

## MODELISATION DES EFFETS THERMIQUES D'UN INCENDIE D'UNE CELLULE STOCKANT DES BATTERIES LITHIUM-ION

Destinataires : Mme Aude TARLIER (DEMBO-ING)  
M. Vincent CATTIAU (QUALICONSULT)

Copies : M. Olivier GENTILHOMME  
M. Benjamin TRUCHOT  
M. Bernard PIQUETTE  
M. Rémy BOUET  
Mme Dominique PROD'HOMME

### 1. Introduction

Le groupe DESLOG envisage de construire un entrepôt, classé à enregistrement sous la rubrique ICPE 1510, sur la ZAC de la Turquerie à Marck (62). Comme indiqué sur la Figure 1, ce bâtiment sera constitué de 5 cellules :

- deux d'entre elles serviront au stockage en masse des produits bruts ;
- les trois autres serviront au stockage en racks de produits finis (notamment des batteries lithium-ion de véhicules électriques). Il s'agit des cellules 1, 2 et 3 sur la figure.

Dans la mesure où les cellules 2 et 3 sont strictement identiques, il est demandé à l'Ineris de simuler l'incendie des cellules 1 et 2, prises individuellement, lorsque celles-ci sont remplies de batteries lithium-ion.



Figure 1. Plan de masse du projet d'entrepôt sur la ZAC de la Turquerie

## 2. Méthodologie d'évaluation des flux thermiques

Les simulations ont été réalisées à l'aide de l'outil Flumilog ([www.ineris.fr/flumilog](http://www.ineris.fr/flumilog)). Cet outil permet de modéliser l'évolution de l'incendie déclaré dans une aire de stockage, depuis l'inflammation jusqu'à son extinction. Il prend en compte le rôle joué par la nature du stockage et par sa compacité. Les flux thermiques sont calculés à chaque instant en fonction de la progression de l'incendie dans ce stockage. Le lecteur pourra trouver une description complète de l'outil sur le site Flumilog.

Les conséquences des deux scénarios d'incendie ont été évaluées en utilisant les seuils d'effets figurant dans l'Arrêté du 29 septembre 2005<sup>1</sup>, à savoir :

- 3 kW/m<sup>2</sup> pour le seuil des effets irréversibles (ou SEI) ;
- 5 kW/m<sup>2</sup> pour le seuil des premiers effets létaux (ou SEL) ;
- 8 kW/m<sup>2</sup> pour le seuil des effets létaux significatifs (ou SELS).

Les cibles sont supposées être à 1,8 m de hauteur par rapport au sol.

## 3. Rappel des données d'entrée utilisées

### 3.1. Description des cellules étudiées

Les éléments présentés dans le Tableau 1 sont tirés d'une précédente étude<sup>2</sup>.

	CELLULE 1	CELLULE 2
	<b>Géométrie</b>	
Longueur	48 m	
Largeur	48 m	42 m
Hauteur	13,9 m	
Hauteur du canton	1 m	
	<b>Dispositions constructives</b>	
Toiture :	R60 / R15 Métallique multicouches	
- Résistance au feu poutres / pannes		
- Couverture		
- Exutoires	12 exutoires (L × l = 2,3 m × 2,0 m)	9 exutoires (L × l = 2,3 m × 2,0 m)
Parois :	Monocomposante Poteau béton Béton Armé / cellulaire REI 120 / Y 120	
- Composante		
- Structure support		
- Matériau		
- Résistance		
- Portes de quai	5 portes sur la paroi nord (l × H = 3,0 m × 4,0 m)	6 portes sur la paroi nord (l × H = 3,0 m × 4,0 m)

Tableau 1. Description des cellules étudiées

<sup>1</sup> 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> QUALICONSULT, « Modélisation des effets thermiques générés en cas d'incendie – Projet de construction d'un entrepôt – ZAC de la Turquie – Groupe DESLOG », 27/03/2023.

## 3.2. Organisation du stockage dans les cellules étudiées

De nouveau, les éléments présentés dans le Tableau 2 sont issus d'une précédente étude.

