DOSSIER D'ENREGISTREMENT

Création d'ateliers de maintenance d'hélicoptères – Marguerite Nord-Ouest (MNO)

Base aérienne d'Etain-Rouvres

PIECE JOINTE ADDITIONNELLE N°2

PIECE JOINTE ADDITIONNELLE N°2

MODELISATIONS INCENDIE BATIMENT TECHNIQUE

3ème RHC
MODELISATION INCENDIE BATIMENT TECHNIQUE 006

0	16/09/2021	Version finale	M. LEOQUET	M. GUIDONI	T. MICHEL
A	07/07/2021	Version préliminaire	M. LEOQUET	F. ROSSET	Q. LEPINETTE
REV.	DATE JJ/MM/AAAA	OBJET	REDIGE (nom & visa)	VERIFIE (nom & visa)	APPROUVE (nom & visa)
REVISIONS DU DOCUMENT					

SOMMAIRE

1. OBJET **4**

2. DOCUMENT TECHNIQUE DE REFERENCE **5**

3. DESCRIPTION DES LOCAUX **6**

4. LOGICIEL FDS (FIRE DYNAMIC SIMULATOR) **7**

5. TERME SOURCE DE LA MODELISATION **7**

5.1 Maillage **7**

5.2 Géométrie du bâtiment et des installations **8**

5.3 Caractéristique du combustible et équation de combustion **9**

5.3.1 Caractéristiques des produits stockés 9

5.3.1 Equation de combustion 10

5.3.2 Surfaces 16

5.3.3 Caractéristiques du foyer 16

5.4 Points de mesures **20**

6. RESULTATS **22**

6.1 Evolution des températures en fonction du développement de l'incendie **22**

6.1 Evolution du flux thermique en fonction du temps **25**

7. CONCLUSION **27**

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Vue du dessus du bâtiment – Pièces servant au stockage de produits inflammables 6
Figure 2 : Vue de la face Est du bâtiment technique 8
Figure 3 : Vue de côté du bâtiment technique (Face Nord) 8
Figure 4 : Evolution de la puissance de l'incendie en fonction du temps 17
Figure 5 : Positionnement des capteurs de flux thermique tout autour du bâtiment.....21
Figure 6 : Evolution de la température ambiante en cas d'incendie du bâtiment BdC066 24
Figure 7 : Evolution des flux thermiques fonction du temps – Bâtiment BdC 006.....25

SOMMAIRE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques du bâtiment.....6
Tableau 2 : Composition des produits inflammables 13
Tableau 3 : Masse des espèces composant les produits inflammables 14
Tableau 4 : Synthèse des données d'entrée pour le calcul du combustible équivalent 15
Tableau 5 : Caractéristiques du combustible équivalent 16
Tableau 6 : Estimation des surfaces en feu dans chaque pièce.....16
Tableau 7 : Coefficients pour le calcul de la puissance thermique 19
Tableau 8 : Puissance de l'incendie - Equation de Thomas et Petterson 19

1. OBJET

L'objectif de cette note de calcul est de décrire le comportement d'un incendie se produisant dans le bâtiment technique 006 du 3ème RHC. Ce bâtiment est utilisé notamment pour le stockage de peintures et de solvants utilisés dans les ateliers.

Les enjeux principaux sont d'étudier les conséquences de l'incendie et de vérifier l'impact de ce dernier sur les infrastructures alentours.

La modélisation de cet incendie a été effectuée avec le code de calcul FDS 6.7.4 développé par le National Institute of Standards and Technology (NIST) assisté du logiciel Pyrosim développé par ThunderHead Eng.

Les paramètres principaux du suivi de l'incendie sont le flux thermique à l'extérieur du bâtiment ainsi que la température.

Il est à noter que les résultats et l'analyse qui en découle sont uniquement valables pour la configuration prise en compte dans ce document. Par conséquent, il est en aucun cas possible d'extrapoler des résultats pour d'autres configurations d'incendie ou de bâtiment sur la base des conclusions de ce rapport.

Pour finir, s'agissant d'un modèle théorique, celui-ci n'a pas la prétention de prédire exactement les conséquences d'un incendie. Il s'agit uniquement d'un outil d'aide à la décision.

2. DOCUMENT TECHNIQUE DE REFERENCE

- Plans du bâtiment technique ;
- Liste des produits stockés dans les pièces, leur quantité et les mentions de dangers associées ;
    - Fiches de Données de Sécurité (FDS) des produits stockés fournis par le 3ème RHC ou issues de nos propres recherches *(Intergard 10001 High Heat Coating 10001HH37038 / 4080 Topcoat Nitrocellulose / PU 66 8H VERT OTAN PALES / Activator 7835C / Primaire Epoxy 8194 P20 / Gris bleu vert NNO 14 408 2783 / 41235045 NNO 14 408 2783 / Diluant W19 / GEBSOFER (Mastic Polyester de réparation) GEB / XS 841 / Ardrox 396 Mastic CA 1010 / Mastinox 6856K Jointing / Durcisseur Activator 0730 / Diluant Thinner 0491 / Base CA 8620 / A 1500*
    - M HARDENER / XS854 / S737)
- The SPFE Handbook of Fire Protection Engineering – 3rd Edition ;
- User Guide FDS – NIST – 6th Edition ;
- DRA-03 : Développement d'une méthodologie d'évaluation des effets thermiques et toxiques des incendies d'entrepôt – janvier 2002.

3. DESCRIPTION DES LOCAUX

Le bâtiment technique 006 du 3ème RHC est principalement utilisé pour le stockage des peintures, solvants utilisés pour le matériel.

Le bâtiment est construit sur la base d'une structure métallique avec une couverture métallique. La sol est du béton et les murs intérieurs sont soit en aggloméré soit en béton armée (BA).

Le tableau ci-dessous présente les différentes caractéristiques du bâtiment :

	Bâtiment technique 006
Dimensions	Longueur : 60 m Largeur : 21,5 m Hauteur : 7 m
Type de structure	Acier
Parois extérieures	Métalliques
Parois intérieures	Aggloméré ou BA
Sol	Béton
Couverture	Métallique
Ouvertures	9 portes 4 fenêtres
Désenfumage	6,2 m²
Pièces stockant des produits inflammables	Pièces 10, 16, 4 et 2

Tableau 1 : Caractéristiques du bâtiment

Le schéma ci-dessous présente la vue du dessus du bâtiment avec les pièces où sont stockés les liquides inflammables :

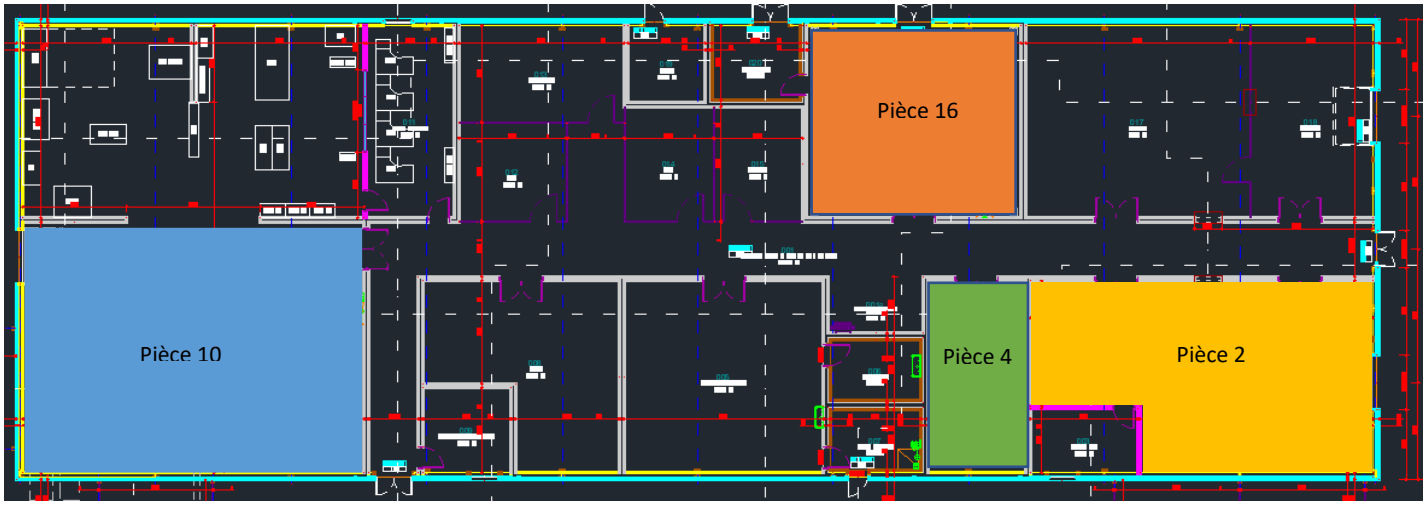


Figure 1 : Vue du dessus du bâtiment – Pièces servant au stockage de produits inflammables

