

GROUPE CNPP Département Feu et Environnement Route de la Chapelle Réanville CD 64 - CS 22265 F 27950 SAINT MARCEL Tél. 33 (0)2 32 53 64 33 Fax 33 (0)2 32 53 64 68

Prévention et maîtrise des risques

RAPPORT D'ETUDE N° CR 20 12518-1

INGENIERIE DE SECURITE INCENDIE

ISI Entrepôts 1 et 2 – Transports METTELLE

DATE: 30 juillet 2020

CLIENT :

Transports Mettelle 5 Rue du Stade 76340 FOUCARMONT

CONTACT CLIENT :

Mr Christian Mettelle

Le présent rapport comporte : 51 pages dont 2 pages d'Annexe

Ce rapport ne peut être reproduit ou publié que dans sa forme intégrale. Le CNPP décline toute responsabilité en cas de reproduction ou de publication non conforme. Le CNPP se réserve le droit d'utiliser les enseignements qui résultent du présent rapport pour les inclure dans des travaux de synthèse ou d'intérêt général pouvant être publié par ses soins.



SOMMAIRE

1	CO	NTEXTE DE L'ETUDE	. 3
2	ETU	IDE DU DOSSIER	. 4
	2.1 2.2 2.3 2.4	DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES SYSTEME DE DESENFUMAGE STOCKAGE SYSTEME DE DETECTION INCENDIE OU D'EXTINCTION AUTOMATIQUE	4 5 6 7
3	MIS	E EN ŒUVRE DE LA MODELISATION	. 8
	3.1 3.2	CODE DE CALCUL FDS HYPOTHESES DE L'ETUDE	8 9
4	DEF	INITION DES SCENARIOS D'ETUDE	11
	4.1 4.2 4.3 4.4 4.5	DEFINITION DU FOYER – FEU DE PALETTE CARACTERISTIQUES DE COMBUSTION POSITIONNEMENT DES DEPARTS DE FEU SYNTHESE DES SCENARIOS ETUDIES CARACTERISATION DES SCENARIOS D'ETUDE	11 12 12 13 14
5	RES	SULTATS DE SIMULATION	16
	5.1 5.2	SC1 : FEU DE PALETTE RUBRIQUE 1510, DEPART DE FEU A L'EXTREMITE DU STOCKAGE SC2 : FEU DE PALETTE « METTELLE », DEPART DE FEU A L'EXTREMITE DU STOCKAGE	17 30
6	CON	NCLUSION	49
7		NEXE 1 : BIBLIOGRAPHIE	50
	7.1 7.2	REFERENCES TECHNIQUES DONNEES D'ENTREE	50 50
8	ANN	NEXE 2 - MODELES A CHAMPS : CODE FDS	51



1 CONTEXTE DE L'ETUDE

Cette étude concerne l'évaluation par l'Ingénierie de Sécurité Incendie (dite étude « ISI ») du principe de désenfumage d'un entrepôt bgistique. L'entrepôt existant, en objet de l'étude, comporte deux cellules d'environ 2250 et 2400 m².

Suite à l'extension des bâtiments logistiques, le site est maintenant soumis à la rubrique 1510 de la nomenclature des installations classées, sous le régime de l'enregistrement.

Les cellules existantes, désenfumées à hauteur de 1% de surface géométrique (dimensionnement code du travail), sont maintenant soumises à l'arrêté du 11/04/17 et doivent donc être désenfumées à hauteur de 2% de SUE.

Dans ce contexte, le SDIS 76 recommande la réalisation d'une étude ISI permettant de « préciser si les moyens de désenfumage existants sont compatibles avec une évacuation sûre et rapide des personnels ainsi qu'avec l'intervention des sapeurs-pompiers ».

Pour répondre à cette problématique, le CNPP propose la réalisation de modélisations numériques 3D permettant d'évaluer le développement et la propagation d'un incendie en fonction de différents scénarios initiateurs et l'efficacité du principe de désenfumage des cellules.



2 ETUDE DU DOSSIER

2.1 Dispositions constructives

Les cellules considérées dans l'étude sont les entrepôts 1 et 2 du site.