	CELLULE 1	CELLULE 2
Mode de stockage	Rack	
Nombre de niveaux	5	
Longueur de stockage	33	
Hauteur max de stockage	10	
Longueur zone de préparation	14,4	
Déport latéral	0,5 m	
Nombre de double racks	7	6
Nombre de simple racks	2	

Tableau 2. Organisation du stockage pour les cellules étudiées

## 3.3. Définition de la palette stockée

Pour simuler l'incendie des cellules, l'Ineris a défini une palette constituée (uniquement) de modules de cellules Li-ion (NMC).

Il est d'abord supposé qu'un module soit constitué en moyenne de 12 cellules. La capacité d'une cellule étant généralement de l'ordre de 0,4 kWh, le module est donc supposé avoir une capacité de 4,5 kWh. Les dimensions d'un module sont approximativement :  $L = 0,92 \text{ m} \times l = 0,44 \text{ m} \times H = 0,22 \text{ m}$ .

Dès lors, pour les simulations avec l'outil Flumilog, l'Ineris a utilisé une palette de dimensions  $L = 0,92 \text{ m} \times l = 0,88 \text{ m} \times H = 1,54 \text{ m}$ , correspondant au volume occupé par 14 modules, répartis de la façon suivante :

- Selon la longueur (L) : 1 rangée de modules,
- Selon la largeur (l) : 2 rangées de modules,
- Selon la hauteur (H) : 7 rangées de modules.

La palette ainsi définie dans l'outil Flumilog permet donc de stocker une capacité totale de batteries de l'ordre de 63 kWh. Selon un modèle Ineris, développé en interne sur la base d'essais réalisés par l'Institut lui-même, l'incendie d'une telle palette de batteries chargées à 100 % peut générer une puissance thermique de 4000 kW sur une durée de 20 min<sup>3</sup> (et avec un pic de puissance à 9000 kW).

## 4. Présentation des résultats obtenus

### 4.1. Pour la cellule 1

La Figure 2 présente les flux thermiques ainsi calculés à hauteur d'homme pour la cellule 1, remplie de modules de cellules Li-ion (NMC<sup>4</sup>) chargée à 100 %. Malgré les caractéristiques des parois, on note que le flux à 3 kW/m<sup>2</sup> dépasse légèrement les limites du site. Il atteint notamment un pylône de ligne électrique 90 kV (cf. zone encadrée sur la figure).

<sup>3</sup> Pour comparaison, le profil de puissance d'une palette ICPE 1510 est de 1520 kW sur une durée de 45 min.

<sup>4</sup> Selon le retour d'expérience de l'Ineris, et toutes choses étant égales par ailleurs, la puissance calorifique générée par un feu de batteries Li-ion, de type LMP, est généralement plus faible que celle d'un feu de batterie Li-ion, de type NMC. Par conséquent, les distances d'effets seraient probablement réduites.

