



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

**Influence de la valeur des seuils  
d'effets sur les distances de sécurité  
à considérer lors de rejet de  
substances toxiques**

—

**Cas de l'HF, HCl, Cl<sub>2</sub>**

Rapport final

*S. DUPLANTIER*

*Unité Phénoménologie  
Direction des Risques Accidentels*

Mars 2001

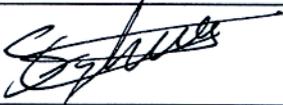
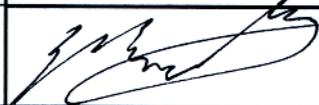
# Influence de la valeur des seuils d'effets sur les distances de sécurité à considérer lors de rejet de substances toxiques

## — Cas de l'HF, HCl, Cl<sub>2</sub>

Rapport final

MARS 2001

**STEPHANE DUPLANTIER**

	Rédaction	Vérification	Approbation
<b>NOM</b>	S. DUPLANTIER	Y. MOUILLEAU	D. GASTON
<b>Qualité</b>	Ingénieur de l'unité Phénoménologie	Responsable de l'unité Phénoménologie	Directeur Adjoint de la Direction des Risques Accidentels
<b>Visa</b>			

Ce document comporte 20 pages. (hors couverture)

## PREAMBULE

Le présent document a été établi :

- Au vu des données scientifiques et techniques disponibles ayant fait l'objet d'une publication reconnue ou d'un consensus entre experts,
- Au vu du cadre légal, réglementaire ou normatif applicable.

Il s'agit de données et informations en vigueur à la date de l'édition du document en mars 2001.

Le présent document comprend des propositions ou des recommandations. Il n'a en aucun cas pour objectif de se substituer au pouvoir de décision du ou des gestionnaire(s) du risque ou d'être partie prenante.

## TABLE DES MATIERES

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
1.1 Contexte de l'étude .....	4
1.2 Eléments contractuels .....	4
1.3 Nature de la prestation .....	4
1.4 Organisation du document .....	5
<b>2. DESCRIPTION DES SCÉNARIOS ET DES OUTILS UTILISÉS POUR LA MODÉLISATION .....</b>	<b>6</b>
2.1 Description des scénarios.....	6
2.2 Description du logiciel PHAST 4.2 .....	7
<b>3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>8</b>
3.1 Dispersion d'HF .....	9
3.2 Dispersion de chlore .....	11
3.3 Dispersion d'HCl .....	13
3.4 Corrélation entre les coefficients multiplicateurs des distances et de réductions des seuils .....	15
<b>4. SYNTHÈSE.....</b>	<b>16</b>
<b>5. LISTE DES ANNEXES .....</b>	<b>17</b>

## 1. INTRODUCTION

---

### 1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

Dans le cadre d'une réflexion conduite au niveau de l'Europe, une révision des seuils critiques de toxicité actuellement retenus pour la maîtrise de l'urbanisation est en cours d'étude. Cette révision pourrait notamment s'appuyer sur les seuils définis aux Etats-Unis (AEGL<sup>1</sup>). Le but de cette note de calcul est d'évaluer les implications que pourrait avoir un tel choix sur les distances de sécurité à considérer dans le cadre de la maîtrise de l'urbanisation.

### 1.2 ELEMENTS CONTRACTUELS

La présente prestation fait suite à :

- une demande par courrier en date 23 février 2001, référencé DPPR/SEI/LL/FG ;
- une proposition par télécopie en date du 6 mars 2001, référencée DRA-CCw/MCh-n°559/01-Affaire P29444-CGR29445.

### 1.3 NATURE DE LA PRESTATION

La prestation consiste à modéliser la dispersion de trois substances et à comparer les distances de sécurité obtenues en retenant dans un premier temps les seuils actuellement en vigueur et dans un deuxième temps les seuils américains (AEGL).

Les trois produits sont :

- l'acide fluorhydrique,
- le chlore,
- l'acide chlorhydrique.

Les seuils considérés pour une durée d'exposition de 30 minutes sont regroupés dans le Tableau 1.

Produit	Effets létaux		Effets irréversibles	
	SEL <sup>2</sup>	AEGL <sub>1</sub>	SEI <sup>3</sup>	AEGL <sub>2</sub>
HF	400	62	200	34
Cl <sub>2</sub>	160	31	25	3
HCl	470	210	60	43

*Tableau 1 : Seuils d'effet considérés pour une durée d'exposition de 30 minutes.*

---

<sup>1</sup> AEGL : Acute Exposure Guideline Levels

<sup>2</sup> SEL : Seuil des effets létaux

<sup>3</sup> SEI : Seuil des effets irréversibles

Pour mémoire, lorsque la durée d'exposition varie, les seuils varient également. Dans cette étude, il a été choisi de ne s'intéresser qu'à une durée d'exposition de 30 minutes. Les résultats ne sont donc pas a priori transposables à d'autres durées d'exposition.

#### **1.4 ORGANISATION DU DOCUMENT**

Ce document comporte trois parties :

- La première partie est consacrée à la définition des scénarios ;
- La deuxième partie concerne les résultats de dispersion et leur exploitation ;
- La troisième partie constitue la synthèse du document.

## 2. DESCRIPTION DES SCENARIOS ET DES OUTILS UTILISES POUR LA MODELISATION

---

### 2.1 DESCRIPTION DES SCENARIOS

Pour chaque produit, deux scénarios sont envisagés :

- une fuite en phase liquide,
- et une fuite en phase gazeuse.

Ces scénarios représentent les situations les plus courantes d'accident. Ils ont été préférés aux scénarios de ruines de capacités qui conduisent généralement à des temps d'exposition des personnes très inférieurs à 30 minutes.

Le scénario retenu consiste en un rejet horizontal à 1 m du sol au travers d'une canalisation d'une longueur d'un mètre. Le diamètre de la canalisation est de :

- 25 mm pour l'acide fluorhydrique,
- et de 10 mm pour les produits chlorés ( $\text{Cl}_2$  et  $\text{HCl}$ ).

