



Modélisation des effets thermiques d'un incendie

RAPPORT DE MODELISATION

Réf : 1605EN1D1000032

Version n°01

Date : 12/12/16

PSA MOTORSPORT CENTRE D'EXCELLENCE

▶▶ **PSA Motorsport**
19, Allée des Marronniers
BP3557
78035 Versailles Cedex

▶▶ **Guillaume DUQUESNE – Agence SOCOTEC HSE IdF**
Parc d'Activités Capstone
26, rue Robert Witchitz
94200 Ivry-sur-Seine

1. Objectif

Il s'agit de modéliser le rayonnement thermique émis par un ou plusieurs incendies.

On recherche les distances correspondant aux seuils suivants (arrêté d u 29 septembre 2005) :

Pour les effets sur l'homme :

- 3 kW/m², seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine »,
- 5 kW/m², seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine »,
- 8 kW/m², seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine ».

Pour les effets sur les structures :

- 5 kW/m², seuil des destructions de vitres significatives,
- 8 kW/m², seuil des effets domino et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures,
- 16 kW/m², seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton,
- 20 kW/m², seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton,
- 200 kW/m², seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

2. Modèle utilisé

Ces calculs ont été réalisés à partir d'un logiciel développé en interne par le groupe Socotec. Cet outil s'appuie sur le modèle de la flamme solide décrit dans le rapport « Feux de nappe » (INERIS, octobre 2002), dans lequel la flamme est modélisée par un parallélépipède dont les surfaces rayonnent uniformément. Les recommandations du Groupe de Travail Dépôt de Liquides Inflammables, via le guide « Modélisation des effets thermiques dus à un feu de nappe d'hydrocarbures liquides » de septembre 2006 ont également été prises en compte.

Le flux thermique radiatif reçu par une cible à partir du rayonnement émis par la flamme est évalué en deux étapes :

1. Caractérisation de la flamme, à partir des paramètres suivants :
 - hauteur de la flamme,
 - puissance surfacique rayonnée ou pouvoir émissif de la flamme.
2. Estimation de la décroissance du flux thermique radiatif en fonction de la distance, à partir des paramètres suivants :
 - facteur de forme, qui traduit l'angle solide sous lequel la cible perçoit la flamme,
 - coefficient d'atténuation atmosphérique, qui traduit l'absorption d'une partie du flux thermique radiatif par l'air ambiant.


3. Organisation du rapport

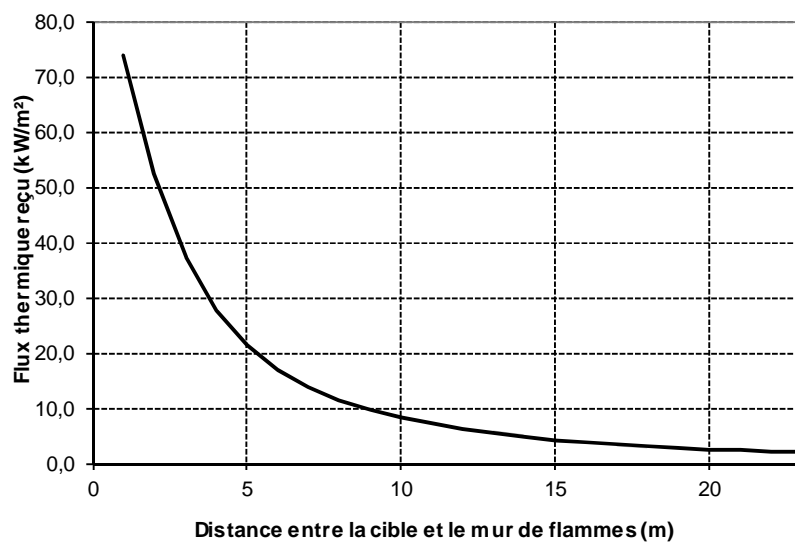
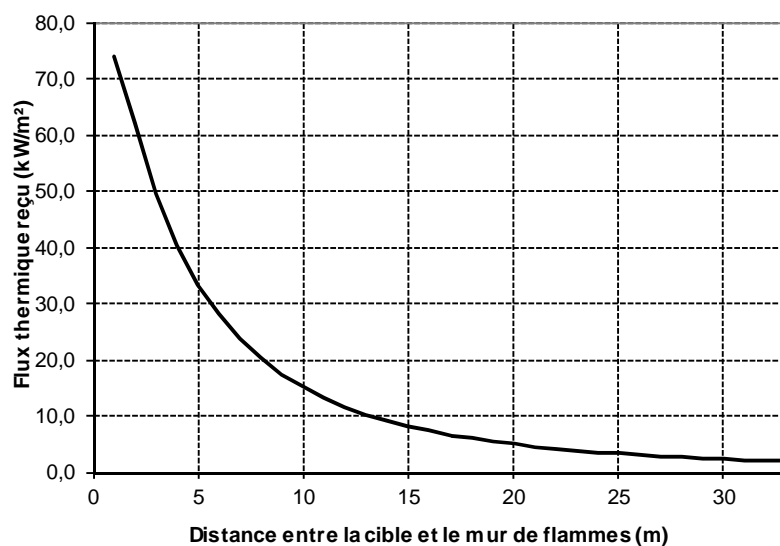
Le présent rapport contient ci- après, pour chaque scénario modélisé les fiches suivantes :