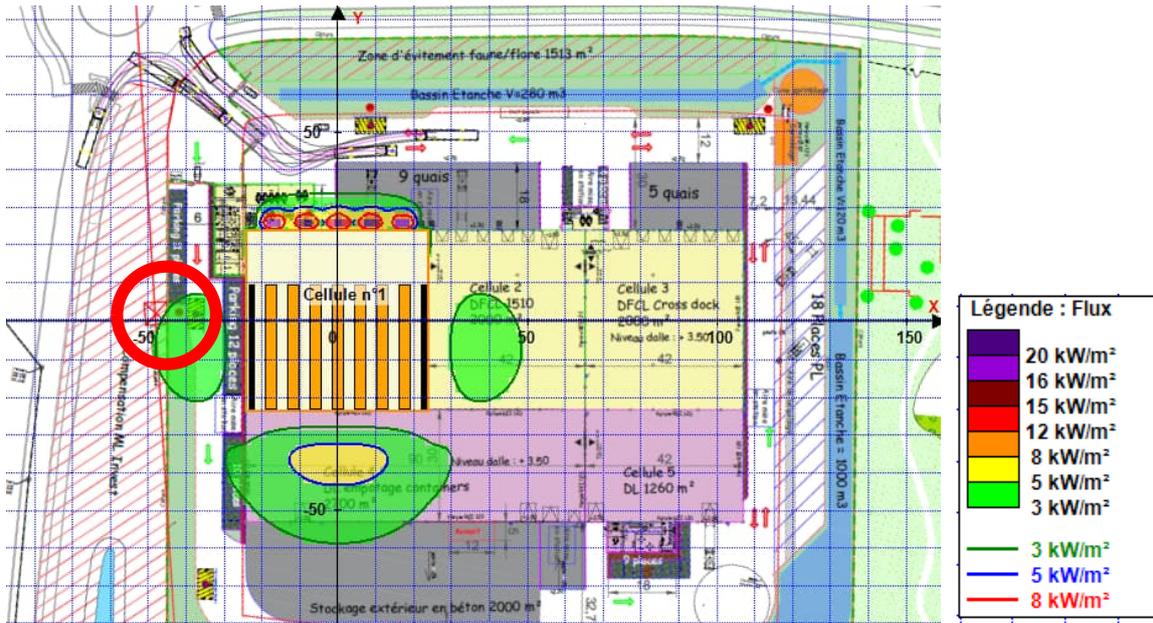


Figure 2. Flux thermiques calculés à hauteur d'homme pour l'incendie de la cellule 1 remplie de batteries Li-ion (NMC) chargées à 100 %

Pour être à même d'évaluer le flux maximal s'appliquant sur ce pylône, l'Ineris a procédé à plusieurs simulations Flumilog du même scénario d'incendie en considérant différentes hauteurs de cible (entre 10 et 40 m). De cette analyse, il apparaît que le pylône est exposé à un flux maximal compris entre 5 et 8 kW/m² à une hauteur d'environ 20 m. A titre d'illustration, la figure ci-dessous présente la cartographie des flux prédite pour cette hauteur.

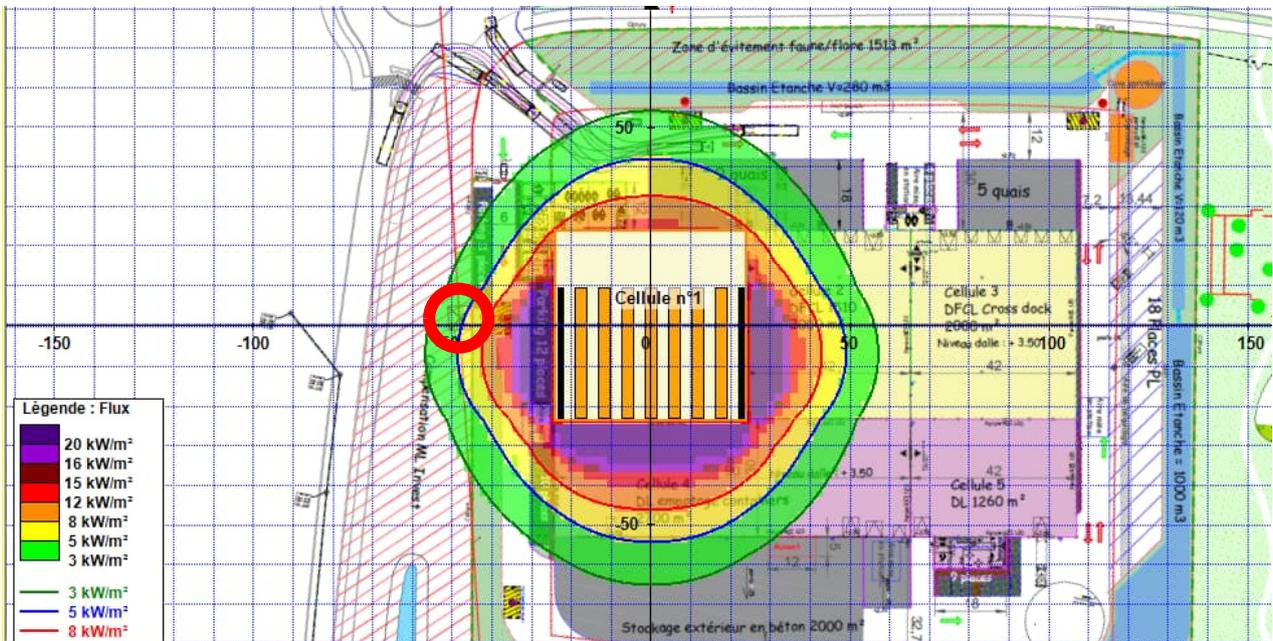


Figure 3. Cartographie des flux thermiques à une hauteur de 20 m pour l'incendie de la cellule 1