4. LOGICIEL FDS (FIRE DYNAMIC SIMULATOR)

Le code de calcul FDS 6.7.4 est un logiciel de mécanique des fluides, intégrant un module de combustion et un module de visualisation (Smokeview) développé par le NIST (National Institute of Standards and Technologie, USA). Cet outil est principalement utilisé pour la simulation en 3D des incendies afin d'étudier leurs développements et leurs conséquences tant dans les domaines de la R&D que dans la prévention des risques d'incendie dans l'industrie ou les ERP.

Les principaux paramètres à prendre en compte lors de la simulation d'un incendie avec le code de calcul FDS 6.7.4 sont les suivants :

- La qualité/taille du maillage retenue pour la modélisation ;
- La géométrie du bâtiment, les conditions aux limites, et les caractéristiques de l'installation (matériaux…) ;
- Les caractéristiques du combustible utilisées (conductivité thermique, débit calorifique, émissivité…) et des objets inflammables pouvant entrés dans la réaction de combustion ;
- Le positionnement, le nombre et le type des différents capteurs permettant d'obtenir les résultats.

5. TERME SOURCE DE LA MODELISATION

Les paragraphes ci-dessous décrivent les données d'entrées utilisées pour la modélisation du scénario avec le logiciel FDS 6.7.4.

5.1 Maillage

Toute modélisation 3D nécessite la définition d'une zone de calcul découpée en cellule/maille permettant de caractériser le développement de l'incendie.

Dans le cas des modélisations d'un incendie dans le bâtiment technique, les dimensions des différentes cellules ou mailles sont de 50 cm x 50 cm x 50 cm.

Le nombre de mailles est de 604 800, les dimensions du domaine sont : 105 m x 80 m x 9 m.

5.2 Géométrie du bâtiment et des installations

Les figures ci-dessous permettent de visualiser la géométrie des modèles sur la base des informations synthétisées dans le chapitre 3 de la présente note :

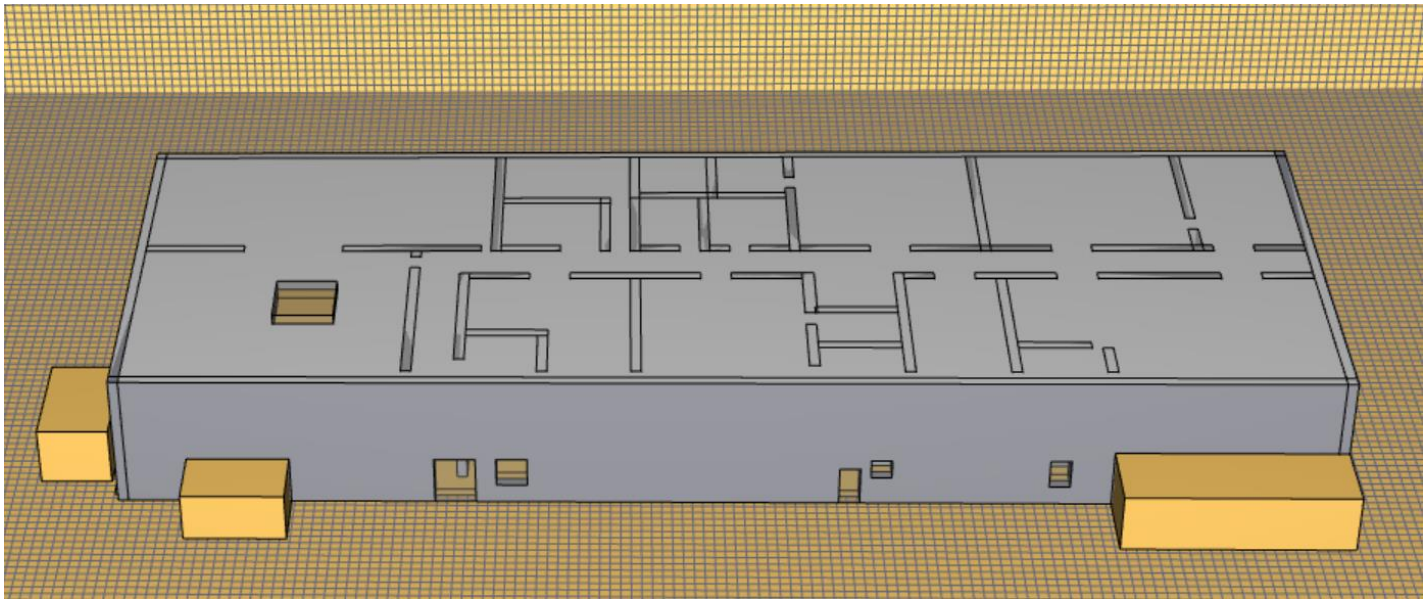


Figure 2 : Vue de la face Est du bâtiment technique

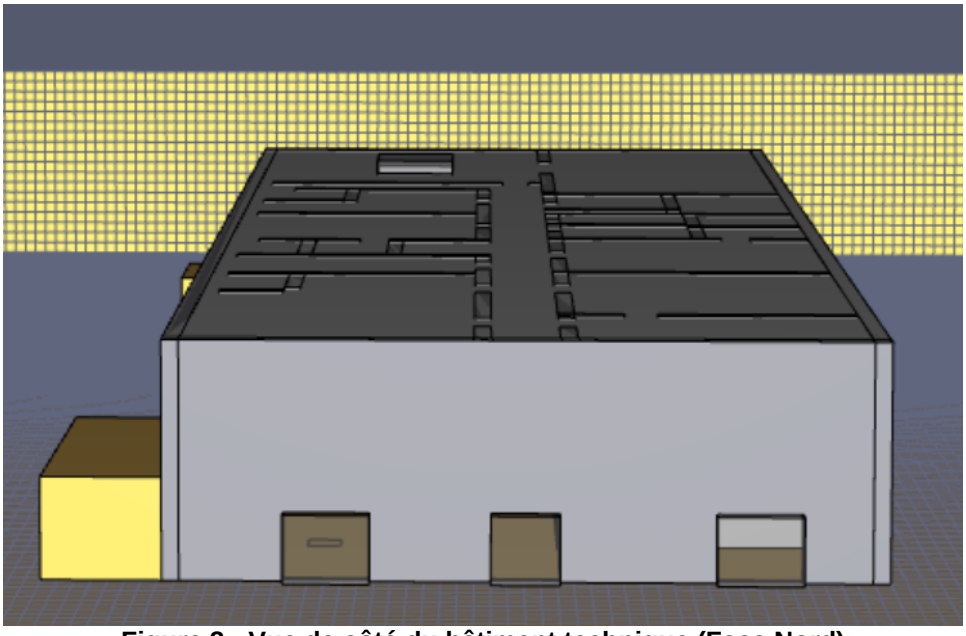


Figure 3 : Vue de côté du bâtiment technique (Face Nord)

Concernant la création de la géométrie du bâtiment, les hypothèses suivantes ont été prises en compte dans le modèle :

- La géométrie du toit a été simplifiée afin de limiter les temps de calcul ;
- Les dimensions des objets du modèles ont été arrondies pour qu'elles s'ajustent aux maillages du modèle.

