

DESCRIPTION et DOMAINE DE VALIDITE DE L'OUTIL BLEVE DE PRIMARISK

Ref : INERIS-DRA-DRAG-46055-PRIMARISK-Description-BLEVE

	Rédaction	Vérification	Approbation
Nom	B.DEBRAY	E.LEPRETTE	D.GASTON
Fonction	Responsable programme	Ingénieur dans l'unité EDIS de la DRA	Directeur adjoint de la DRA
Date			
Visa			

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
Modèles de base :	1
Modèle T.R.C. de Shield	1
Calcul des effets de surpression.....	2
Données d'entrée.....	3
Résultats.....	3
Domaine de validité du modèle :	4
Références	5

INTRODUCTION

L'outil BLEVE permet de calculer des distances d'effet thermique et d'effet de surpression résultant d'un BLEVE. Il est basé sur le modèle de Shield pour les effets thermiques et sur un modèle d'éclatement pour les effets de surpression. Il est important de noter que l'adoption du modèle de surpression par l'INERIS s'est faite dans le courant de l'année 2005 suite à une étude bibliographique qui a confirmé sa meilleure adéquation au phénomène étudié que les modèles anciennement utilisés.

MODELES DE BASE :

MODELE T.R.C. DE SHIELD

Le modèle T.R.C. ou modèle de Shield pour le calcul des effets thermiques a été décrit en détail dans le rapport [Oméga sur le BLEVE](#) [Leprette 2002].

Pour ce qui est de la modélisation des effets thermiques d'un BLEVE, le T.R.C. (Thornton Research Center, centre de recherche de Shell) a développé une approche phénoménologique, notamment à partir de résultats expérimentaux de BRITISH GAS. L'approche du T.R.C. vise à prendre en considération l'évolution au cours du temps des caractéristiques de la boule de feu (diamètre, hauteur, émittance).

La modélisation de la boule de feu par l'approche du T.R.C., qui reste semi-empirique, prend en compte les trois principales étapes suivantes :

1) La phase d'inflammation du nuage et de développement de la boule de feu jusqu'à son diamètre maximal, ou phase d'expansion.

Dans cette phase, le rayon et l'émittance de la boule de feu sont supposés croître linéairement avec le temps jusqu'à leur valeur maximale.

2) La phase de combustion de la boule de feu.

La durée de vie de la boule de feu, de son inflammation au début de son extinction est considérée égale à la durée de combustion des gouttelettes formées lors de l'éjection du produit à l'atmosphère. En effet, les gouttelettes qui se sont enflammées dès le début du phénomène sont alors consumées.

Au cours de cette phase, la température de la boule de feu est supposée décroître linéairement entre sa valeur maximale et sa valeur de début d'extinction.

La température de la boule de feu au début de son extinction est évaluée par application du principe de conservation de l'énergie en supposant la combustion complète des gouttelettes (s'il y a suffisamment d'air entraîné dans le nuage). La température finale est supposée ne pas pouvoir être inférieure à 0,88 fois la température maximale de la boule de feu (cette hypothèse provient de l'observation des résultats expérimentaux).

Durant cette phase, la vitesse d'ascension de la boule de feu est constante. L'absence d'accélération verticale ascendante notable s'explique dans la mesure où la boule de feu entraîne de l'air et donc se refroidit alors qu'elle s'élève. En effet, dans le cas contraire, elle devrait accélérer fortement dans la direction verticale du fait d'une différence de température importante avec l'ambiante.

Par ailleurs la boule de feu est considérée conserver une taille constante lors de son ascension.

3) Phase d'extinction.

L'extinction de la boule de feu est supposée complète lorsque les dernières gouttes qui se sont enflammées, alors que la boule de feu était à sa température maximale (fin de la phase d'expansion), sont consumées. Lors de cette dernière phase, le diamètre de la boule de feu est supposé décroître linéairement avec le temps alors que l'émittance de la boule de feu est considérée, de manière prudente, constante. De même, lors de cette phase, la boule de feu ne s'élève plus.