## **5. Résultats FLUMILOG**

- Cellule 1 : Interface graphique v.5.6.1.0 - Outil de calculV5.61 : 6 pages,
- Cellule 2 : Interface graphique v.5.6.1.0 - Outil de calculV5.61 : 6 pages.

# FLUMilog

Interface graphique v.5.6.1.0

Outil de calculV5.61

## Flux Thermiques Détermination des distances d'effets

Utilisateur :	Gentilhomme
Société :	Ineris
Nom du Projet :	ZAC_Turquerie_1680531237
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	03/04/2023 à 16:13:46 avec l'interface graphique v. 5.6.1.0
Date de création du fichier de résultats :	3/4/23

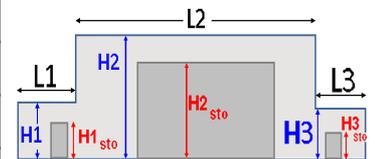
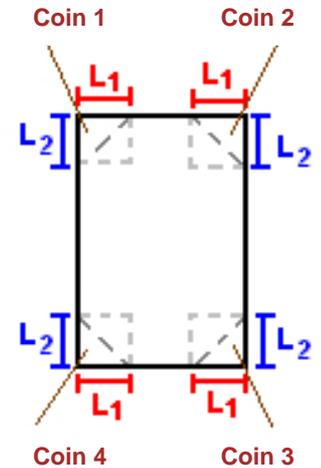
## I. DONNEES D'ENTREE :

### Donnée Cible

Hauteur de la cible : **1,8 m**

### Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :Cellule n°1				
Longueur maximum de la cellule (m)	<b>48,0</b>			
Largeur maximum de la cellule (m)	<b>48,0</b>			
Hauteur maximum de la cellule (m)	<b>13,9</b>			
Coin 1	<b>non tronqué</b>	L1 (m)	<b>0,0</b>	
		L2 (m)	<b>0,0</b>	
Coin 2	<b>non tronqué</b>	L1 (m)	<b>0,0</b>	
		L2 (m)	<b>0,0</b>	
Coin 3	<b>non tronqué</b>	L1 (m)	<b>0,0</b>	
		L2 (m)	<b>0,0</b>	
Coin 4	<b>non tronqué</b>	L1 (m)	<b>0,0</b>	
		L2 (m)	<b>0,0</b>	
Hauteur complexe				
	1	2	3	
L (m)	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
H (m)	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
H sto (m)	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	



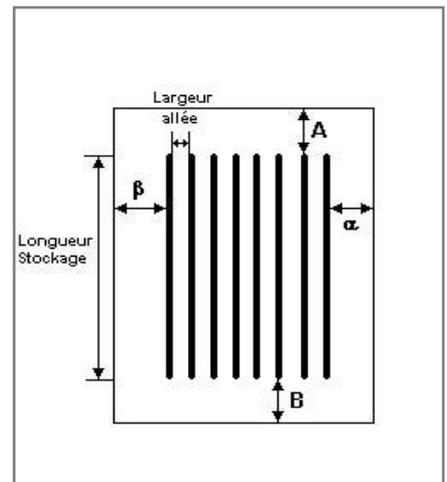
### Toiture

Résistance au feu des poutres (min)	<b>60</b>
Résistance au feu des pannes (min)	<b>15</b>
Matériaux constituant la couverture	<b>metallique multicouches</b>
Nombre d'exutoires	<b>12</b>
Longueur des exutoires (m)	<b>2,3</b>
Largeur des exutoires (m)	<b>2,0</b>