La surface des cellules est d'environ :

- 2250 m² pour l'entrepôt 1 ;
- 2400 m² pour l'entrepôt 2.

La hauteur au faitage est d'environ 9,6 m. Les poutres sont tramées tous les 6 m et laissent une hauteur libre de 8 m.



Chaque entrepôt est équipé de 4 issues de secours donnant directement sur l'extérieur.



2.2 Système de désenfumage

Le désenfumage est réalisé en partie centrale des entrepôts par une voûte éclairante équipée de DENFC.

L'entrepôt 1 comporte 8 exutoires pour une surface utile totale de 15,84 m². L'entrepôt 2 comporte 9 exutoires pour une surface utile totale de 17,82 m².

Les exutoires sont activés par thermofusibles (déclenchement entre 93 °C et 140 °C).



Chaque entrepôt est séparé en deux cantons. Les dimensions des écrans de cantonnement sont visibles en figure 2.

Les amenées d'air sont réalisées par les portillons (dimensions 1 m x 2,15 m environ) et portes sectionnelles (3 m x 3 m). La surface totale d'amenée d'air est d'environ 17,5 m² pour l'entrepôt 1 et d'environ 35,5 m² pour l'entrepôt 2.



2.3 Stockage

Les entrepôts abritent des marchandises assimilables à la rubrique 1510 (verreries) conditionnées en palettes.

Le stockage est réalisé en rack (entrepôt 1 et entrepôt 2 partiellement) ou en masse (entrepôt 2 partiellement).







2.4 Système de détection incendie ou d'extinction automatique

Les entrepôts ne sont pas équipés de détection incendie ou d'un système d'extinction automatique.



3 MISE EN ŒUVRE DE LA MODELISATION

Cette section aborde les méthodes de calcul mises en œuvre pour cette étude, et détaille les hypothèses communes à tous les scénarios d'étude.

3.1 Code de calcul FDS

Le code FDS (Fire Dynamic Simulator) développé au NIST est largement reconnu et utilisé en modélisation des phénomènes d'incendie, et plus particulièrement dans le cadre d'études d'Ingénierie de la Sécurité Incendie (ISI). Il s'agit d'un code à champs permettant une modélisation physique en trois dimensions des phénomènes liés au développement d'un feu et de ses effluents. FDS est largement utilisé dans le cadre d'études d'ingénierie du désenfumage en France et dans le monde. A ce titre ce code sera mis en œuvre dans la présente étude. Une présentation sommaire des hypothèses intrinsèques au code de calcul FDS est reportée en Annexe 1. La version 6.6.0 est utilisée pour l'étude.





3.2 Hypothèses de l'étude

En plus des hypothèses intrinsèques au code, des hypothèses de calcul doivent être posées afin de restituer des conditions de simulation pertinentes vis-à-vis des scénarios d'étude. Ces hypothèses comprennent les dispositions constructives, ainsi que tous les dispositifs de mise en sécurité incendie susceptibles d'interagir avec le système de désenfumage et l'évacuation du personnel.

3.2.1 Dispositions constructives

Toutes les dispositions constructives ayant un impact sur les fonctions du désenfumage sont intégrées :

- De manière pénalisante, on suppose dans les simulations que le stockage est à sa capacité maximale ;
- Les exutoires sont configurés dans les simulations pour une ouverture automatique par thermofusible taré à 140°C ;
- De manière pénalisante, seule la surface utile est considérée comme passage des fumées au travers des exutoires dans les simulations ;
- Le volume considéré comme étant accessible aux fumées est l'ensemble de la cellule étudiée. Les locaux adjacents séparés physiquement par des murs, vitrages ou des ouvrages séparatifs coupe-feu ne seront pas considérés dans la modélisation ;
- Une des limitations actuelles du code de calcul FDS est liée à la représentation des obstacles, lesquels sont discrétisés par des cellules élémentaires cubiques. De ce fait les éléments obliques ou courbes ne peuvent être restitués fidèlement (modélisation 'en briques').



