



# ETUDE

**ANALYSE DES CONDITIONS  
D'AUTOEXTINCTION DU BOIS  
STRUCTURAL LORS D'UN  
INCENDIE DANS UN LOCAL**

## **AVERTISSEMENT**

Cette publication vise à mettre à disposition des acteurs de la construction les résultats d'études menées dans le cadre des travaux de la Commission Technique d' ADIVbois.

ADIVbois ne saurait être tenu pour responsable des omissions, inexactitudes ou erreurs que pourrait contenir cette publication et qui résulteraient de la retranscription de ces études, réalisées sous la responsabilité de leurs auteurs respectifs, et auxquelles le lecteur est invité à se référer directement.

ADIVbois souligne également que les éléments et recommandations retranscrites dans le présent ouvrage présentent un caractère informatif et ne sauraient en aucun cas se substituer, même pour partie, aux études techniques et juridiques, tant au stade de la conception que de l'exécution, qui incombent à chaque acteur de la construction dans le cadre des projets auxquels il pourra être amené à participer.

### **Droits d'auteur - copyright ©**

L'ensemble de ce document relève de la législation française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction sont réservés, y compris pour les documents téléchargeables et les représentations iconographiques et photographiques.

La reproduction de tout ou partie de ce document, y compris sur un support électronique quel qu'il soit est formellement interdite sauf autorisation expresse d' ADIVbois, du Codifab et des réalisateurs de l'étude.

## PRÉAMBULE

Depuis 2016, l'Association pour le Développement des Immeubles à Vivre Bois porte un projet innovant reposant sur des immeubles bois de moyenne et grande hauteur, qui se distinguent par des solutions structurelles bois et des aménagements intérieurs faisant appel au bois.

Ce projet innovant va de pair avec un important travail collectif (études, benchmark, prototypages) visant à accompagner la réalisation d'immeubles démonstrateurs.

La Commission Technique d'ADIVbois a lancé, depuis 2016, un nombre conséquent de travaux dans le cadre d'ateliers thématiques (structure, incendie, acoustique, enveloppe, environnement...) et d'études afin d'accompagner la conception et la réalisation des Immeubles à Vivre Bois. L'objectif de ces travaux est de favoriser la levée de freins technico-réglementaires et d'être partagés avec la collectivité.

Le présent document s'inscrit dans cette démarche.

L'objet de l'étude était de définir les conditions conduisant à l'arrêt de combustion avec flammes vives, des éléments de bois structural en cas d'incendie dans un local. L'objectif étant de disposer de diagrammes permettant de vérifier de façon simple les conditions à respecter pour des bâtiments, en particulier bureaux et habitations, afin qu'il puisse être considéré que le bois structural apparent cessera sa combustion vive lorsque la charge incendie mobilière aura été consumée.

Les typologies de structure considérée concernent principalement des planchers, cloisons et murs, présentant différents pourcentages de bois apparent.

Les autres paramètres analysés ont, outre le modèle de contribution du bois structural au développement du feu, été la quantité de la charge d'incendie, les dimensions des locaux et les conditions de ventilation.

Les simulations numériques effectuées ont permis d'identifier des conditions conduisant à l'arrêt de combustion avec flammes vives du bois structural.

---

Référence	Efectis	CSTB
Affaire/projet :	20-000058-SA	26085000
Document :	22-003090-MDU	

## ÉTUDE PARAMÉTRIQUE DES CONDITIONS D'AUTO-EXTINCTION DU BOIS STRUCTURAL DANS UN LOCAL

---

### RAPPORT FINAL

**Demander : CODIFAB**

Comité Professionnel de Développement des Industries  
Françaises de l'Ameublement et du Bois  
120, Avenue Ledru-Rollin  
75011 PARIS

Date : 3 février 2023  
Indice de révision : C  
Nombre de pages : 34

		Rédacteur	Vérificateur
Efectis		Mathieu DUNY	Gildas AUGUIN
CSTB		EI Mehdi KOUTAIBA	Renato MOLE-ANTONIAZZA

---

**SUIVI DES MODIFICATIONS**

<b>Indice de révision</b>	<b>Date</b>	<b>Modifications</b>
A	12/12/2022	Version initiale
B	27/01/2023	Prise en compte des commentaires de membres de l'Atelier Adivbois
C	3/02/2023	Ajouts et correction suite aux échanges avec des membres restreints de l'Atelier Adivbois

## SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>2. DOCUMENTS DE REFERENCE</b> .....	<b>4</b>
2.1. DOCUMENTS PRODUITS DANS LE CADRE D'ETUDE ADIVBOIS/CODIFAB .....	4
2.2. TEXTES REGLEMENTAIRES ET NORMATIFS.....	4
2.3. AUTRES DOCUMENTS.....	5
<b>3. METHODOLOGIE</b> .....	<b>6</b>
3.1. APPROCHE.....	6
3.2. CAS DE CALCUL INITIAUX CONSIDERES.....	6
3.3. HYPOTHESES SUR LES FOYERS PRIMAIRES .....	8
<b>4. METHODE DE CONTRIBUTION BOIS</b> .....	<b>9</b>
4.1. PREAMBULE .....	9
4.2. METHODE A.....	9
4.3. METHODE B.....	10
4.4. METHODE C.....	13
<b>5. MODELE NUMERIQUE</b> .....	<b>15</b>
5.1. CODE DE CALCUL .....	15
5.2. MODELISATION.....	15
5.3. HYPOTHESES DE CALCUL.....	16
<b>6. RESULTATS</b> .....	<b>17</b>
6.1. CAS DE BUREAU .....	17
6.2. CAS D'HABITATION.....	19
6.3. BILAN.....	21
<b>7. ANALYSES DE L'IMPACT DE CERTAINS PARAMETRES</b> .....	<b>22</b>
7.1. EFFET DE LA METHODE DE CONTRIBUTION.....	22
7.2. EFFET DE LA CHARGE CALORIFIQUE.....	23
7.3. EFFET DES DIMENSIONS.....	24
7.4. EFFETS DES POURCENTAGES.....	26
7.4.1. Pourcentage de bois.....	26
7.4.2. Pourcentage d'ouverture .....	27
<b>8. CONCLUSION</b> .....	<b>28</b>
<b>ANNEXE A VALIDATION DES MODELES DE CONTRIBUTION</b> .....	<b>30</b>
A.1 INTRODUCTION.....	30
A.2 VALIDATION DU MODELE DE CONTRIBUTION B.....	30
A.2.1 Essais à moyenne échelle .....	30
A.2.2 Essais à pleine échelle .....	31
A.3 VALIDATION DU MODELE DE CONTRIBUTION C.....	34

## 1. INTRODUCTION

---

D'après le guide pour l'application de l'ingénierie de la sécurité incendie aux bâtiments en bois [2], l'un des enjeux pour les constructions en bois consiste à déterminer la surface de bois apparent qui ne conduit pas à l'auto-entretien de sa combustion avec flammes vives après l'extinction du foyer principal (mobilier).

Lors de l'étude de faisabilité de l'approche ISI, des situations de phénomènes d'auto-extinction sont apparues pour des configurations bien particulières. Le nombre de cas étudiés lors de cette étude était insuffisant pour mettre en avant une relation ou règle simple, les phénomènes étant lié à de nombreux paramètres : dimensions du local, charge calorifique, surface de bois apparent, surface d'ouvrants, etc...

L'objet de cette l'étude est d'identifier les cas conduisant à l'arrêt de combustion avec flammes vives, des éléments de bois structural en cas d'incendie dans le cas de deux configurations de locaux de logement et de bureau.

Il s'agit en fait de disposer de diagrammes/tableaux permettant de vérifier de façon simple « les conditions minimales » à respecter pour des bâtiments de bureaux et des logements afin qu'il puisse être considéré que le bois structural apparent cessera sa combustion vive lorsque la charge incendie mobilière aura été consumée sur la base de quelques paramètres et caractéristiques.

## 2. DOCUMENTS DE REFERENCE

---

### 2.1. DOCUMENTS PRODUITS DANS LE CADRE D'ETUDE ADIVBOIS/CODIFAB

- [1] Cahier des charges de consultations - CODIFAB
- [2] Étude de faisabilité d'application de l'ingénierie de sécurité incendie aux bâtiments en bois de grande hauteur – Note de synthèse et Guide méthodologique, Rapport Efectis-CSTB, Réf. 18-000832-RévB, 09 Juin 2018
- [3] Étude de faisabilité d'application de l'ingénierie de sécurité incendie aux bâtiments en bois de grande hauteur Étude de modèles numériques de développement d'incendie – Rapport Efectis-CSTB Réf. 18-000289- Rév B, 09 Mars 2018
- [4] Étude de faisabilité d'application de l'ingénierie de sécurité incendie aux bâtiments en bois de grande hauteur Approches numériques d'évaluation du comportement sous feux réels de structures en bois – Rapport Efectis-CSTB Réf 18-000290-RévB, 09 Mars 2018
- [5] Étude paramétrique des conditions d'auto-extinction du bois structural dans un local – Rapport Efectis-CSTB, 20 Juin 2022
- [6] Étude de faisabilité d'application de l'ingénierie de sécurité incendie aux bâtiments en bois de grande hauteur – Étude bibliographique et recueil de données existantes, Rapport Efectis-CSTB, Réf. 17-001650-RévB, 09 Mars 2018
- [7] Essais sous cône échantillons Bois. Fichier Excel CSTB du 13/07/2021
- [8] Essais au feu sur une maquette de local moyenne échelle comprenant des parois en bois apparent. Rapport CSTB, Réf. CSTB-DSSF/EA2R/26088892 du 08/04/2022
- [9] Essais au feu sur maquette pleine échelle reconstituant un local avec certaines parois en bois apparent. Rapport Efectis, Ref. 22-000161B-GAU du 27/05/2022, Contrat CODIFAB/ADIVbois du 02/02/2021.