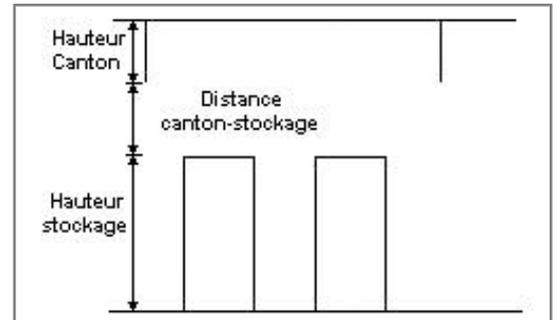


**Stockage de la cellule : Cellule n°1**

Nombre de niveaux	<b>5</b>
Mode de stockage	<b>Rack</b>
<b>Dimensions</b>	
Longueur de stockage	<b>33,0 m</b>
Déport latéral a	<b>0,5 m</b>
Déport latéral b	<b>0,5 m</b>
Longueur de préparation A	<b>14,4 m</b>
Longueur de préparation B	<b>0,6 m</b>
Hauteur maximum de stockage	<b>10,0 m</b>
Hauteur du canton	<b>1,0 m</b>
Ecart entre le haut du stockage et le canton	<b>2,9 m</b>

**Stockage en rack**

Sens du stockage	<b>dans le sens de la paroi 1</b>
Nombre de double racks	<b>7</b>
Largeur d'un double rack	<b>2,8 m</b>
Nombre de racks simples	<b>2</b>
Largeur d'un rack simple	<b>1,4 m</b>
Largeur des allées entre les racks	<b>3,1 m</b>

**Palette type de la cellule Cellule n°1****Dimensions Palette**

Longueur de la palette :	<b>0,9 m</b>	<b>La longueur de la palette est très inférieure à la largeur du rack.</b>
Largeur de la palette :	<b>0,9 m</b>	
Hauteur de la palette :	<b>1,5 m</b>	
Volume de la palette :	<b>1,2 m<sup>3</sup></b>	
Nom de la palette :	<b>Batterie</b>	Poids total de la palette : <b>0,0 kg</b>

**Composition de la Palette (Masse en kg)**

NC						
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC						
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0

**Données supplémentaires**

Durée de combustion de la palette :	<b>20,0 min</b>
Puissance dégagée par la palette :	<b>4000,0 kW</b>