CALCUL DES EFFETS DE SURPRESSION

Le modèle de calcul des effets de surpression produits par un éclatement de réservoir a été décrit en détail dans le rapport [Oméga sur l'éclatement de réservoirs](#) [Heudier 2004]. Ce modèle s'appuie sur la théorie des tubes à choc en champ proche et les courbes de décroissance Multi-energy pour le champ lointain.

L'adoption de ces modèles ainsi que les valeurs de référence des caractéristiques essentielles des substances mises en jeu a été discutée en GT GPL et a fait l'objet d'une note qui constitue une référence pour l'outil qui en résulte [GT GPL 2005].

DONNEES D'ENTREE

Pour calculer les effets d'un BLEVE, l'utilisateur doit sélectionner un produit dans la liste des produits disponibles. Actuellement l'outil fonctionne pour les gaz liquéfiés suivants : propane, butane, propylène. La base de données de PRIMARISK contient les caractéristiques physico-chimiques dont la connaissance est nécessaire au calcul. Celles-ci sont donc directement transmises au programme.

Il doit ensuite fournir :

- ❑ le volume du réservoir (en m³)
- ❑ son taux de remplissage à la température ambiante (nombre entre 0 et 1)
- ❑ sa pression de rupture au cours du BLEVE (en bar absolu). Il faut noter que cette pression de rupture n'est pas la pression de rupture théorique de l'enveloppe à température ambiante mais celle à laquelle se produirait la rupture en cas d'échauffement important du réservoir et donc en cas d'affaiblissement de l'enveloppe. En pratique, on considère que la pression de rupture est la pression de tarage des soupapes dont est muni le réservoir. Dans le cas des réservoirs sans soupape, on retient la pression d'épreuve.
- ❑ la température ambiante en K,
- ❑ la pression atmosphérique.

Les calculs de distance d'effet sont faits pour les seuils d'effet réglementaires définis dans l'arrêté du 29 septembre 2005. Cependant, l'utilisateur peut ajouter un seuil d'effet thermique de son choix.

RESULTATS

Les résultats principaux concernent les distances d'effet pour les seuils réglementaires et pour les seuils définis par l'utilisateur.

Les seuils réglementaires considérés sont (arrêté du 29 septembre 2005) :

Effet thermique :

- ❑ effets létaux significatifs : 1800 (kW/m²)^(4/3).s
- ❑ premiers effets létaux : 1000 (kW/m²)^(4/3).s
- ❑ effets irréversibles : 600 (kW/m²)^(4/3).s

Effet de surpression :

- ❑ effets létaux significatifs : 200 mbar
- ❑ premiers effets létaux : 140 mbar
- ❑ effets irréversibles : 50 mbar

Le seuil des dégâts matériels, fixé à 20 mbar n'est pas calculé avec le même modèle du fait des incertitudes irréductibles associées à un calcul de distance aux faibles niveaux de surpression. Les autorités ont donc choisi de fixer arbitrairement la distance correspondante au double de la distance des effets irréversibles. C'est cette valeur qui est fournie comme résultat dans PRIMARISK.

Résultats supplémentaires :

En plus des distances d'effet, le modèle fournit aussi le rayon et la durée de la boule de feu formée.

Il fournit enfin des graphes représentant l'évolution de la dose reçue par une cible en fonction de la distance.

DOMAINE DE VALIDITE DU MODELE :

Le domaine de validité du modèle TRC de Shield a été précisé par E.Leprette dans la note du GT GPL [GT GPL 2005].

Le modèle repose sur un certain nombre d'hypothèses et de relations empiriques spécifiques aux GPL (butane et propane). C'est pourquoi son utilisation pour d'autres gaz liquéfiés est impossible de manière systématique et doit être envisagée au cas par cas. Le groupe de travail « Etudes de dangers » auprès du CSIC a validé l'utilisation de ce modèle pour des produits aux propriétés thermophysiques voisines du propane ou du butane (propylène, butadiène), moyennant l'introduction des données thermophysiques de ces produits dans le modèle (avis du 10 décembre 2003 et le 16 juin 2004).

