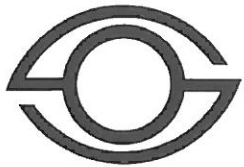


Notre Dame d'Oé, le 4 mai 2012



**SOCOTEC**

Agence HSE de Tours  
5 rue René Cassin  
BP70001  
37390 Notre Dame d'Oé  
☎ 02-47-70-40-40

**ESTIMATION DES FLUX THERMIQUES  
EMIS PAR UN INCENDIE**

**EBLY – 28 Marboué**

**Rédacteur du rapport : Mathieu LAVALARD**

# SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>OBJECTIF .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>MODELE UTILISE .....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>PARAMETRES DE CALCUL .....</b>	<b>4</b>
3.1	CARACTERISATION DE LA FLAMME.....	4
3.1.1	DEBIT MASSIQUE DE COMBUSTION.....	4
3.1.2	HAUTEUR DE FLAMMES .....	4
3.1.3	POUVOIR EMISSIF DE LA FLAMME.....	4
3.1.4	VALEURS RETENUES POUR LE MELANGE DE MATIERES COMBUSTIBLES .....	5
3.1.5	BILAN THERMIQUE .....	5
3.2	ESTIMATION DES FLUX THERMIQUES.....	6
3.2.1	FACTEUR DE FORME .....	6
3.2.2	COEFFICIENT D'ATTENUATION .....	6
3.2.3	FLUX THERMIQUE REÇU .....	7
3.2.4	DIMENSIONS DE LA CELLULE ET DES MURS COUPE FEU .....	7
<b>4.</b>	<b>HYPOTHESES DE CALCUL.....</b>	<b>7</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTATS DE LA ZONE EXPEDITION/RECEPTION .....</b>	<b>7</b>
5.1	HAUTEUR DE FLAMMES.....	7
5.2	COURBES REPRESENTATIVES DU FLUX EN FONCTION DE LA DISTANCE DE LA CIBLE AU FOYER .....	8
5.2.1	RESULTATS SANS MUR COUPE FEU .....	8
5.2.2	RESULTATS AVEC MURS COUPE FEU.....	9
5.3	DISTANCES RECHERCHEES.....	10
<b>6.</b>	<b>RESULTATS DU BATIMENT PALETTES.....</b>	<b>11</b>
6.1	HAUTEUR DE FLAMMES.....	11
6.2	COURBES REPRESENTATIVES DU FLUX EN FONCTION DE LA DISTANCE DE LA CIBLE AU FOYER .....	11
6.2.1	RESULTATS SANS MUR COUPE FEU .....	11
6.2.2	RESULTATS AVEC MURS COUPE FEU.....	11
6.3	DISTANCES RECHERCHEES.....	12

## 1. OBJECTIF

---

Il s'agit de modéliser le rayonnement thermique émis par un incendie se déclarant dans la zone expédition/réception de l'usine ou dans le bâtiment de stockage des palettes vides.

On recherche les distances correspondant aux flux suivants <sup>(1)</sup> :

### pour les effets sur l'homme :

- 3 kW/m<sup>2</sup>, seuil des effets irréversibles délimitant la « zone des dangers significatifs pour la vie humaine »,
- 5 kW/m<sup>2</sup>, seuil des effets létaux délimitant la « zone des dangers graves pour la vie humaine »,
- 8 kW/m<sup>2</sup>, seuil des effets létaux significatifs délimitant la « zone des dangers très graves pour la vie humaine ».

### pour les effets sur les structures :

- 5 kW/m<sup>2</sup>, seuil des destructions de vitres significatives,
- 8 kW/m<sup>2</sup>, seuil des effets domino et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures,
- 16 kW/m<sup>2</sup>, seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton,
- 20 kW/m<sup>2</sup>, seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton,
- 200 kW/m<sup>2</sup>, seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

## 2. MODELE UTILISE

---

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 <sup>(2)</sup>, dans lequel la flamme est modélisée par un parallélépipède dont les surfaces rayonnent uniformément.

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.

---

<sup>(1)</sup> Source : Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.