Pour les produits chlorés, le débit de fuite a été volontairement limité en restreignant à 10 mm le diamètre de rejet, sans quoi, les distances de sécurité calculées peuvent dépasser les 10 kilomètres. Or, au-delà d'une telle distance, les modèles de dispersion retenus par l'INERIS dans le cadre de cette prestation ne s'appliquent plus.

Le réservoir est supposé être sous la pression de vapeur saturante du produit à la température considérée. La température du produit est prise égale à :

- 30°C pour l'acide fluorhydrique, ce choix a été fait pour l'HF de sorte qu'une pression de 1,44 bar absolu règne dans le réservoir, cette pression est alors suffisante pour qu'un rejet substantiel d'HF se produise ;
- et à 15°C pour les produits chlorés.

Pour les fuites en phase liquide, le niveau de liquide dans le réservoir est choisi forfaitairement égal à 1 m. Le rejet est supposé se dérouler sur un sol sec en l'absence de cuvette de rétention.

La durée du rejet est prise égale à 30 minutes, de sorte que la durée de rejet soit voisine ou égale à la durée d'exposition souhaitée.

Le logiciel utilisé pour modéliser la dispersion atmosphérique des substances est le logiciel PHAST 4.2. Pour mémoire, quelques caractéristiques de PHAST sont rappelées au paragraphe suivant.

L'humidité relative est prise égale à 0,7, la rugosité à 0,1. Les conditions météorologiques considérées sont de type F3<sup>4</sup> et D5 associées respectivement à une température de 10°C et de 15°C. Ces conditions météorologiques correspondent respectivement à des conditions parmi les plus défavorables pour la dispersion et à des conditions couramment rencontrées.

---

<sup>4</sup> La définition des classes de stabilité est rappelée en annexe B.

## 2.2 DESCRIPTION DU LOGICIEL PHAST 4.2

La dispersion atmosphérique d'un produit rejeté accidentellement dépend essentiellement :

- des caractéristiques de la source d'émission (par exemple, son énergie cinétique, la direction du rejet) ;
- de la densité du produit rejeté (s'agit-il d'un gaz plus lourd ou plus léger que l'air de l'atmosphère ?) ;
- des conditions orographiques, c'est à dire essentiellement de l'état de «rugosité» du sol qui varie selon qu'il s'agit d'un champ cultivé, d'une forêt, d'une zone industrielle, d'une étendue d'eau,... ;
- des conditions météorologiques comme la vitesse du vent, la stabilité de l'atmosphère, l'hygrométrie, la température ambiante.

Le logiciel PHAST dans sa version 4.2. a été employé pour traiter cette phase de dispersion. Il convient de noter que ce code a fait l'objet, de la part de l'INERIS, d'une évaluation de son aptitude à la détermination des conséquences. Un rapport d'évaluation a été établi à la demande du Service de l'Environnement Industriel (S. E. I.) du Ministère de l'Environnement. Au moyen de ce logiciel, les calculs de dispersion peuvent être effectués avec quatre types de modèle correspondant à autant de problématiques différentes :

- un modèle qui est employé lorsque c'est l'énergie cinétique propre au rejet qui préside à la dispersion (cas des jets de gaz sous pression par exemple) ;
- un modèle qui est employé lorsque la dispersion dépend à la fois de l'énergie cinétique du rejet et des effets de densité ;
- un modèle pour les calculs de dispersion des gaz lourds ;
- enfin, un modèle classique de dispersion gaussienne lorsque le polluant émis est «dynamiquement passif» et que la dispersion atmosphérique ne dépend plus que des conditions orographiques.

La modélisation proposée est donc assez fine, en prenant en compte les différents régimes de dispersion.

En revanche, il faut citer certaines limitations concernant ce logiciel:

- le terrain doit être plat, de rugosité uniforme et non encombré d'obstacles ;
- la vitesse du vent doit être au moins égale à 1 m/s pour obtenir des résultats plausibles ;
- les conditions météorologiques sont considérées invariables tout le temps de l'émission et de la dispersion ;
- enfin, la source d'émission doit être fixe dans l'espace.

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

---

Pour faciliter la présentation des résultats, il est utile au préalable de définir deux coefficients qui seront utilisés par la suite :

- **Le coefficient de réduction des seuils :**  
ce coefficient est le rapport entre la valeur de seuil actuellement retenue et la valeur de seuil américain (AEGL). Pour chaque produit, il y a deux coefficients de réduction : un pour les effets létaux et un pour les effets irréversibles. Pour les trois produits retenus, tous les coefficients sont supérieurs à 1 et ils varient entre 1,4 (HCl, SEI) et 8,3 (Cl<sub>2</sub>, SEL).
- **Le coefficient multiplicateur des distances de sécurité :**  
ce coefficient est le rapport entre les distances de sécurité obtenues en retenant les seuils américains (AEGL) et celles obtenues en retenant les seuils actuellement en vigueur. Il existe un coefficient pour chaque scénario et pour chaque condition météorologique considérée. Dans le cadre de cette étude, il est toujours supérieur à 1 et il varie entre 1,2 et 3,65. Il a été utilisé principalement sous deux formes :
  - d'une part, pour évaluer l'augmentation moyenne des distances de sécurité relative à la variation d'un seuil donné ; dans ce cas, une moyenne des coefficients multiplicateurs a été réalisée. Il est alors dénommé « coefficient multiplicateur moyen des distances de sécurité » ;
  - d'autre part, pour évaluer l'augmentation maximale des distances de sécurité toujours relative à la variation d'un seuil donné ; dans ce cas, c'est le plus grand coefficient multiplicateur qui a été retenu et il est dénommé « coefficient multiplicateur maximum des distances de sécurité ».