Le modèle de calcul des effets thermiques est validé pour des **taux de remplissage compris entre 30 et 85%**. En dessous de 30%, le modèle d'effets thermiques est utilisable, mais les effets de surpression peuvent devenir prépondérants. Au-dessus de 85%, le réservoir peut se rompre par plein hydraulique : ce phénomène physique n'est pas pris en compte par le modèle de Shield.

Le modèle de calcul des effets de surpression peut être utilisé quel que soit le taux de remplissage.

Il n'y a pas de limitation d'utilisation en terme de volume du réservoir. Le modèle a été construit et validé à partir d'essais de BLEVE sur des capacités de quelques m³. Pour les grands réservoirs de stockage (quelques centaines à quelques milliers de m³), le modèle n'est pas formellement validé, mais donne des résultats en accord avec le retour d'expérience disponible sur des BLEVE de capacités de ce type.

Paramètres liés aux conditions de stockage		Paramètres liés aux conditions ambiantes	
Paramètre	Valeurs conseillées	Paramètre	Valeur conseillée
Nature du produit (conditionne les propriétés thermodynamiques à retenir)	Données butane et propane commercial de TRC Shield	Pression atmosphérique	1013 hPa
Volume du réservoir	Volume nominal du réservoir	Température ambiante	20 °C (293,15 K)
Taux de remplissage	Taux maximal d'exploitation (*)	Humidité de l'air	70% HR
Pression de rupture	Présence ou non de soupapes		

(*) : ce taux peut être réduit si l'exploitant peut justifier que les soupapes sont dimensionnées pour évacuer du produit avant la rupture.

Tableau 1 : Paramètres du modèle à la base de l'outil BLEVE de PRIMARISK

Le choix de la pression de rupture dépend du type de réservoir étudié. Les essais réalisés sur des capacités de quelques mètres cubes munies de soupapes montrent que la rupture survient à une pression égale à la pression de tarage des soupapes. Dans le cas des réservoirs sans soupape, la rupture se produit à une pression plus élevée, proche de la pression d'épreuve des réservoirs.

Les formules du 5 juin 2003 sont établies pour une pression de rupture égale à la pression de tarage des soupapes usuellement rencontrées sur les sites. **Elles ne sont donc pas applicables aux réservoirs mobiles qui sont dépourvus de soupape.**

Néanmoins, la prise en compte des soupapes suppose que toutes les conditions garantissant leur bon fonctionnement sont réunies. Il est donc proposé de ne retenir une pression de rupture égale à la pression de tarage que lorsque les soupapes sont retenues comme barrière de sécurité.

	Réservoir muni de soupapes	Réservoir sans soupape
Pression de rupture :	Pression de tarage des soupapes	Pression d'épreuve du réservoir

Tableau 2 : Pression de rupture à appliquer

Dans le cas d'un réservoir mobile (sans soupape), la pression de rupture peut être considérée comme égale à la pression d'épreuve du réservoir. En effet, on admet généralement qu'un réservoir éclate pneumatiquement à deux fois sa pression d'épreuve, mais par ailleurs, ses caractéristiques mécaniques sont divisées par deux lorsqu'il est chauffé à 500°C. Cette pression d'épreuve est de l'ordre de 30 bar pour les citernes routières et ferroviaires.

REFERENCES

[LEPRETTE 2002] OMEGA 5- Le BLEVE:Phénoménologie et modélisation des effets thermiques, E.LEPRETTE, INERIS, 2002

[HEUDIER 2004] - OMEGA 15 - Les éclatements de réservoirs / Phénoménologie et modélisation des effets, L.HEUDIER, INERIS, 2004