<sup>(2)</sup> Source : Méthode pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA-006) : feux de nappe, Direction des risques accidentels, INERIS, octobre 2002.

### 3. PARAMETRES DE CALCUL

---

#### 3.1 Caractérisation de la flamme

##### 3.1.1 Débit massique de combustion

Le débit massique de combustion, exprimé en  $\text{kg/m}^2.\text{s}$ , représente la quantité de combustible participant à l'incendie par unité de temps et de surface de combustible au sol. De manière schématique, il traduit la vitesse de consommation du combustible.

Ce paramètre intervient dans le bilan thermique (cf. paragraphes suivants).

Dans cette étude, il est pris égal à  $0.031 \text{ kg/m}^2.\text{s}$  pour l'incendie de la zone expédition/réception et à  $0.060 \text{ kg/m}^2.\text{s}$  pour l'incendie du bâtiment palettes.

##### 3.1.2 Hauteur de flammes

Pour le calcul de la hauteur de flammes, la corrélation de Thomas a été retenue <sup>(2)</sup>. Cette corrélation résulte d'essais de feux de bûchers de bois en milieu confiné. Elle est adaptée aux feux de diamètre inférieur ou égal à 20 m et convient particulièrement aux feux d'hydrocarbures dont le rapport de la hauteur de flammes sur le diamètre équivalent est compris entre 3 et 10.

Les corrélations utilisées pour le calcul de la hauteur de flammes font intervenir la notion de diamètre équivalent en assimilant la surface en feu à un disque.

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, dont le rapport entre la longueur et la largeur est supérieur à 2,5, le diamètre équivalent est égal à la largeur de la cellule <sup>(3)</sup>.

##### 3.1.3 Pouvoir émissif de la flamme

Le pouvoir émissif de la flamme, exprimé en  $\text{kW/m}^2$ , correspond à la puissance thermique rayonnée par unité de surface de la flamme.

Dans cette étude, il est pris égal à  $30 \text{ kW/m}^2$ , valeur correspondant au pouvoir émissif du fuel, préconisée par l'INERIS dans le cas de mélange de matières combustibles.

---

<sup>(3)</sup> Source : Entrepôts de matières combustibles – Guide d'application de l'arrêté ministériel du 05/08/02, MEDD, 2006.

### 3.1.4 Valeurs retenues pour le mélange de matières combustibles

Les valeurs retenues pour le mélange de matières combustibles apparaissent dans le tableau ci-dessous :

Produit	Débit massique de combustion (kg/m <sup>2</sup> .s)	Masse (kg)
produits alimentaires en emballages plastique	0,030	500000
bois constitutif des palettes	0,060	10000
polyéthylène (PE)	0,026	10000
<b>Mélange</b>	<b>0,031</b>	<b>520000</b>

*Composition de la zone expédition/réception*

Produit	Débit massique de combustion (kg/m <sup>2</sup> .s)	Masse (kg)
bois constitutif des palettes	0,060	20000
<b>Mélange</b>	<b>0,060</b>	<b>20000</b>

*Composition du bâtiment palette*

Ces données sont issues des documents référencés en bas de page <sup>(4)(5)</sup>.

### 3.1.5 Bilan thermique

Le pouvoir émissif peut être estimé par une approche énergétique simple en considérant la puissance surfacique rayonnée par la flamme comme une fraction de la puissance totale libérée par la combustion :

$$\Phi_0 = \eta_r \times \frac{m'' \times \Delta H_c \times S}{S_d}$$

Avec :

$\Phi_0$  = pouvoir émissif de la flamme (kW/m<sup>2</sup>)

$\eta_r$  = fraction radiative (-)

$m''$  = débit massique surfacique de combustion (kg/m<sup>2</sup>.s)

$\Delta H_c$  = chaleur massique de combustion (kJ/kg)

S = surface de la nappe au sol (m<sup>2</sup>)

$S_d$  = surface développée de la flamme (m<sup>2</sup>)

<sup>(4)</sup> Source : The SFPE Handbook of fire Protection Engineering, 2<sup>ème</sup> édition.

<sup>(5)</sup> Source : Traité pratique de sécurité incendie, CNPP, 2003.