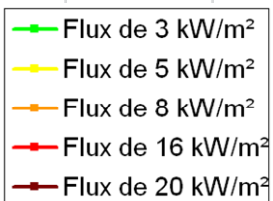
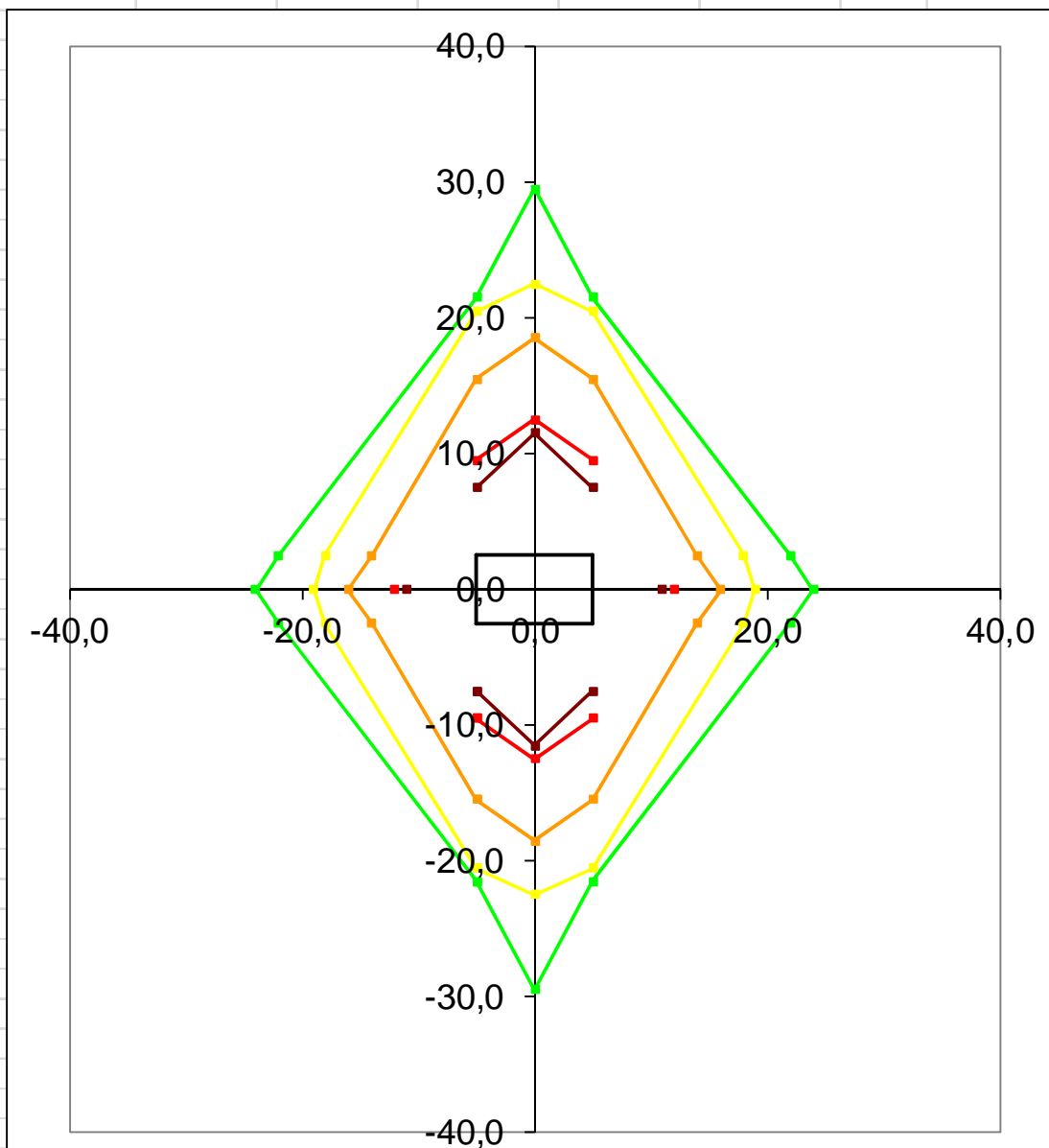
- 1 fiche « liste des hypothèses et présentation des résultats »,
- 1 fiche « Evolution du flux en fonction de la distance sur la médiatrice » sans mur coupe-feu,
- 1 carte des zones d'effets sans mur coupe-feu.

