**1. GENERALITES**

 Dans l’environnement industriel, les feux torche appelés également feux chalumeau peuvent survenir suite à des fuites accidentelles de fluides inflammables ou à des évacuations intentionnelles de sous-produits par l’intermédiaire de torchères.

 Le système de torchère est très couramment utilisé dans l’industrie pétrolière pour évacuer sans danger d’importantes quantités de vapeurs inflammables superflues.

 Les torchères sont en général des feux torche bien contrôlés par l’industriel et qui représentent donc que peu de dangers pour l’environnement. En revanche, les feux torche qui sont le résultat de l’inflammation de fuites accidentelles de gaz ou de liquide peuvent être très dévastateurs en milieu industriel. Les feux torche accidentels proviennent en général de fuites à un raccord ou à une vanne, de parois perforées ou de ruptures de canalisation. Ces fuites produisent des dards enflammés pouvant occasionner de graves avaries sur le reste de l’installation et donc conduire à la propagation de l’incendie ou provoquer de nouveaux accidents tels que le phénomène de BLEVE. Afin de se prémunir de tels évènements, il est important de pouvoir prévoir et évaluer les conséquences associées aux feux torche. Pour ce faire, il est notamment nécessaire d’estimer les caractéristiques géométriques de la flamme et de déterminer le flux radiatif émis par la flamme.

**2- DESCRIPTION DU PHENOMENE**

**2.1 Conditions d’occurrence d’un feu torche**

 Lorsqu’un jet liquide ou gazeux issu d’une fuite accidentelle s’enflamme par l’intermédiaire d’une source d’inflammation quelconque (par exemple, une surface chaude), le feu torche prend naissance sous forme d’une flamme de diffusion. Le jet combustible émerge d’une canalisation ou d’un orifice et entre dans l’air ambiant qui est en général au repos. La principale caractéristique de la flamme de diffusion est que le combustible et l’air sont initialement séparés et que la combustion se produit dans la zone où le mélange comburant-combustible se fait. Ceci revient à décrire la flamme d’un simple bec Bunsen dont la virole d’amenée d’air serait entièrement close. Le jet combustible se mélange ainsi à l’air par entraînement et diffusion et avec l’aide d’une source d’inflammation, se met à brûler seulement lorsque les concentrations de combustible et d’air sont comprises dans une plage définie entre les limites d’inflammabilité (domaine d’inflammabilité). Chaque produit possède ainsi un domaine d’inflammabilité spécifique, représenté de manière schématique sur la Figure 1 ci-après. Ce domaine est délimité par :

* La Limite Inférieure d’Inflammabilité ou d’Explosivité (LII ou LIE) s’exprimant en % de gaz en volume dans l’air. En dessous de cette limite, le mélange est trop pauvre en combustible (ou trop riche en oxygène) pour que la flamme puisse se propager dans le milieu gazeux.
* La Limite Supérieure d’Inflammabilité ou d’Explosivité (LSI ou LSE) s’exprimant en % de gaz en volume dans l’air. Au dessus de cette limite, le mélange est trop riche en combustible (ou trop pauvre en oxygène) pour que la flamme puisse se propager dans le milieu gazeux.
* La courbe d’auto-inflammation, qui correspond à une inflammation « spontanée » du mélange.
* La courbe de condensation dans la partie gauche.

Figure 1: Représentation schématique du domaine d’inflammabilité.

 Il existe donc deux concentrations limites entre lesquelles le mélange combustible-air est inflammable : les limites inférieure LII et supérieure LSI d’inflammabilité. La Figure 1 montre que ces deux limites varient avec la température du jet. D’ailleurs, plus la température augmente, plus la plage d’inflammabilité est grande ce qui revient à dire que le risque d’inflammation augmente. De plus, le jet peut également s’auto-enflammer sans source d’inflammation extérieure si la température du mélange gazeux est suffisante pour déclencher des réactions d’oxydation. La température joue donc un rôle primordial dans le développement du feu torche au même titre que la pression du jet. Après inflammation du jet, le feu torche s’établit et il en résulte une flamme de diffusion dont l’apparence dépend de la nature du combustible mais aussi de la vitesse du jet combustible par rapport à l’air ambiant. A titre d’exemple, l’hydrogène brûle avec une flamme qui est presque invisible tandis que les hydrocarbures en phase gazeuse produisent des flammes qui ont une coloration plutôt jaune provenant des particules de suies incandescentes.