Pour chaque produit, la démarche suivie a été la suivante :

- présentation d'une figure montrant l'évolution de la concentration en fonction de la distance pour le cas le plus pénalisant, à savoir le rejet liquide avec des conditions météorologiques de type F3<sup>5</sup>. Sur cette figure, les différents seuils mentionnés dans le Tableau 1 sont reportés, permettant ainsi de visualiser l'influence de la valeur des seuils sur les distances de sécurité. Pour information, l'ensemble des courbes de variation de la concentration en fonction de la distance est fourni en Annexe pour chacun des produits retenus dans le cadre de cette étude ;
- présentation de deux tableaux de résultats où figurent, pour chacun des scénarios :
  - les distances obtenues avec les différents seuils figurant dans le Tableau 1. Il est à noter que ces distances sont également représentées sous forme de graphes. Sur ces graphes, la distance de sécurité est représentée en fonction de la concentration retenue pour chaque condition météorologique et chaque scénario ;
  - le coefficient multiplicateur qui permet de passer des distances estimées à l'aide des seuils reconnus actuellement (MATE) aux distances estimées avec les seuils américains AEGL.

---

<sup>5</sup> Le rejet liquide correspond au cas le plus pénalisant car, à section de fuite égale, il conduit au débit massique le plus important. En raison de l'absence de formation de flaque, c'est dans ce cas que la quantité émise à l'atmosphère est la plus grande.

### 3.1 DISPERSION D'HF

A titre d'exemple, l'évolution de la concentration en fonction de la distance est donnée dans le cas le plus pénalisant (rejet liquide avec conditions météorologiques de type F3) sur la Figure 1.

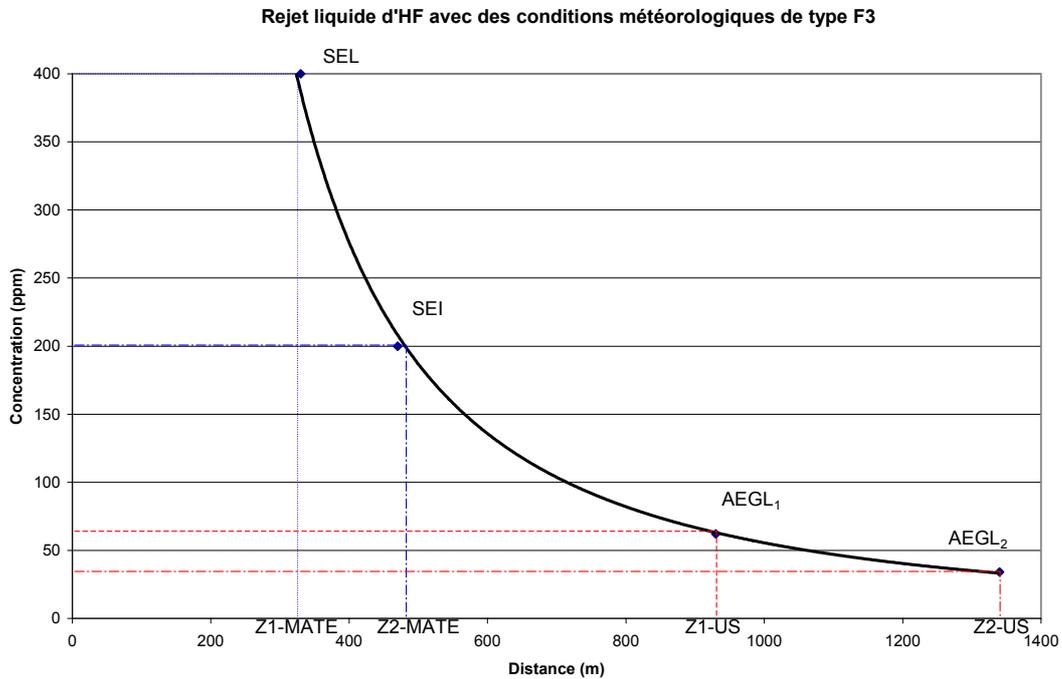


Figure 1 : Evolution de la concentration d'HF en fonction de la distance.

Cette figure montre sans équivoque la très forte augmentation des distances de sécurité à considérer si les seuils américains sont retenus. Par la suite, l'ensemble des distances où sont observés les différents seuils sont regroupées dans le Tableau 2.

Scénario	Débit (kg/s)	Météo	Effets létaux Distance (m)		Effets irréversibles Distance (m)	
			SEL	AEGL <sub>1</sub>	SEI	AEGL <sub>2</sub>
Fuite liquide	1,56	F3	330	930	470	1340
		D5	200	480	280	650
Fuite gaz	0,085	F3	80	280	125	410
		D5	25	75	35	100

Tableau 2 : Distances d'effets pour des scénarios de dispersion d'HF.

Les résultats présentés dans le tableau précédent sont repris sur la Figure 2. Cette figure permet de visualiser explicitement l'augmentation des distances de sécurité à considérer si les seuils AEGL sont retenus.