5.3 Caractéristique du combustible et équation de combustion

5.3.1 Caractéristiques des produits stockés

Les produits inflammables stockés dans les différentes pièces sont les suivants :

- Mastic CA 1010
- Mastinox 6856K Jointing
- PR1771 B2 - F Base PPG
- PR 1776 B2-F - Base PPG
- GEBSOFER (Mastic Polyester de réparation) GEB
- ISO HEXANE
- PU 66 8H VERT OTAN PALES
- Durcisseur Activator 0730
- Diluant Thinner 0491
- Base CA 8620
- A 1500 - M HARDENER
- 4080 Topcoat Nitrocellulose S-malt Sahara Yellow
- 4080 Topcoat Nitrocellulose Matt Grey BS632
- 4080 Topcoat Nitrocellulose Matt Grey BS697
- 4080 Topcoat Nitrocellulose Non Slip Midnight Blue
- 4080 Topcoat Nitrocellulose Matt Black 201
- 4080 Topcoat Nitrocellulose Matt Dk Grey Blue 8208
- 4080 Topcoat Nitrocellulose Matt Midnight Blue 8611
- 4080 Topcoat Nitrocellulose S-matt Blue 8651
- Diluant Thinner 4980
- Primer 7835 Yellow Green (Aeroprim Jaune Sable 530)
- Activator 7835C (Durcisseur)
- Primaire Epoxy 8194 P20 Gris bleu vert NNO 14 408 2783
- 41235045 NNO 14 408 2783
- Diluant W19
- XS 87
- XS 841 : 500 lingettes
- XS 844 : 80 L
- Ardrox 396 : 10 L
- S737 : 20 L
- Intergard 10001 High Heat Coating 100001HH37038

Le volume total de produits inflammables stockés dans le bâtiment 006 est de 408 L.

5.3.1 Equation de combustion

5.3.1.1 Méthodologie retenue

Sur la base des informations présentées dans le chapitre précédent, il a été possible de déterminer l'équation de combustion à intégrer dans le modèle de calcul. L'équation de combustion est définie de la manière suivante :

$$C_xH_yO_zN_v + \nu_{O_2}O_2 \xrightarrow{yields} \nu_{CO_2}CO_2 + \nu_{H_2O}H_2O + \nu_{CO}CO + \nu_S Soot + \nu_{N_2}N_2$$

Au vu de la variété des produits présents dans chacune des pièces du bâtiment, il a été retenu comme approche de prendre en compte un combustible équivalent.

Ce combustible équivalent est calculé à partir des différentes espèces qui composent les produits se trouvant dans les pièces du bâtiment. Les données nécessaires au calcul de combustible équivalent sont les suivantes :

- Formule chimique de l'espèce considérée ;
- Masse de l'espèce considérée (en kg) ;
- Masse molaire de l'espèce considérée (g/mol) ;

Afin de paramétrer l'équation de combustion dans le logiciel FDS, il est également nécessaire de renseigner le rendement des suies (Y_{soot}) et le rendement du monoxyde de carbone (Y_{CO}).
Ces données sont calculées pour le combustible équivalent à partir des données de chacune des espèces et en prenant en compte la fraction massique de chaque espèce dans le composant final.

Enfin, pour calculer la puissance thermique de l'incendie, l'enthalpie de combustion (ΔHc) du combustible est utilisée. Une enthalpie de combustion pour le combustible équivalent est donc calculée à partir des enthalpies de combustion des différentes espèces retenues.

Les différentes étapes de la méthodologie sont synthétisées ci-dessous :

1- Identification des espèces chimiques retenues pour chaque produit ;
2- Calcul de la masse de ces espèces chimiques ;
3- Sélection des espèces à retenir en fonction de leur contribution vis-à-vis de la masse totale du combustible ;
4- Identification des données suivantes : Y_{CO}, Y_{soot} et ΔHc ;
5- Calcul de la composition du combustible équivalent (Nombres de carbone, hydrogène, oxygène, azote) ;
6- Calcul des Y_{CO}, Y_{soot} et ΔHc du combustible équivalent.

5.3.1.2 Calcul du combustible équivalent

Les produits présents dans le bâtiment sont composés de nombreuses espèces chimiques. Afin de calculer le combustible équivalent, un tri des espèces a été réalisé.

Les critères appliqués pour sélectionner les différentes espèces au niveau des produits sont les suivants :

- L'espèce doit être inflammable ;
- L'espèce doit être présente à plus de 20% dans le mélange où l'espèce est présente dans plusieurs produits même en faible quantité ;
- Dans tous les cas, la quantité maximale de produits a été conservée et assimilée aux espèces majorantes.

Pour chacune des pièces, les produits présents et les espèces qui les composent ont été étudiés. L'objectif est de sélectionner les espèces selon les critères choisis et énoncés précédemment et de calculer la masse associée à chaque espèce prise en compte.

Les tableaux ci-dessous présentent pour chaque pièce les espèces retenues pour chacun des produits et le calcul de la masse de chacune des espèces.

Le pourcentage de chaque espèce au sein du produit s'appuie sur les fiches de données de sécurité des produits. Ce pourcentage est recalculé afin que, dans une approche majorante, les espèces sélectionnées soient considérées comme constituant à elles seules des produits.

Hypothèses retenues

1) Composition des substances

Le tableau suivant synthétise les compositions des différentes produits inflammables retenus :

	Espèces	Proportion dans le mélange (%) d'après FDS	% recalculé
Mastic CA 1010	Acétate d'éthyle	100%	100%
Mastinox 6856K Jointing	Xylène	10%	50%
	Toluène	5%	25%
	Ethylbenzène	5%	25%
GEBSOFER (Mastic Polyester de réparation) GEB	Styrène	25%	100%
PU 66 8H VERT OTAN PALES	Acétate de 2 - methoxy - 1 - methylethyl	25%	53%
	Xylène	10%	21%
	Acétate de n-butyle	8%	17%
	4 methylpentane 2 one	4%	9%
Durcisseur Activator 0730	Toluène	50%	40%
	Acétate de n-butyle	25%	20%
	Xylène	20%	16%
	Acétate de 2 - methoxy - 1 - methylethyl	25%	20%
	Ethylbenzène	4%	4%
Diluant Thinner 0491	Butanone	50%	50%
	Acétate d'éthyle	20%	20%
	4 methylpentane 2 one	14%	14%
	Acétate de 2 - methoxy - 1 - methylethyl	10%	10%
	Xylène	6%	6%
Base CA 8620	Acétate de n-butyle	10%	77%
	4 methylpentane 2 one	3%	23%
A 1500 - M HARDENER	Acétate d'éthyle	30%	40%
	Acétate de n-butyle	20%	26%
	Acétate de 2 - methoxy - 1 - methylethyl	20%	26%
	Xylène	5%	8%
4080 Topcoat Nitrocellulose[1]	Toluène	50%	55%
	Acétate de n-butyle	25%	27%
	Acétate de 2 - methoxy - 1 - methylethyl	5%	6%
	4 methylpentane 2 one	5%	6%
	Acétate d'éthyle	5%	6%
Primer 7835 Yellow Green (Aeroprim Jaune Sable 530)	Xylène	25%	100%

[1] Pour les « 4080 Topcoat Nitrocellulos », ils ont été regroupés en un seul produit, étant donné qu'ils ont tous la même composition.