La fraction radiative ( $\eta_r$ ), qui traduit la perte d'une partie de la chaleur de la flamme par convection ou conduction, est inférieure à 10% <sup>(2)</sup>.

Ainsi, le pouvoir émissif de la flamme calculé dans les paragraphes précédents est corrigé afin de vérifier la relation suivante :

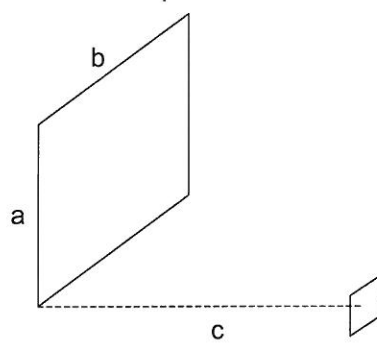
$$\frac{\Phi_0 \times S_f}{m' \times \Delta H_c \times S} \leq 0,1$$

### 3.2 Estimation des flux thermiques

#### 3.2.1 Facteur de forme

Le facteur de forme entre deux surfaces  $S_1$  et  $S_2$  traduit la fraction de l'énergie émise par  $S_1$  qui est interceptée par  $S_2$ . Ce facteur purement géométrique ne dépend que de la disposition relative des deux surfaces et correspond à l'angle solide sous lequel la cible voit les flammes.

Pour une surface élémentaire verticale parallèle au mur de flammes, le facteur de forme est déterminé à partir de la formule analytique de Sparrow et Cess <sup>(2)</sup> :



$$F = \frac{1}{2\pi} \times \left[ \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \text{Arc tan} \left( \frac{Y}{\sqrt{1+X^2}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{1+Y^2}} \text{Arc tan} \left( \frac{X}{\sqrt{1+Y^2}} \right) \right]$$

$$X = \frac{a}{c}$$

$$Y = \frac{b}{c}$$

La présence d'un mur coupe feu intervient dans le calcul du facteur de forme. Le facteur de forme du mur coupe feu est soustrait au facteur de forme entre la cible et la flamme.

#### 3.2.2 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.

### 3.2.3 Flux thermique reçu

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

$$\Phi = \Phi_0 \times F \times a$$

Avec :

$\Phi$  = flux reçu par la cible (kW/m<sup>2</sup>)

$\Phi_0$  = pouvoir émissif de la flamme (kW/m<sup>2</sup>)

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

$F$  = facteur de forme (-)

### 3.2.4 Dimensions de la cellule et des murs coupe feu

Les dimensions de la cellule et des murs coupe feu sont rappelées dans le tableau ci-dessous.

	Zone expédition/réception	Bâtiment palettes
Largeur	18 m	17 m
Longueur	70 m	17 m
Diamètre équivalent	18 m	17 m
Présence d'un mur coupe feu de hauteur	Mur coupe feu partiel de 6 m de hauteur	non