* + **Origines des accidents**

 Le phénomène de feu torche a pour origine un rejet de fluides combustibles, généralement à l’état gazeux, qui s’enflamme :

* spontanément si sa température est suffisamment élevée ,
* en raison de points chauds,
* par démarrage d’un véhicule situé à proximité,
* ou encore par action de la foudre,

 Les produits enflammés sont divers et vont des gaz tels que l’hydrogène, le propane, l’acétylène) à l’huile de lubrification. Les feux torche se produisent généralement sur des canalisations, mais une fissure ou une perforation sur un stockage ou encore une vanne de purge restée ouverte peuvent également être à l’origine d’un tel phénomène.

**2.3 Causes des accidents**

 Les accidents répertoriés permettent d’identifier plusieurs causes d’occurrence du feu torche :

* la défaillance matérielle (corrosion de la conduite),
* contraintes mécaniques trop fortes et fissure de soudure,
* la défaillance humaine provenant soit de travaux de maintenance et d’exploitation inhérents à la structure visée, soit de travaux totalement indépendants (perforation d’une canalisation par des engins de terrassement,
* les agressions naturelles (foudre frappant une canalisation enterrée).

**3. EFFETS ET SEUILS RETENUS**

* 1,5 kW/m2 Personnes non protégées en rayonnement continu.
* **3 kW/m2** Seuil des douleurs ( temps d’exposition de **30s**, soit **90 kJ/m2** reçus)
* **5 kW/m2**  Seuil létal (temps d’exposition de **60s**, soit **300 kJ/m2** reçus)
* 8 kW/m2 Personnes non protégées en intervention rapide

 Flux thermique rayonné à une distance’’ X’’ en mètres du point d’émission par un feu de type chalumeau:

 **F .Q. ΔH . τ .10-3**

**Φ =**

 **4. π .( X- L/2 )2**

Φ = Flux rayonné en kW / m2

F = Facteur de rayonnement

 - 0,25 pour CH

 - 0,30 pour les autres hydrocarbures

Q = débit gazeux en kg/s

lΔHl = valeur absolue de l’enthalpie de combustion en J/kg

τ = facteur d’atténuation dans l’air (= 1)

L = longueur de la flamme en mètre L = 0,0022 . Q . ΔH

* Application de cette méthode pour les flux des seuils :
* jet non vertical:

 - 3 kw / m2 ---- xm = 3,99. 10-3 ( Q . ΔH ) 0,5

 - 5 kw / m2 ---- xm = 3,25. 10-3 ( Q . ΔH ) 0,5

* jet vertical:

 - 3 kw / m2 ---- xm = 2,87 . 10-3 ( Q . ΔH ) 0,5

 - 5 kw / m2 ---- xm = 2,13 . 10-3 ( Q . ΔH ) 0,5

# 4. CONSEQUENCES DU FEU TORCHE

 Les feux torche, de par leur forte puissance thermique, peuvent entraîner sur des cibles touchées directement ou non par les flammes des effets thermiques dévastateurs. Afin de déterminer ces effets, il faut tenir compte de deux modes de transferts de chaleur :

D’une part **le rayonnement de la flamme** et d’autre part, **la convection forcée** due à la vitesse de jet si la cible est prise à l’intérieur de la torche. Le transfert radiatif se modélise de la même manière que pour les feux de nappe (Bernuchon & al., 2002). Par ailleurs, la convection forcée est négligeable pour ces feux de nappe en raison d’une vitesse de gaz combustible faible alors que dans le cas d’un feu torche, ce transfert de chaleur devient prépondérant.

C’est en partie pour cette raison qu’un feu torche peut être dans certains cas plus dévastateur qu’un feu de nappe.