	Espèces	Proportion dans le mélange (%) d'après FDS	% recalculé
Activator 7835C (Durcisseur)	Xylène	75%	82%
	Ethylbenzene	17%	18%
Primaire Epoxy 8194 P20 Gris bleu vert NNO 14 408 2783	Xylène	25%	100%
41235045 NNO 14 408 2783	4 methylpentane 2 one	25%	100%
Diluant W19	Toluène	50%	50%
	Xylène	50%	50%
XS 841	Hydrocarbons, C9-C11, N-ALKANES, ISOALKANES, Cyclics, < 2% AROMATICS	100%	100%
XS854	Iso hexane	100%	100%
Ardrox 396	Naphta 6474-2-48-9 et 265-150-3	100%	100%
S737	Propan-2-ol	100%	100%
Intergard 10001 High Heat Coating 100001HH37038	Heptane-2-one	> 7% - <25%	35%
	Acétate n-butyle	< 15%	21%
	Acétate de 2 - methoxy - 1 - methylethyl	>5% - < 10%	14%
	Acétate d'isobutyle	<20%	29%

Tableau 2 : Composition des produits inflammables

2) Masse des différents espèces

Il s'agit ensuite en fonction du volume de chaque produit inflammable, de déterminer le volume puis la masse de chacune des espèces retenues. Pour cela, la masse volumique des différentes espèces est utilisée. Le tableau ci-dessous présente les résultats finaux :

Espèces	VOLUME TOTAL (m^3)	Masse volumique (kg/m^3)	Masse (kg)
Acétate de 2 - methoxy - 1 - methylethyl	0,027	920	24,9
Xylène	0,081	860	69,8
Acétate de n-butyle	0,054	881	47,6
4 methylpentane 2 one	0,027	802	21,7
Toluène	0,027	870	23,5
Ethylbenzène	0,005	867	4,7
Butanone	0,014	805	10,9
Acétate d'éthyle	0,011	900	9,7
XS841[2]	0,027	703	19,0
Ardrox 396[3]	0,027	1140	30,8
S737[4]	0,027	780	30,8
Iso hexane	0,054	660	42,2
Heptane-2-one	0,009	800	7,6
Acétate n-butyle	0,006	881	5,0
Acétate de 2 - methoxy - 1 - methylethyl	0,004	920	3,5
Acétate d'isobutyle	0,008	875	6,9

Tableau 3 : Masse des espèces composant les produits inflammables

[2] Assimilé à de l'octane
[3] Assimilé à du naphta de formule chimique $C_{10}H_8$.
[4] Assimilé à du propane-2-ol

Les espèces retenues dans la suite de l'étude sont celles qui contribuent à plus de 5% à l'incendie, ainsi, les espèces suivantes ne sont pas retenues dans la suite de l'étude car elles ne contribuent pas de façon majeure à l'incendie (elles sont présentes en faible quantité) :

- Ethylbenzène ;
- Styrène ;
- Butanone ;
- Heptane-2-one ;
- Acétate d'éthyle ;
- Acétate d'isobutyle.

Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des espèces retenues pour le calcul du combustible équivalent ainsi que leurs différentes caractéristiques permettant le calcul des données d'entrée nécessaires à la modélisation :

TOTAL	Masse (kg)	Formule	ΔHc (MJ/kg)	Y_{CO}	Y_{soot}
Xylène	69,8	C_8H_{10}	39,4	0,065	0,177
Toluène	23,5	C_7H_8	39,7	0,066	0,178
Acétate de 2 - methoxy - 1 - methylethyl	24,9	$C_6H_{12}O_3$	32,2	0,001	0,011
Acétate n-butyle	47,6	$C_6H_{12}O_2$	29,7	0,008	0,029
4 methylpentane 2 one	21,7	$C_6H_{12}O$	37,3	0,005	0,024
Octane	19	C_8H_{18}	44,5	0,011	0,038
Iso hexane	30,8	C_6H_{14}	44,8	0,09	0,035
Naphta	30,8	$C_{10}H_8$	39	0,065	0,175
Propan-2-ol	42,2	C_3H_8O	31,8	0,003	0,015

Tableau 4 : Synthèse des données d'entrée pour le calcul du combustible équivalent

Les données présentées dans le tableau sont issues du SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 3rd Edition.

Pour certaines des espèces les données ne sont pas disponibles dans le SFPE, ainsi pour ces espèces, les données retenues sont celles issues d'espèces proches chimiquement :

- L'isohexane est assimilé à l'hexane (C_6H_{14}) ;
- Le 4 methylpentane 2 one est assimilé à du cyclohexanol ($C_6H_{12}O$) ;
- Le naphta au naphtalène ($C_{10}H_8$) ;
- L'acétate de 2 - methoxy - 1 - methylethyl est assimilé à de l'acétate monoethylether ($C_7H_{12}O_3$).

5.3.1.3 Synthèse des caractéristiques du combustible équivalent

Les caractéristiques du combustible équivalent renseignées dans le logiciel FDS pour engendrer la réaction de combustion sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Caractéristiques du combustible équivalent	
Nombre de C	1
Nombre de H	1,85
Nombre de O	0,09
Nombre de N	0
Y_{CO}	0,05
Y_{soot}	0,075
ΔHc (MJ/kg)	36,23

Tableau 5 : Caractéristiques du combustible équivalent

5.3.2 Surfaces

Afin de représenter au mieux l'incendie dans le bâtiment, la totalité des liquides inflammables a été modélisée sous la forme d'une nappe de liquide inflammable.

Chaque nappe de liquide est composée du combustible équivalent calculé précédemment.

Pour chacune des pièces du bâtiment contenant des produits inflammables, il a été estimé la surface de nappe en feu en retenant dans une approche majorante une épaisseur de nappe de 1 cm correspondant à l'épaisseur d'une nappe d'hydrocarbure sur un sol en béton.
Par ailleurs, pour chacune des pièces il a été regardé si la nappe de liquide inflammable sortait de la pièce ou si elle était contenue dans celle-ci.

Dans ces conditions, les surfaces en feu prises en compte dans la modélisation sont les suivantes :

Pièce	n°008	n°009	n°004	n°002
Surface épandage (m²)	29	3	30	3

Tableau 6 : Estimation des surfaces en feu dans chaque pièce

5.3.3 Caractéristiques du foyer

Le modèle retenu dans le cadre de cette modélisation est **la propagation d'une courbe de débit calorifique imposée/calculée.** Cette méthode permet une modélisation correcte de l'incendie tout en conservant un temps de calcul raisonnable.

Le schéma ci-dessous présente le principe d'évolution du débit calorifique d'un incendie en fonction du temps :

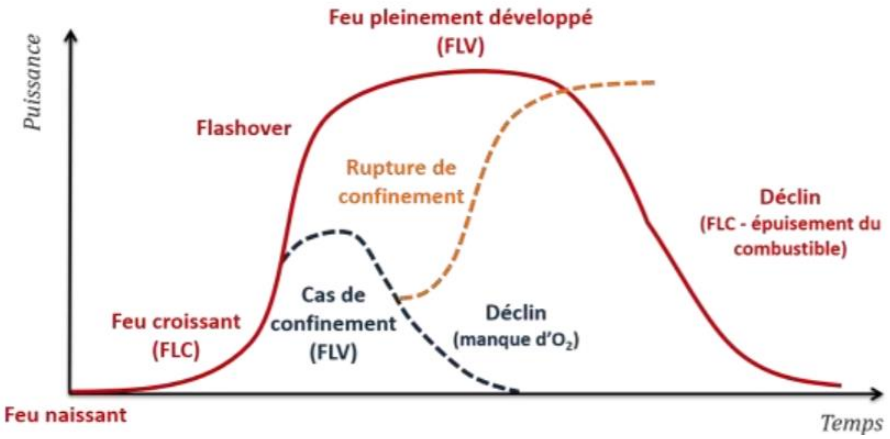


Figure 4 : Evolution de la puissance de l'incendie en fonction du temps

5.3.3.1 Phase de montée en croissance

La phase de croissance d'un incendie est définie par la méthodologie décrite dans le NFPA NF EN 1991-1-2/ NA. Elle est décrite via l'équation suivante :

$$Q = \alpha t^2$$

Avec :

Q : puissance de l'incendie (kW)
T : temps de développement de l'incendie (s)
α : une constante,

Le paramètre α caractérise la vitesse de montée en puissance de l'incendie. Les valeurs présentées dans le tableau ci-dessous sont basées sur des essais. **Ces derniers ont notamment caractérisé qu'un incendie de PE/PEHD devait être considéré avec une cinétique de développement ultra rapide.**

Fire growth rate	Value of α (kW/s^2)
Slow	0.00293
Medium	0.01172
Fast	0.0469
Ultra fast	0.1876

5.3.3.2 Flashover ou Embrasement Généralisé Eclair

Il s'agit dans un local semi-ouvert, du passage instantané d'une situation de feu localisé à un embrasement généralisé des matériaux combustibles qui s'y trouvent.

Ce type de phénomène survient essentiellement dans le cadre de locaux pour lesquels les faibles ouvertures limites l'apport en oxygène nécessaire à une combustion optimale de l'incendie.

