

# Note technique pour la modélisation des effets liés aux phénomènes dangereux pouvant survenir sur un réservoir de liquides inflammables à double paroi, avec les outils de calcul de PRIMARISK

25/09/2017

## 1 Contexte et objectif de la note

Cette note vise à expliquer comment calculer les effets thermiques et de surpression des phénomènes dangereux susceptibles de survenir sur un réservoir de liquides inflammables à double paroi, sur la base du courrier du Directeur Général de la Prévention des Risques du 4 décembre 2012 intitulée « Modélisation des effets liés aux phénomènes dangereux pouvant survenir sur un réservoir de liquides inflammables à double paroi » et de son annexe « Eléments de doctrine relatifs aux réservoirs de liquides inflammables à double paroi » (nommée dans la suite « l'Annexe du courrier DGPR »)

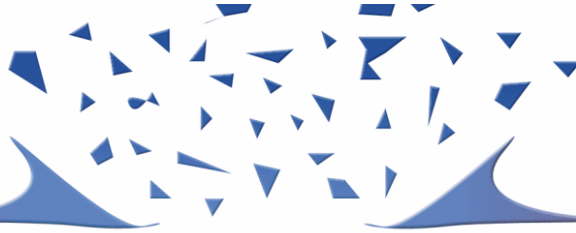
([http://www.ineris.fr/aida/sites/default/files/gesdoc/71998/note\\_04122012\\_V1.pdf](http://www.ineris.fr/aida/sites/default/files/gesdoc/71998/note_04122012_V1.pdf)).

Il a été choisi de décrire la démarche à adopter pour obtenir les résultats recherchés en utilisant les outils déjà disponibles sur la plate-forme PRIMARISK, en conformité avec l'annexe du courrier DGPR cité ci-avant.

## 2 Périmètre d'application

En l'état des connaissances actuelles, le phénomène d'UVCE n'est pas susceptible de survenir pour des produits non réchauffés dont le point éclair est supérieur à 55°C. La méthode développée au chapitre 3.3 ne s'applique donc pas à ces produits.

Cette note traite uniquement des effets des phénomènes dangereux et ne traite donc pas des aspects probabilistes évoqués dans l'Annexe du courrier DGPR.



### 3 Présentation de la démarche de calcul des distances d'effets

#### 3.1 Caractéristiques géométriques

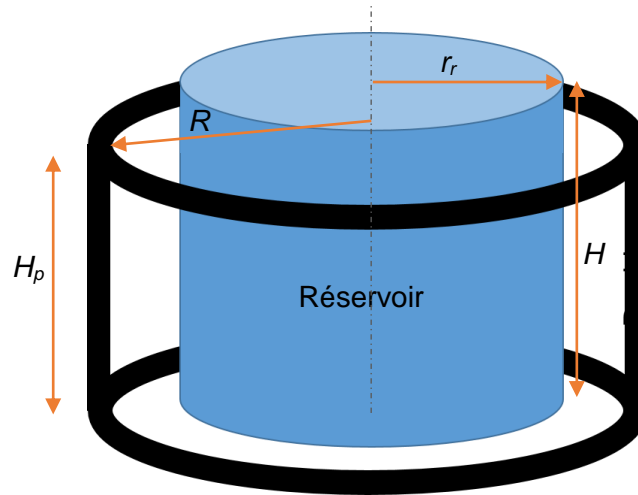


Figure 1. Notations relatives à la géométrie du réservoir double paroi

#### 3.2 Feux de réservoir et/ou de rétention

Pour un réservoir à double paroi, le phénomène d'incendie majorant est l'incendie de l'espace annulaire et du réservoir simultanément (phénomène 3 de l'Annexe du courrier DGPR). Dans ce cas, le rayon à considérer est le rayon extérieur du réservoir (noté  $R$  sur le schéma de la Figure 1 ci-avant).