## 4. HYPOTHESES 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.

## 5. RESULTATS DE LA ZONE EXPEDITION/RECEPTION

---

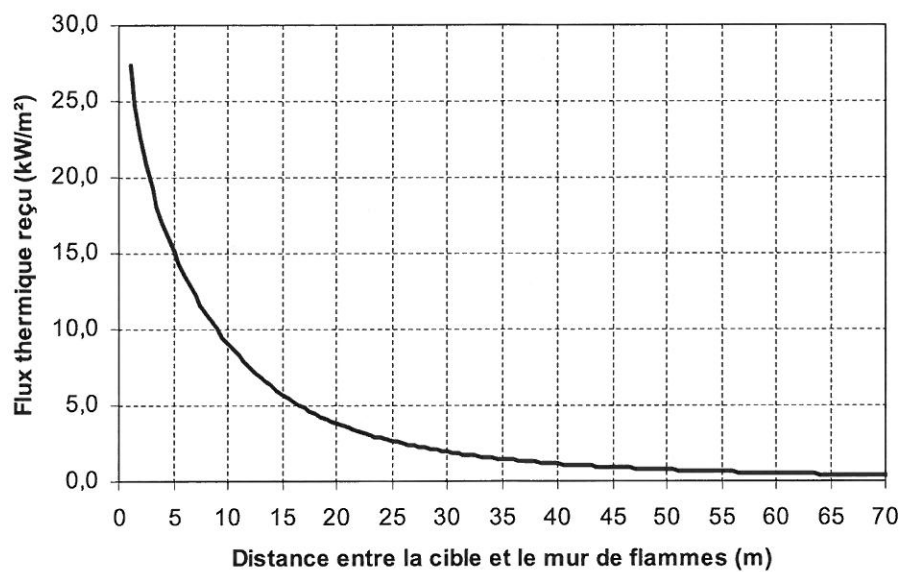
### 5.1 Hauteur de flammes

La hauteur de flammes est de l'ordre de 14,7 m pour la zone expédition/réception.

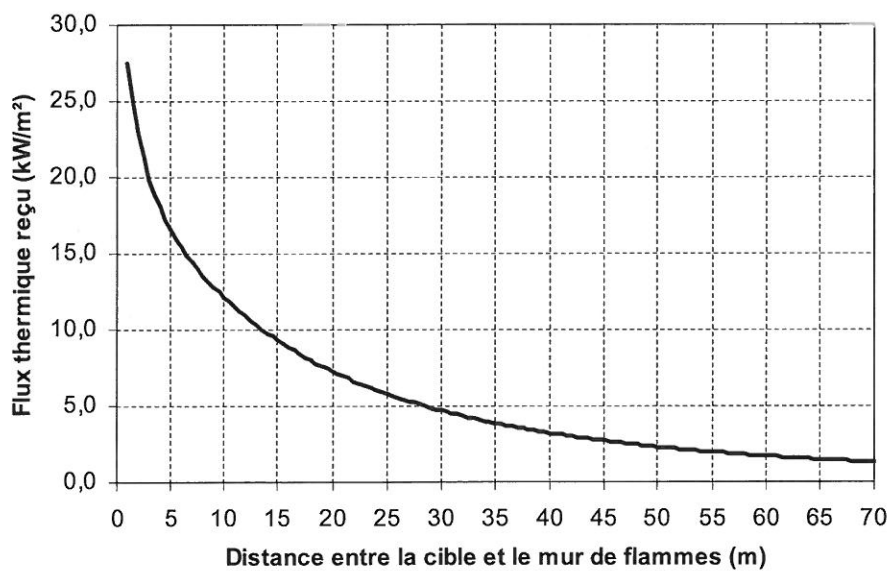
## 5.2 Courbes représentatives du flux en fonction de la distance de la cible au foyer

### 5.2.1 Résultats sans mur coupe feu

Résultats sur la largeur de la cellule sans écran



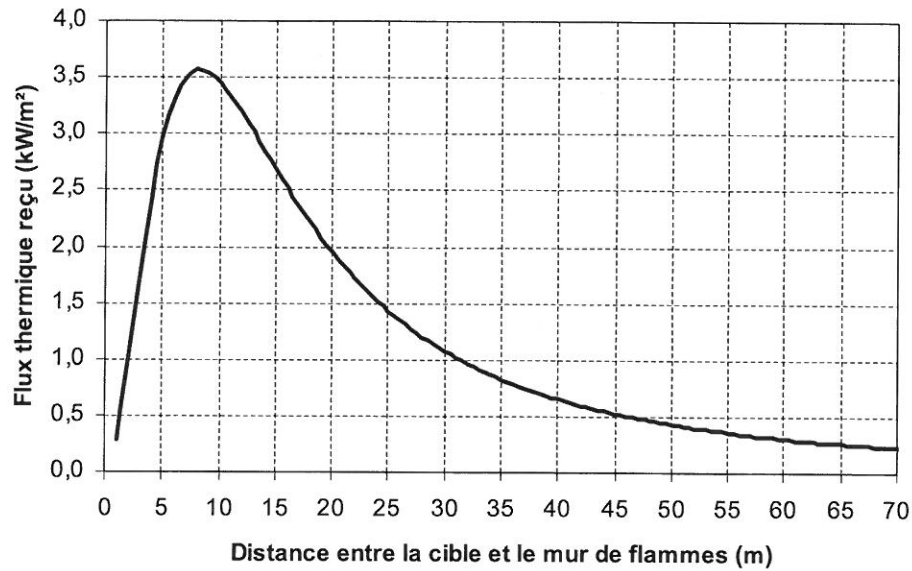
Résultats sur la longueur de la cellule sans écran