**IV. Risques liés aux capacités contenant des gaz toxiques liquéfiés ou non et risquant d’éclater lors d’explosion internes ou lors d’agressions externes**

**SCENARIO C : PERTE TOTALE ET INSTANTANEE DU CONFINEMENT**

**V. Risques liés aux installations de gaz toxiques ( lorsque la capacité est dimensionnée pour résister aux agressions externes ou réactions internes des produits):**

**SCENARIO D: RUPTURE INSTANTANEE DE LA PLUS GROSSE**

 **CANALISATION ENTRAINANT LE PLUS FORT DEBIT**

 **MASSIQUE**

**DISPERSION ATMOSPHERIQUE**

**1. GENERALITES**

 Les lois générales de la circulation atmosphérique montrent que les masses d’air sont animées de mouvements horizontaux et verticaux, qui assurent rapidement la dispersion des polluants dans l’ensemble de l’atmosphère. L’émission d’un produit à l’atmosphère peut revêtir un caractère :

* soit chronique, avec des émissions à l’atmosphère plus ou moins continues ou périodiques dans le temps. Les rejets sont les sous-produits indésirables de toute activité humaine, par exemple, les gaz d'échappement des voitures, les fumées d'usines, de chauffages urbains ou toute forme de pollution diffuse (émission de gaz issu d'une décharge...).
* soit **accidentel**, avec des émissions à l’atmosphère ponctuelles dans le temps, non désirées comme la fuite d'une cuve ou un dégagement de fumées dû à un incendie.

 Dans le cadre des études de dangers, il est souvent nécessaire d’évaluer les conséquences d’une perte totale et instantanée des capacités contenant des gaz toxiques liquéfiés ou non sur l’environnement. Différents aspects sont à considérer :

* toxicité des produits chimiques,
* dispersion atmosphérique,
* impact sur l’homme.

 Lorsqu'une personne respire une atmosphère polluée par un produit toxique, les effets auxquels on s'intéresse habituellement sont définis comme étant l'apparition (à faible probabilité) de la létalité, des malaises, de la toux.

Ces effets sont directement fonction de la concentration C et du temps t pendant lequel le sujet est exposé à cette concentration. Les effets varient bien évidemment selon que la personne est un enfant ou un vieillard, ainsi qu'en fonction de son état de santé ou de ses facultés d'accoutumance.

 Pour prévenir les risques d’émissions accidentelles dans l'atmosphère de substances chimiques dangereuses, les gestionnaires de risques souhaitent disposer de seuils de toxicité aiguë qui seront le plus souvent utilisés associés à des scénarios d'accidents pour des études de dangers et pour l'élaboration de plans d'urgence.

1. **EXEMPLES – RETOUR D’EXPERIENCE**
* Youngstown (Etats-Unis) : en février 1978, la perforation d’un wagon de 80 tonnes de chlore (après le déraillement du train) a causé la mort de 08 personnes et blessé 114 autres ; un automobiliste est décédé sur une autoroute à 100 m de là.
* Lonova (URSS) : en mars 1989, la destruction d’un stockage d’ammoniac de 10000t a occasionné le rejet de 7000t, dont une partie s’est enflammée et l’autre a formé un nuage toxique (200 mg/m3 à 3km, 20 à 40 mg/m3 à plus de 10km) ressenti jusqu’à 23 km du lieu de l’accident. Il y eut 7 morts, 57 intoxiqués et 32000 évacués.
* Fort Lauderdale (Etats-Unis) : en février 1981, une fuite sur les réservoirs de chlore d’une piscine intoxiqua 45 personnes.
* Barnesville (États-Unis) : en juin 1981 30 personnes ont été blessées (8 graves) lors du rejet pendant 25 minutes de 40 à 50 tonnes d’ammoniac anhydre depuis un stockage. Une partie des victimes était des automobilistes ayant perdu le contrôle de leur véhicules ou tenté de s’enfuir à pied, sur une autoroute voisine.
* Asfeld (République Fédérale d’Allemagne) : en janvier 1990, un piquage de 25mm s’est rompu durant l’opération de dépotage de chlore d’un wagon vers un stockage de 50 tonnes dans une fabrique de pate-à-papier. Des habitations se trouvaient à proximité de l’usine ;120 personnes ont été hospitalisées et 5 gravement intoxiquées

**3. DESCRIPTION DU PHENOMENE**

Les conditions de dispersion atmosphérique d’un produit vont dépendre de plusieurs paramètres :

* les conditions de rejet (nature du nuage de produit, mode d’émission...) ;
* les conditions météorologiques (champ de vent, de température...) ;
* l’environnement (nature du sol, présence d’obstacles, topographie...).

 Différents processus dont l’importance relative dépend des conditions de rejet, entrent en jeu et agissent simultanément ou successivement.