3.2.2 Calcul du temps caractéristique d'évacuation

Le temps caractéristique d'évacuation est la somme des temps suivants :

- ✓ t_D : temps de détection ;
- \checkmark t_P : temps de pré-mouvement = 60 s ;
- ✓ t_{traj} : temps de trajet, dépendant de la distance du chemin d'évacuation.

La vitesse d'évacuation retenue est de 1 m/s sur terrain plat et de 0,7 m/s en escalier [1].

Compte tenu du taux d'occupation faible d'un entrepôt industriel de ce type, aucun effet de ralentissement du personnel dans les escaliers ou les circulations ne sera pris en compte.

Remarques :

- Le temps calculé est une estimation du temps d'évacuation en conditions normales, à comparer avec le temps de remise en cause des critères de tenabilité retenus. Ce calcul ne présage en aucun cas du comportement particulier d'une personne et suppose que le personnel est physiquement et mentalement apte à l'évacuation dans le bâtiment, et sensibilisé au risque (cinétique rapide et feux de grande puissance si ceux-ci ne sont pas maitrisés). L'estimation du temps d'évacuation est donnée à titre indicatif, en tant qu'aide à la décision, de manière à mettre en perspective le temps de remise en cause des critères de tenabilité ;
- En l'absence de système de détection, l'étude ne pourra fournir que le temps à partir du début de la phase d'évacuation : temps de pré-mouvement + temps de trajet.



4 DEFINITION DES SCENARIOS D'ETUDE

Les paragraphes suivants visent à définir des scénarios d'étude, et notamment les foyers types, représentatifs du risque et de l'entrepôt.

4.1 Définition du foyer – feu de palette

Les foyers proposés sont basés sur :

- la définition de la palette utilisée pour le site dans le cadre de la méthodologie Flumilog [2] :
 - Volume : 1 m³;
 - Composition :
 - Palette bois : 25 kg ;
 - Polyéthylène : 8 kg ;
 - Carton : 4 kg.

Les principales caractéristiques de combustion proposées sont les suivantes :

- ✓ Puissance maximale de 263 kW ;
- ✓ Durée de combustion de 53 minutes.
- la palette rubrique 1510 proposée dans le cadre de la méthodologie Flumilog
 [2]:

Une palette 1510 de 1,2 m x 0,8 m x 1,5 m de dimensions, est composée de 25 kg de bois de palette. La masse des produits plastiques ne peut excéder la moitié de la masse des produits contenus sur la palette (le bois de palette étant exclu) et le reste varie aléatoirement entre bois, carton, eau, acier, verre, aluminium.

Les principales caractéristiques de combustion proposées pour une palette standard 1510 sont les suivantes :

- ✓ Puissance maximale de 1525 kW ;
- ✓ Durée de combustion de 45 minutes.

La montée en puissance sera considérée comme rapide au sens de la NFPA 204 dans les deux cas (Cf. [3] Annexe D pp 204-51).

Les courbes de puissance de la combustion d'une palette sont les suivantes :





Suite au départ de feu, la propagation du foyer aux palettes adjacentes est réalisée automatiquement par le code de calcul sur la base de la montée en température du combustible.

4.2 Caractéristiques de combustion

Les caractéristiques de combustion suivantes sont retenues dans l'étude compte tenu des caractéristiques représentatives du stockage :

- ✓ Chaleur de combustion : 25 MJ/kg ;
- \checkmark Taux de production de suie : 0,03 kg/kg.

4.3 Positionnement des départs de feu

La configuration de stockage de l'entrepôt 1 (entièrement rack) est plus pénalisante. En effet, la puissance et la propagation du feu seront favorisées dans cette configuration par rapport à un stockage en masse (moins de surface combustible exposée, moins d'effet cheminée, moins bonne aération du foyer). L'étude sera donc réalisée pour l'entrepôt 1. Les résultats et conclusions seront transposables à l'entrepôt 2.



Le départ de feu est positionné à l'extrémité du stockage, augmentant ainsi la distance avec les exutoires.

La figure suivante synthétise les positions retenues pour les départs de feu.