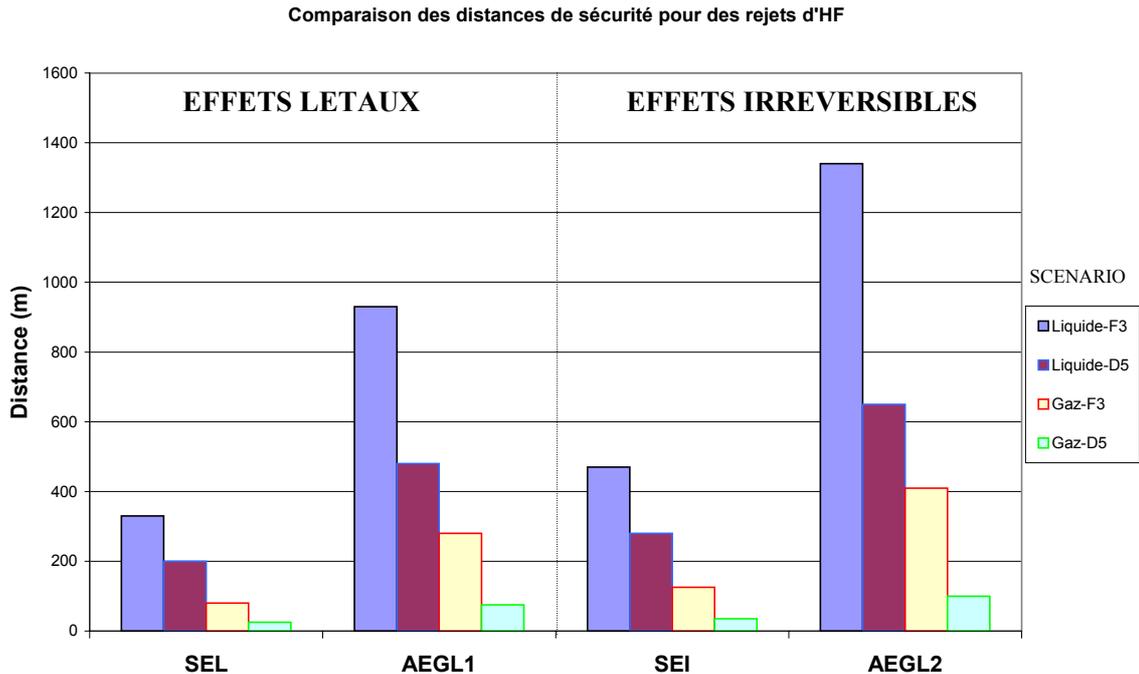


Figure 2 : Variation des distances d'effet en fonction des seuils retenus pour l'HF

Afin d'affiner l'estimation de cette augmentation, dans le Tableau 3, pour tous les cas considérés, le coefficient multiplicateur, qui permet de passer des distances actuelles aux distances estimées avec l'AEGL, est fourni.

Seuils	Météo	Coefficient multiplicateur	
		Scénario 1 - liq	Scénario 2 – gaz
SEL	F3	2,8	3,5
	D5	2,4	3
SEI	F3	2,85	3,3
	D5	2,32	2,9

Tableau 3 : Coefficient multiplicateur des distances de sécurité pour l'HF

Pour l'HF, il faut retenir les points suivants :

- Concernant les effets létaux, le coefficient de réduction des seuils est de 6,5 :
  - le coefficient multiplicateur moyen des distances est égal à 2,9
  - et le coefficient multiplicateur maximum est de 3,5 ;
- Concernant les effets irréversibles, le coefficient de réduction des seuils est de 5,9 :
  - le coefficient multiplicateur moyen des distances est égal à 2,8
  - et le coefficient multiplicateur maximum est de 3,3.

### 3.2 DISPERSION DE CHLORE

A titre d'exemple, l'évolution de la concentration en fonction de la distance est donnée dans le cas le plus pénalisant (rejet liquide avec conditions météorologiques de type F3) sur la Figure 1.

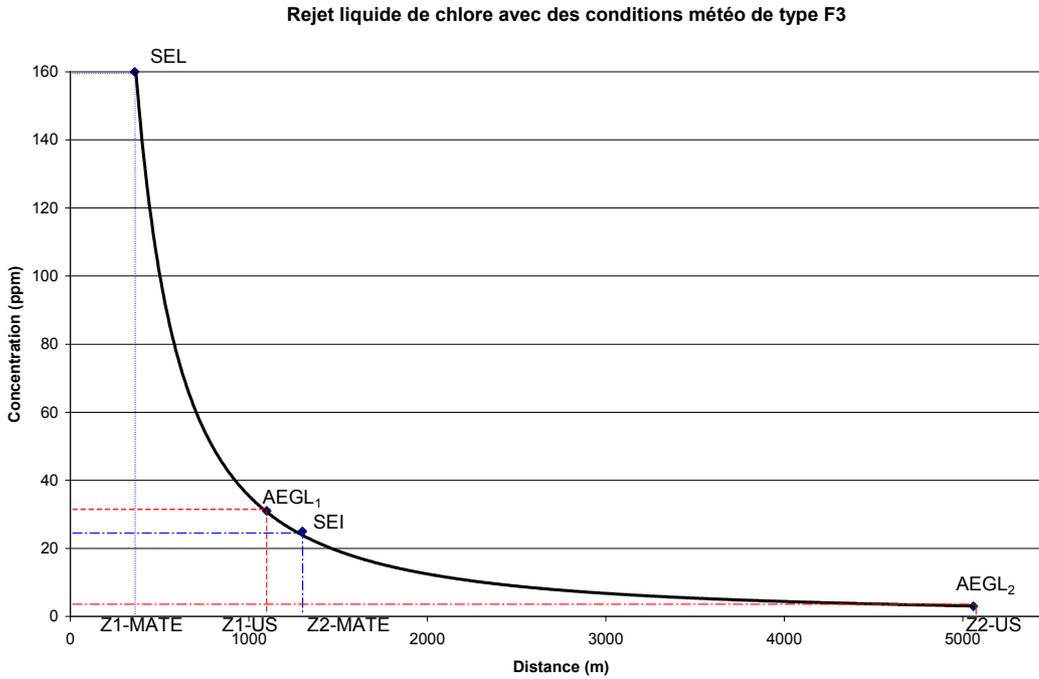


Figure 3 : Evolution de la concentration de Cl<sub>2</sub> en fonction de la distance.

Cette figure montre sans équivoque la très forte augmentation des distances de sécurité à considérer si les seuils américains sont retenus. Par la suite, l'ensemble des distances où sont observés les différents seuils sont regroupées dans le Tableau 4.

Scénario	Débit (kg/s)	Météo	Effets létaux Distance (m)		Effets irréversibles Distance (m)	
			SEL	AEGL <sub>1</sub>	SEI	AEGL <sub>2</sub>
Fuite liquide	0,47	F3	360	1100	1300	5060
		D5	125	290	330	1100
Fuite gaz	0,1	F3	175	450	510	1860
		D5	45	115	130	440

Tableau 4 : Distances d'effets pour des scénarios de dispersion de chlore.

Les résultats présentés dans le tableau précédent sont repris sur la Figure 4 qui est analogue à la Figure 2.