### 2.2. TEXTES REGLEMENTAIRES ET NORMATIFS

- [10] NF EN 1991-1-2 et Annexe Nationale : « Eurocode 1 Partie 1-2 : Actions sur les structures exposées au feu » Juillet 2003 et NF EN 1991-1-2/NA Février 2007
- [11] NF EN 1992-1-2 et Annexe Nationale : « Eurocode 2 : Calcul des structures en béton – Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu », Octobre 2005 et NF EN 1992-1-2/NA Octobre 2007

- [12] NF EN 1992-1-3 et Annexe Nationale : « Eurocode 2 : Calcul des structures en acier – Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu », Octobre 2005 et NF EN 1992-1-2/NA Octobre 2007
- [13] NF EN 1995-1-2 et Annexe Nationale : « Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois – Partie 1.2 : Généralités – Calcul des structures au feu », Septembre 2005 et NF EN 1995-1-2/NA (Avril 2007)
- [14] NF EN 1995-1-2 - Eurocode 5 : conception et calcul des structures en bois – Partie 1-2 : Généralités – Calcul des structures au feu. Septembre 2005
- [15] Avis CCDSA-Gironde\_commission\_Batiment Bois du 15/10/2020
- [16] Arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages (modifié le 14/03/2011)
- [17] Avis du SDIS33 relatif à la Construction de bâtiments d'habitation collectifs et individuels du 7/04/2022 – réf GP/HB-HAB/EP/A 12800 – D/31816
- [18] Arrêté du 31 janvier 1986 modifié par l'arrêté du 19 juin 2015 relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation
- [19] Doctrine pour la construction des immeubles en matériaux biosourcés et combustible de la Préfecture – Direction des transports et de la protection du public - 20/07/2021

### 2.3. AUTRES DOCUMENTS

- [20] Documentation Fire Dynamics Simulator (version 6 - NIST) :
- User's Guide. K. B. McGrattan, R. McDermott, S. Hostikka, J. Floyd (special publication 1019, 2014)
  - Technical Reference Guide - Volume 2: Verification Guide. K. B. McGrattan, S. Hostikka, R. McDermott, J. E. Floyd, C. Weinschenk & K. Overholt (NIST Special Publication 1018, 2014)
- [21] Ignition Handbook, Vytenis Babrauskas, FSP SFPE, 2003
- [22] Rousset, P. Choix et validation expérimentale d'un modèle de pyrolyse pour le bois traité par haute température: de la micro-particule au bois massif, ENGREF (AgroParisTech), 2004.
- [23] Di Blasi, C. Modeling chemical and physical processes of wood and biomass pyrolysis. Prog. Energy Combust. Sci. 34, 47–90 (2008).
- [24] Hao, C. « Burning Rate of Solid Wood Measured in a Heat Release Rate Calorimeter », Fire and materials, Vol. 16, 197-206, 1992
- [25] NBSIR 88-3752-ATF NIST Multifloor validation
- [26] Bertrand Girardin, Mathieu Duny, Virginie Dréan, Gildas Auguin, An engineering method for the contribution of wood : application to ISO 9705 with different linings coverage, Proceedings of the Interflam 2019 Conference, Royal Holloway College, University of London, UK, 1-3 July 2019, Volume 1, p.503-513
- [27] Bertrand Girardin, Mathieu Duny , Gildas Auguin, An engineering method for the contribution of wood : application to façade, 3rd International Symposium on Fire Safety of Facades, Paris, France, September 26-27, 2019

### 3. METHODOLOGIE

#### 3.1. APPROCHE

Il s'agit dans un premier temps d'élaborer un ou des modèles permettant de reproduire avec une précision suffisante les phénomènes principaux inhérents au développement du feu dans un local constitué en partie de parois combustibles dont celui de l'auto-extinction du bois de structure. Il a été choisi de s'appuyer sur des modèles avancés 3D en CFD avec prise en compte de la contribution du bois structural, mais pour des configurations de locaux simples. Le paramètre principal régissant la contribution du bois est naturellement la surface de bois de structure apparent.

Ainsi, différents modèles de contribution ont été développés en se basant sur les études précédentes et en s'appuyant sur les résultats des essais à petite [6], moyenne [7] et grande échelle [8] réalisés dans le cadre des études CODIFAB/ADIVbois.

Sur cette base, un certain nombre de configurations de locaux, de surface de bois apparent et de surface d'ouverture ont été modélisées. Pour les logements, une configuration du local de 9m<sup>2</sup> a été choisie, ainsi qu'un cas de 64 m<sup>2</sup>, alors que pour les bureaux, des surfaces de 100 à 280 m<sup>2</sup> ont été considérées.

Des taux d'ouverture basés sur la surface au sol correspondant à des ratios attendus en logement et bureaux ont été pris en compte dans les modélisations. Ils varieront de 16<sup>1</sup> à 60 % pour les logements et de 16 à 40 % pour les bureaux.

Sur la base de ces modèles les simulations ont conduit à produire un diagramme simple sur les conditions à respecter sur ces deux paramètres (surface du local et taux d'ouverture) et pour des locaux de bureaux et d'habitation afin de s'assurer que le bois structural apparent cessera sa combustion avec flammes vives lorsque la charge incendie mobilière aura été consommée.

Des analyses complémentaires ont été réalisées afin d'évaluer l'impact de différents paramètres tels que la charge calorifique ou la méthode de contribution.

#### 3.2. CAS DE CALCUL INITIAUX CONSIDERES

Les caractéristiques principales des cas de calcul sont présentées dans les tableaux suivants.

Caractéristiques	Dimensions du local			Dimensions ouverture				Bois de structure	
	l [m]	L[m]	h [m]	h [m]	A [m <sup>2</sup> ]	Ah <sup>1/2</sup> [m <sup>5/2</sup> ]	O [%]	Surf. bois [m <sup>2</sup> ]	Ratio [%]
1 paroi	3	3	2,5	1,00	1,80	1,80	20	7,5	20,16
2 Parois vis-à-vis	3	3	2,5	1,00	2,70	2,70	30	11	30,30
2 Parois vis-à-vis	3	3	2,5	1,00	2,70	2,70	30	15	41,32
2 Parois vis-à-vis +1 paroi fond	3	3	2,5	1,50	4,50	5,51	50	17,25	50,00
2 Parois vis-à-vis	3	3	2,5	1,20	3,60	3,94	40	17	48,02
2 Parois vis-à-vis +1 paroi fond + 1 plafond	3	3	2,5	1,80	5,40	7,24	60	20	59,52
1 paroi	3	3	2,5	1,2	3,6	3,94	40	7,5	21,19
1 paroi et demi	3	3	2,5	1	1,8	1,80	20	11	29,57

<sup>1</sup> La RT2012 impose une surface vitrée minimale de 1/6 dans un logement

Caractéristiques	Dimensions du local			Dimensions ouverture				Bois de structure	
	l [m]	L[m]	h [m]	h [m]	A [m <sup>2</sup> ]	Ah <sup>1/2</sup> [m <sup>5/2</sup> ]	O [%]	Surf. bois [m <sup>2</sup> ]	Ratio [%]
2 parois	3	3	2,5	1,20	3,60	3,94	40	15	42,37
2 parois + 1/2 mur du fond	3	3	2,5	1,5	4,5	5,51	50	20,5	59,42
1 paroi et demi	3	3	2,5	1,2	3,6	3,94	40	10,75	30,37
3 parois + morceau plafond	3	3	2,5	1,5	4,5	5,51	50	24	69,57
2 parois + 1/2 mur du fond	3	3	2,5	1,5	4,5	5,51	50	20,5	59,42
2 parois + 16 m <sup>2</sup> plafond	8	8	2,5	1,6	25,6	32,38	40	56	47,30
3 parois + plafond	3	3	2,5	1,8	5,4	7,24	60	31,5	93,75
3 parois + 1/2 plafond	3	3	2,5	1,8	5,4	7,24	60	27	80,36
3 parois + morceau plafond	3	3	2,5	1,8	5,4	7,24	60	24	71,43
1 paroi	3	3	2,5	1,00	1,50	1,50	16,6667	7,50	20,00
0,7 paroi	3	3	2,5	1,00	1,50	1,50	16,6667	5,00	13,33
2 parois	3	3	2,5	1,00	1,50	1,50	16,6667	15	40,00
0,75 paroi	3	3	2,5	1,00	1,50	1,50	16,6667	5,75	15,33
1 plafond	3	3	2,5	1,00	1,50	1,50	16,6667	9	24,00
0,5 paroi	3	3	2,5	1,00	1,50	1,50	16,6667	3,75	10,00