4.4 Synthèse des scénarios étudiés

Les deux scénarios suivants sont alors retenus :

- Scénario 1 : Feu de palette rubrique 1510, départ de feu à l'extrémité du stockage,
- Scénario 2 : Feu de palette « Mettelle », départ de feu à l'extrémité du stockage



4.5 Caractérisation des scénarios d'étude

4.5.1 Proposition de critères de performance

La simulation des scénarios d'étude définis ci-dessus devra être analysée sur la base de critères physiques relatifs aux objectifs de sécurité. Il s'agit ici de critères de tenabilité visant à qualifier le maintien ou la dégradation des conditions d'évacuation des travailleurs. Les valeurs proposées ont été discutées dans le cadre de la réalisation du guide [4].

Objectif réglementaire de sécurité	Critères imposés
	A une hauteur de 2 m, température de l'air dans les cheminements < T_{seuil} , avec T_{seuil} = 40°C
Maintenir praticables les cheminements destinés à l'évacuation du public	A une hauteur de 2 m, coefficient d'extinction de la lumière dans les cheminements < K_{seuil} , avec $K_{seuil} = 0.4m^{-1}$
	A une hauteur de 2 m, flux thermique radiatif incident sur le public dans les cheminements < Φ_{seuil} , avec $\Phi_{seuil} = 2 \text{ kW/m}^2$
	A une hauteur de 1 m, température de l'air < T _{seuil} , avec T _{seuil} = 100°C
Faciliter l'intervention des secours	A une hauteur de 1 m, flux thermique radiatif incident < Φ_{seuil} , avec $\Phi_{seuil} = 5 \text{ kW/m}^2$

Tableau 1 Critères d'acceptabilité imposés pour la méthode absolue, issus du guide de bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage en établissements recevant du public

Il est également proposé de mesurer les températures en couche chaude afin d'évaluer la possibilité d'occurrence d'un phénomène violent de type flashover (température des fumées supérieure à 300 °C).

4.5.2 Mesure des critères de performance

Pour finaliser l'intégration des scénarios d'étude dans l'outil de simulation, il est nécessaire d'instrumenter la zone afin de pouvoir suivre ces critères au cours du temps. Les points de mesure sont répartis le long des chemins d'évacuation à une hauteur de 2 m (1 m pour l'intervention) par rapport au sol ou au plancher de chaque niveau. Ces points permettent de suivre la température, la visibilité (via le coefficient d'extinction) ainsi que les flux thermiques. Le dépassement des seuils d'acceptabilité en un point sur un chemin d'évacuation donné permet d'établir le temps pendant lequel une évacuation est possible.



Pour une représentation plus tangible des évènements des coupes ont été prévues afin de suivre la distribution de la température et de la visibilité en plusieurs emplacements. Par défaut la simulation fournit une vue 3D du développement des flammes et de l'emprise des fumées.



5 RESULTATS DE SIMULATION

Suite à la validation des scénarios et hypothèses décrites précédemment, les simulations ont été réalisées. Cette section détaille le développement des fumées pour les deux scénarios d'étude validés, en se basant sur l'analyse des phénomènes suivants :

- > Aperçu 3D du comportement des fumées ;
- Courbes des critères de tenabilité (température, flux, coefficient d'extinction) pour l'ensemble des capteurs dispersés dans le bâtiment ;
- Profils de température, de flux thermique radiatif et de coefficient d'extinction à hauteur d'homme lorsque les seuils sont dépassés au niveau concerné. Les limites critiques des critères de tenabilité sont représentées par des contours noirs sur les profils ;
- > Estimation du temps caractéristique d'évacuation.



5.1 SC1 : Feu de palette rubrique 1510, départ de feu à l'extrémité du stockage

◊ <u>Comportement des fumées</u>

La figure suivante décrit l'évolution des fumées au cours du temps selon le scénario 1.

Les fumées restent bien stratifiées et descendent progressivement.





