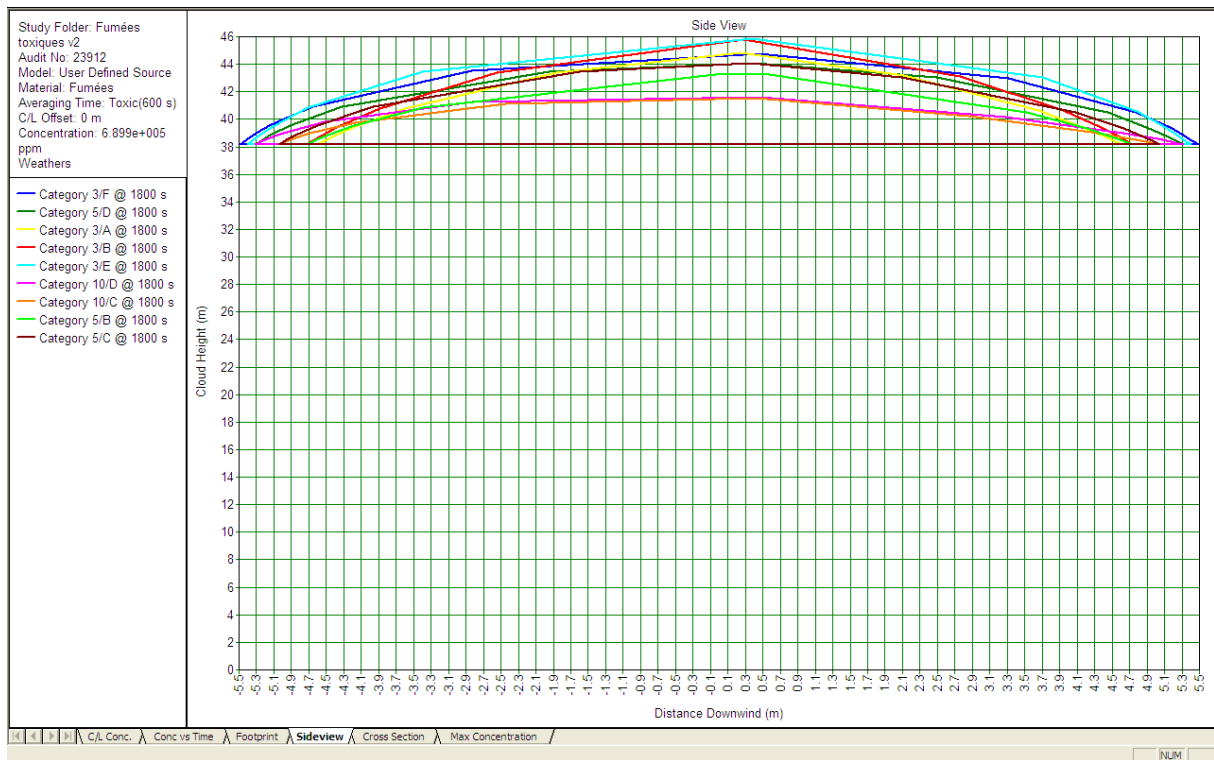


Figure 3 : Vue en coupe verticale des panaches de fumées correspondant aux effets létaux significatifs (SELS) en présence des différentes conditions météorologiques étudiées