**Tableau 3-1 : Caractéristiques des cas de calculs étudiés pour un local habitation**

Caractéristiques	Dimensions du local			Dimensions ouverture				Bois de structure	
	l [m]	L[m]	h [m]	h [m]	A [m <sup>2</sup> ]	Ah <sup>1/2</sup> [m <sup>5/2</sup> ]	O [%]	Surf. bois [m <sup>2</sup> ]	Bois [%]
1 paroi	10	10	2.8	2.6	16	25.8	16	10	19.6
2 parois vis-à-vis	10	10	2.8	2.6	16	25.8	16	20	39.2
2 parois vis-à-vis + plafond	10	10	2.8	2.6	16	25.8	16	30	58.8
2 parois vis-à-vis	10	10	2.8	2.6	30	48.4	30	20	36.4
2 parois vis-à-vis	10	10	2.8	2.6	30	48.4	30	30	54.6
2 parois vis-à-vis + plafond	10	10	2.8	2.6	30	48.4	30	40	72.8
2 parois vis-à-vis	10	10	2.8	2.6	40	64.5	40	20	34.4
2 parois vis-à-vis	10	10	2.8	2.6	40	64.5	40	30	51.6
2 parois vis-à-vis + plafond	10	10	2.8	2.6	40	64.5	40	40	68.8

Caractéristiques	Dimensions du local			Dimensions ouverture				Bois de structure	
	l [m]	L[m]	h [m]	h [m]	A [m <sup>2</sup> ]	Ah <sup>1/2</sup> [m <sup>5/2</sup> ]	O [%]	Surf. bois [m <sup>2</sup> ]	Bois [%]
1 paroi	16	18	3	2,6	46,1	74,3	16	43,2	10,0
2 parois vis-à-vis	16	18	3	2,6	46,1	74,3	16	86,5	20,0
2 parois vis-à-vis + plafond	16	18	3	2,6	46,1	74,3	16	129,7	30,0
2 parois vis-à-vis	16	18	3	2,6	86,4	139,3	30	78,4	20,0
2 parois vis-à-vis + plafond	16	18	3	2,6	86,4	139,3	30	117,6	30,0
2 parois vis-à-vis + plafond	16	18	3	2,6	86,4	139,3	30	156,8	40,0
2 parois vis-à-vis + plafond	16	18	3	2,6	115,2	185,8	40	72,6	20,0
2 parois vis-à-vis + plafond	16	18	3	2,6	115,2	185,8	40	109,0	30,0
2 parois vis-à-vis + plafond	16	18	3	2,6	115,2	185,8	40	145,3	40,0

**Tableau 3-2 : Caractéristiques des cas de calculs étudiés pour une surface de bureau**

Le pourcentage de bois apparent repose sur le calcul des surfaces de bois, des parois et de surface d'ouvrants :

$$\% \text{ Bois} = \frac{\text{Surface de bois apparent}}{\text{Surface des parois verticales} + \text{surface du plafond} - \text{surface d'ouverture}}$$

Le pourcentage de surface d'ouverture est basé sur la surface au sol :

$$\% \text{ ouvertures} = \frac{\text{Surface d'ouverture}^2}{\text{Surface de plancher}}$$

D'autres configurations seront étudiées lors de l'analyse de l'impact des paramètres (cf. § 7)

### 3.3. HYPOTHESES SUR LES FOYERS PRIMAIRES

Lors de la phase de croissance du feu, la puissance augmente jusqu'à l'atteinte du débit calorifique maximum. Un modèle de développement quadratique est alors employé tel que :

$$Q = \alpha \cdot t^2$$

Avec :

- Q: débit calorifique (MW);
- t : temps (s) ;
- $\alpha$  : coefficient de croissance (W/s<sup>2</sup>).

Conformément à l'Eurocode 1 partie 1-2 [9], un débit calorifique surfacique de 250 kW/m<sup>2</sup> et une cinétique de vitesse de développement de feu moyen (1 MW en 300 secondes) est retenue aussi bien des activités de Bureau que pour l'Habitation. La phase de décroissance est linéaire et débute lorsque 70% de la charge calorifique a été brûlée.

L'Eurocode 1 partie 1-2 [9] fournit la valeur du potentiel calorifique surfacique en fonction du type d'occupation. La densité de charge calorifique associées au logement est de 930 MJ/m<sup>2</sup> (correspondant à un quantile de 90%). Dans le cas des logements, des calculs seront également réalisés sur la base

<sup>2</sup> Surface connectée à l'extérieur ou à un volume connecté à l'environnement extérieur

d'une demi-charge maximale, soit  $465 \text{ MJ/m}^2$ , pour investiguer la durée du feu. Pour le cas des bureaux, la densité de charge calorifique retenue est de  $740 \text{ MJ/m}^2$ , correspondant également à un quantile de 90%.

Enfin, en fonction des conditions de ventilation liées aux ouvrants, la puissance et la durée du feu pourront être adaptées. Ainsi en cas de feu sous-ventilé, la puissance pourra être réduite et la durée de feu augmentée afin de respecter la charge calorifique prescrite.

## 4. METHODE DE CONTRIBUTION BOIS

### 4.1. PREAMBULE

Un des objectifs de l'étude consiste à prendre en compte l'impact de la contribution des éléments de structure en bois, que ce soit sur la puissance ou le développement de l'incendie (cinétique, durée, etc...). Il est donc nécessaire de déterminer les conditions conduisant à la propagation du feu du foyer primaire aux éléments en bois ainsi que le niveau de contribution de ces éléments en termes de débit de pyrolyse surfacique généré.

La propagation et contribution du bois de structure sont principalement dépendant des paramètres suivants :

- La température d'inflammation/extinction pilotée ;
- Le débit de pyrolyse du bois enflammé.

La température d'ignition dépend fortement de l'essence de bois considérée, de l'exposition thermique et de la géométrie de l'élément en bois. Elle varie généralement de  $250$  à  $350^\circ\text{C}$  [28][29][30]. Ainsi, de façon générique, un critère d'allumage/extinction de  $300^\circ\text{C}$  pourra être retenu. Ce critère est jugé suffisamment sécuritaire. En fonction du modèle de contribution utilisé (voir les modèles décrits ci-dessous), ce critère peut être suffisant pour enclencher la combustion du bois. De la même façon, lorsque la température redescend en dessous de ce critère, il y a extinction<sup>3</sup>. Enfin, sur la base d'essais, cette valeur pourra être optimisée au cas par cas en fonction des projets. Les simulations numériques présentées dans ce document ont été réalisées en tenant compte d'une température de  $300^\circ\text{C}$ . Les essais de démonstration (présentés en A.2.2) ont montré que cette température pouvait être rehaussée à  $350^\circ\text{C}$ .

Pour la prise en compte de la pyrolyse du bois, trois méthodes distinctes peuvent être utilisées. Ces méthodes, décrites ci-après, sont consistantes en termes de résultats, bien que différentes sur les causes et effets à capter.

Cette volonté de proposer plusieurs méthodes a pour objectif de montrer qu'il peut exister plusieurs modèles physiques de représentation de la combustion et contribution du bois, que le résultat final d'auto-extinction ou auto-entretien n'est pas forcément lié au modèle, mais plus intimement aux caractéristiques géométriques régissant le régime de combustion (surface combustible Vs entrainement d'air). Cela laisse également la liberté de proposer ultérieurement de nouveaux modèles, pour autant qu'ils aient été validés sur la base d'essais à différentes échelles comme c'est le cas ici. De plus, bien que la présente étude ait été réalisée à l'aide du code de calcul FDS [20], les méthodes décrites ci-après peuvent être transposées à d'autres outils de calculs.

### 4.2. METHODE A

Quelques données issues de travaux expérimentaux [30] présentées dans le Tableau 4-1 montre que le débit de pyrolyse libéré par la combustion du bois (ou débit calorifique surfacique) varie en fonction du flux thermique (agression thermique) reçu.

On propose alors de retenir l'évolution présentée Figure 4-1. En dessous de  $8 \text{ kW/m}^2$ , il est considéré que le bois ne dégage plus de gaz combustible. Ce flux peut être assimilé au flux critique d'inflammation

<sup>3</sup> On parlera dans ce cas d'extinction de la combustion avec flammes vives. Le modèle n'est pas à même de reproduire les phénomènes d'incandescence.

et se situe généralement (dans le cas du bois) aux alentours de 15 kW/m<sup>2</sup>. Un flux de 8 kW/m<sup>2</sup> est donc sécuritaire. Le débit calorifique est plafonné à 250 kW/m<sup>2</sup>.