Dans ce rapport, le scénario présenté est un incendie au droit de l'aire de dépotage suite à un épandage accidentel de carburant au cours de l'opération de remplissage des cuves.

La méthodologie de calcul est détaillée en annexe 1.

		ETUDE DES FLUX THERMIQUES EMIS PAR UN INCENDIE RAPPEL DES DONNES D'ENTREE ET RESULTATS			<i>Fascicule</i> 9E.12.10.06 9E.12.10.09	
Identification du scénario						
Nom de l'affaire		PSA - Versailles Satory				
Nom du scénario		Aire de dépotage				
Description du scénario		Suite à une erreur de manipulation, 1 m3 de carburant est épandu sur				
1 - Géométrie de la zone en feu						
Largeur (m)		5				
Longueur (m)		10				
Diamètre équivalent (m)		6,66666667				
Ecran coupe feu :		Largeur		Longueur		
Distance d'éloignement par rapport à la paroi (m)		0		0		
Hauteur de l'écran (m)		0		0		
Hauteur de la cible (m)		1,5				
Durée de l'incendie(h)		0,52				
2 - Contenu du stockage						
Produit	Masse (kg)	Débit	Chaleur de	Pouvoir	r (kg d'air/kg)	
Essence	5100	0,055	41,84	30		
Total	5100	-	-	-	-	
Moyenne	-	0,055	41,84	30	0	
3 - Caractéristiques du feu						
Hauteur de flamme (m)		12				
Méthode retenue :		Corrélation de Thomas (m)				
Pouvoir émissif (kW/m²)		74				
4 - Résultats						
Flux thermique (kW/m²)	Sans écran coupe-feu			Avec écran coupe-feu		
	Largeur (m)	Longueur (m)	Surface de la zone d'effets (m²)	Largeur (m)	Longueur (m)	Surface de la zone d'effets (m²)
3	19	27	303	19	27	567
5	14	20	359	14	20	359
8	11	16	624	11	16	624
16	7	10	0	7	10	370
20	6	9	0	6	9	390
200	Non atteint	Non atteint	0	Non atteint	Non atteint	0

Résultats sur la largeur de la cellule sans écran

Résultats sur la longueur de la cellule sans écran




Annexe 1 : Méthodologie de détermination des flux thermiques

1 - Définition du diamètre équivalent

Lorsque la zone de stockage est de forme rectangulaire, le diamètre équivalent de la nappe est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{Diamètre équivalent} = 4 \times \frac{\text{surface de la zone de stockage}}{\text{périmètre de la zone de stockage}}$$

Lorsque la surface en feu est rectangulaire de forme allongée, c'est-à-dire lorsque le rapport entre la longueur et la largeur est supérieur à 2,5, le diamètre équivalent est égal à la largeur de la cellule (guide GTDLI, septembre 2006).

2 - Définition de la hauteur de flamme

Dans le cas d'un entrepôt, la hauteur de flamme a été prise égale à 3 fois la hauteur du bâtiment (source : guide entrepôt, août 2002).

Dans le cas d'un stockage d'aérosol, la hauteur de flamme est prise égale à 10 m + la hauteur du stockage (source : guide Ineris Omega 4, septembre 2002)

Pour les feux de bois ou les feux dont le rapport de la hauteur de flammes sur le diamètre équivalent est compris entre 3 et 10, la corrélation de Thomas a été retenue. Cette formule reste la plus adaptée même si le cas étudié se trouve en dehors de son domaine de validité.