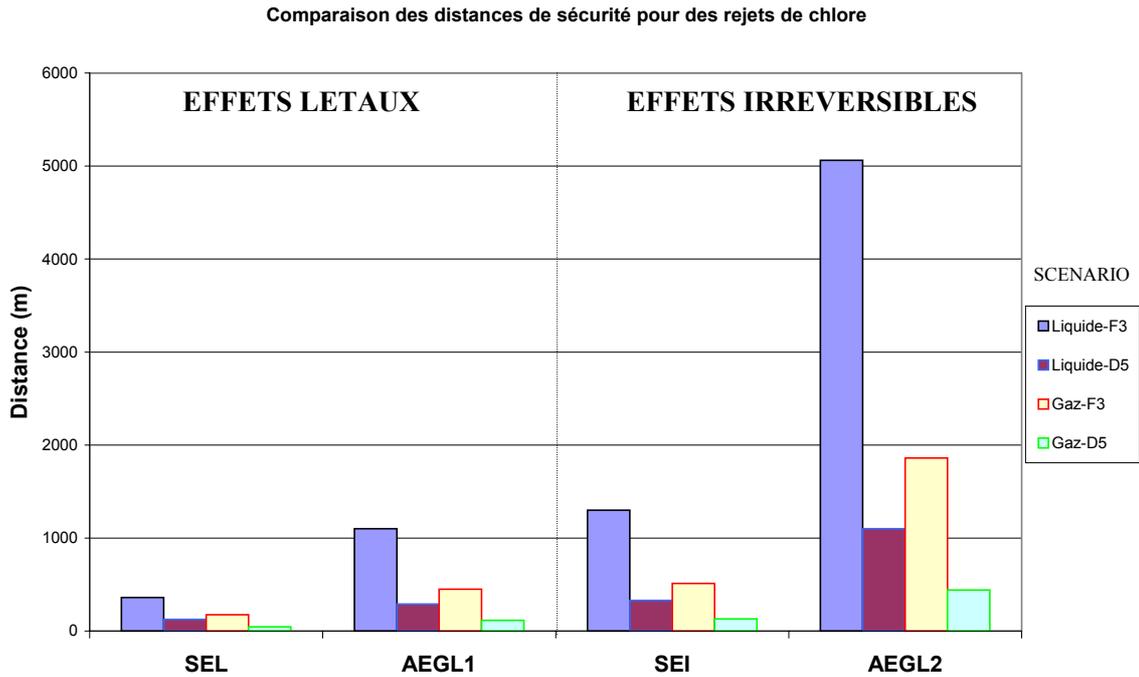


Figure 4 : Variation des distances d'effet en fonction des seuils retenus pour le chlore

Dans le Tableau 5, pour tous les cas considérés, le coefficient multiplicateur qui permet de passer des distances actuelles aux distances estimées avec l'AEGL est fourni.

Seuils	Météo	Coefficient multiplicateur	
		Scénario 1 - liq	Scénario 2 – gaz
SEL	F3	3,1	2,6
	D5	2,3	2,6
SEI	F3	3,9	3,65
	D5	3,3	3,4

Tableau 5 : Coefficient multiplicateur des distances de sécurité pour le chlore

Pour le chlore, il faut retenir les points suivants :

- Concernant les effets létaux, le coefficient de réduction des seuils est de 5,2 :
  - le coefficient multiplicateur moyen des distances est égal à 2,6
  - et le coefficient multiplicateur maximum est de 3,1 ;
- Concernant les effets irréversibles, le coefficient de réduction des seuils est de 8,3 :
  - le coefficient multiplicateur moyen des distances est égal à 3,6
  - et le coefficient multiplicateur maximum est de 3,65.

### 3.3 DISPERSION D'HCL

A titre d'exemple, l'évolution de la concentration en fonction de la distance est donnée dans le cas le plus pénalisant (rejet liquide avec conditions météorologiques de type F3) sur la Figure 1.

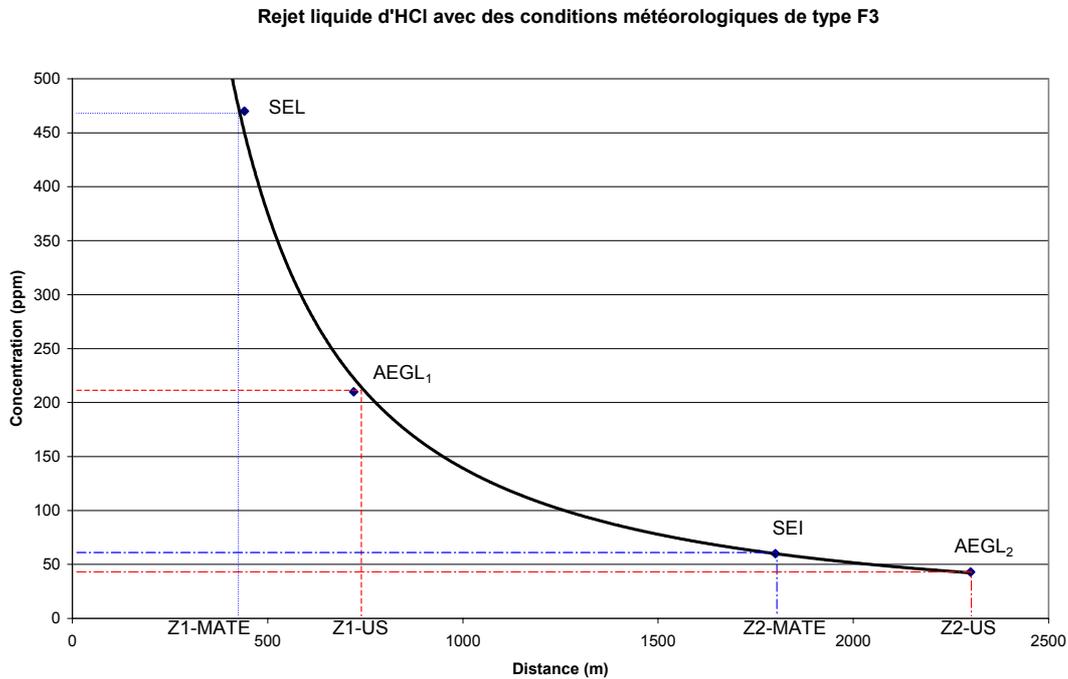


Figure 5 : Evolution de la concentration d'HCl en fonction de la distance.