Pour tenir compte de l'extinction par épuisement du combustible, phénomène observable uniquement en cas d'auto-entretien de la combustion du bois de structure, un critère de masse consommée est considéré, lorsque 80 % de la masse totale de bois est consommée<sup>4</sup>.

Séquoia		Pin		Chêne	
Flux incident [kW/m <sup>2</sup> ]	Débit calorifique [kW/m <sup>2</sup> ]	Flux incident [kW/m <sup>2</sup> ]	Débit calorifique [kW/m <sup>2</sup> ]	Flux incident [kW/m <sup>2</sup> ]	Débit calorifique [kW/m <sup>2</sup> ]
17,8	39,0	17,4	45,0	18,7	48,7
38,5	61,2	38,6	77,0	37,8	65,4
56,3	90,2	56,0	124,4	53,6	113,7

Tableau 4-1 : Exemple de débits calorifiques surfaciques obtenus expérimentalement [30]

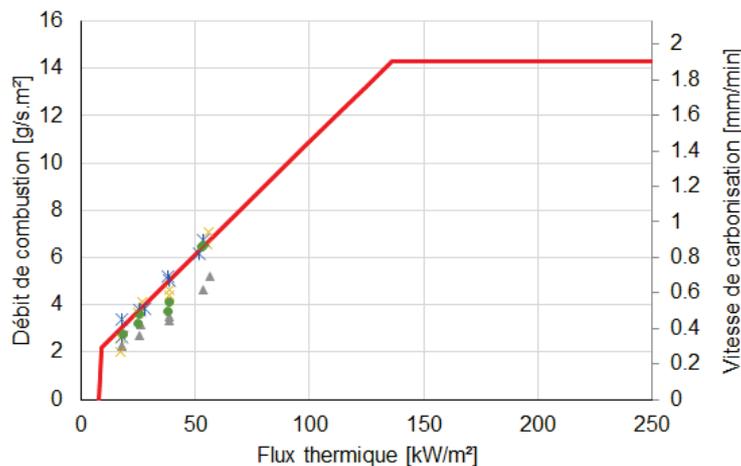


Figure 4-1 : Évolution du débit de pyrolyse du bois [g/m<sup>2</sup>.s] en fonction du flux net sur paroi froide [kW/m<sup>2</sup>]

*Remarque : L'évolution du débit de pyrolyse du bois en fonction du flux net sur paroi froide proposée est théorique et enveloppe du bois de charpente. Au besoin, des essais spécifiques sur des échantillons du bois de structure proposé par le constructeur du projet de bâtiment pourraient être réalisés pour fournir des données sur la température réelle d'ignition, le débit de pyrolyse en fonction du flux incident et également la composition des gaz et effluents pour apprécier la toxicité. Ces données expérimentales permettraient ainsi de définir une nouvelle loi de comportement de la contribution du bois de structure associée spécifiquement au projet.*

### 4.3. METHODE B

Pour des situations de feu généralisé comme c'est le cas lors des études d'ingénierie de résistance au feu, on estime que l'approche reliant l'intensité de libération de l'énergie en fonction du flux incident (Méthode A) n'apparaît pas toujours adaptée pour capter la phase d'extinction.

En effet la structure bois est rapidement soumise à une agression thermique intense, et dans ce cas l'énergie libérée en phase de feu pleinement développé est bien reproduite avec une montée rapide et un plateau (cf. Figure 4-2). La montée de 10 à 60kW/m<sup>2</sup> se fait en 7minutes. Après 18minutes de feu environ, le flux thermique (agression) comme la puissance dégagée (contribution du bois) ont atteint un

<sup>4</sup> On considère qu'il y a 20% de cendres et d'imbrûlés

régime établi. On notera la différence de comportement entre des cas de parois verticales/horizontales (CLT), et des éléments filaires (poteaux/poutres).

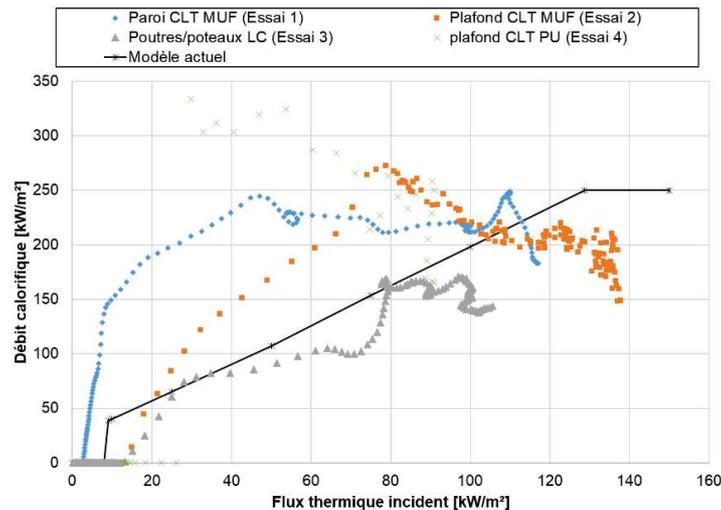
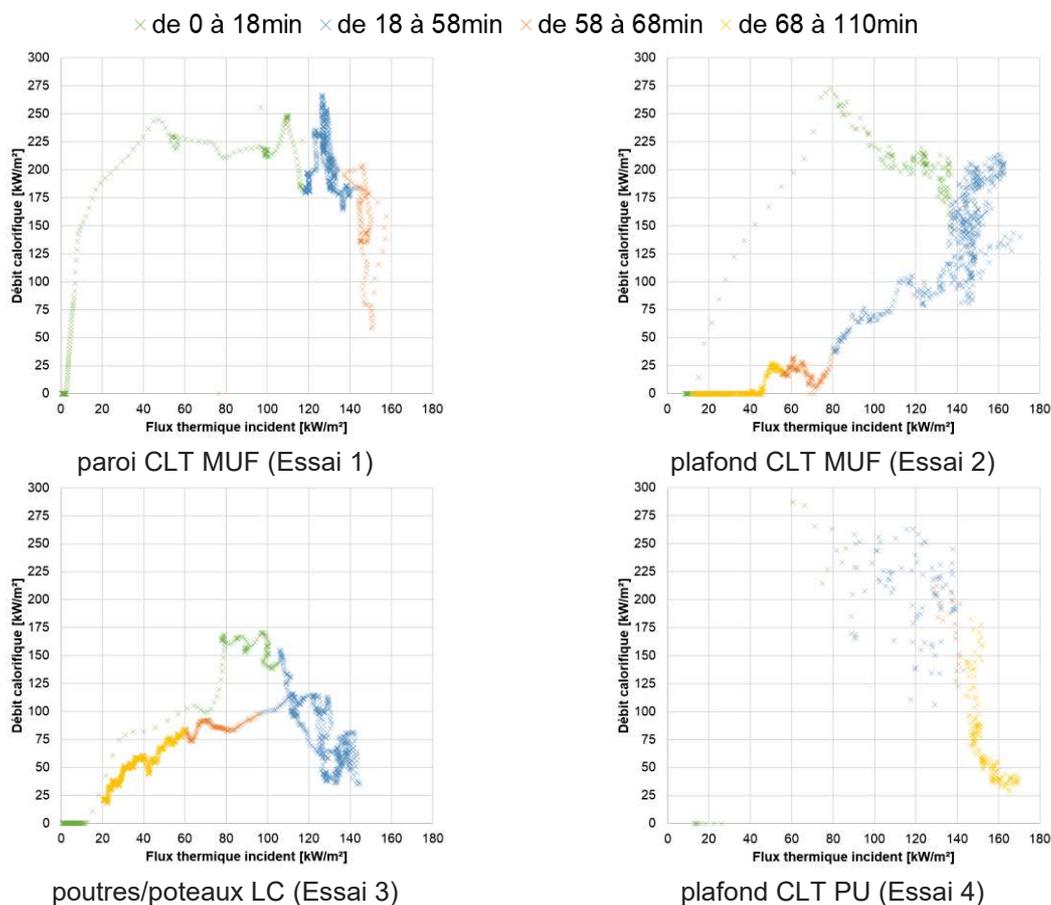


Figure 4-2 : Comparaison du modèle de contribution A avec résultats essais pleine échelle [8] sur les 18 premières minutes