**3-1 Conditions de rejet**

**3.1.1 Etat physique initial du polluant**

 Avant d’être rejetées dans l’atmosphère, les substances toxiques sont stockées dans des citernes, des sphères, des bouteilles, des containers, des fûts... Les substances peuvent se trouver sous la forme :

* d’un gaz (sous pression ou non),
* d’un liquide (réfrigéré ou non),
* d’un gaz liquéfié.

 Pour les deux derniers cas, les rejets vont donner lieu à une émission diphasique pouvant conduire à la formation d’une nappe. Pour diverses raisons, ces produits peuvent être relâchés dans l’environnement. La rupture du confinement va entraîner des phénomènes variables selon le produit considéré, le type de stockage, l’importance et la position du point de rejet.

**3.1.2 Réactivité avec l’atmosphère (stabilité chimique)**

 Dans la plupart des cas, les produits rejetés sont des produits inertes ou stables (le monoxyde de carbone, par exemple), c’est-à-dire ne subissant pas ou peu de transformations ou d’altération d’origine chimique en contact avec l’atmosphère.

 Lorsque des produits réactifs primaires (typiquement le dioxyde de soufre SO2, les oxydes d’azote NOx) sont émis, les transformations chimiques sont généralement négligées pour des périodes d’étude de l’ordre de quelques minutes, voire quelques heures, comme cela peut être le cas en risque accidentel. Ces produits sont alors traités comme des produits inertes ou stables.

**3.1.3 Mode d’émission**

 Parmi les types de rejet à l'atmosphère, on distingue les rejets **instantanés** des rejets continus.

***a)- Rejet instantané***

 La ruine consiste en la rupture totale du confinement entraînant un relâchement immédiat et instantané de la totalité du contenu.

Les rejets de type instantané sont principalement caractérisés par la quantité émise à l’atmosphère et la pression de la capacité au moment de la rupture (éclatement). Cette dernière peut être différente de la pression de stockage dans certains cas.

 Lors d'un rejet instantané de gaz, en l'absence d'obstacle de taille significative à proximité, l'extension initiale du nuage est relativement isotrope. Il en résulte un volume gazeux sphérique, ou semi-sphérique si l'émission a lieu au niveau du sol (voir la Figure 1).

***b)- Rejet continu***

 La fuite continue, se produit à partir d’une conduite ou d’une cuve de stockage ou de l’émission par une cheminée d’extraction. La fuite va principalement dépendre des conditions de stockage au moment de la fuite mais aussi de la taille, de la géométrie et de la hauteur de l’orifice de fuite. A partir de ces données, il est possible d’estimer un terme-source (débit, vitesse, température... du rejet). Pour un rejet à partir d’un réservoir, le débit varie généralement dans le temps puisque durant la vidange du réservoir, la quantité de produit stocké diminuant, la pression de fuite s'atténue dans le temps. Le panache est dans la plupart des cas de forme allongée (Fig-2).



## Fig-1 : Rejet instantané d’un produit



## Fig-2 : Rejet continu d’un produit

***c)- Détermination du type de rejet***

 Plusieurs critères permettent de différencier les rejets instantanés des rejets continus.

 Hanna [Hanna, 1982a] propose de comparer la durée d'émission du rejet à la durée de transfert. La durée de transfert est définie comme la durée moyenne nécessaire au produit pour migrer de la source d'émission vers le point considéré. Cette durée de transfert, notée t, peut être estimée par le rapport :

**t = x/u**

avec : x : distance entre la source et le point considéré ;

 u : vitesse du nuage.

 Si la durée du rejet est quatre fois supérieure au temps de transfert au point d’observation, le rejet est à admettre comme continu.

**3.1.4 Déplacement du nuage**

 Plusieurs mécanismes participent au déplacement et à la dilution du nuage avec une intensité différente et variable selon l’évolution des caractéristiques du nuage.

* pour des rejets de grande vitesse, la quantité de mouvement va être prédominante dans les premiers instants, puis va être réduite avec les effets d’entraînement de l’air et du frottement du sol.

Tout rejet est émis avec une certaine quantité de mouvement dépendant de ses conditions de stockage. Ainsi, plus la pression de stockage est grande, plus la quantité de mouvement du nuage est initialement importante.

 Pour un rejet continu non dirigé directement vers le haut ou vers le bas, cette quantité de mouvement va transporter le nuage de gaz vers l’avant.

 Pour un rejet instantané, cette quantité de mouvement est supposée être distribuée tout autour du centre du nuage. Elle participe donc à son expansion, mais ne contribue pas de ce fait au déplacement du nuage.

