

La modélisation des flux thermiques émis par des feux de gaz ou de liquides inflammables fait l'objet d'outils méthodologiques fiables validés par des essais en laboratoire ou en grandeur nature. A contrario, peu de données sont disponibles au sujet des feux de combustibles solides.

Très peu d'essais en vraies grandeurs ont été réalisés et la littérature technique relative à la modélisation des phénomènes mis en jeu reste parcellaire.

Les incertitudes portent essentiellement sur les paramètres de combustion, à savoir :

- ✓ débit massique de combustion ;
- ✓ flux thermique initial ;
- ✓ surface en feu.

En raison des incertitudes et approximations inhérentes à ce type de modélisation, les résultats présents dans ce dossier doivent être considérés comme une approche des phénomènes étudiés.

Le modèle de la source ponctuelle ne permettant pas une bonne estimation du flux thermique sur de petites distances et plus particulièrement pour le dimensionnement des moyens de protection ou de détection, il est donc plus logique de s'intéresser au modèle de flamme solide.

Equation générale

L'équation générale pour calculer le flux thermique reçu par une cible peut être exprimée sous la forme suivante :

$$\Phi = \Phi_0 \cdot \tau \cdot F$$

- avec
- Φ = Radiation moyenne reçue par une cible en kW/m²
 - Φ_0 = Radiation émise à la surface de la flamme en kW/m²
 - τ = Transmission atmosphérique (sans dimension)
 - F = Facteur de configuration (sans dimension)

1.1 FLUX EMIS EN SURFACE DE FLAMME

Le pouvoir émissif de la flamme est donné par la relation de Stefan-Boltzman :

$$\Phi_0 = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T_f^4$$

avec :

- Φ_0 = Pouvoir émissif de la flamme (flux radiatif émis) (W/m²)
- σ = Constante de Stefan-Boltzman - $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ W/m².K⁴
- ε = Pouvoir émissif de la flamme (sans dimension)
- T_f = Température de flamme (K)

En pratique, cette formule s'avère souvent difficile à appliquer pour de multiples raisons (température de la flamme difficile à mesurer, présence de fumées jouant un rôle d'écran, ...). C'est pourquoi, pour estimer le pouvoir émissif des flammes, on préfère :

- ⇒ soit utiliser les valeurs expérimentales disponibles dans la littérature (TNO, INERIS, ...)
- ⇒ soit décider a priori d'un pouvoir émissif moyenné sur toute la hauteur des flammes, le plus souvent pris aux alentours de 30 kW/m² pour les grands feux pétroliers (> 2000 m²) (LANNOY) ;
- ⇒ soit, pour les feux très fumigènes, employer la relation de Mudan (MUDAN), rappelée ci-dessous :

$$\Phi_0 = 140 \exp(-0,12D_{eq}) + 20(1 - \exp(-0,12D_{eq}))$$

avec :

- Φ_0 = Pouvoir émissif de la flamme (kW/m²)
- D_{eq} = Diamètre équivalent de la surface en feu (m)

Cette corrélation rend compte de la diminution de Φ_0 avec l'augmentation de la surface en feu, en raison, principalement, de la recrudescence des imbrûlés (suires) et donc de l'obscurcissement de la flamme. Elle a été établie notamment à partir de feux de kérosène ou de GPL et n'est adaptée qu'à des feux produisant des suies en quantités significatives.

1.2 COEFFICIENT DE TRANSMISSION ATMOSPHERIQUE

Le rayonnement émis par les flammes est partiellement absorbé par l'air ambiant. Cette atténuation est essentiellement due :

- ✓ à l'absorption des radiations infrarouge par la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone contenus dans l'atmosphère ;
- ✓ et/ou à la diffraction par les poussières et les suies en suspension.

La formule de Brzustowski & Sommer malgré le domaine d'application restreint peut être utilisée pour estimer l'ordre de grandeur du coefficient d'absorption atmosphérique dans des conditions plus larges :

- ✓ température de flamme à 1500 K ;
- ✓ température ambiante à 300 K ;
- ✓ humidité relative supérieure à 10% ;
- ✓ distance de la source à la cible comprise entre 30 et 50 m.

$$\tau = 0,79 \cdot \left(\frac{100}{RH} \right)^{1/16} \cdot \left(\frac{30,5}{c} \right)^{1/16}$$

avec RH = taux d'humidité relative de l'air (en %)
 c = distance entre le centre de la flamme et la cible en m
Il sera considéré un taux d'humidité relative de 70%.

1.3 FACTEUR DE CONFIGURATION

Le facteur de configuration ou facteur de forme entre deux surfaces A_1 et A_2 traduit la fraction de l'énergie émise par A_1 qui est interceptée par A_2 . Ce facteur purement géométrique ne dépend que de la disposition relative des deux surfaces et de leurs géométries respectives.

1.3.1 Surface impliquée

La connaissance de la surface impliquée est nécessaire pour évaluer la hauteur de flamme. Cette surface impliquée doit se rapprocher au maximum de la surface de stockage. Il convient d'éviter de prendre en compte les surfaces des quais de chargement et de déchargement, les allées de circulation, ...