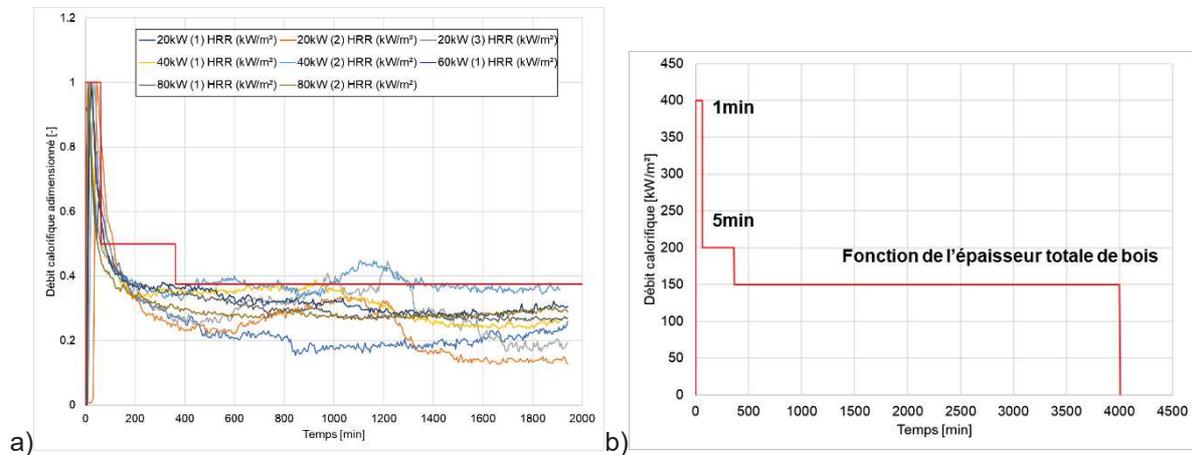
Mais lors de la phase d'extinction du foyer primaire, la relation n'apparaît pas bijective (cf. Figure 4-3). Les niveaux d'intensité restent importants alors que les essais à pleine échelle montrent une décroissance de la puissance (extinction). Le débit de pyrolyse semble diminuer avec la durée, du fait de la carbonisation qui protège et surtout réduit la libération d'énergie. Il n'y a pas ou peu de combustion.



**Figure 4-3 : Évolution du débit calorifique en fonction du flux reçu pour les essais pleine échelle [8] avec décomposition du temps**

On propose alors de retenir une évolution temporelle du débit de pyrolyse pour un élément bois soumis à un flux thermique supérieur à  $100 \text{ kW/m}^2$  (situation de feu généralisé), et de gérer l'auto-extinction uniquement avec la température d'inflammation et en tenant compte de l'énergie perdue ou consommée pour la pyrolyse.

La courbe d'évolution de l'énergie libérée (cf. Figure 4-4a) lors des essais au cône réalisés pour les échantillons de bois [7] testés à moyenne et pleine échelle permettent alors de construire une courbe générique (cf. Figure 4-4b) en fonction du temps. En se basant sur des données issues de la littérature ou des bases de données internes [7], le bois atteindra rapidement un pic de  $400 \text{ kW/m}^2$ , se réduira à  $200 \text{ kW/m}^2$  durant 5 minutes puis brûlera autour de  $150 \text{ kW/m}^2$  tant que la température est supérieure à  $300^\circ\text{C}$  et qu'il reste du bois à consumer.



**Figure 4-4 : Évolution du débit calorifique en fonction du temps a) adimensionné pour les essais cône réalisés [7], b) réel retenu pour le calage**

Toutefois, lors des simulations numériques de validation sur les essais à plein échelle (cf. Annexe A.2), une adaptation des courbes fut nécessaire entre des parois CLT et des éléments filaires (poteau/poutre) sur les valeurs pics. Une décroissance de 70% en fonction du temps a également été introduite. En outre, une température d'inflammation/ignition de  $350^\circ\text{C}$  apparaît plus adaptée. Enfin, la chaleur latente de vaporisation de l'eau de  $2900 \text{ kJ/kg}$  a simplement été introduite pour reproduire la perte d'énergie. On obtient alors les courbes suivantes (cf. Figure 4-5).

Pour les modélisations de cette étude paramétrique, le modèle générique présenté sur la Figure 4-4b a été retenu avec une température d'ignition/extinction de  $300^\circ\text{C}$ . On rappelle que la durée du plateau est liée à l'épaisseur de bois.

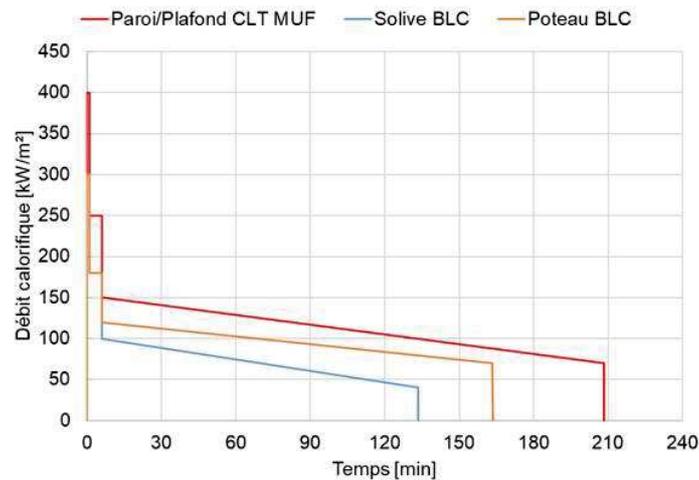


Figure 4-5 : Évolution du débit calorifique surfacique du bois retenue pour cette étude

#### 4.4. METHODE C

Cette méthode correspond, d'une certaine manière, à une combinaison des 2 précédentes méthodes, elle repose à la fois sur :

- La prise en compte de la diminution progressive du débit calorifique surfacique dégagé par le bois, observée lors des essais au cône calorimètre. En effet, ces essais (Figure 4-4 et Figure 4-6) montrent une diminution progressive du débit calorifique surfacique au cours du temps, et donc, au fur et à mesure de l'augmentation de l'épaisseur de bois carbonisée. Cette diminution traduit de l'effet isolant induit par la couche de charbon qui crée progressivement.

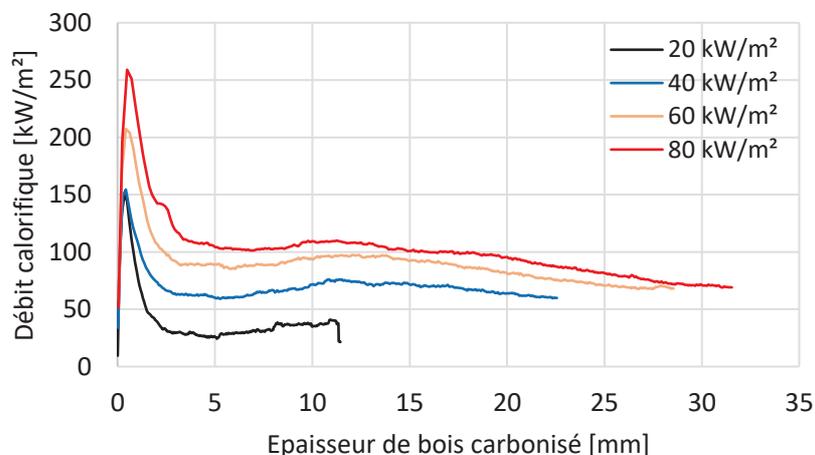
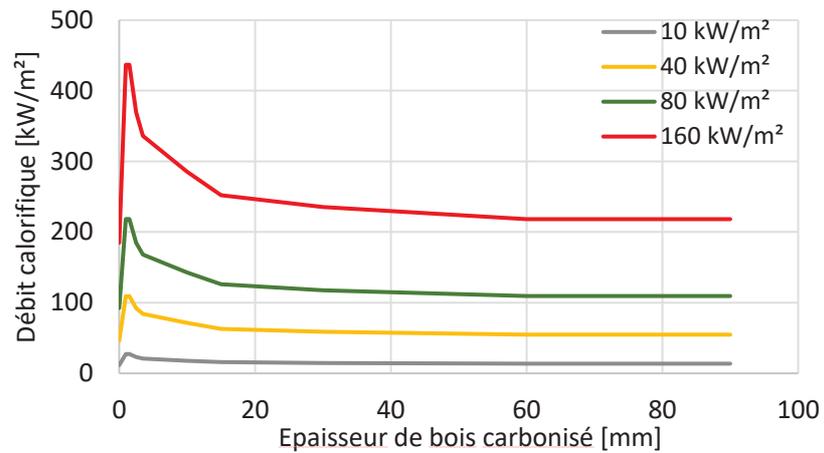


Figure 4-6 : Évolution du débit calorifique surface [kW/m²] en fonction de l'épaisseur de bois carbonisé [mm] pour différentes valeurs de sollicitations thermiques mesurée lors des essais au cône calorimètre

La prise en compte de l'impact de l'agression thermique perçue par le bois et donc pour différentes valeurs de flux net sur parois froides auxquelles le bois a été testée. La Figure 4-6 montre aussi que l'impact de l'épaisseur de bois carbonisée dépend de l'agression thermique à laquelle l'élément en bois est soumis.