◊ <u>Température</u>

Les relevés des températures issues des capteurs ponctuels situés à 2 m au-dessus du plancher du RDC sont présentés sur les figures suivantes. Le seuil rouge représente la température critique de 40 °C. La courbe bleue représente la moyenne spatiale des valeurs fournies par les capteurs et la courbe orange la moyenne plus deux écarts types. Lorsque la courbe orange dépasse le seuil, cela signifie que le critère est dépassé de manière significative sur le niveau étudié. Ce temps est retenu en première approche comme temps de remise en cause du critère étudié. Certains cas nécessitent cependant une analyse plus poussée.



Le critère de température n'est pas dépassé au RDC.



Les figures suivantes décrivent l'évolution du profil de température dans le plan horizontal situé à 2 m au-dessus du plancher du RDC. L'échelle de température évolue de 20 à 120 °C. La température critique de 40°C est repérée par des contours noirs.





480 s	540 s
600 s	660 s
AND DESCRIPTION AND AND AND AND AND AND AND AND AND AN	
720 s	780 s
 Anderson and an antibility of the set of t	
840 s	900 s
Figure 11 : SC1 : temperatures, plan site	e a 2 m au-dessus du plancher du RDC م
	1120 1100 1000

Les résultats sur les plans de mesure confirment les constatations effectuées précédemment à partir des relevés des capteurs ponctuels.



♦ Flux thermique radiatif

Les courbes de la figure suivante représentent les flux thermiques radiatifs en fonction du temps, 2 m au-dessus du plancher du RDC. Le flux critique de 2 kW/m² est dépassé à proximité du feu, au fur et à mesure de la propagation du foyer. La courbe bleue représente la moyenne spatiale des valeurs fournies par les capteurs et la courbe orange la moyenne plus deux écarts types. Lorsque la courbe orange dépasse le seuil, cela signifie que le critère est dépassé de manière significative sur le niveau étudié. Ce temps est retenu en première approche comme temps de remise en cause du critère étudié. Certains cas nécessitent cependant une analyse plus poussée.



Le critère de flux thermique radiatif n'est dépassé qu'à proximité du feu au fur et à mesure de sa propagation.



Les figures suivantes décrivent l'évolution du profil de flux thermique radiatif dans les plans horizontaux situé à 2 m au-dessus du plancher du RDC. L'échelle évolue de 0 à 10 kW/m². Le flux thermique radiatif critique de 2 kW/m² est repéré par des contours noirs.







Les résultats sur les plans de mesure confirment les constatations effectuées précédemment à partir des relevés des capteurs ponctuels.



◊ <u>Coefficient d'extinction</u>

Les courbes de la figure suivante représentent l'évolution du coefficient d'extinction relevée par les capteurs ponctuels. La courbe bleue représente la moyenne spatiale des valeurs fournies par les capteurs et la courbe orange la moyenne plus deux écarts types. Lorsque la courbe orange dépasse le seuil, cela signifie que le critère est dépassé de manière significative sur le niveau étudié. Ce temps est retenu en première approche comme temps de remise en cause du critère étudié. Certains cas nécessitent cependant une analyse plus poussée.



Le critère de coefficient d'extinction est dépassé de manière significative au RDC à partir de 11 minutes et 43 s après le départ de feu.

Les figures suivantes décrivent l'évolution du profil de coefficient d'extinction dans le plan horizontal situé à 2 m au-dessus du plancher du RDC. Le seuil critique (coefficient d'extinction de 0,4 m⁻¹) est représenté par les contours noirs.





120 s	180 s
240 s	300 s
360 s	420 s
 Antista and a second model of the second seco	
480 s	540 s
600 s	660 s



720 s	780 s
840 s	900 s
Figure 15 : SC1 : Coefficient d'extinction	n, plan situé à 2 m au-dessus du plancher du RDC
0.40 0.30 0.10	1.00 0.90 0.80 0.60

Les résultats sur les plans de mesure confirment les constatations effectuées précédemment à partir des relevés des capteurs ponctuels.



◊ <u>Risque de flashover</u>

Les conditions relatives à la probabilité d'occurrence d'un flashover (température de 300 °C dans la couche chaude) sont atteintes dans ce scénario à partir de t = 700 s environ.

◊ Intervention des secours

Les critères relatifs à l'intervention des secours ne sont pas dépassés sur la durée de la simulation.