La formule utilisée est :

$$H_f = \left(\frac{42 D_{eq} m''}{\rho_{air} \sqrt{g} D_{eq}} \right)^{0.61}$$

avec

D_{eq} le diamètre équivalent (m)

m'' le débit massique surfacique de combustion (kg/m².s)

• ρ_{air} la masse volumique de l'air (1,197 kg/m³ à 20°C et 70% d'humidité, 1,22 à 15°C et 70% d'humidité)

g l'accélération gravitationnelle (9,81 m/s²)

Dans les autres cas, et si on se trouve dans le domaine de validité de la formule, on utilise la formule de Heskestad. Cette corrélation possède un domaine de validité relativement large que ce soit en termes de produit ou de type de feu et paraît bien adaptée aux incendies de mélanges de matières combustibles.

La corrélation est la suivante :

$$H = \left(-1,02 + 15,6 N^{\frac{1}{3}} \right) \times D$$

$$N = \frac{C_p \rho_a T_o}{g \Delta H_c} \left(\frac{n_{comb} m'}{\rho_a} \right)^2 \frac{r_s^3}{D^5}$$

Avec :

C_{Po} : capacité calorifique du gaz de référence (air) (J/kg.K)

T_o : température de l'air (K)

r_s : rapport stoechiométrique air/combustible

m' : débit de combustion (kg/s) ($m' = m'' \times \text{surface de combustible au sol}$)

n_{comb} : rendement de la combustion = 1

Cette corrélation est valide pour N compris entre 10⁻⁵ et 10^{^5}.

Par défaut, la formule de thomas est retenue.

3 - Définition du pouvoir émissif

Le pouvoir émissif de la flamme, exprimé en kW/m², correspond à la puissance thermique rayonnée par unité de surface de la flamme.

Dans le cas d'un entrepôt, Il est pris égal à 40 kW/m², comme préconisé dans le guide d'application de l'arrêté ministériel du 05/08/02, MEDD, 2006. Toutefois, si la part de plastique est faible dans le stockage, on le prend égal à 30 kW/m².

Dans le cas de stockage d'aérosol, Il est pris égal à 100 kW/m², comme préconisé dans le guide INERIS Omega 4 de septembre 2002.

Lorsque les combustibles en jeu sont fumigènes (de type hydrocarbures, plastiques...) la corrélation de Mudan et Croce est utilisée :

$$\Phi_0 = \Phi_{\max} \times e^{-SD} + \Phi_{\text{fumées}} \times (1 - e^{-SD})$$

Avec :

Φ_0 = flux émis par la flamme (kW/m²)

Φ_{\max} = pouvoir émissif maximum des parties lumineuses de la flamme (140 kW/m²)

$\Phi_{\text{fumées}}$ = pouvoir émissif des fumées (20 kW/m²)

S = coefficient expérimental égal à 0,12 m⁻¹

D = diamètre équivalent de la zone en feu (m)

Si toutes les valeurs des composants du mélange sont connues, la valeur retenue est la moyenne pondérée des combustibles constituant le stockage.

Dans le cas de mélange de matières combustibles variés, Il peut être fixé à 30 kW/m², valeur correspondant au pouvoir émissif du fuel, préconisée par l'INERIS.

Enfin, Il peut être déterminé fixé de manière à ce que le flux d'énergie rayonnée (soit l'émittance par la surface développée de la flamme) soit égal à 10 % de l'énergie libérée par l'incendie.

Le pouvoir émissif de la flamme alors calculé afin de vérifier la relation suivante :

$$\frac{\Phi_0 \times S_f}{m' \times \Delta H_c \times S} \leq 0,1$$

Avec :

- Φ_0 = pouvoir émissif de la flamme (kW/m²)

- r = fraction radiative (-)

m' = débit massique surfacique de combustion (kg/m².s)

H_c = chaleur massique de combustion (kJ/kg)

S = surface de la nappe au sol (m²)

S_d = surface développée de la flamme (m²)

La fraction radiative (r), qui traduit la perte d'une partie de la chaleur de la flamme par convection ou conduction, est inférieure à 10% (2).

4 - Facteur de forme

Le facteur de vue traduit la fraction de l'énergie émise par un feu et qui est reçue par une cible. Le facteur de vue maximal est égal à la moyenne géométrique des facteurs de vue verticaux et horizontaux.