 Quand le nuage est en contact avec le sol ou atteint une couche d’inversion de température, la composante verticale de la quantité de mouvement est transformée en composante horizontale, ce qui se traduit par une augmentation de la largeur du nuage.

* Si le nuage est plus dense que l’air, l’effet des forces de gravité est l’effet le plus fort ;
* Si le nuage est plus lourd que l’air, il va s’effondrer sur le sol ce qui va générer de la turbulence, entraîner de l’air et changer sa section transversale circulaire en une ellipse tronquée. Le sol exerce alors une force de frottement sur les zones du nuage qui sont en contact, ce qui diminue la quantité de mouvement du nuage.
* Si le nuage au sol a une densité suffisamment petite par rapport à celle de l’air alors le nuage peut décoller du sol ;
* enfin, la quantité de mouvement va être perdue progressivement du fait de l’entraînement de l’air et de l’éventuel frottement du nuage avec le sol, et à mesure que la densité devient proche de celle de l’air, l’effet lié à la turbulence atmosphérique devient le plus important, entraînant en permanence de l’air dans le nuage. Le nuage est entraîné par le vent.

**3.1.5 Dilution du nuage - Entraînement d’air**

Plusieurs sources de turbulence vont entraîner de l’air dans le nuage et le diluer.

*3.1.5.1 Quantité de mouvement initiale – jet turbulent*

 En fonction des conditions de stockage, le nuage peut avoir une quantité de mouvement importante au début du rejet. La différence entre la quantité de mouvement du nuage et celle de l’air environnant provoque une turbulence importante, à l’origine d’un taux important d’entraînement d’air favorisant la dilution du rejet.

*3.1.5.2 Cisaillement du champ de vent*

 Si le nuage monte ou descend, alors il cisaille le champ de vent horizontal. La différence entre la quantité de mouvement du nuage et de l’air produit des tourbillons favorisant le mélange de l’air dans le nuage.

*3.1.5.3 Densité du gaz*

#### **Gaz dense**

 Lorsque le gaz est plus dense que l’air, il est qualifié de « **gaz lourd** ». Ce type de rejet est rencontré lors des fuites :

* d’un produit rejeté à température ambiante de masse volumique plus importante que celle de l'air (chlore, phosgène...) ;
* d’un produit plus léger que l'air à température ambiante, mais rejeté à une température assez faible pour que sa masse volumique soit supérieure à celle de l'air. Lors de sa dispersion, le nuage de gaz voit sa masse volumique diminuer du fait de sa dilution avec l'air ambiant et de son réchauffement ;
* d’un aérosol. La phase condensée provoque par sa seule présence une augmentation considérable de la masse volumique globale du mélange. En outre, le changement de phase intervenant lors de la dispersion avec l’évaporation des gouttelettes de liquide maintient le nuage à une température voisine de la température d'ébullition du produit.
* La densité du rejet reste de ce fait supérieure à celle de l’air. A titre d’illustration, c’est le cas de rejets de gaz liquéfiés tels l’ammoniac, le chlore... de produits qui en réaction avec l’air vont engendrer par réactions chimiques de nouveaux produits qui augmentent plus ou moins localement la densité du nuage (exemple du monoxyde d'azote réagissant avec l'oxygène de l'air pour donner du dioxyde d'azote plus dense que l'air).

 Lorsque la densité du gaz rejeté est plus grande que celle de l’atmosphère, les forces de gravité influencent de façon importante la dispersion du nuage.

 A proximité du rejet, la force de gravité est à l’origine d’un mouvement d’ensemble vers le sol et l’expansion verticale du nuage est réduite. En contact avec le sol, le nuage se répand, poursuit son effondrement ce qui favorise son développement transversal.

 La dilution du nuage s’opère sur la face supérieure du nuage et sur les faces latérales. Sur la face supérieure, les échanges sont assurés par les mouvements de turbulence de l’atmosphère et grâce à la turbulence induite par la différence de vitesse entre l’atmosphère et le nuage.

 Enfin, il s’établit sur les faces latérales du nuage une recirculation interne favorisée par l’étalement du nuage au sol à mesure de son effondrement.