Estimation du temps caractéristique d'évacuation

Le temps caractéristique d'évacuation est calculé selon les hypothèses du §3.2.2.

Il est rappelé qu'en l'absence de système de détection, l'étude ne pourra fournir que le temps à partir du début de la phase d'évacuation : temps de pré-mouvement + temps de trajet.

Le temps de trajet est estimé pour un trajet d'évacuation pénalisant représenté sur la figure suivante (distance : 55 m).



D'après les hypothèses retenues, la chronologie de l'évacuation est la suivante :





◊ Synthèse des résultats

Les tableaux suivants synthétisent les différents résultats de simulation :

Niveau Température Coefficient Herm d'extinction radia	Temps de remise en cause des critères globaux - en s	use des lux" - en s				
	ux nique Flashover iatif	Flux thermique radiatif	Coefficient d'extinction	Température	Niveau	
RDC NA* 703 NA	A* 700 s	NA*	703	NA*	RDC	

* NA : Non Atteint

Les conditions d'évacuation sont remises en cause à partir de t = 703 s (11 minutes et 43 s) après le départ de feu. Ce temps est proche du temps à partir duquel l'occurrence d'un phénomène de type flashover est possible (700 s, soit 11 minutes et 40 secondes). Ces temps de remise en cause des critères sont longs par rapport au temps caractéristique de la phase d'évacuation (115 s).

Les conditions d'intervention des secours (hors risque de flashover) ne sont pas remises en cause sur la durée de la simulation.



5.2 SC2 : Feu de palette « Mettelle », départ de feu à l'extrémité du stockage

◊ Comportement des fumées

La figure suivante décrit l'évolution des fumées au cours du temps selon le scénario 2.

Les fumées restent bien stratifiées et descendent progressivement.









◊ <u>Température</u>

Les relevés des températures issues des capteurs ponctuels situés 2 m au-dessus du plancher du RDC sont présentés sur les figures suivantes. Le seuil rouge représente la température critique de 40 °C. La courbe bleue représente la moyenne spatiale des valeurs fournies par les capteurs et la courbe orange la moyenne plus deux écarts types. Lorsque la courbe orange dépasse le seuil, cela signifie que le critère est dépassé de manière significative sur le niveau étudié. Ce temps est retenu en première approche comme temps de remise en cause du critère étudié. Certains cas nécessitent cependant une analyse plus poussée.



Le critère de température n'est pas dépassé au RDC.



Les figures suivantes décrivent l'évolution du profil de température dans le plan horizontal situé à 2 m au-dessus du plancher du RDC. L'échelle de température évolue de 20 à 120 °C. La température critique de 40°C est repérée par des contours noirs.





480 s	540 s
600 s	660 s
720 s	780 s
840 s	900 s
960 s	1020 s



1080 s	1140 s
1200 s	1260 s
1320 s	1380 s
1440 s	1500 s
1560 s	1620 s



**********					-				
					100000000000000000000000000000000000000				
	16	380 s				_	1740 s	_	
Figure 2	21 : SC2	: températ	tures, pla	in situé	à 2 m au	-dessus	s du pla	ncher d	u RDC
	ω.	<u>ت</u> 4	60	70	80.	90.	10	=	12
20.0	0.0		Ö	ö	0	0	0	0	<u> </u>
20.0	0.0	0.0	.o	Ö	0	0	0	0	

Les résultats sur les plans de mesure confirment les constatations effectuées précédemment à partir des relevés des capteurs ponctuels.



♦ Flux thermique radiatif

Les courbes de la figure suivante représentent les flux thermiques radiatifs en fonction du temps, 2 m au-dessus du plancher du RDC. Le flux critique de 2 kW/m² est dépassé à proximité du feu, au fur et à mesure de la propagation du foyer. La courbe bleue représente la moyenne spatiale des valeurs fournies par les capteurs et la courbe orange la moyenne plus deux écarts types. Lorsque la courbe orange dépasse le seuil, cela signifie que le critère est dépassé de manière significative sur le niveau étudié. Ce temps est retenu en première approche comme temps de remise en cause du critère étudié. Certains cas nécessitent cependant une analyse plus poussée.