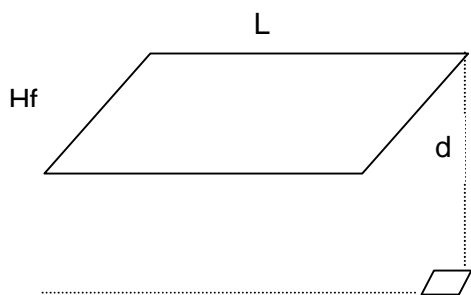
$$F = \sqrt{F_v^2 + F_h^2}$$

La flamme est assimilée à plan vertical.

Comme la cible est le plus souvent de petites dimensions par rapport à la surface des flammes. Le facteur de forme n'est autre que l'angle solide sous lequel la cible, considérée ponctuelle, voit les flammes.

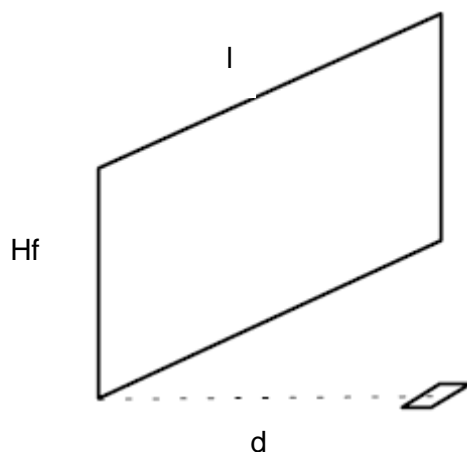
Tous paramètres étant égaux par ailleurs, le flux thermique est maximum au niveau de la médiatrice du mur de flamme et minimum aux extrémités latérales.

Les formules utilisées dans la feuille de calcul sont celles de Sparrow and Cess. Les schémas ci-dessous servent de modèle.



avec $X=L/d$ et $Y=Hf/d$

$$F_v = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \operatorname{Arctg} \left(\frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \operatorname{Arctg} \left(\frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \right]$$



avec $X=Hf/l$ et $Y=d/l$

$$F_h = \frac{1}{2\pi} \left[\operatorname{Arctg} \left(\frac{1}{Y} \right) - \frac{Y}{\sqrt{X^2+Y^2}} \operatorname{Arctg} \left(\frac{1}{\sqrt{X^2+Y^2}} \right) \right]$$

5 - Coefficient d'atténuation

Les radiations émises sont en partie absorbées par l'air présent entre la surface radiante et la cible. Cette atténuation est due principalement :

- à l'absorption des radiations infrarouges par la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone contenus dans l'atmosphère,
- à la diffraction par les poussières et suies en suspension.

Dans le modèle utilisé, le coefficient d'atténuation dans l'air est calculé à partir de la corrélation de Brustowski et Sommer :

$$a = 0,79 \times \left(\frac{100}{x} \right)^{1/16} \times \left(\frac{30,5}{r} \right)^{1/16}$$

Avec :

x = distance de la cible à la source (m)

r = taux d'humidité relative de l'air (%), fixé à 70%

Cette corrélation ne tient compte que de l'absorption de l'énergie rayonnée par la vapeur d'eau, ce qui est majorant.

6 - Flux thermique reçu

Le flux thermique reçu par la cible s'exprime de la façon suivante :

$$\dot{q} = \dot{q}_0 a F$$

Avec :

\dot{q} = flux reçu par la cible (kW/m²)

\dot{q}_0 = pouvoir émissif de la flamme (kW/m²)

a = coefficient d'atténuation dans l'air (-)

F = facteur de forme (-)

7 - Hypothèses de calcul

Les hypothèses émises sont les suivantes :

- On considère que l'incendie a embrasé toute la cellule, que les stockages s'effondrent et que les produits stockés se répandent sur la totalité de la surface couverte par la cellule, recouvrant les allées, les couloirs et les surfaces de travail. La base des flammes se situe au niveau du sol,
- La durée de l'incendie est supérieure à la durée de résistance au feu du toit et des murs de façade qui s'effondrent. Seuls les murs coupe feu jouent le rôle d'écran vis à vis des flux thermiques,
- Le volume visible de la flamme émet des radiations thermiques vers la cible alors que la partie non visible n'en émet pas. Cette hypothèse est liée au modèle de la flamme solide,
- L'effet du vent n'est pas considéré. La flamme reste par conséquent verticale et sa hauteur constante,
- Aucun obstacle n'est interposé entre la cible et la surface en feu,
- La surface en feu est supposée constante tout au long de l'incendie, ce qui est majorant,
- On suppose l'absence de toute intervention, ce qui est majorant.