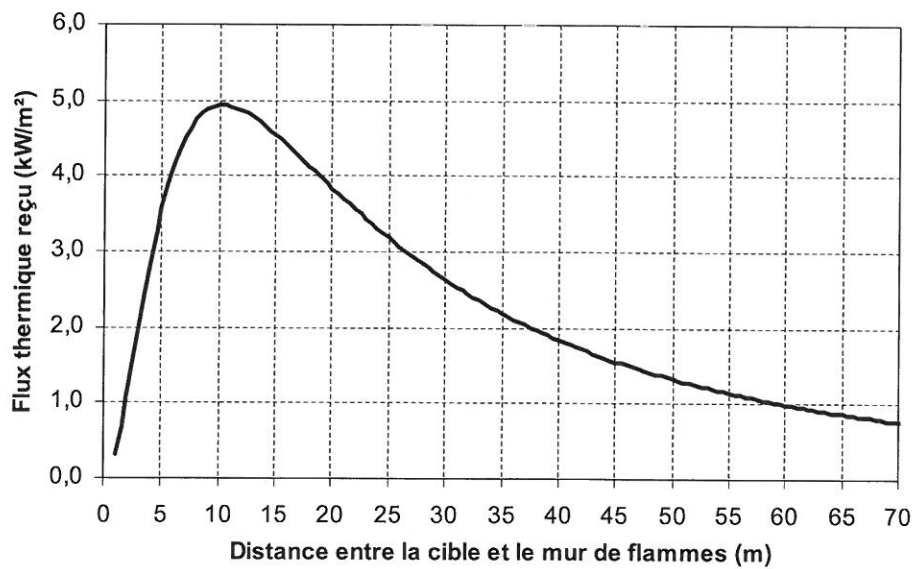


## 5.2.2 Résultats avec murs coupe feu

Résultats sur la largeur de la cellule avec écran



Résultats sur la longueur de la cellule avec écran



### 5.3 Distances recherchées

Les distances recherchées figurent dans le tableau ci-dessous. Elles sont données à partir des parois de la cellule et correspondent au flux reçu à 1,5 m au-dessus du sol.

Flux reçu (kW/m <sup>2</sup> )	Distances (m)			
	Largeur sans écran coupe feu	Largeur avec écran coupe feu	Longueur sans écran coupe feu	Longueur avec écran coupe feu
3	de l'ordre de 24 m	de l'ordre de 13 m	de l'ordre de 42 m	de l'ordre de 26 m
5	de l'ordre de 17 m	non atteint	de l'ordre de 29 m	non atteint
8	de l'ordre de 12 m	non atteint	de l'ordre de 19 m	non atteint
16	de l'ordre de 5 m	non atteint	de l'ordre de 6 m	non atteint
20	de l'ordre de 3 m	non atteint	de l'ordre de 3 m	non atteint
200	non atteint	non atteint	non atteint	non atteint