À partir de cette analyse il a été proposé de recourir à une loi de contribution reposant sur l'évolution du débit calorifique en fonction de l'épaisseur de bois carbonisé et de la sollicitation thermique (voir Figure 4-7). L'auto-extinction est pilotée par la température d'inflammation, un passage en dessous d'une valeur limite de flux sur parois froides de 8 kW/m² ou par l'épuisement total du bois disponible.



**Figure 4-7 : Évolution du débit calorifique surface [kW/m²] en fonction de l'épaisseur de bois carbonisé [mm] pour différentes valeurs de sollicitations thermiques utilisées dans les modèles numériques**

## 5. MODELE NUMERIQUE

### 5.1. CODE DE CALCUL

Compte tenu des objectifs et de la volumétrie, le modèle de champ tridimensionnel FDS version 6 [20] développé par le NIST et utilisé par Efectis France et le CSTB depuis de nombreuses années, sera employé. Il intègre un modèle de combustion par suivi de la fraction de mélange et un modèle à grandes échelles (LES) pour la description des écoulements turbulents. Il permet de prédire le déplacement des fumées en prenant en compte la nature des combustibles, celle des parois, les effets aérauliques réels (ventilations, ouvrants, ...) et des géométries complexes.

Ce code de calcul en dynamique des fluides fournit, en fonction du temps et en tous points, les principaux paramètres suivants :

- la température des gaz (pour les sollicitations thermiques et les conditions d'évacuation) ;
- le flux thermique reçu par une cible localisée ;
- les conditions de dégagement de chaleur et de pyrolyse du bois de structure ;

### 5.2. MODELISATION

Les simulations numériques réalisées dans le cadre de cette étude paramétrique sont basées sur les modèles géométriques présentés sur la figure ci-après. Il s'agit uniquement de locaux parallélépipédiques.

Les foyers sont représentés par des surfaces au sol. Les ouvrants sont supposés toujours donner sur l'extérieur.

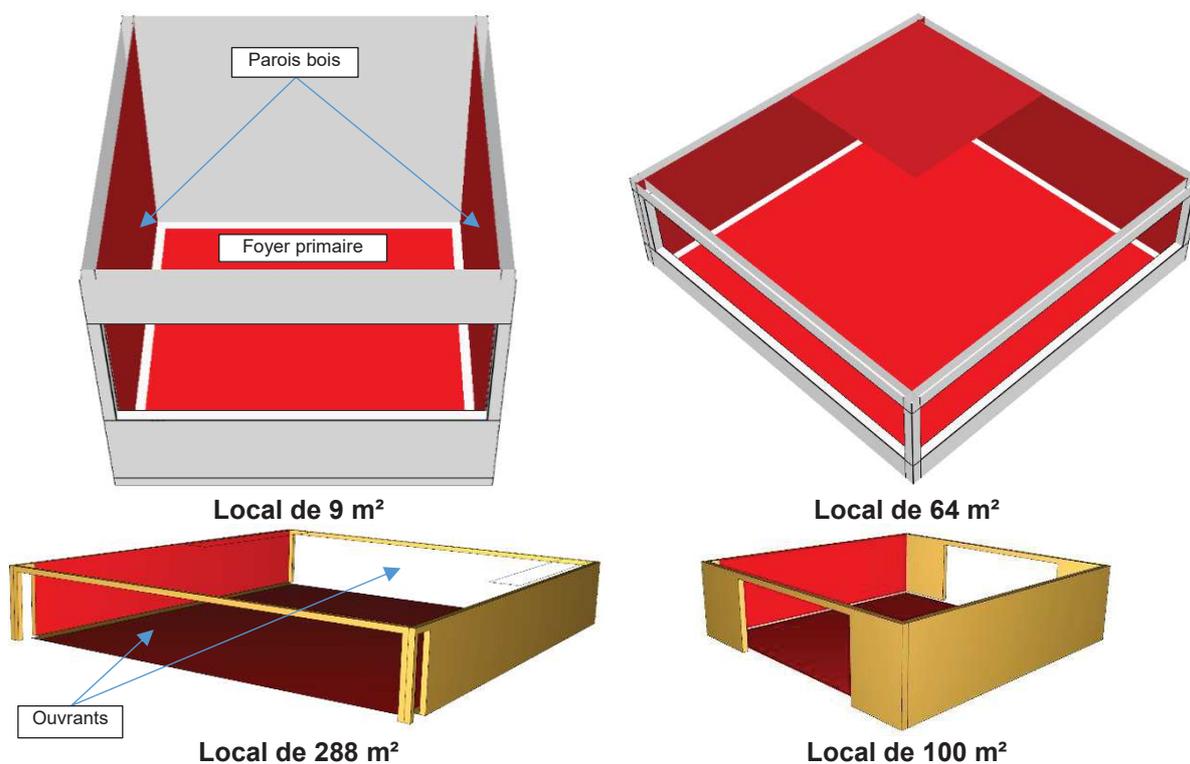


Figure 5-1 : Illustrations des modèles géométriques

### 5.3. HYPOTHESES DE CALCUL

Pour la réaction de combustion, un combustible cellulosique est pris en compte avec une chaleur de combustion de 17,5 MJ/kg et une production de suie de 0,01 g/g de combustible.

Pour les propriétés thermiques du bois, conductivité thermique et chaleur spécifique, les données indiquées dans les Eurocodes [13]. La masse volumique du bois considéré est de 450 kg/m<sup>3</sup> [13].

Les parois verticales et horizontales non combustible (cloisons intérieures, éléments de protection) sont représentées en plâtre, de masse volumique 845 kg/m<sup>3</sup>, et dont les propriétés thermiques sont les suivantes [25] :

- Conductivité thermique : 0,17 W/m/k ;
- Chaleur spécifique : 1 090 J/kg/K.

Aucune chute de ces éléments n'est considérée dans les calculs.

De même aucun vitrage n'est pris en compte, les ouvrant sont considérés ouverts dès le début des simulations.

## 6. RESULTATS

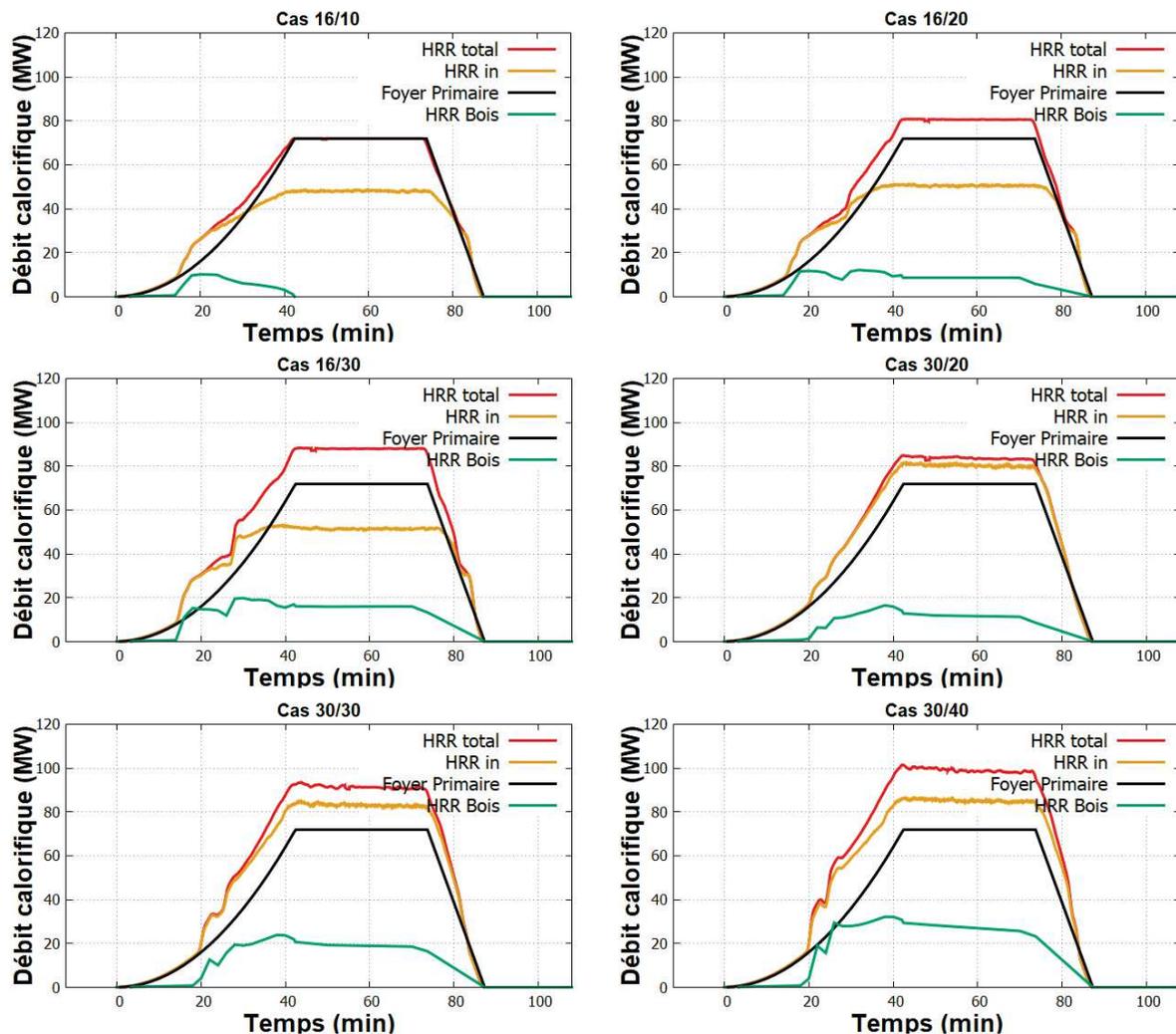
Les résultats présentent des évolutions de débits calorifiques (en MW) pour les différents cas simulés. Afin d'aider à la compréhension de ces graphiques, voici la définition des valeurs exploitées :