Cette figure montre sans équivoque la très forte augmentation des distances de sécurité à considérer si les seuils américains sont retenus. Par la suite, l'ensemble des distances où sont observés les différents seuils sont regroupées dans le Tableau 6.

Scénario	Débit (kg/s)	Météo	Effets létaux Distance (m)		Effets irréversibles Distance (m)	
			SEL	AEGL <sub>1</sub>	SEI	AEGL <sub>2</sub>
Fuite liquide	1,17	F3	440	720	1800	2300
		D5	190	275	510	620
Fuite gaz	0,58	F3	370	610	1300	1600
		D5	85	140	300	360

Tableau 6 : Distance d'effet pour des scénarios de dispersion d'HCl.

Les résultats présentés dans le tableau précédent sont repris sur la Figure 6, analogues aux figures 2 et 4.

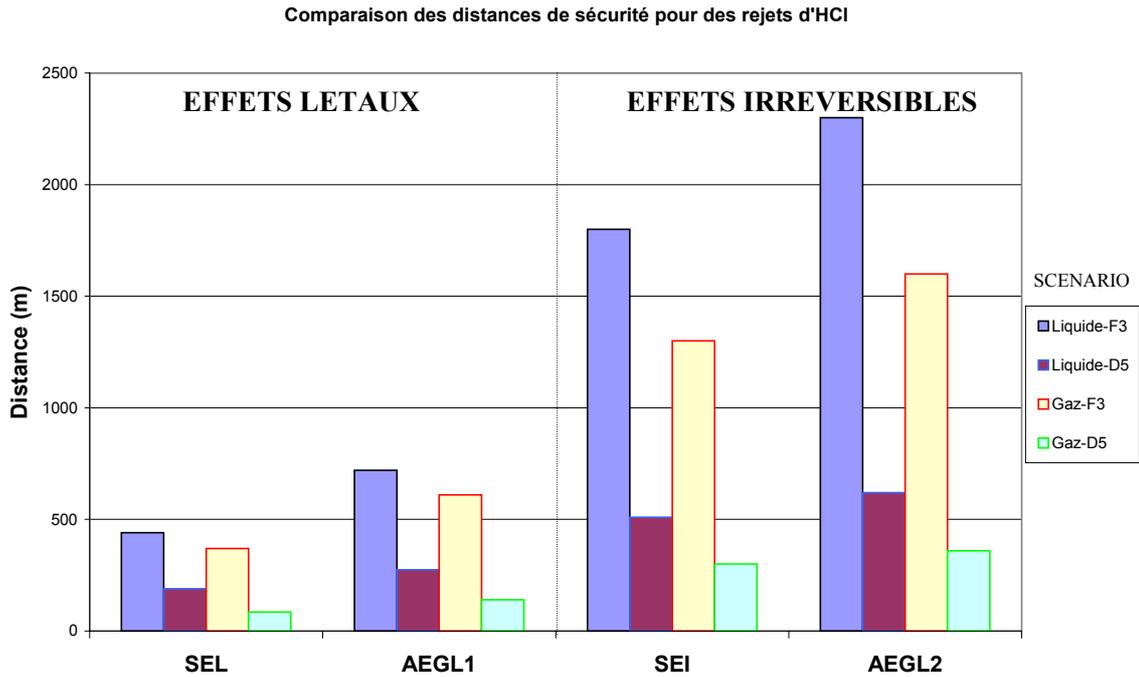


Figure 6 : Variation des distances d'effet en fonction des seuils retenus

Dans le Tableau 7, pour tous les cas considérés, le coefficient multiplicateur qui permet de passer des distances actuelles aux distances estimées avec l'AEGL est fourni.

Seuils	Météo	Coefficient multiplicateur	
		Scénario 1 - liq	Scénario 2 – gaz
SEL	F3	1,6	1,65
	D5	1,45	1,65
SEI	F3	1,3	1,2
	D5	1,2	1,2

Tableau 7 : Coefficient multiplicateur des distances de sécurité pour l'HCl

Pour l'HCl, il faut retenir les points suivants :

- Concernant les effets létaux, le coefficient de réduction des seuils est de 2,2 :
  - le coefficient multiplicateur moyen des distances est égal à 1,6
  - et le coefficient multiplicateur maximum est de 1,65 ;
- Concernant les effets irréversibles, le coefficient de réduction des seuils est de 1,4 :
  - le coefficient multiplicateur moyen des distances est égal à 1,2
  - et le coefficient multiplicateur maximum est de 1,3.

### 3.4 CORRELATION ENTRE LES COEFFICIENTS MULTIPLICATEURS DES DISTANCES ET DE REDUCTIONS DES SEUILS

Afin d'estimer simplement l'augmentation des distances de sécurité qui est obtenu lorsque les seuils américains (AEGL) sont retenus, des corrélations entre le coefficient de réduction des seuils et le coefficient multiplicateur moyen ou maximum des distances de sécurité ont été recherchées. La recherche de ces corrélations a été faite en faisant abstraction de la nature des produits rejetés, des scénarios retenus et de l'effet considéré.

Ainsi, la Figure 7 montre qu'il est possible de trouver des corrélations relativement simples pour estimer l'augmentation des distances de sécurité en fonction de la réduction envisagée des seuils.