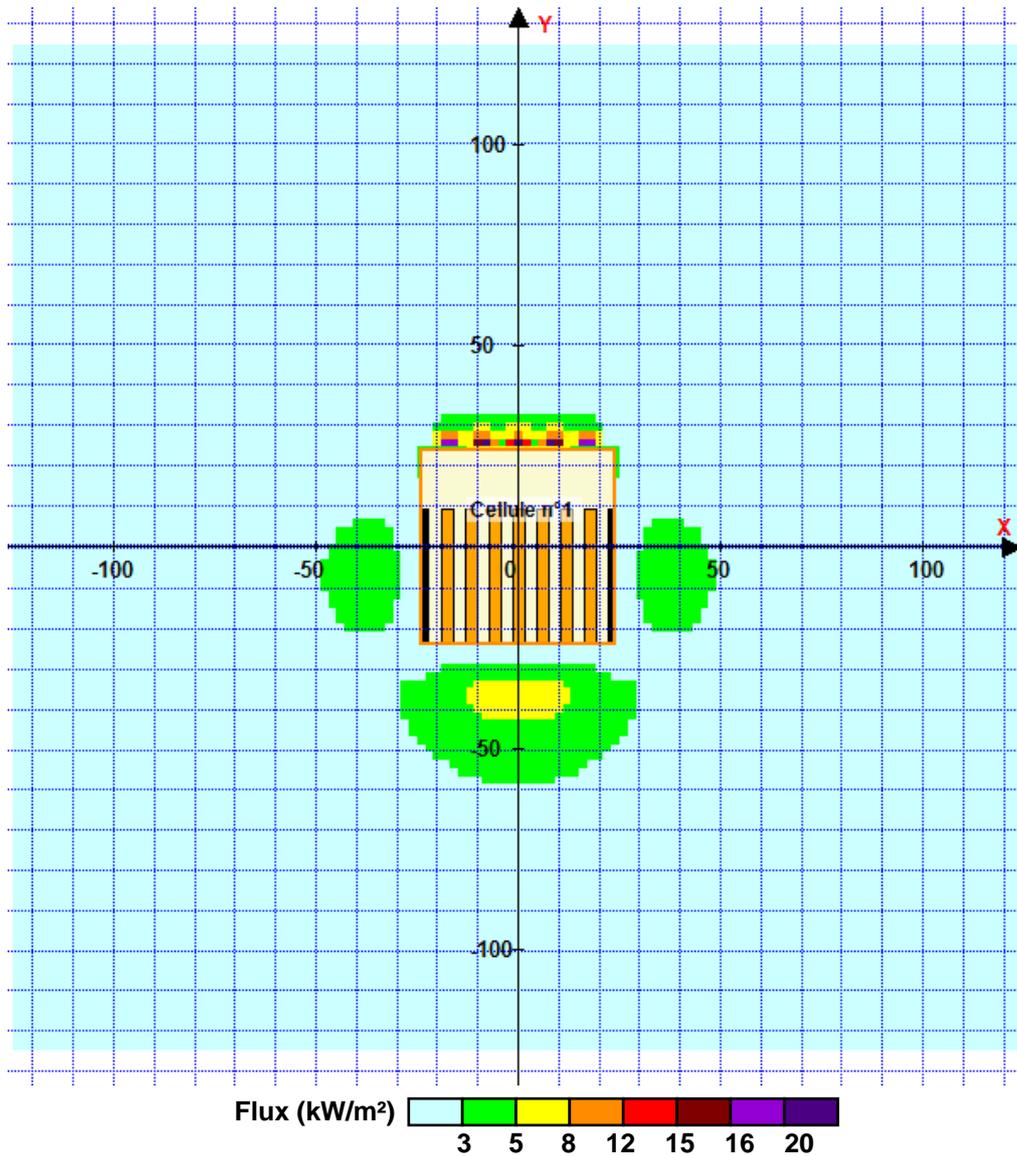


## II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : **Cellule n°1**

Durée de l'incendie dans la cellule : Cellule n°1 **52,0** min

### Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme, le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.

# FLUMilog

Interface graphique v.5.6.1.0

Outil de calculV5.61

## Flux Thermiques Détermination des distances d'effets

Utilisateur :	Gentilhomme
Société :	Ineris
Nom du Projet :	ZAC_Turquerie_1680533541
Cellule :	
Commentaire :	
Création du fichier de données d'entrée :	03/04/2023 à 16:51:36 avec l'interface graphique v. 5.6.1.0
Date de création du fichier de résultats :	3/4/23

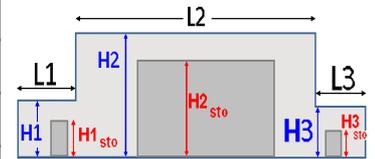
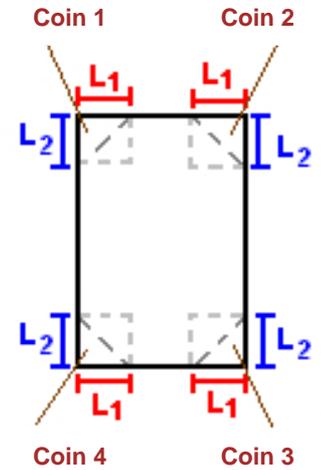
## I. DONNEES D'ENTREE :

### Donnée Cible

Hauteur de la cible : **1,8 m**

### Géométrie Cellule1

Nom de la Cellule :Cellule n°2				
Longueur maximum de la cellule (m)		<b>48,0</b>		
Largeur maximum de la cellule (m)		<b>42,0</b>		
Hauteur maximum de la cellule (m)		<b>13,9</b>		
Coin 1	<b>non tronqué</b>	L1 (m)	<b>0,0</b>	
		L2 (m)	<b>0,0</b>	
Coin 2	<b>non tronqué</b>	L1 (m)	<b>0,0</b>	
		L2 (m)	<b>0,0</b>	
Coin 3	<b>non tronqué</b>	L1 (m)	<b>0,0</b>	
		L2 (m)	<b>0,0</b>	
Coin 4	<b>non tronqué</b>	L1 (m)	<b>0,0</b>	
		L2 (m)	<b>0,0</b>	
Hauteur complexe				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
L (m)	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
H (m)	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
H sto (m)	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	



