

## ANNEXE 12 : Rapport dispersion toxique HF et HCl (10 pages)

# SAFRAN CHATELLERAULT

**Dispersions toxiques consécutives à des pertes de confinement sur des bouteilles de chlorure et de fluorure d'hydrogène**

**Rapport N°: 797665/7288159-3-RAP2-V0**

VERSION	DATE D'EMISSION	AUTEURS	VERIFICATEUR	APPROBATEUR
0	24/09/2019	M. DESMERCIERES	NT. LE	H. LEDOUX

**BUREAU VERITAS EXPLOITATION**

Société par Actions Simplifiée – 8 cours du Triangle 92800 PUTEAUX – RCS : Nanterre 790 184 675 – Capital Social de 36 315 050 euros

© Bureau Veritas Exploitation - Toute reproduction interdite



## **SOMMAIRE**

<b>1</b>	<b>Liste des scénarios étudiés</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Méthodes et critères – Seuils des dangers pris en compte</b>	<b>4</b>
2.1	<b>Seuils d'effets toxiques retenus pour la quantification des conséquences</b>	<b>4</b>
2.1.1	Seuils de toxicité aiguë du chlorure d'hydrogène	4
2.1.2	Seuils de toxicité aiguë du fluorure d'hydrogène	5
2.2	<b>Méthode d'évaluation des conséquences</b>	<b>5</b>
2.3	<b>Conditions naturelles retenues</b>	<b>8</b>
2.3.1	Conditions météorologiques	8
2.3.2	Conditions orographiques	8
<b>3</b>	<b>Modélisations</b>	<b>9</b>
3.1	<b>Dispersion de chlorure d'hydrogène (HCl)</b>	<b>9</b>
3.1.1	Données d'entrée	9
3.1.2	Seuils d'effets retenus	9
3.1.3	Résultats	9
3.2	<b>Dispersion de fluorure d'hydrogène (HF)</b>	<b>10</b>
3.2.1	Données d'entrée	10
3.2.2	Seuils d'effets retenus	10
3.2.3	Résultats	10

### **Acronymes**

- CL : Concentration Létale
- FDC : Finite Duration Correction
- INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
- PHAST : Process Hazard Analysis Software Tool
- SEI : Seuil des Effets Irréversibles
- SELS : Seuil des Effets Létaux Significatifs
- SER : Seuil des Effets Réversibles
- SPEL : Seuil des (Premiers) Effets Létaux
- VSTAF : Valeurs Seuils de Toxicité Aiguë Françaises



# 1 Liste des scénarios étudiés

---

Les 2 scénarios étudiés dans le présent rapport sont les suivants :

- Dispersion toxique consécutive à une fuite sur le raccord d'une bouteille de stockage de chlorure d'hydrogène (fuite en extérieur) ;
- Dispersion toxique consécutive à une fuite sur le raccord d'une bouteille de stockage de fluorure d'hydrogène (fuite en extérieur).

## 2 Méthodes et critères – Seuils des dangers pris en compte

### 2.1 Seuils d'effets toxiques retenus pour la quantification des conséquences

Les seuils de référence retenus sont les seuils 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.

Les valeurs seuils applicables pour les effets toxiques (ou VSTAF pour Valeurs Seuils de Toxicité Aiguë Françaises) sont présentées dans le tableau suivant (tableau extrait de l'annexe II relative aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes dangereux pouvant survenir dans des installations classées de l'arrêté du 29 septembre 2005) :

	Types d'effets constatés	Concentration d'exposition	Référence
Exposition de 1 à 60 min	Létaux	SELS (CL5%) SPEL (CL1%)	Seuils de toxicité aiguë – Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable – INERIS
	Irréversibles	SEI	
	Réversibles	SER	

Note : Pour des durées de rejet inférieures à 1 min, les valeurs seuils retenues seront par défaut celles correspondant à une durée d'exposition de 1 min.