Le calcul des effets thermiques du feu de réservoir et de l'espace annulaire peut être estimé avec l'outil « FEU DE NAPPE » de PRIMARISK (<http://primarisk.ineris.fr/node/889>).

Les données d'entrée dans l'outil sont les suivantes :

>> Etape 1 ...

**Sélection du produit**

DLI-Hydrocarbures ▼

>> Etape 2 ...

**Forme du réservoir**

Choisissez une forme de Réservoir

Circulaire

Rectangulaire

Quelconque

**Conditions ambiantes et paramètres**

Donnée	Valeur
Température ambiante (valeur entre 250 et 323 °K) (K)	288
Vitesse du vent (valeur entre 1.1 et 28 m/s) (m/s)	5
Humidité relative (valeur entre 0 et 1) (-)	0.7

288 ou 293 K

3 ou 5 m/s selon météo

Figure 2. Premier écran de l'outil « Feu de nappe » : données à entrer

Produit : DLI-Hydrocarbures Lancer la procédure

Géométrie du bac: circulaire	
Donnée	Valeur
Diamètre (m)	2R
Hauteur du bac (m)	H <sub>b</sub>

dimensions de la double paroi

Données relatives à la cible	
Donnée	Valeur
Hauteur de la cible (m)	1.5

valeur à adapter si besoin

Flux	
Effet	Flux (kW/m <sup>2</sup> )
Seuil des effets létaux significatifs (5%) (kW/m <sup>2</sup> )	8
Seuil des effets létaux (1%) (kW/m <sup>2</sup> )	5
Seuil des effets irréversibles (kW/m <sup>2</sup> )	3
Autre seuil d'effet (kW/m <sup>2</sup> )	

• H<sub>bac</sub> = 0 pour cuvette  
 • H<sub>bac</sub> > 0 pour bac  
 H<sub>f</sub>: hauteur de flamme  
 L<sub>f</sub>: longueur de flamme  
 θ: inclinaison de la flamme/verticale

Figure 3. Deuxième écran de l'outil « Feu de nappe » : données à entrer

### 3.3 Explosion de nuage inflammable (VCE)

Deux types de scénarios d'explosion sont évoqués dans l'Annexe du courrier DGPR :

- scénario 1 : cas d'un niveau bas de liquide inflammable dans l'espace annulaire ;
- scénario 2 : cas d'un niveau haut de liquide dans l'espace annulaire. Pour ce scénario, il est indiqué dans l'Annexe du courrier DGPR : « Les distances d'effets issues du scénario 2 sont nettement inférieures à celles issues du scénario 1. Par conséquent, il peut être considéré de manière conservatoire pour le scénario 2 des distances d'effets égales à celles obtenues pour le scénario 1. »

Cette note présente la démarche pour estimer les effets du scénario 1. Il s'agit de simuler les effets d'une explosion secondaire en cas d'inflammation de vapeurs de liquide inflammable dans l'espace annulaire quasi-vide de liquide. Il est supposé que la double paroi résiste aux niveaux de surpression générés par l'explosion primaire dans l'espace annulaire.

Note : L'Annexe du courrier DGPR demande que la démonstration de la tenue de la double paroi soit apportée via « une note de calcul annexée à l'étude de dangers ou tenue à disposition de l'inspection des installations classées ». Deux approches sont proposées dans l'Annexe du courrier DGPR pour la démonstration de la tenue de la double paroi. Cette démonstration ne fait pas l'objet de la présente note.

Le calcul des effets de surpression de l'explosion secondaire issue de l'inflammation des vapeurs dans de l'espace annulaire peut être effectué avec l'outil « ABAQUES MULTI-ENERGIE » de PRIMARISK (<http://primarisk.ineris.fr/node/1008>).

L'Annexe du courrier DGPR précise que « les effets thermiques peuvent être négligés ».

Les données d'entrée dans l'outil « ABAQUES MULTI-ENERGIE » sont les suivantes :

>> Etape 1 ...                      >> Etape 2 ...                      >> Etape 3 ...