### Toiture

Résistance au feu des poutres (min)	<b>60</b>
Résistance au feu des pannes (min)	<b>15</b>
Matériaux constituant la couverture	<b>metallicque multicouches</b>
Nombre d'exutoires	<b>9</b>
Longueur des exutoires (m)	<b>2,3</b>
Largeur des exutoires (m)	<b>2,0</b>

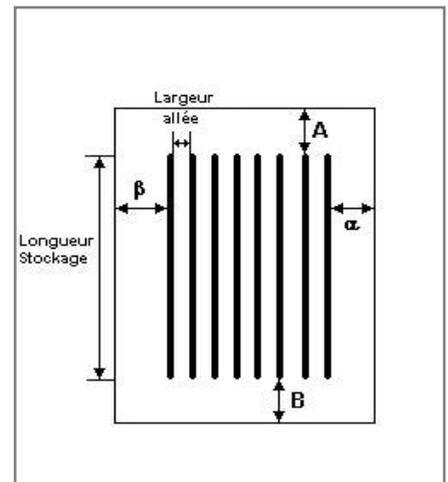


### Stockage de la cellule : Cellule n°2

Nombre de niveaux	<b>5</b>
Mode de stockage	<b>Rack</b>

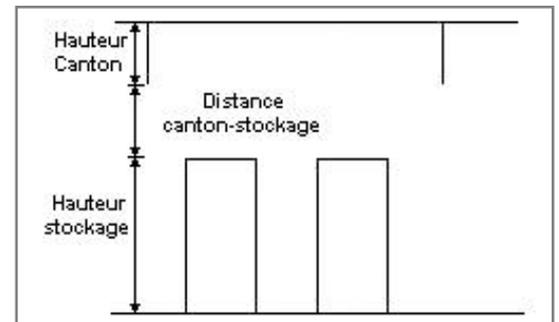
**Dimensions**

Longueur de stockage	<b>33,0</b> m
Déport latéral a	<b>0,5</b> m
Déport latéral b	<b>0,5</b> m
Longueur de préparation A	<b>14,4</b> m
Longueur de préparation B	<b>0,6</b> m
Hauteur maximum de stockage	<b>10,0</b> m
Hauteur du canton	<b>1,0</b> m
Ecart entre le haut du stockage et le canton	<b>2,9</b> m



#### Stockage en rack

Sens du stockage	<b>dans le sens de la paroi 1</b>
Nombre de double racks	<b>6</b>
Largeur d'un double rack	<b>2,8</b> m
Nombre de racks simples	<b>2</b>
Largeur d'un rack simple	<b>1,4</b> m
Largeur des allées entre les racks	<b>3,1</b> m



### Palette type de la cellule Cellule n°2

#### Dimensions Palette

Longueur de la palette :	<b>0,9</b> m	<b>La longueur de la palette est très inférieure à la largeur du rack.</b>
Largeur de la palette :	<b>0,9</b> m	
Hauteur de la palette :	<b>1,5</b> m	
Volume de la palette :	<b>1,2</b> m <sup>3</sup>	
Nom de la palette :	<b>Batterie</b>	Poids total de la palette : <b>0,0</b> kg

#### Composition de la Palette (Masse en kg)

NC						
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC						
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

NC	NC	NC	NC
0,0	0,0	0,0	0,0

#### Données supplémentaires

Durée de combustion de la palette :	<b>20,0</b> min
Puissance dégagée par la palette :	<b>4000,0</b> kW