#### 2.1.1 Seuils de toxicité aiguë du chlorure d'hydrogène

Concentration	Temps (min.)				
	1	10	20	30	60
Seuil des effets létaux significatifs – SELS • mg/m <sup>3</sup> • ppm	29 763 19 975	3 202 2 149	1 638 1 099	1 106 742	565 379
Seuil des premiers effets létaux – SPEL • mg/m <sup>3</sup> • ppm	16 390 11 000	1 937 1 300	1 013 680	700 470	358 240
Seuil des effets irréversibles – SEI • mg/m <sup>3</sup> • ppm	3 590 2 410	358 240	179 120	119 80	60 40
Seuil des effets réversibles – SER • mg/m <sup>3</sup> • ppm	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND	ND ND

ND: Non déterminé

Source : Rapport INERIS "Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Seuils de Toxicité Aiguë – Chlorure d'hydrogène" (référence : INERIS– DRC-08-94398-11984A)

## 2.1.2 Seuils de toxicité aiguë du fluorure d'hydrogène

Concentration	Temps (min.)				
	1	10	20	30	60
Seuil des effets létaux significatifs – <b>SELS</b> · mg/m <sup>3</sup> · ppm	14 061 17 147	1 398 1 705	698 851	465 567	232 283
Seuil des premiers effets létaux – <b>SPEL</b> · mg/m <sup>3</sup> · ppm	9 102 11 100	921 1 123	462 563	309 377	155 189
Seuil des effets irréversibles – <b>SEI</b> · mg/m <sup>3</sup> · ppm	ND ND	492 600	ND ND	164 200	82 100
Seuil des effets réversibles – <b>SER</b> · mg/m <sup>3</sup> · ppm	49 60	10 12	6 7	4 5	0,8 1

ND: Non déterminé

Source : Rapport INERIS "Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l'atmosphère – Seuils de Toxicité Aiguë – Fluorure d'hydrogène" (référence : INERIS–DRC-08-94398-12729A)

## 2.2 Méthode d'évaluation des conséquences

Les modélisations ont été réalisées à l'aide du logiciel PHAST v6.7, développé par DNV Technica, PHAST étant l'acronyme anglais de Process Hazard Analysis Software Tool.

La modélisation du phénomène de dispersion atmosphérique (effets de dérive et de dilution par l'air) est ainsi fonction de 4 groupes de paramètres :

- les conditions initiales du terme source (durée de la fuite, température du gaz/vapeur, entraînement d'air...);
- les propriétés physiques et chimiques du gaz/vapeur (densité, présence de gouttelettes...);
- le régime d'écoulement ou de dispersion du nuage ;
- les conditions météorologiques (vitesse du vent, stabilité de l'atmosphère).

Le logiciel PHAST calcule pour chaque temps t, la concentration C(t) au centre du nuage. Il moyenne cette concentration en fonction du temps d'intégration retenu (« averaging time ») et intègre cette concentration moyenne au cours du temps pour calculer la dose toxique :

$$\text{Dose} = \int_0^Y \overline{C}^N(t) dt = \overline{C}_{\text{Seuil}}^N \times t_{\text{ref}}$$

Avec :

- Y : Temps d'exposition, généralement voisin de la durée de relâchement continu
- $\overline{C}$  : Concentration moyennée pendant le temps d'intégration
- N : Coefficient de concentration
- C<sub>Seuil</sub> : Concentration seuil entraînant l'apparition d'un effet redouté
- t<sub>ref</sub> : Temps de référence correspondant à l'exposition nécessaire pour entraîner l'effet redouté

#### Remarques :

- 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.
- Le paramétrage du logiciel PHAST a été fait conformément au « Guide de bonnes pratiques pour l'utilisation du logiciel PHAST à l'usage des industriels de l'industrie chimique » – UIC – DT 102 – Septembre 2012.

#### **Notion de temps d'observation (« Averaging time »)**

Selon la durée de la fuite, les conditions atmosphériques ont le temps de changer ou non. La plupart des modèles de dispersion considèrent que le vent a une direction, selon laquelle se fait le rejet, et une vitesse, ces deux paramètres étant supposés constants au cours de la simulation. Or, il est clair que lors d'une fuite d'une durée de 30 min par exemple, le vent va évoluer et va subir des fluctuations autour de sa direction principale, atténuant les pics de concentration au centre du nuage en permettant à celui-ci de s'étoffer. Il existe un moyen de prendre en compte ces légères fluctuations de la direction du vent autour d'une direction privilégiée qui reste celle du rejet : **il faut introduire la notion d'« averaging time », c'est-à-dire introduire un « temps d'observation ».**