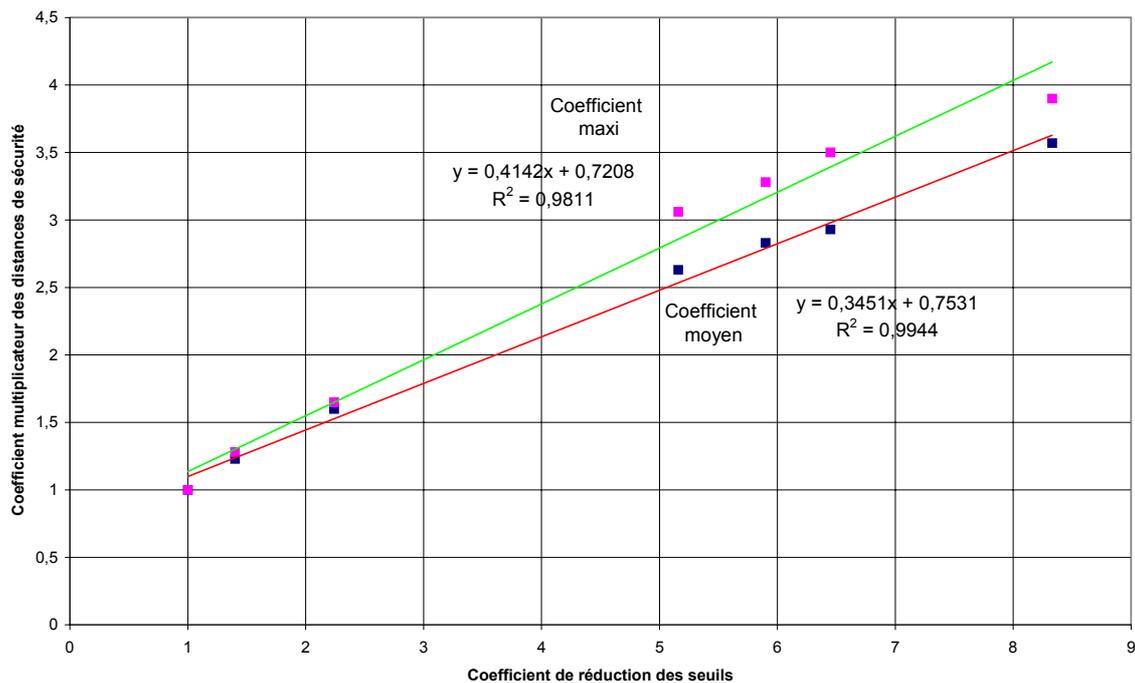


Figure 7 : Corrélations entre le coefficient de réduction des seuils et les coefficients multiplicateurs des distances de sécurité.

A titre d'exemple, le graphe montre qu'une réduction des seuils par un coefficient 5 augmente, en moyenne, les distances de sécurité d'un coefficient 2,5. En outre, ces mêmes distances sont au plus augmentées d'un coefficient 2,7.

## 4. SYNTHÈSE

---

---

Il ressort de manière évidente que, quel que soit le produit considéré, la diminution des seuils d'effet aboutit systématiquement à une augmentation des distances de sécurité à considérer.

Cette augmentation des distances dépend bien évidemment de la valeur du coefficient de réduction des seuils. Elle varie en moyenne linéairement en fonction du coefficient de réduction et ceci indépendamment de l'effet, des produits et des scénarios considérés dans le cadre de cette étude.

Pour déterminer en première approximation la nouvelle distance de sécurité, il est possible de se référer à la Figure 7 comme à un abaque.

**Il est essentiel de garder en mémoire que cet abaque a été établi uniquement sur la base des calculs réalisés lors de cette étude. C'est à dire pour trois substances et deux scénarios associés à deux conditions météorologiques. Il faut donc se garder de toutes extrapolations de ces corrélations à d'autres substances ou d'autres scénarios.**

**Cet abaque ne doit être utilisé que pour estimer en première approximation les nouvelles distances pour les trois produits considérés pour des scénarios du même type. Il ne faut pas, a priori, l'utiliser par exemple pour une ruine de capacité.**