Le critère de flux thermique radiatif n'est dépassé qu'à proximité immédiate du foyer.



Les figures suivantes décrivent l'évolution du profil de flux thermique radiatif dans les plans horizontaux situé à 2 m au-dessus du plancher du RDC. L'échelle évolue de 0 à 10 kW/m². Le flux thermique radiatif critique de 2 kW/m² est repéré par des contours noirs.

0 s	60 s
120 s	180 s
240 s	300 s
360 s	420 s



480 s	540 s
600 s	660 s
720 s	780 s
840 s	900 s
960 s	1020 s









Les résultats sur les plans de mesure confirment les constatations effectuées précédemment à partir des relevés des capteurs ponctuels.



◊ <u>Coefficient d'extinction</u>

Les courbes de la figure suivante représentent l'évolution du coefficient d'extinction relevée par les capteurs ponctuels. La courbe bleue représente la moyenne spatiale des valeurs fournies par les capteurs et la courbe orange la moyenne plus deux écarts types. Lorsque la courbe orange dépasse le seuil, cela signifie que le critère est dépassé de manière significative sur le niveau étudié. Ce temps est retenu en première approche comme temps de remise en cause du critère étudié. Certains cas nécessitent cependant une analyse plus poussée.



Le critère de coefficient d'extinction est dépassé de manière significative au RDC 23 minutes et 24 secondes après le départ de feu.

Les figures suivantes décrivent l'évolution du profil de coefficient d'extinction dans le plan horizontal situé à 2 m au-dessus du plancher du RDC. Le seuil critique (coefficient d'extinction de 0,4 m⁻¹) est représenté par les contours noirs.





120 s	180 s
240 s	300 s
360 s	420 s
480 s	540 s
600 s	660 s



720 s	780 s
840 s	900 s
960 s	1020 s
1080 s	1140 s
1200 s	1260 s





Les résultats sur les plans de mesure confirment les constatations effectuées précédemment à partir des relevés des capteurs ponctuels.



◊ <u>Risque de flashover</u>

Les conditions relatives à la probabilité d'occurrence d'un flashover (température de 300 °C dans la couche chaude) ne sont pas atteintes dans ce scénario et sur la durée de simulation.

◊ Intervention des secours

Pour l'intervention des services de secours, aucun critère n'est dépassé sur la durée de simulation et selon les hypothèses considérées.







Estimation du temps caractéristique d'évacuation

Le temps caractéristique d'évacuation est calculé selon les hypothèses du §3.2.2.

Il est rappelé qu'en l'absence de système de détection, l'étude ne pourra fournir que le temps à partir du début de la phase d'évacuation : temps de pré-mouvement + temps de trajet.

Le temps de trajet est estimé pour un trajet d'évacuation pénalisant représenté sur la figure suivante (distance : 55 m).



D'après les hypothèses retenues, la chronologie de l'évacuation est la suivante :





Les tableaux suivants synthétisent les différents résultats de simulation :

	Temps de remise en cause des critères d'évacuation "locaux" - en s			Temps de remise en cause des critères globaux - en s		
Niveau	Température	Coefficient d'extinction	Flux thermique radiatif	Flashover		
RDC	NA*	1404	NA*	NA		

* NA : Non Atteint

Les conditions d'évacuation sont remises en cause à partir de t = 1404 s (23 minutes et 24 s) après le départ de feu.

Ce temps de remise en cause des critères est long par rapport au temps caractéristique de la phase d'évacuation (115 s).

Les conditions d'intervention des secours (hors risque de flashover) ne sont pas remises en cause sur la durée de la simulation (30 minutes).

Les conditions relatives au risque d'occurrence d'un phénomène type flashover ne sont pas atteintes sur la durée de la simulation (30 minutes).



6 CONCLUSION

Les temps de remise en cause des conditions d'évacuation du personnel sont longs devant le temps caractéristique de la phase d'évacuation pour les deux scénarios retenus.