C'est le cas du bâtiment technique étudié ici. Il possède des portes et des fenêtres mais ces dernières représentent des faibles surfaces d'ouverture en comparaison du volume du bâtiment.

5.3.3.3 Calcul de la puissance maximale de l'incendie

Ici, la puissance maximale de l'incendie est déterminée par comparaison des équations de Thomas (1) et Petterson (2) :

$$(1)\ Q_{fo} = 7{,}8\,.A_T + 378(A_0.\sqrt{H_0})$$

Avec :

Q_{fo} : Puissance calorifique pour parvenir au flashover (kW),
A_T : aire totale des parois du local ouverture non comprise (m²),
A_0 : aire totale des ouvertures verticales (m²),
H_0 : hauteur de l'ouverture (m).

$$(2)\ Q_c = 0{,}09.A_0.\sqrt{H_0}.\Delta H_c$$

Avec :

Q_c :Puissance calorifique maximale lié aux ouvertures (kW)
ΔH_c :enthalpie de combustion (kJ/kg).

L'analyse à effectuer est la suivante :

- **Si $Q_{fo} > Q_c$**, le débit calorifique cesse de croitre une fois la valeur de Q_c atteinte et se maintient en plateau en fonction de la charge calorifique dans le local.
- **Si $Q_{fo} < Q_c$**, le débit calorifique croit jusqu'à la valeur de Q_{fo}, puis augmente brutalement jusqu'à la valeur de Q_c. Néanmoins, la valeur de Q_c étant la valeur maximale du débit calorifique liée aux ouvertures apportant l'oxygène, il s'agit d'une valeur théorique qu'il est nécessaire de confronter aux éléments du triangle du feu pour s'assurer que cette valeur peut bien être atteinte.

Les valeurs des différents coefficients utilisés pour le calcul de la puissance thermique est donnée ci-dessous :

Coefficients	
A_0	32,5 m²
A_T	3684 m²
H_0	1,8 m

Tableau 7 : Coefficients pour le calcul de la puissance thermique

Pour rappel l'enthalpie de combustion du combustible équivalent est égale à 36,23 MJ/kg.

Dans le cas du bâtiment 006, la résolution des équations de Thomas et Petterson donne les résultats suivants :

	Bdc 006
Possibilité de Flashover	NON
HRR Qfo (kW)	1 868 558,1
HRR Qc (kW)	16 116,4

Tableau 8 : Puissance de l'incendie - Equation de Thomas et Petterson

La résolution de ces équations montre que la risque de flashover peut être écarté.

La puissance calorifique de l'incendie est de 16 116 kW.

En tenant compte de la surface en feu, le débit calorifique de l'incendie par unité de surface est de 249 kW/m².

5.3.3.4 Phase de plateau

Au vu de la quantité de produit combustible présente dans chacune des zones, le débit calorifique maximal de l'incendie est maintenu pendant une durée de 30 minutes de manière majorante.

5.4 Points de mesures

Afin de suivre l'évolution de l'incendie, différents détecteurs ont été positionnés à proximité de la zone en feu.

Des capteurs de flux thermiques ont été implantés de façon homogène à l'extérieur du bâtiment dans le domaine de calcul afin de mesurer le flux thermique susceptible d'être reçu par différents enjeux à l'extérieur du bâtiment. Ces capteurs ont été positionnés à 1,75 m de hauteur.

La littérature stipule que les services d'incendie et de secours sont à même d'intervenir jusqu'à un flux thermique de 5 kW/m².
Les seuils des dégâts sur les structures sont les suivants :

- 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 en béton ;
- 20 kW / m², seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structure béton ;
- 200 kW / m², seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes.

La capture d'écran ci-dessous présente l'emplacement des capteurs de flux thermique mis en place tout autour du bâtiment.

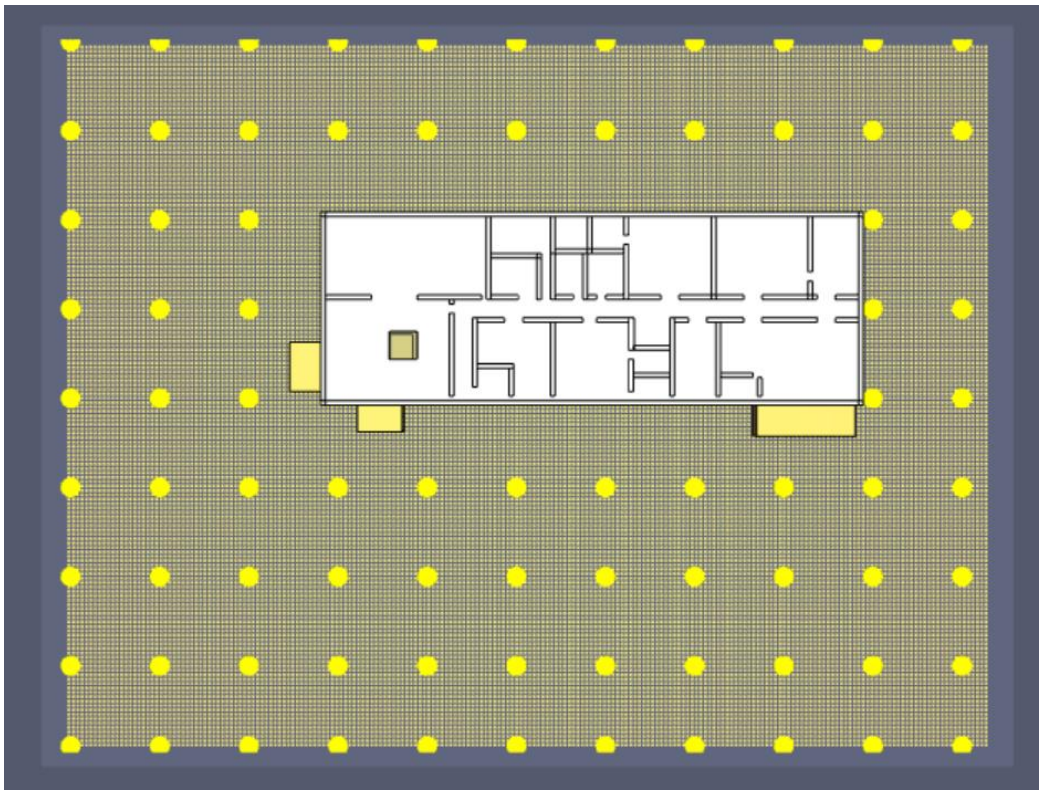


Figure 5 : Positionnement des capteurs de flux thermique tout autour du bâtiment

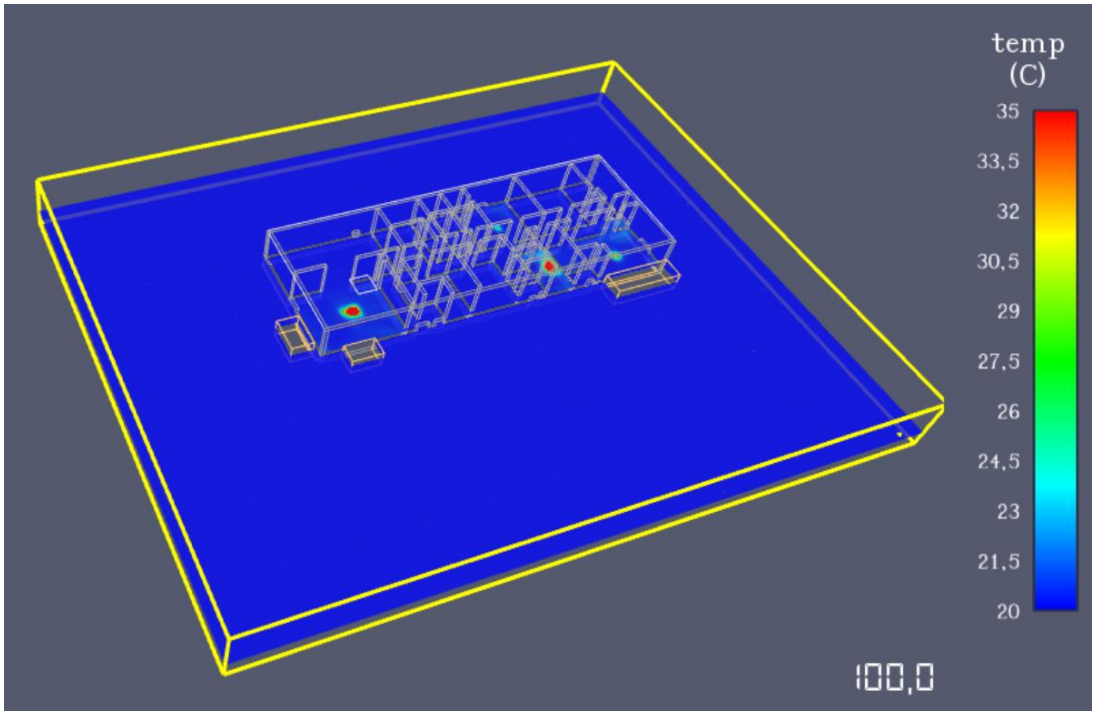
Une coupe permettant de visualiser les isotempératures dans l'ensemble du modèle a également été réalisée à 1,75 m de hauteur.