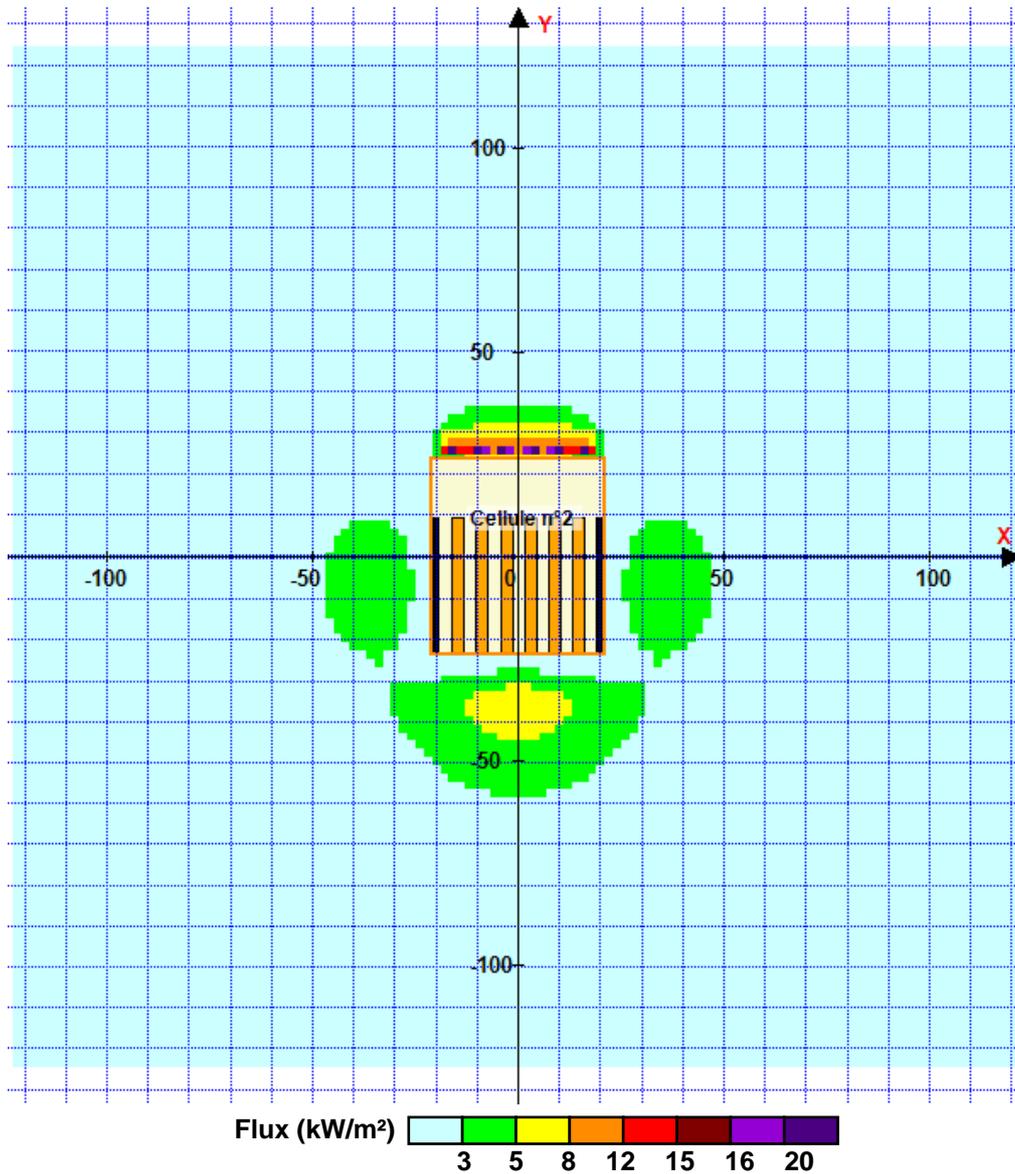


## II. RESULTATS :

Départ de l'incendie dans la cellule : **Cellule n°2**

Durée de l'incendie dans la cellule : Cellule n°2 **51,0** min

### Distance d'effets des flux maximum



Pour information : Dans l'environnement proche de la flamme, le transfert convectif de chaleur ne peut être négligé. Il est donc préconisé pour de faibles distances d'effets comprises entre 1 et 5 m de retenir une distance d'effets de 5 m et pour celles comprises entre 6 m et 10 m de retenir 10 m.