En considérant une palette rubrique 1510, les conditions d'intervention des secours peuvent être remises en cause à partir de 700 s (risque d'occurrence d'un flashover), bien que les critères locaux (température, flux thermique radiatif à 1 m du sol) ne soient pas remis en cause sur la durée de simulation (15 minutes).

En considérant une palette « Mettelle » (voir §4.1.), les conditions d'intervention des secours ne sont pas remises en cause sur la durée de simulation (30 minutes après le départ de feu).





7 ANNEXE 1 : BIBLIOGRAPHIE

7.1 Références techniques

- [1] CFPA, Fire Safety engineering concerning evacuation from buildings, 2009.
- [2] FLUMILOG, «Description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt,» 2011.
- [3] NFPA® 204, Standard for smoke and heat venting, 2012.
- [4] LCPP, Guide de bonnes pratiques pour les études d'ingénierie du désenfumage, Paris, 2017.

7.2 Données d'entrée

Fichier « 2D-PLANetCOUPES (format A0).pdf » du 12/10/2016 Fichier « Plan Rackage Longroy L1+L2_2016.pdf » Fichier « 3B-ELEVATIONS.pdf » Fichier « plan stockage de masse longroy.xlsx »

RAPPORT D'ETUDE N° CR 20 12518-1



8 ANNEXE 2 - MODELES A CHAMPS : CODE FDS

Le code FDS (Fire Dynamic Simulator) développé au NIST est largement reconnu et utilisé en modélisation des phénomènes d'incendie. FDS est utilisé par le CNPP depuis fin 2002, dans le cadre d'études d'ingénierie de la sécurité incendie ou pour l'assistance technique à l'expertise après sinistres. Il s'agit d'un code de mécanique des fluides associé à un modèle de pyrolyse et de combustion qui permet de prédire le déplacement des fumées en prenant en compte les effets aérauliques réels (ventilations, exutoires, *etc.*), et de simuler le phénomène de combustion en fonction non seulement du combustible mais aussi des paramètres ambiants (flux thermiques reçus, température, concentration en oxygène, *etc.*).



Ce type de code dit 'code à champ' ou code de CFD

(Computational Fluid Dynamics) est conçu pour respecter un principe fondamental de conservation généralisé au transport de vitesse, de chaleur et de concentration de l'ensemble des espèces chimiques qui constituent le milieu fluide modélisé. Ces variables fortement couplées doivent être estimées à des intervalles de temps et d'espace petits devant les échelles mises en jeu dans un phénomène d'incendie réel. Le principe de conservation se traduit par un ensemble d'équations discrétisées sur un réseau de points de calcul. En chacun de ces points la résolution numérique des équations donne l'accès à toutes les grandeurs physiques importantes et permet une vision aussi bien locale que globale du phénomène. En définitive la reconstitution numérique d'un incendie repose sur un ensemble complexe de phénomènes interdépendants :

- ✓ La conservation de la quantité de mouvement, qui permet de déterminer la vitesse des fumées et de l'air, ainsi que les différences de pression s'établissant dans le volume considéré;
- ✓ La conservation de l'énergie, qui pilote et répartit les échanges thermiques sous forme de conduction, de convection ou de rayonnement ;
- ✓ Le transport des espèces réactives ou inertes coexistant dans le fluide, qui détermine le déclenchement de réactions chimiques en fonction des bilans stœchiométriques et de la température ;
- ✓ La réaction chimique de pyrolyse et de combustion qui détermine le taux de production de fumées et l'évolution du front de flammes ;
- ✓ La dissipation visqueuse via la modélisation de la turbulence, qui à partir des mouvements tourbillonnants à grande échelle pilote la dissipation d'énergie cinétique à plus petite échelle;
- ✓ Les lois d'état du gaz qui déterminent la variation de densité de l'air et les effets convectifs à l'aplomb d'un foyer.

La résolution nécessite le maillage des bâtiments ou des locaux à étudier avec une finesse dépendant de la puissance et du temps de calcul disponible et du degré de précision recherché.

La documentation relative au logiciel FDS et sa validation est disponible sur le site du NIST (lien actif au 22 juillet 2020): https://pages.nist.gov/fds-smv/downloads.html