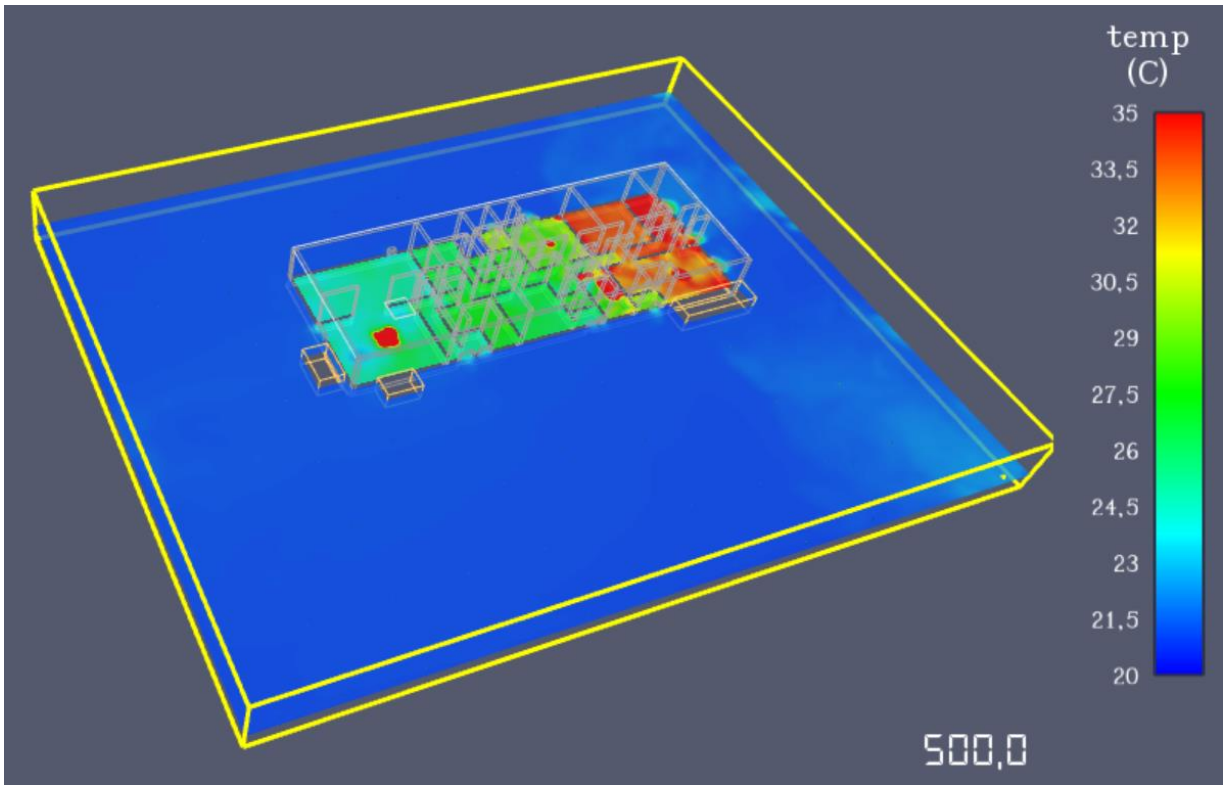
6. RESULTATS

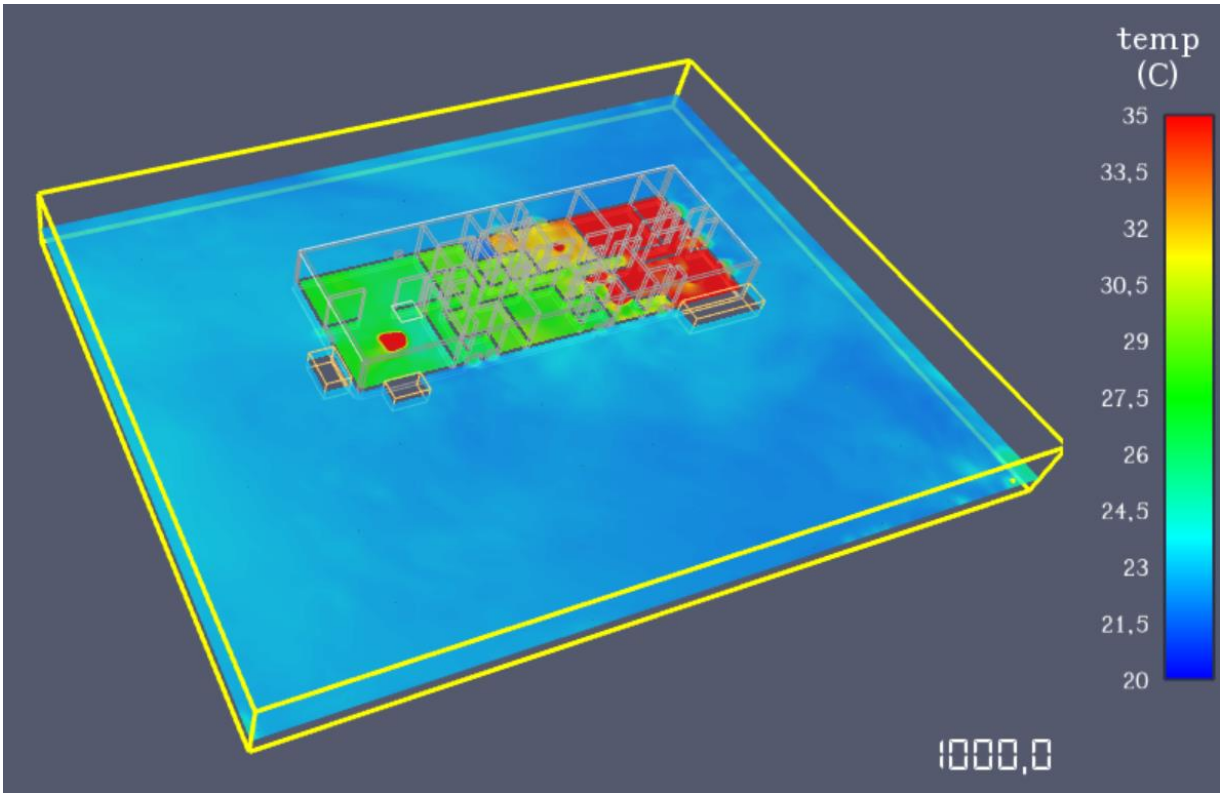
Ce chapitre s'attache à présenter de manière exhaustive les résultats des capteurs mentionnés au chapitre 5.4 de la présente note.