L'averaging time doit être relié aux effets que l'on souhaite décrire ; **pour les effets toxiques, nécessitant une exposition plus ou moins longue**, le nuage se disperse pendant un temps non négligeable et la direction du vent a le temps de fluctuer un peu autour de son axe privilégié. **On accorde donc la valeur de l'averaging time avec le temps d'exposition des cibles, que l'on suppose égal à la durée de fuite.**

De plus, il est à noter qu'il existe deux paramètres distincts pour le temps de moyennage dans le logiciel PHAST : la valeur du « **core averaging time** » est utilisée lors du calcul de la dispersion passive du nuage tandis que la valeur de l'« **averaging time** » est utilisée uniquement lors de la phase de post-traitement, pour certains résultats.

En pratique, conformément aux préconisations de DNV et de l'INERIS, **la valeur du « core averaging time » est prise égale à la valeur de l'« averaging time » du scénario considéré.**

Au final, l'hypothèse suivante est retenue :

$$t_{av}^{core} = t_{av}^{scenario} = t_{fuite}$$

#### **Cas particulier des dispersions de rejet continu court**

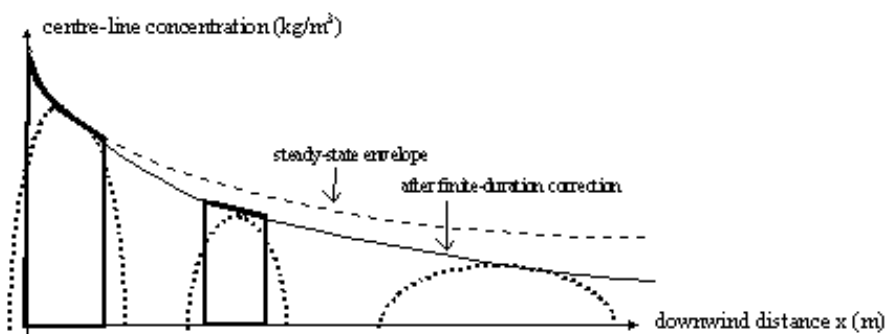
Pour les calculs de dispersion liés à des temps de fuite courts, le nuage peut ne pas être « stabilisé » à la concentration étudiée (état stationnaire du nuage). C'est le cas pour les dispersions toxiques étudiées dans le présent rapport. Le modèle « Finite Duration Correction » (FDC) du logiciel PHAST a donc été utilisé, tel que recommandé par DNV.

Le modèle par défaut intitulé « Quasi-Instantaneous Without Duration Adjustment » ne permet pas de traiter correctement les rejets de type bouffée. La figure suivante illustre la représentation PHAST d'un nuage « non stabilisé » :



Le modèle FDC donne les résultats de concentration du nuage les plus précis, dans la direction du vent (courbe  $C=f(x)$ ). Par contre, il ne permet pas de calculer les dimensions et donc le volume du nuage. Pour cette raison, il n'est pas proposé par défaut dans les paramètres de dispersion du logiciel PHAST.

L'approche de FDC est basée sur la formule HGSYSTEM. Elle a une meilleure base scientifique et est dérivée d'une solution analytique des équations gaussiennes de dispersion passive du nuage. Elle prend en compte les effets de la diffusion du vent ainsi que les effets de diffusion turbulente.



**finite-duration correction**

Cependant, le modèle s'applique uniquement aux rejets non pressurisés, qui ne présente pas de taux de « rain out » important.



## 2.3 Conditions naturelles retenues

### 2.3.1 Conditions météorologiques

Les conditions atmosphériques (stabilité et vitesse de vent) ont une influence certaine sur la dispersion des polluants gazeux. Ces conditions sont usuellement désignées par une lettre (de A à F), indiquant la stabilité atmosphérique mesurée sur l'échelle de Pasquill-Gifford, et un chiffre correspondant à la vitesse du vent.

