

METHODOLOGIE DE CALCUL DES EFFETS D'UN UVCE

Les explosions accidentelles de gaz à l'air libre, ou UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion), comprennent généralement la succession d'étapes suivantes :

- rejet dans l'atmosphère d'un produit combustible, le produit étant en phase gaz ou en phase liquide ; les combustibles liquides rejetés peuvent rester en suspension (formation d'aérosols) ou se disperser au sol pour former une flaque qui en s'évaporant conduit à son tour à un rejet diffus de gaz,
- mélange avec l'oxygène de l'air pour former un volume inflammable,
- de manière concomitante, dispersion et advection du nuage de gaz dont une partie du volume reste inflammable,
- inflammation de ce volume,
- propagation d'un front de flamme au travers de la ou des parties inflammables du nuage; ce front de flamme agit à la manière d'un piston sur les gaz environnant et peut être à l'origine de la formation d'une onde de pression aérienne si sa vitesse de propagation est suffisante ou si les gaz sont confinés ; dans tous les cas, la propagation des flammes s'accompagne d'une expansion des gaz brûlés qui passent par des températures de plusieurs centaines de °C et jusqu'à 2000 °C environ ;
- enfin, le cas échéant, mélange avec l'air et combustion des parties du nuage qui étaient initialement trop riches en combustible pour être inflammables.

Les calculs sont conduits avec le logiciel PHAST commercialisé par la société DNV.

La méthode de calcul employée comprend 2 étapes :

1. calcul des distances à la LIE et à la LSE,
2. calcul des distances d'effets des surpressions seuils.

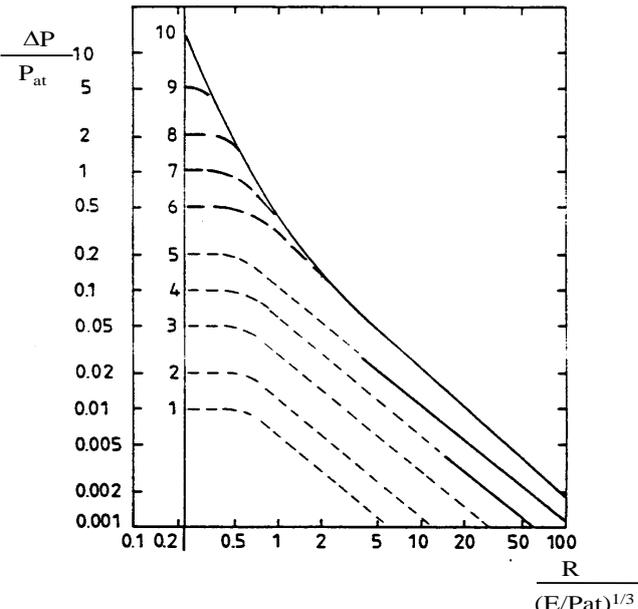
Les distances à la LIE et à la LSE sont déterminées à l'aide du modèle UDM (Unified Dispersion Model).

Les distances d'effets des surpressions seuils sont évaluées en appliquant la méthode multi-énergie, développée par le TNO.

Cette méthode tient compte :

- de la nature et de la quantité de gaz mise en jeu :
 Pour cela, la masse maximale explosible est déterminée au préalable.
 La masse maximale explosible correspond à la quantité de vapeurs inflammables en concentration comprise entre la LIE et la LSE, à la composition stœchiométrique du gaz dans l'air.
 Elle est calculée par intégration numérique du profil de concentration du nuage.
- de la sévérité de l'explosion qui rend compte du confinement et de l'encombrement (augmentent considérablement la force de l'onde de surpression générée) et de la réactivité du gaz.

L'indice de violence correspond au niveau de surpression maximal produit par l'explosion. A chaque indice de violence est associée une courbe de décroissance des surpressions aériennes. Dans le cas de la méthode Multi-Energy, les indices sont notés de 1 à 10, et correspondent aux niveaux de surpression suivants :

Indice Multi-Energy	Seuil de surpression associé (bar)	Abaques de décroissance en fonction de la distance adimensionnée par l'énergie de l'explosion
1	0,01	
2	0,02	
3	0,05	
4	0,1	
5	0,2	
6	0,5	
7	1	
8	2	
9	5	
10	10	

Les courbes d'indice supérieur ou égal à 6 sont confondues pour les niveaux de pression inférieurs à 0,2 bar.