6.1 Evolution des températures en fonction du développement de l'incendie

Les figures ci-dessous présentent les températures maximales au sein de modèles :




temp
(C)
35
33,5
32
30,5
29
27,5
26
24,5
23
21,5
20
500,0


temp
(C)
35
33,5
32
30,5
29
27,5
26
24,5
23
21,5
20
1000,0

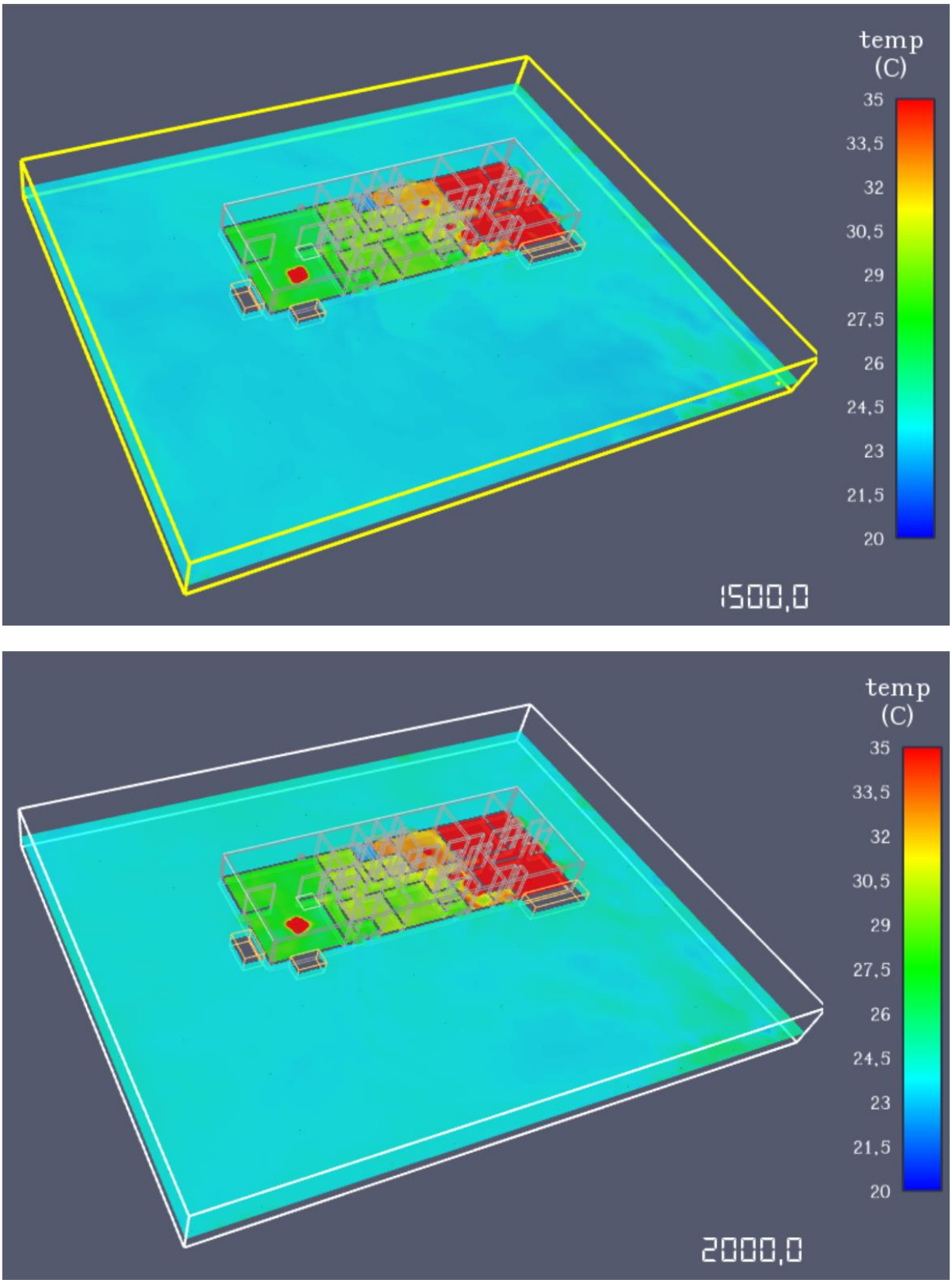


Figure 6 : Evolution de la température ambiante en cas d'incendie du bâtiment BdC066

Les visualisations ci-avant permettent d'estimer les températures en différents points des modèles.

Au vu de la quantité limitée de produit participant à l'incendie, les résultats des modélisations montrent une température d'environ 35°C à l'intérieur du bâtiment BdC006. La cinétique de montée en température est relativement lente. En effet, au bout de 100 secondes cette température est uniquement observée dans les pièces à l'origine du départ de l'incendie. Cette gamme de température est ensuite observée dans les différentes pièces du BdC 006 au bout d'environ 1 500 secondes et reste stable dans le temps par la suite (incendie à l'équilibre). Seules les pièces à proximité de la pièce 010 ne subissent pas cette évolution du fait des orifices de désenfumage.
Une fois cette gamme de température atteinte, seules les températures à l'extérieur du bâtiment augmentent pour atteindre environ 30°C au bout de 2000 secondes d'incendie.

Cette première analyse de données permet de montrer que le personnel présent à l'intérieur du BdC 006 disposera d'un temps suffisant pour évacuer le bâtiment au regard de la vitesse (lente) de développement de l'incendie.

6.1 Evolution du flux thermique en fonction du temps

L'annexe 2 de la présente note de calcul localise l'implantation des différents capteurs de flux thermique introduit dans le modèle.

La figure ci-dessous permet de suivre l'évolution du flux thermique à l'extérieur du bâtiment :

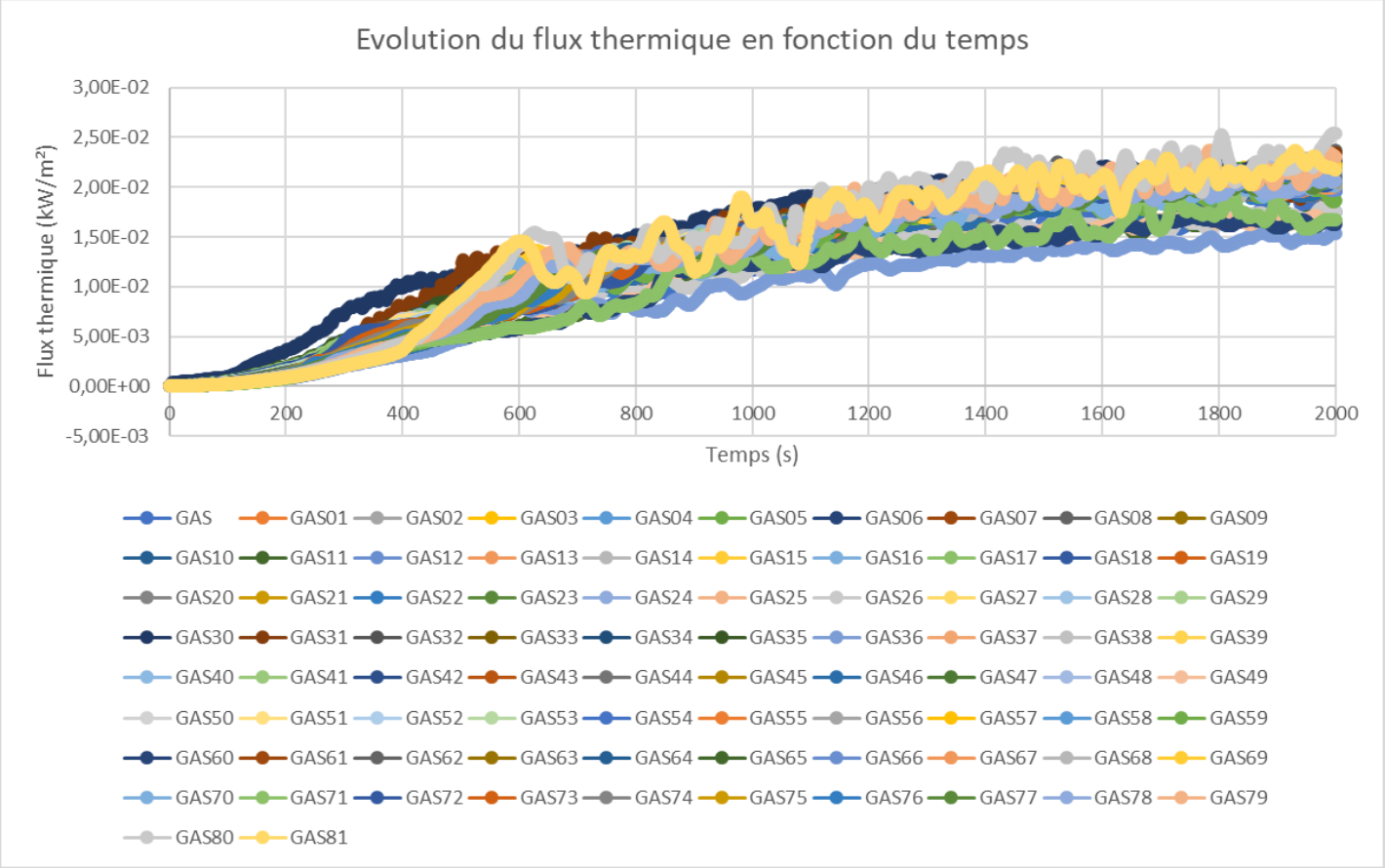


Figure 7 : Evolution des flux thermiques fonction du temps – Bâtiment BdC 006

Les figures ci-dessus montrent l'évolution du flux thermique en fonction du développement de l'incendie.