* **Gaz léger**

 Lorsque le gaz est moins dense que l’air, il est qualifié de « **gaz léger** ». Ce type de rejet concerne les fuites :

* d’un produit rejeté à température ambiante de masse volumique moins importante que celle de l'air (hydrogène...) ;
* d’un produit moins léger que l'air à température ambiante, mais rejeté à une température assez importante pour que sa masse volumique soit plus petite que celle de l'air (exemple des fumées d’incendie). Lors de sa dispersion, le nuage de gaz voit sa masse volumique augmenter du fait de sa dilution avec l'air ambiant et de son refroidissement.

**3.1.6 Echanges thermiques**

 Outre les effets mécaniques, les effets thermiques jouent un rôle significatif sur la dilution. Pour des gaz dont la température est très différente de celle de l’air et du sol, les échanges thermiques vont accélérer la dilution par convection thermique.

**3.2 conditions météorologiques**

 Les phénomènes météorologiques à prendre en compte dépendent de la dimension du domaine étudié. Dans la majorité des cas traités dans le domaine du risque industriel, l’échelle spatiale ne dépasse pas quelques kilomètres (au plus une dizaine) et celle de temps quelques minutes, à quelques heures. Le suivi du nuage de polluant se fera alors dans la couche limite atmosphérique.

 Les propriétés de l’atmosphère vont jouer un rôle plus ou moins moteur dans la dispersion d’un produit. Dans le cadre du risque accidentel, les phénomènes liés à la dispersion d’un produit ne se produisent que dans la couche inférieure de l’atmosphère, dite couche limite atmosphérique, de quelques centaines de mètres d’épaisseur (au plus 1 à 2 km) dans la plupart des cas.

 Dans ce domaine, il importe donc de connaître , en particulier, la structure de l’écoulement du vent et du champ des températures qui vont être caractérisés par deux paramètres fondamentaux :

* le gradient vertical de vitesse ;
* le gradient vertical de température

Ces gradients vont particulièrement être influencés principalement par deux mécanismes physiques :

* d’une part, les effets de frottement de l’air sur le sol. Ces effets dépendent des conditions orographiques locales ;
* d’autre part, les échanges de chaleur entre le sol et l’atmosphère. Ces échanges vont varier avec le cycle diurne, les conditions météorologiques et la nature du sol.

###### « SCENARIO C » Perte instantanée de confinement d’une capacité de gaz toxique

**4. EFFETS ET SEUILS RETENUS**

**4.1 Méthode et critères de référence pour l’affichage des risques**

La méthode d’évaluation des effets préconisée consiste a estimer en premier lieu la masse du produit contenue dans la bouffée toxique, puis les distances correspondant aux doses causant les premiers décès et les premières atteintes irréversibles sur l’homme, au moyen d’un modèle de dispersion gaussienne de type CEA-DOURY.

##### **4.1.1 Estimation de la masse gazeuse rejetée**

 Selon le produit considéré et son mode de stockage, la bouffée toxique sera constituée de :

* La masse de gaz ou de vapeur libérée instantanément par flash lors de la rupture de la capacité,
* La fraction de produit rejetée dans l’air sous forme d’aérosol pour certains gaz liquéfiés,
* La fraction du liquide écoulé sur le sol immédiatement vaporisé du fait de l’apport thermique important au contact du sol.

 Le reste de la nappe de liquide se vaporise ensuite plus lentement en fonction des apports de chaleur par le sol, l’atmosphère et le rayonnement solaire ; on ne considérera pas ce phénomène, la bouffée initiale étant le phénomène déterminant.

 La fraction de la masse liquide M stockée qui immédiatement vaporisée par flash lors de la rupture vaut (cas du gaz liquéfié sous pression) :

 **Fv = 1- EXP(Cpl .ΔT/ΔHvap)**   (Référence : UIC)

Avec : **Cpl :** chaleur spécifique du liquide

 **ΔHvap**: chaleur latente de vaporisation

 **ΔT** :différence entre la température d’ébullition a pression atmosphérique et la température de stockage.

 La fraction totale vaporisée instantanément peut être estimé (d’une manière majorante ), à :

2 Fv pour les produits générant peu d’aérosols(comme le chlore, …)

3 Fv pour les produits générant beaucoup d’aérosols (comme l’ammoniac, l’acide fluorhydrique, …), la masse de la bouffée gazeuse rejetée est dans ce cas M.(2 Fv ou 3 Fv)