## 6. RESULTATS DU BATIMENT PALETTES

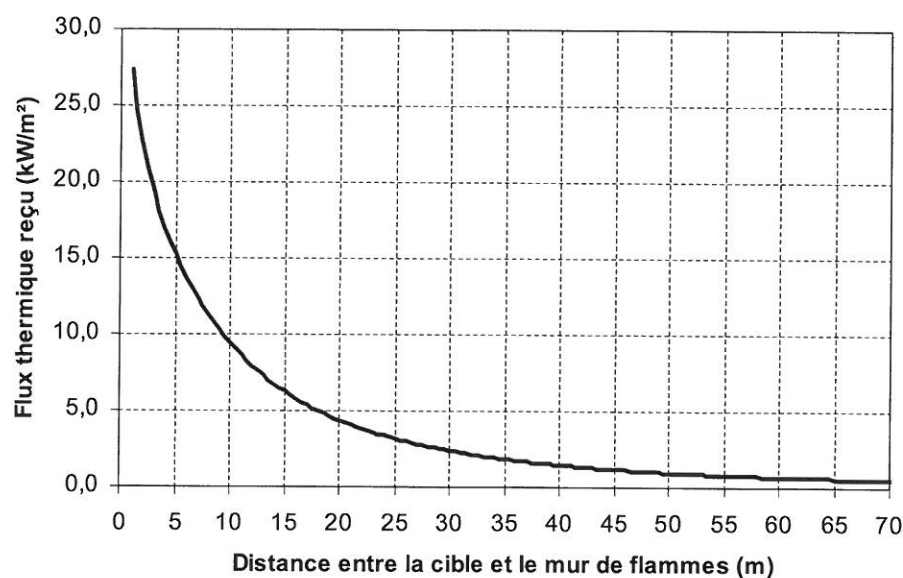
### 6.1 Hauteur de flammes

La hauteur de flammes est de l'ordre de 21,1 m pour la bâtiment palettes.

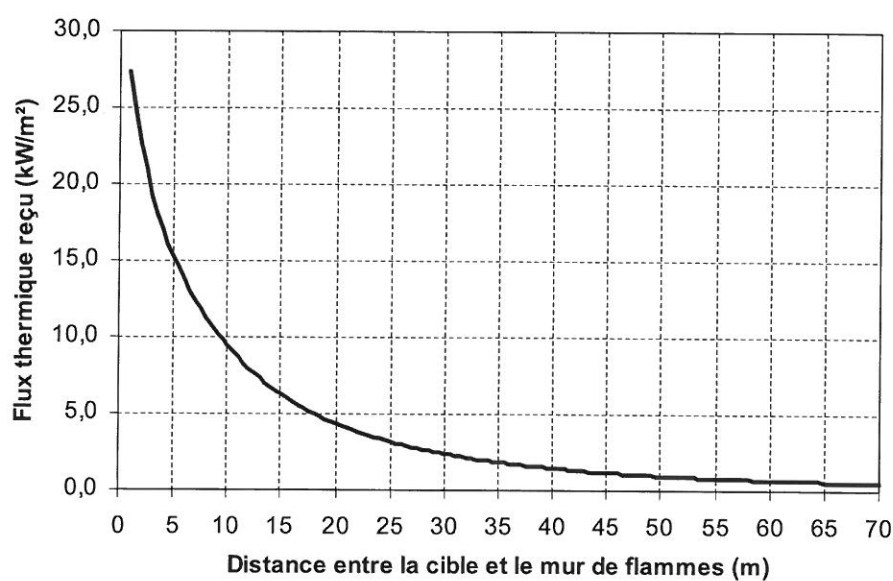
### 6.2 Courbes représentatives du flux en fonction de la distance de la cible au foyer

#### 6.2.1 Résultats sans mur coupe feu

Résultats sur la largeur de la cellule sans écran



Résultats sur la longueur de la cellule sans écran



#### 6.2.2 Résultats avec murs coupe feu

*néant*

### 6.3 Distances recherchées

Les distances recherchées figurent dans le tableau ci-dessous. Elles sont données à partir des parois de la cellule et correspondent au flux reçu à 1,5 m au-dessus du sol.

Flux reçu (kW/m <sup>2</sup> )	Distances (m)			
	Largeur sans écran coupe feu	Largeur avec écran coupe feu	Longueur sans écran coupe feu	Longueur avec écran coupe feu
3	de l'ordre de 26 m	sans objet	de l'ordre de 26 m	sans objet
5	de l'ordre de 19 m	sans objet	de l'ordre de 19 m	sans objet
8	de l'ordre de 12 m	sans objet	de l'ordre de 12 m	sans objet
16	de l'ordre de 5 m	sans objet	de l'ordre de 5 m	sans objet
20	de l'ordre de 3 m	sans objet	de l'ordre de 3 m	sans objet
200	non atteint	sans objet	non atteint	sans objet