Pour des rejets au niveau du sol, deux types de conditions sont à retenir selon la fiche n°2 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 dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

Il s'agit des conditions suivantes :

- les conditions (D/5) (ou « 5D ») correspondent à une atmosphère neutre (classe D) associée à une vitesse de vent de 5 m/s. Ce sont des conditions moyennement favorables à la dispersion ;
- les conditions (F/3) (ou « 3F ») conjuguent une forte stabilité (classe F) et le vent le plus important que l'on puisse lui associer (3 m/s). Ce sont des conditions défavorables à la dispersion ; dans ces conditions, le nuage dérivant se disperse difficilement dans l'air et reste concentré sur une plus longue distance.

Au final, les conditions météorologiques retenues pour les modélisations des dispersions toxiques étudiées sont présentées dans le tableau ci-après :

	<b>5D</b>	<b>3F</b>
<b>Vitesse de vent</b>	5,0 m/s	3,0 m/s
<b>Stabilité atmosphérique (Pasquill-Gifford)</b>	D	F
<b>Atmosphère</b>	Neutre	Stable
<b>Température ambiante</b>	20°C	15°C
<b>Humidité relative de l'air</b>	70%	70%

### 2.3.2 Conditions orographiques

Les conditions orographiques traduisent les caractéristiques du terrain, c'est-à-dire essentiellement l'état de « rugosité » du sol, influant sur la turbulence atmosphérique et donc sur la dispersion. La rugosité peut être interprétée comme un coefficient de frottement du nuage sur le sol et produit 2 types d'effets antagonistes :

- elle augmente la turbulence, ce qui favorise la dilution ;
- elle freine le nuage, ce qui favorise l'effet d'accumulation et la concentration.

La rugosité a une influence non négligeable sur la dispersion des nuages de gaz lourds, ayant un comportement « rampant » au sol, du fait de leur densité plus élevée que celle de l'air.

Les calculs de dispersion sont réalisés avec le logiciel PHAST avec un paramètre de rugosité du sol de 0,17 représentatif de sites industriels sans obstacle important.

### 3 Modélisations

---

#### 3.1 Dispersion de chlorure d'hydrogène (HCl)

##### 3.1.1 Données d'entrée

Les caractéristiques des bouteilles de chlorure d'hydrogène mises en œuvre sur le site de SAFRAN sont les suivantes :

- Inventaire d'une bouteille : 36 kg ;
- Pression de stockage : 37 bar ;
- Température de stockage : 15°C ;
- Diamètre du raccord : 25,4 mm (1").

##### 3.1.2 Seuils d'effets retenus

La durée de rejet étant très courte (inférieure à 1 min), les valeurs d'effets retenues sont les valeurs seuils correspondant à une durée d'exposition de 1 min :

- SEI : 2 410 ppm ;
- SPEL : 11 000 ppm ;
- SELS : 19 975 ppm.

##### 3.1.3 Résultats

Les zones d'extensions maximales pour les valeurs de concentrations seuils définies au paragraphe précédent et pour les conditions atmosphériques définies au paragraphe §2.3 sont présentées ci-après :

	Distances d'effets		
	SEI	SPEL	SELS
<b>Conditions 5D</b>	Non atteint	Non atteint	Non atteint
<b>Conditions 3F</b>	Non atteint	Non atteint	Non atteint

## 3.2 Dispersion de fluorure d'hydrogène (HF)

### 3.2.1 Données d'entrée

Les caractéristiques des bouteilles de fluorure d'hydrogène mises en œuvre sur le site de SAFRAN sont les suivantes :

- Inventaire d'une bouteille : 39,5 kg ;
- Pression de stockage : 0,9 bar ;
- Température de stockage : 15°C ;
- Diamètre du raccord : 25,4 mm (1").

### 3.2.2 Seuils d'effets retenus

La durée de rejet étant très courte (inférieure à 1 min), les valeurs d'effets retenues sont les valeurs seuils correspondant à une durée d'exposition de 1 min :

- SEI : Non déterminé ;
- SPEL : 11 100 ppm ;
- SELS : 17 147 ppm.

### 3.2.3 Résultats

Les zones d'extensions maximales pour les valeurs de concentrations seuils définies au paragraphe précédent et pour les conditions atmosphériques définies au paragraphe §2.3 sont présentées ci-après :

	Distances d'effets		
	SEI	SPEL	SELS
Conditions 5D	-	25 m	20 m
Conditions 3F	-	30 m	25 m

Remarque : Les distances ont été arrondies à la demi-dizaine supérieure.