Le flux thermique maximal observé à l'extérieur du bâtiment $2{,}54^{E}$-2 kW/m² atteint au bout 1 986 secondes.

Pour rappel les flux thermiques réglementaires sont les suivants :

- 3 kW/m² => Seuil des Effets Irréversibles ;
- 5 kW/m² => Seuil des Effets Létaux ;
- 8 kW/m² => Seuil des Effets Létaux Significatifs et des effets dominos.

Au vu des résultats présentés ci-dessus, aucun seuil d'effet réglementaire ne sera atteint à l'extérieur du bâtiment.

7. CONCLUSION

Les résultats de la modélisation d'un incendie dans la bâtiment BdC006 ont permis d'établir les constats suivants :

- **Température** : la température maximale en cas d'incendie dans le BdC006 sera d'environ 35°C dans les différentes pièces pour un durée d'incendie de 1 500 secondes. La modélisation a montré une cinétique lente de montée en température à l'intérieur du bâtiment et compatible avec l'évacuation du personnel ;

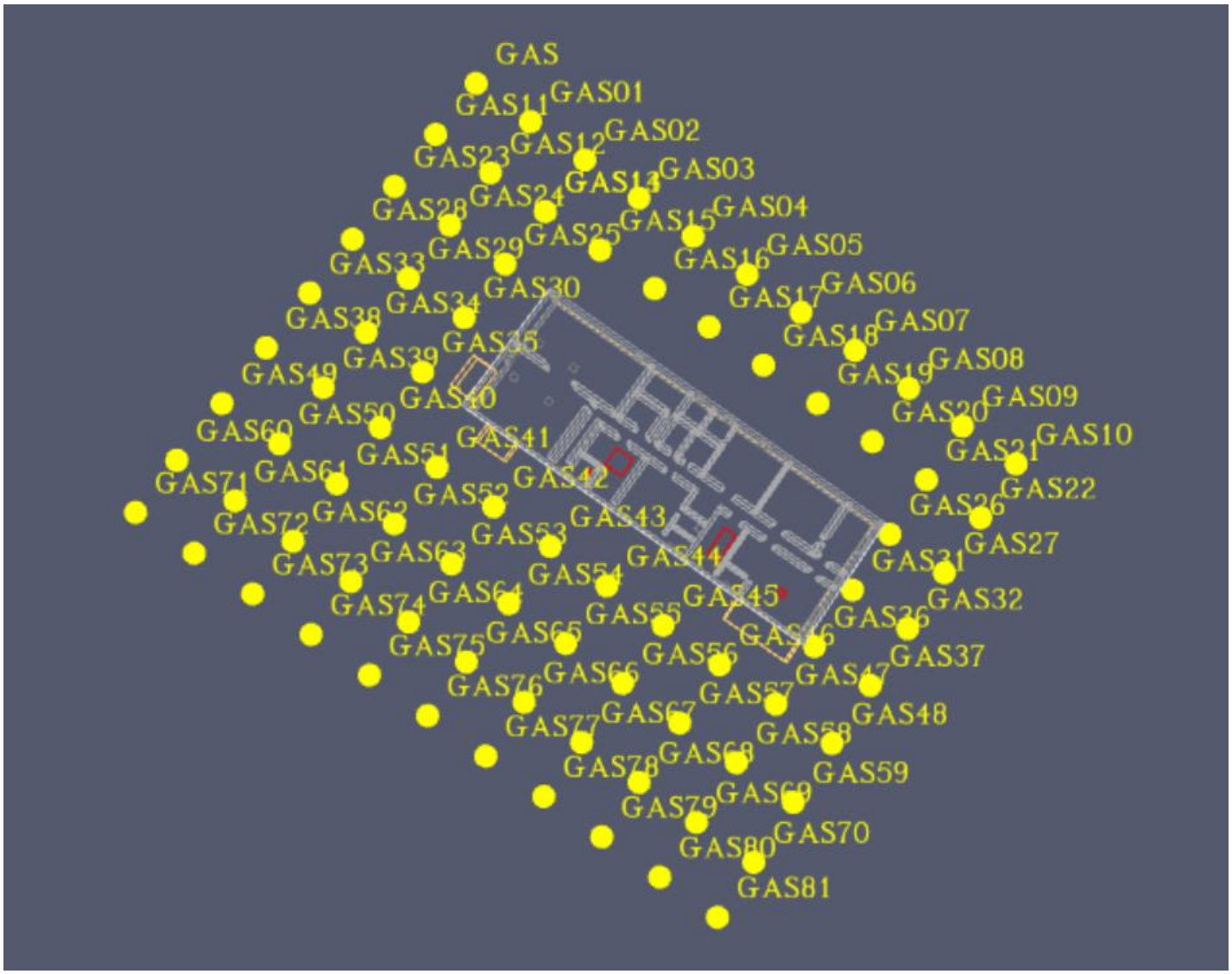
- **Flux thermique** : le flux thermique maximal mesuré à l'extérieur du bâtiment est de $2{,}54^{E}$-2 kW/m². Aucun effet dominos n'est donc attendu sur des installations voisines (seuil des effets dominos : 8 kW/m²)

ANNEXE 1
Plans du bâtiment BdC006

Liste des plans utilisés :

550181002U_5000_C_AA_V01_DCE
550181002U_5000_C_BB_V01_DCE
550181002U_5000_C_CC_V01_DCE
550181002U_5000_C_DD_V01_DCE
550181002U_5000_C_EE_V01_DCE
550181002U_5000_C_FF_V01_DCE
550181002U_5000_C_GG_V01_DCE
550181002U_5000_C_HH_V01_DCE
550181002U_5000_F_ES_V01_DCE
550181002U_5000_F_ND_V01_DCE
550181002U_5000_F_OU_V01_DCE
550181002U_5000_F_SU_V01_DCE
550181002U_5000_N_00_V01_DCE
550181002U_5000_N_01_V01_DCE
550181002U_5000_N_TO_V01_DCE

ANNEXE 2
Implantation des points de mesure de flux thermique


GAS
GAS01
GAS02
GAS03
GAS04
GAS05
GAS06
GAS07
GAS08
GAS09
GAS10
GAS11
GAS12
GAS13
GAS15
GAS16
GAS17
GAS18
GAS19
GAS20
GAS21
GAS22
GAS23
GAS24
GAS25
GAS26
GAS27
GAS28
GAS29
GAS30
GAS31
GAS32
GAS33
GAS34
GAS35
GAS36
GAS37
GAS38
GAS39
GAS40
GAS41
GAS42
GAS43
GAS44
GAS45
GAS46
GAS47
GAS48
GAS49
GAS50
GAS51
GAS52
GAS53
GAS54
GAS55
GAS56
GAS57
GAS58
GAS59
GAS60
GAS61
GAS62
GAS63
GAS64
GAS65
GAS66
GAS67
GAS68
GAS69
GAS70
GAS71
GAS72
GAS73
GAS74
GAS75
GAS76
GAS77
GAS78
GAS79
GAS80
GAS81