**Sélection du produit**                      **Choix du liquide inflammable**                      **Scénario**

Méthanol	Choisissez un scénario	
<b>Acétone</b>	Calcul de distance	<input checked="" type="radio"/>
Acétylène	Calcul de seuil	<input type="radio"/>
Méthane		
Essence		
Ethylène		
Hexane		
Monoxyde de carbone		
Propane		
Ethanol		
Benzène		
Butane		
Heptane		
Hydrogène		
Hydrogène sulfuré		
Propylène		
Styrène		
Toluène		

**Paramètres**

Donnée	Valeur
Masse de gaz (kg)	$\frac{1}{2} M_{anneau}$
Indice multi-energy (valeur entre 1 et 10) (-)	5

**Conditions ambiantes et paramètres**

Donnée	Valeur
Pression atmosphérique (Pa)	101300

Voir calcul de  $M_{anneau}$  ci-dessous

Indice de sévérité : 5

Valider

Figure 4. Écran de l'outil « Abaques multi-energie » : données à entrer

La masse impliquée est supposée égale à 35 % de la masse de vapeurs en mélange stœchiométrique avec l'air dans la zone annulaire. Cette masse se calcule comme suit :

$$M_{anneau} = 0,35 \times \rho_{gaz} \times STCE \times H_p \pi (R^2 - r_r^2)$$

où

- $\rho_{gaz}$  masse volumique des vapeurs de liquide inflammable à température ambiante [kg/m<sup>3</sup>]
- $STCE$  fraction volumique de vapeur dans le mélange vapeur/air à la stœchiométrie [-]
- $r_r$  est le rayon du réservoir de stockage [m] (cf. Figure 1)
- $R$  est le rayon (interne) de la double paroi [m] (cf. Figure 1)
- $H_p$  est la hauteur de l'espace annulaire [m] (cf. Figure 1)

A titre indicatif, quelques valeurs de  $\rho_{gaz}$  et  $STCE$  sont fournies dans le Tableau 1 ci-après.

Il est considéré que l'explosion secondaire se produit en hauteur, au-dessus des parois du réservoir, dans l'axe du réservoir. En raison des spécificités des abaques de la méthode Multi-Energie qui ont été construites pour représenter les effets de pression issus d'explosions hémisphériques au sol, la masse à entrer dans l'outil « ABAQUES MULTI-ENERGIE » pour calculer les effets de surpression d'une explosion sphérique en hauteur est égale à  $\frac{1}{2} M_{anneau}$ .

Conformément à l'Annexe du courrier DGPR, la hauteur du centre d'explosion  $H_{explosion}$  est à calculer, si besoin, comme suit :

$$H_{explosion} = H + r_{bdf}$$

où  $r_{bdf} = \sqrt[3]{\frac{3}{4} H_p (R^2 - r_r^2) \times 0,35}$

$H$  la hauteur de la robe du réservoir [m] (cf. Figure 1)



Liquide inflammable	Masse volumique des vapeurs à 15°C $\rho_{\text{gaz}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Source	Fraction volumique à la stœchiométrie STCE [-]	Source
Acétone	2,5	INRS <sup>1</sup>	0,050	Babrauskas
Essence	4,9	Yellow Book	0,022	Babrauskas (2,2-diméthylbutane)
Ethanol	2,0	INRS <sup>1</sup>	0,065	Babrauskas
Heptane	4,3	INRS <sup>1</sup>	0,019	Babrauskas
Hexane	3,6	INRS <sup>1</sup>	0,022	Babrauskas
Méthanol	1,4	INRS <sup>1</sup>	0,12	Babrauskas

Tableau 1. Valeurs indicatives de masse volumique de vapeurs et de proportions stœchiométriques de mélanges vapeurs/air pour quelques liquides inflammables

<sup>1</sup> La masse volumique a été calculée en multipliant la densité de vapeur relative par la masse volumique de l'air à 15°C (1,225 kg/m<sup>3</sup>)