**4.1.2 Evaluation de la dispersion atmosphérique de la bouffée et des zones a risque**

* *Définition des seuils de toxicité aiguë*
* le **"seuil des effets létau**x" (SEL) correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au dessus de laquelle on peut observer une mortalité au sein de la population exposée.
* le **"seuil des effets irréversible**s" (SEI) correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au dessus de laquelle des effets irréversibles peuvent apparaître au sein de la population exposée.
* le **"seuil des effets réversible**s" (SER) correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au dessus de laquelle la population exposée peut présenter des effets réversibles.
* Les effets toxiques (létaux) résultant de l'émission dans l'atmosphère d'un produit toxique dépendent de la concentration (C) du polluant émis dans l'atmosphère et de la durée d’exposition (T) à cette concentration.

 On peut admettre en première approximation que les effets létaux suivent la **loi de Haber** :

**Effet = f (CxT)**

C = concentration

T = durée d'exposition

CxT = Dose

f: un modèle

 une personne non protégée située a une distance X de l’accident inhalera une dose de produit durant le passage de la bouffée, déterminée par les niveaux de concentration et les temps d’exposition correspondants, comme le montre la figure suivante :

 Concentration (ppm)

 Cmax

 Cmax/2

 Dose inhalée

 Durée d’exposition (min)

 Te

 A l’aide du modèle de dispersion atmosphérique , on évalue pour les distances données et pour chaque situation météorologique étudiée, les couples (Cmax , Te) qui déterminent la dose reçue :

**Cmax =**

**2.Q .**

**(2.π)3/2 σh2 .σz**

: Concentration maximale au sol pendant le passage de la bouffée

**Te =**

**2,5.σ h**

**U**

 : durée d’exposition à la bouffée (temps d’exposition )

Avec Q : masse de la bouffée du produit

σh etσz : écarts types horizontal et vertical de la distribution de la quantité Q

U  : vitesse du vent

Les hypothèses de référence à prendre en compte pour les calculs de dispersion sont les suivantes :

* Atmosphère stable
* Prise en compte de la réflexion par le sol.

 La loi de toxicité d’un produit peut être figurée de la façon suivante(coordonnées logarithmiques) :

 Concentration

 (ppm)

 Létalité 1%

 IDLH

 Début des

 effets irréversibles

 + +

 1 10 30 100 Durée d’exposition

 (min)

 On recherche alors la distance pour laquelle le couple (Cmax,Te) correspond aux coordonnées d’un point de la courbe de toxicité considérée qui déterminent la dose reçue :

* Début des effets irréversibles pour la santé
* Premiers décès (Létalité 1%)
* **Exemple d’application**

 Perte instantanée de confinement d’un container mobile d’une tonne de chlore liquéfié sous pression à 20°c.

* **Calcul de la quantité vaporisée immédiatement qui constitue la bouffée toxique :**

**Cpl :** 0,955 kJ.kg-1.K-1 : chaleur spécifique du chlore à pression constante

**ΔHvap**: 287,58 kJ.kg-1 : chaleur latente de vaporisation

**ΔT :** 239 – 298 = -59 K: différence entre la température d’ébullition du

 chlore et la température extérieure.

 On considère que 30% de la masse de chlore se trouve sous forme gazeuse dans la bouffée initiale qui constitue le phénomène dimensionnant.

 L’évaporation lente de la flaque du chlore sera négligée.

Fraction vaporisée :

Fv = 1- EXP(0,955.(-59)/287,58) = 0,18

Le chlore générant peu d’aérosols, la fraction totale vaporisé à la brèche est :

2.Fv = 36%

La valeur expérimentale et communément admise de 30% est finalement retenue.

Masse de la bouffée toxique gazeuse : 1000.0,3 = 300Kg.

* **Evaluation des zones à risque**

 Utilisation du modèle de dispersion atmosphérique permet de déterminer que, dans des conditions météorologiques défavorables (DF3 : diffusion faible et vent de 3 m.s-1)

- Une personne située à 800m du lieu de l’accident sera exposé à une concentration de 547 ppm de chlore pendant le passage de la bouffée : 0,8min.

 On assimile cette exposition à : 500ppm durant 1min, dose qui correspond au début des effets mortels.

- A 1600m une personne sera exposé à une concentration de 81 ppm de chlore durant 1,7 min ; cette dose correspond au début des effets irréversibles sur la santé.

La zone enveloppe retenue a donc un rayon de 1600 m.