- Foyer primaire : foyer prescrit au niveau du sol correspondant au scénario de feu initial (feu de bureau ou de logement) ;
- HRR total : Puissance libérée par l'ensemble des foyers présents dans le local considéré (foyer primaire et contribution du bois) ;
- HRR bois ; Puissance libérée par la combustion des éléments de structure en bois uniquement ;
- HRR in : Puissance libérée à l'intérieur du local. Cette valeur permet de définir les conditions de ventilation de l'incendie. Ainsi, lorsqu'elle est inférieure au HRR total, l'incendie est considéré sous-ventilé.

*Remarque : les résultats présentés dans cette partie sont valables pour l'utilisation de la « Méthode B » et la « Méthode C » de prise en compte de la contribution à l'incendie des éléments de structure en bois (cf. § 4).*

### 6.1. CAS DE BUREAU

Les résultats obtenus pour les cas de bureau pour la configuration 16 x 18 m<sup>2</sup> sont présentés sur la figure ci-après. Pour information, l'indication telle que "cas 16/10" signifie 16 % de d'ouverture et 10 % de bois de structure apparent, selon les définitions présentées au § 3.2.



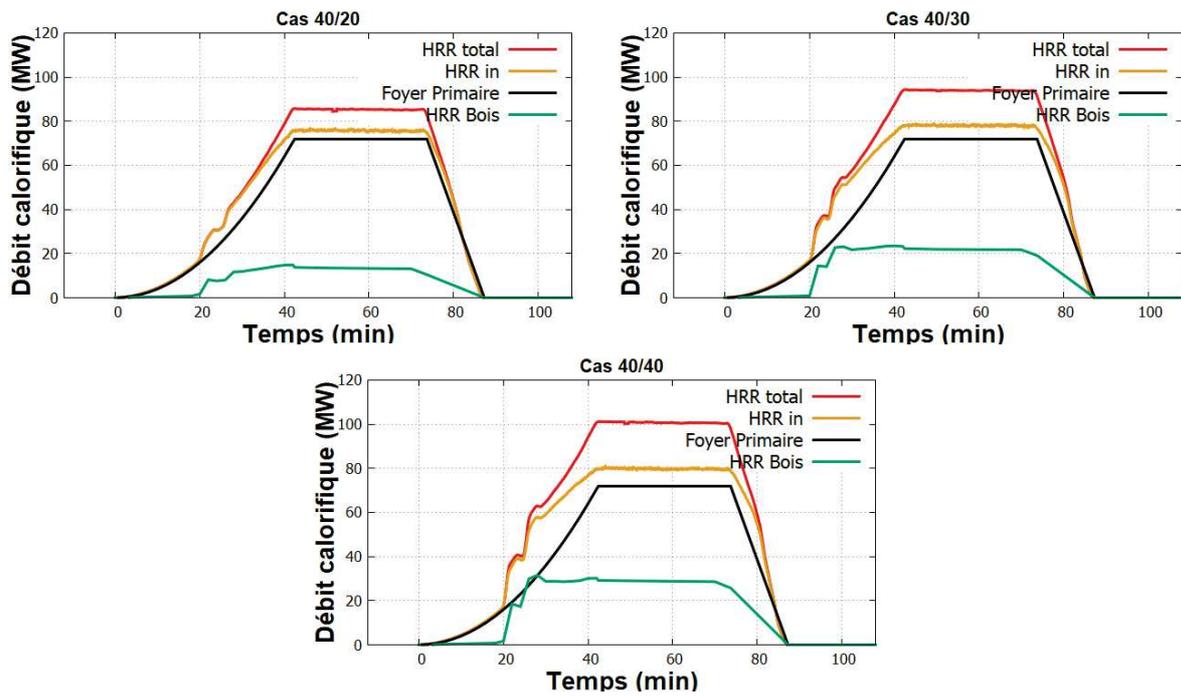
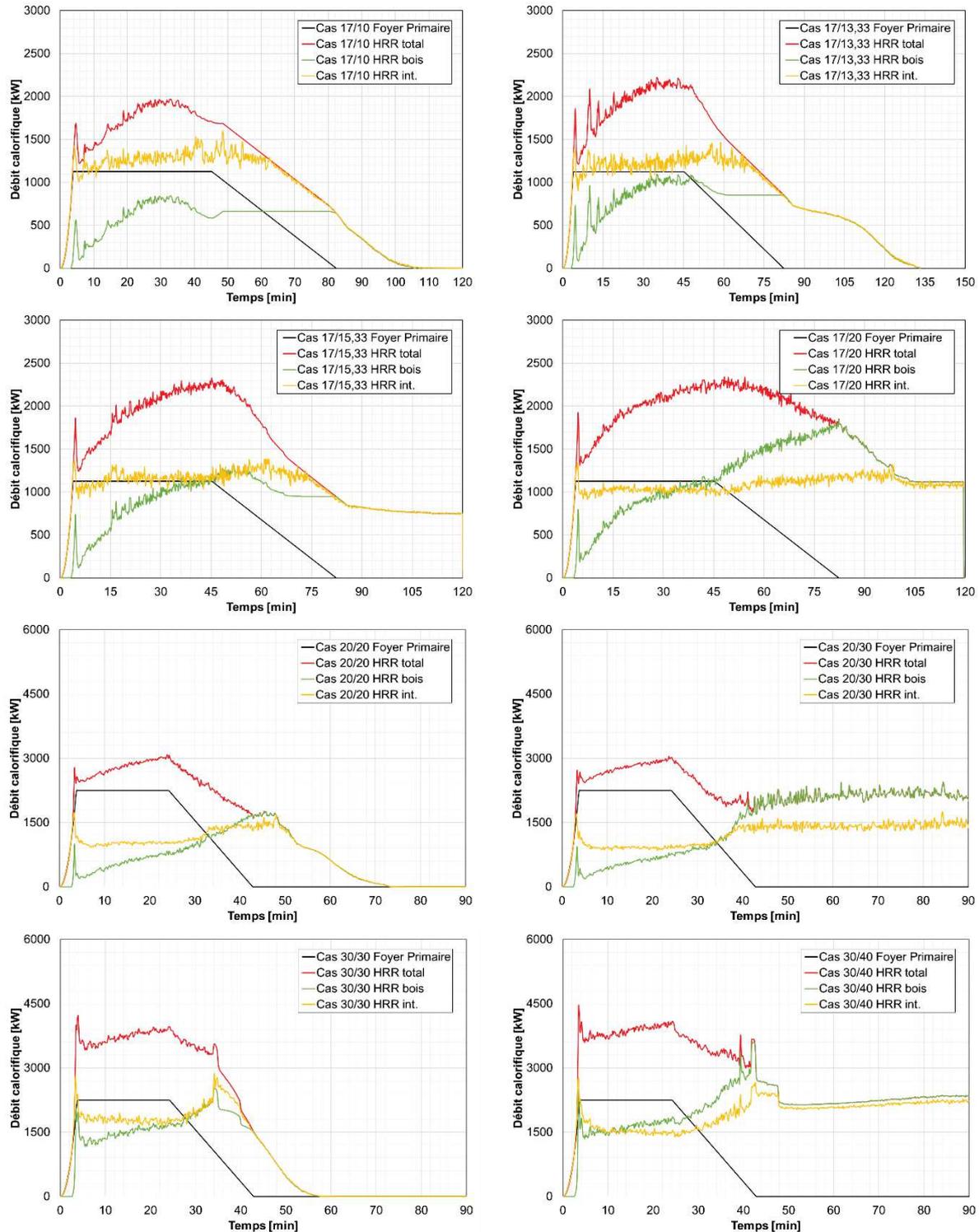


Figure 6-1 : Résultats de calcul selon la méthode C (bureau de 16x18m<sup>2</sup>)

## 6.2. CAS D'HABITATION

L'ensemble des résultats obtenus pour les cas d'habitation est présenté sur la figure ci-après. Pour information, l'indication telle que "cas 17/10" signifie 17 % de d'ouverture et 10 % de bois de structure apparent, selon les définitions présentées au § 3.2.