Le calcul du diamètre équivalent ou hydraulique est nécessaire pour un calcul de la hauteur de flamme, il se calcule selon la formule suivante :

$$D_{eq} = \frac{4.S}{P} = 2 \frac{L * l}{L + l}$$

avec S = surface du feu réel en m^2 = Longueur (L) * largeur (l)
 P = périmètre du feu réel en m^2 = $2 * \{ \text{Longueur } (L) + \text{largeur } (l) \}$

Cette formule ne peut pas être utilisée lorsque le rapport longueur sur largeur de la surface en feu est supérieur ou égale à 4. Il convient alors de diviser la surface impliquée en plusieurs éléments de même surface. Cette division donnera une nouvelle longueur L' .

Cette longueur sera calculée de la manière suivante :

$$L' = \frac{L}{\text{ent}\left(\frac{L}{4.l}\right) + 1}$$

Le choix de cette formule permet de rester au plus près de la géométrie de la flamme. L'intérêt de passer par la fonction mathématique entier « ent » est de répondre dans tous les cas à la condition du strictement inférieur.

On peut alors calculer un diamètre équivalent :

$$D_{eq} = 2 \frac{L' * l}{L' + l}$$

1.3.2 Vitesse de combustion des solides

La vitesse de combustion (\dot{m}) d'un composé solide donné n'est pas une constante ; elle dépend du renouvellement de l'air au voisinage de la flamme et des échanges thermiques avec le milieu ambiant. En effet, dans le cas des solides, ce n'est pas le solide lui même qui brûle, mais les produits de la décomposition thermique (gaz de la distillation, la distillation se faisant sous l'effet de l'échauffement du matériau considéré). C'est la poursuite de ce changement d'état sous effet de la chaleur qui permet à la combustion de se développer. De plus, les gaz chauds formés par cette combustion accélèrent d'autant plus le renouvellement de l'air que leur température est élevée. Mais l'élévation de température est freinée par le rayonnement du corps en combustion.

1.3.3 Hauteur de flamme

La hauteur de flamme est calculée selon la corrélation de THOMAS.

Dans des situations sans vent, la hauteur de flammes est donnée le plus souvent par la formule suivante :

$$\frac{H}{D_{eq}} = 42 \left(\frac{\dot{m}}{\rho_0 \sqrt{g \cdot D_{eq}}} \right)^{0.61}$$

avec

H : hauteur moyenne de flammes en m

D_{eq} : diamètre équivalent de la surface impliquée dans l'incendie en m

ρ_0 : densité de l'air ambiant en kg.m^{-3}

g : accélération de la pesanteur en m.s^{-2} ($g = 9,81$)

\dot{m} : débit masse surfacique en $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

Cette équation a été obtenue à partir d'essais sur les feux de bois en milieu confiné. Elle s'applique en général à l'ensemble des combustibles.

1.3.4 Facteur de forme

On vient de déterminer l'ensemble des données nécessaires au calcul du facteur de forme :

- ✓ surface impliquée (longueur et largeur) ;
- ✓ hauteur de flamme.

Pour calculer le facteur de forme, on va utiliser le premier schéma de la table sur le facteur de configuration (extrait du « The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, chapitre 1, page 95 »).

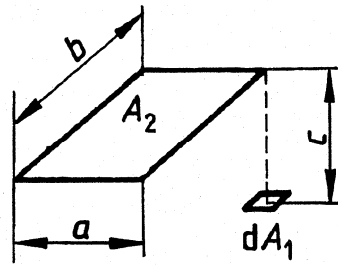
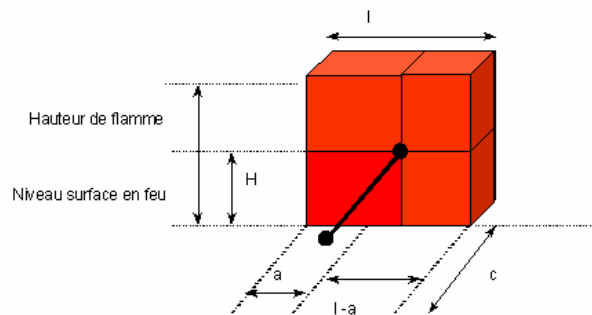
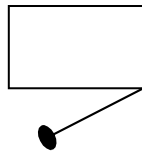


Schéma 1 du facteur de configuration

Le flux thermique étant maximum au centre du front de flamme, il faut considérer qu'on a quatre surfaces élémentaires. Les dimensions de ces surfaces permettent de tenir compte du flux reçu par un homme à un mètre du sol et/ou en limite du front de flamme.

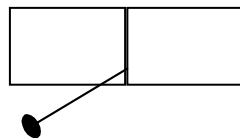


Pratiquement, à l'aide d'un tableur, il faut calculer pour une surface élémentaire :



$$F_{1-2} = \frac{1}{2\pi} \left\{ \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \tan^{-1} \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \tan^{-1} \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right\}$$

Pour deux surfaces élémentaires, il faut calculer :



$$F_{1-2} = \sum_1^2 F_{1-2i}$$

Et de la même manière pour quatre surfaces élémentaires.

Dans le cas où un mur coupe-feu constituant un écran de protection est interposé, le facteur de forme est modifié. De la même manière qu'on a calculé le facteur de forme du front de flamme, il faut calculer les différents facteurs de forme pour le mur coupe-feu.