Le niveau de surpression maximal est directement lié à la vitesse de flamme atteinte lors de la combustion du nuage. En théorie, il suffirait de calculer cette vitesse de flamme pour déterminer précisément l'indice de violence à retenir. En pratique, ce calcul est difficile à effectuer, car il dépend de plusieurs paramètres :

- la réactivité propre du gaz,
- la turbulence propre du jet,
- la densité d'obstacles présents sur le parcours de la flamme,
- l'énergie de la source d'inflammation.

Dans la pratique, l'indice de violence est donc déterminé sur la base de différentes recommandations et retours d'expérience.

Vis-à-vis des 4 paramètres précédents cités, nous apportons les éléments suivants :

- la réactivité propre du gaz :

Extrait du « Guide des méthodes d'évaluation des effets d'une explosion de gaz à l'air libre » (INERIS - Juillet 1999)

"La composition du nuage inflammable a une influence sur les vitesses de propagation de flamme car :

- les combustibles n'ont pas tous la même réactivité,*
- et car la réactivité d'un combustible donné dépend aussi de sa concentration dans le mélange avec l'air.*

Pour quantifier la réactivité des combustibles, il est pertinent de se référer aux valeurs de la vitesse de combustion laminaire S_u déjà définie dans ce rapport. A cet égard, les vitesses maximales de combustion laminaire de quelques combustibles gazeux courants sont reportées dans le tableau 1 suivant, tiré principalement de (Harris, 1983).

Gaz combustible mélangé à de l'air en proportion généralement un peu supérieure à la stœchiométrie (-)	Vitesse maximum de combustion laminaire Su (m/s)
Hydrogène	3,5
Méthane	0,45
Ethane	0,53
Propane	0,52
Butane	0,5
Pentane	0,52
Hexane	0,52
Heptane	0,52
Acétylène	1,58
Ethylène	0,83
Propylène	0,66
Butylène	0,57
Benzène	0,62
Cyclohexane	0,52
Ammoniac ⁶	0,07

Tableau : Vitesse de combustion de différents combustibles gazeux en proportion stœchiométrique avec l'air

Des valeurs de vitesses de combustion reportées dans le tableau précédent, il peut être notamment retenu que méthane et hydrogène sont des combustibles dont les réactivités sont extrêmes, l'hydrogène étant le gaz le plus réactif, le méthane étant l'un des moins réactifs."

- **la turbulence propre du jet :**

A évaluer au cas par cas en fonction de la pression de rejet.

- **la densité d'obstacles présents sur le parcours de la flamme :**

A évaluer au cas par cas en fonction du confinement dans la zone d'expansion du nuage inflammable.

- **l'énergie de la source d'inflammation :**

Ce paramètre n'est pas pris en compte dans notre calcul.

Centre de l'explosion

Le centre de l'explosion est positionné au « milieu » du nuage explosible.

Une fois les caractéristiques de l'onde de surpression déterminées, les abaques multi-énergie (numérisés dans le logiciel PHAST) donnent la distance réduite \bar{R} , en fonction de la surpression, à partir de laquelle est déduite la distance d'effet du pic de pression considéré :

Ces abaques donnent la distance réduite \bar{R} , en fonction de la surpression, à partir de laquelle on déduit la distance d'effet d mesurée à partir du centre du nuage, du pic de pression considéré :

$$d = \bar{R} \left(\frac{M_{\text{exp}} \cdot \Delta H_c}{P_{\text{at}}} \right)^{1/3}$$

avec :

d : distance d'effet, observée à partir du centre du nuage, en fonction de la surpression (m)

\bar{R} : distance réduite (m)

ΔH_c : chaleur de combustion (J/kg)

M_{exp} : masse maximale explosible (kg)

P_{at} : pression atmosphérique (Pa)