## 5. LISTE DES ANNEXES

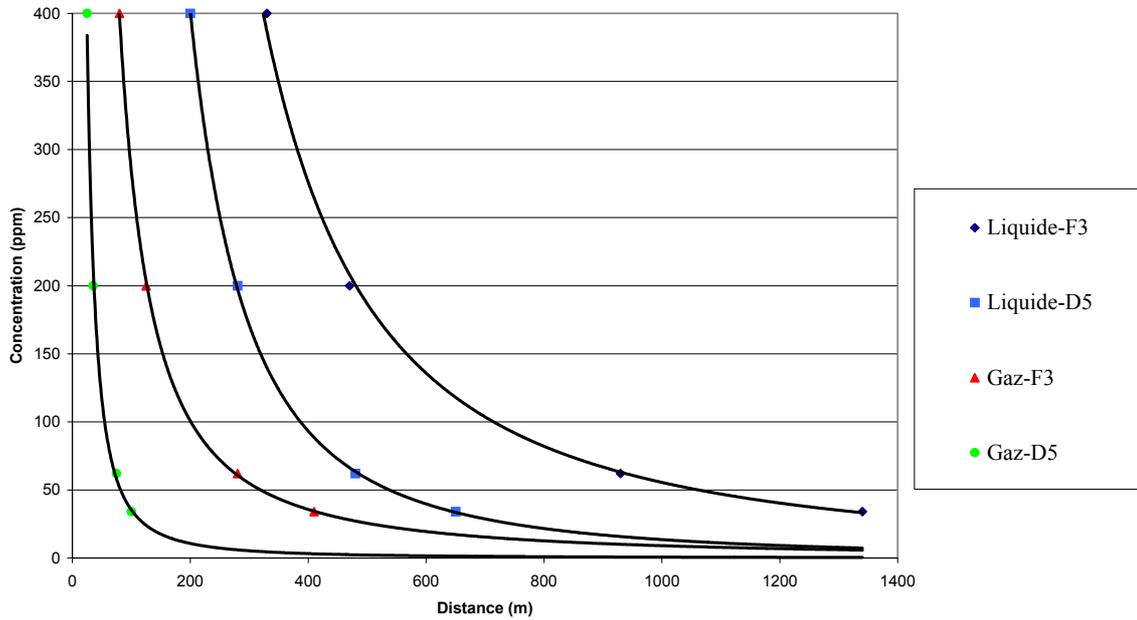
---

---

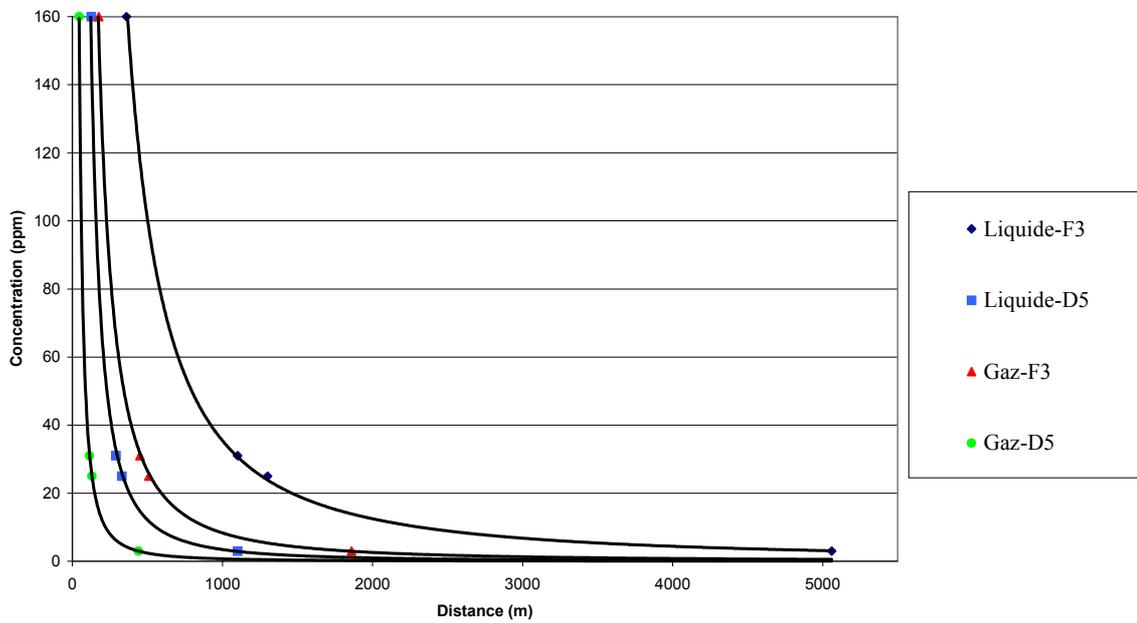
<b>Repère</b>	<b>Désignation précise</b>	<b>Nb/N° pages</b>
A	Ensemble des courbes de variation de la concentration en fonction de la distance.	2
B	Définition des classes de stabilité	1

Annexe A

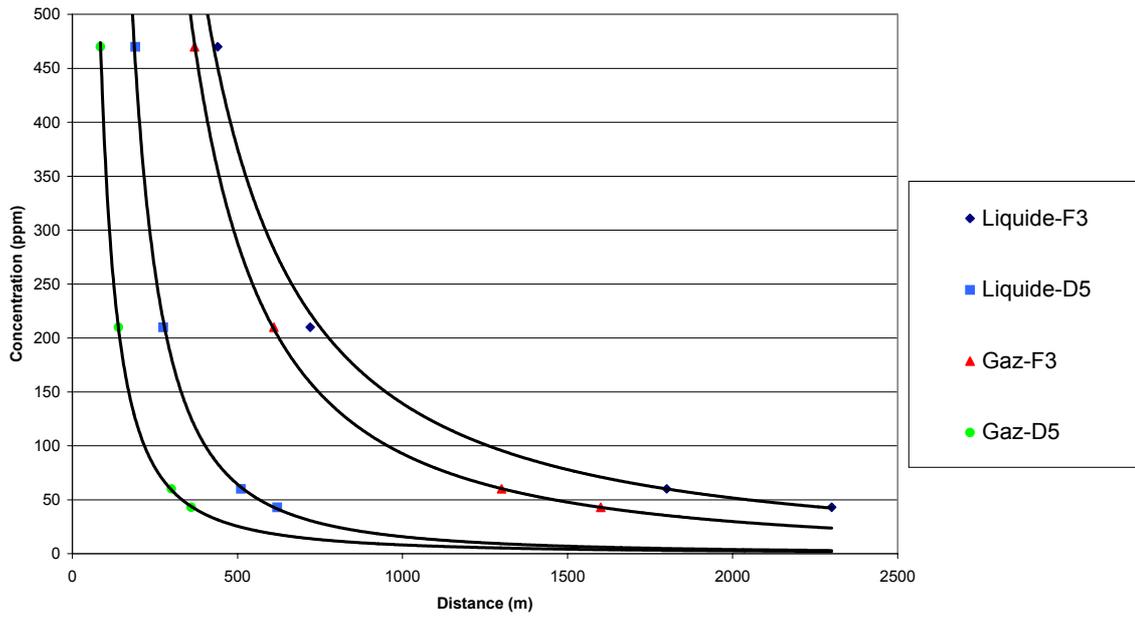
Rejet d'HF



Rejet de chlore



Rejet d'HCl



## ANNEXE B

### Stabilité atmosphérique et vitesse de vent

Pour l'étude des scénarios relatifs aux rejets de substances toxiques et inflammables sont retenues des conditions atmosphériques de type D (neutre) et F (très stable) au sens de Pasquill, respectivement associées à des vitesses de vent de 5 et 3 m/s. La première de ces conditions permet de représenter une situation courante (condition neutre et vitesse du vent de 5 m/s), la seconde permettant une évaluation des conséquences dans des conditions atmosphériques, a priori, défavorables (condition très stable et vitesse du vent de 3 m/s) pour les rejets au niveau du sol.

Ces conditions ont été retenues lorsque les températures associées aux classes de stabilité étaient plausibles. En effet, à titre d'exemple, une stabilité atmosphérique de type F, correspondant à une atmosphère stable, n'est pas associée avec une température ambiante correspondant à une belle journée d'été.

A titre de rappel, les stabilités atmosphériques classées de A à F, selon Pasquill, donnent l'aptitude de l'écoulement atmosphérique à diffuser un polluant. La stabilité A correspond à une atmosphère très instable, donc en général favorable à la dispersion, à l'opposé, la stabilité F est en rapport avec une atmosphère très stable et donc défavorable à la dispersion