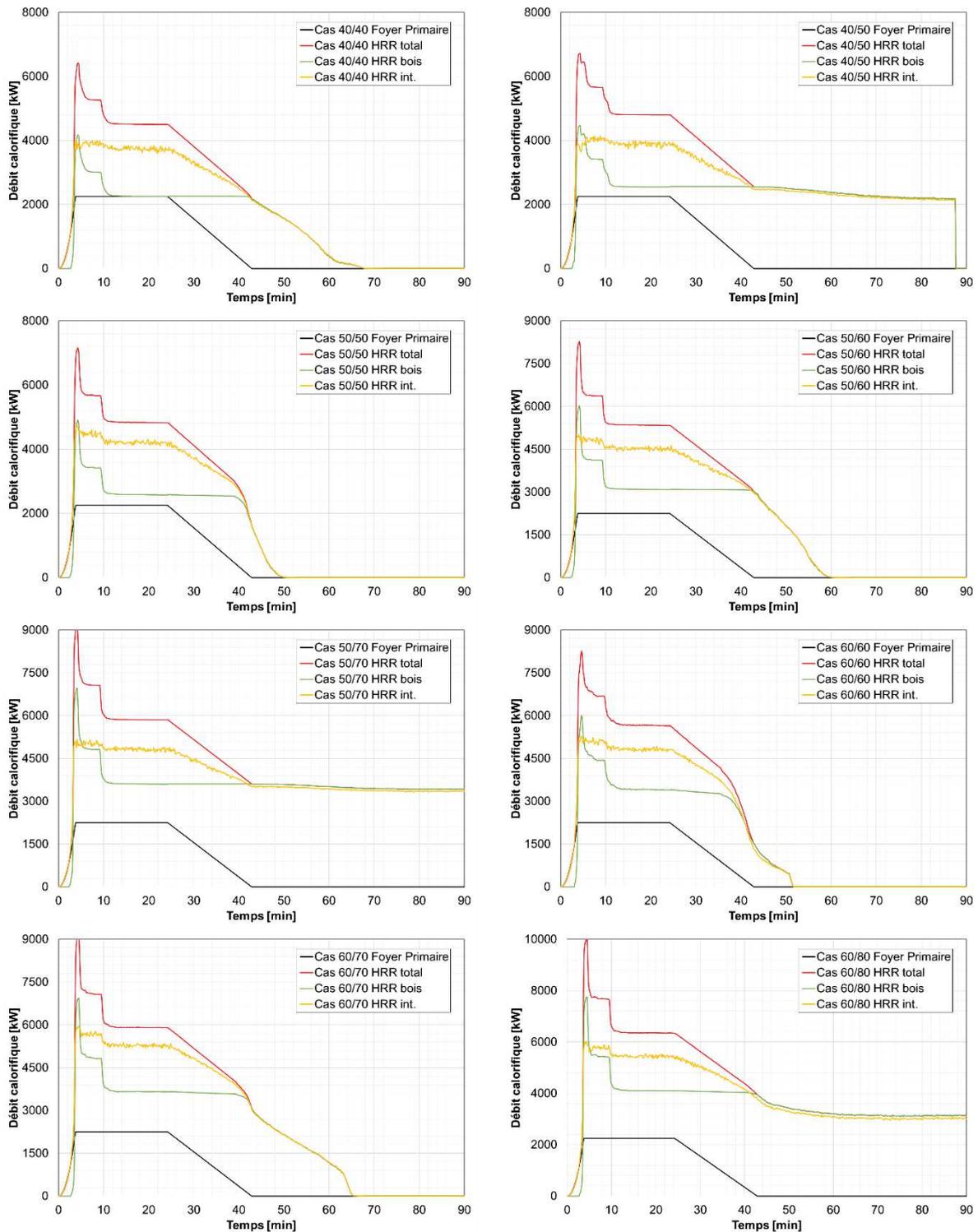


Figure 6-2 : Résultats de calcul selon la méthode B (Habitation 9m<sup>2</sup>)

### 6.3. BILAN

Comme il a déjà été indiqué en introduction, l'objectif de ce travail est de proposer un outil d'aide à la décision permettant d'évaluer de manière simple la surface de bois structural pouvant rester apparente, et conduisant à l'arrêt de combustion avec flammes vives, en cas d'incendie.

Le choix des configurations utilisé lors des calculs paramétriques se base sur un certain nombre d'hypothèses et conditions aux limites qui délimitent le domaine d'application de cet outil.

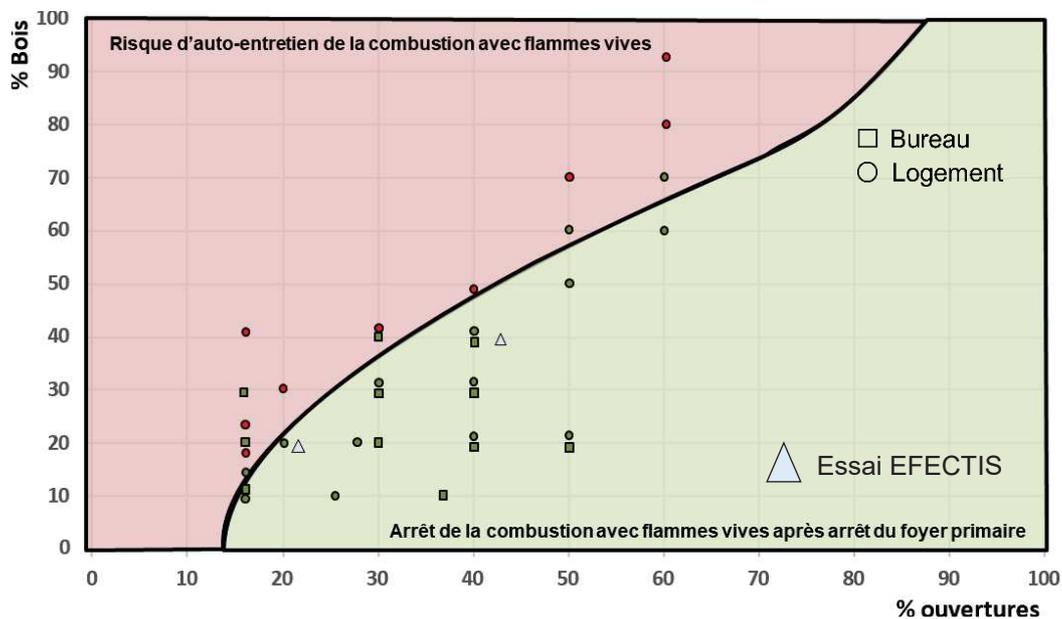
Les principales hypothèses sont les suivantes :

- La disposition de surface de bois peut se faire indépendamment du choix de conception (Murs, sous face du plancher haut, poteaux-poutres ...)
- Ces propositions couvrent des configurations géométriques de locaux parallélépipédiques, c'est-à-dire comportant quatre parois verticales
- Les surfaces de parois, plafond, ainsi que les surfaces d'ouvertures (les surfaces de fuites ne sont pas pris en compte dans le calcul des surfaces d'ouvertures) à considérer sont ceux du local étudié délimité par des parois verticales.
- Les éléments structuraux en bois plans sont réputés non délaminant.

Le pourcentage de bois apparent à prendre en compte repose sur le calcul de deux valeurs :

$$\% \text{ Bois} = \frac{\text{Surface de bois apparent}}{\text{Surface des parois verticales} + \text{surface du plafond} - \text{surface d'ouverture}}$$

$$\% \text{ ouvertures} = \frac{\text{Surface d'ouverture}^5}{\text{Surface de plancher}}$$



**Figure 6-3 : Abaque identifiant le couple % bois et % d'ouverture permettant d'atteindre le critère d'arrêt de la combustion avec flammes vives après arrêt du foyer primaire.**

La Figure 6-3 présente les configurations étudiées pour le cas des logements et des bureaux. Dans le cas où un auto-entretien de la combustion avec flammes vives est observé les symboles □ et ○ sont en rouge, et en vert dans le cas contraire.

L'ensemble des points est représenté sur la figure sans précision de la méthode de contribution du bois. Une étude de sensibilité des modèles est présentée plus loin dans le rapport.

<sup>5</sup> Surface connectée à l'extérieur ou à un volume connecté à l'environnement extérieur

Sur la base de ces résultats, une courbe est proposée. Elle permet de délimiter les deux domaines ou les résultats des simulations numériques montrent que l'arrêt de combustion avec flammes vives du bois structural a lieu ou risque de ne pas se produire. Par ailleurs, il a été considéré qu'au-delà d'un pourcentage d'ouvertures de 60 %, les surfaces d'ouvertures sont trop importantes et peu réaliste. Cette zone n'a pas été traitée de façon approfondie.

Cet abaque permet d'identifier les plages de valeurs des combinaisons %bois et %ouvertures qui permettent d'atteindre le critère d'arrêt de la combustion avec flammes vives après arrêt du foyer primaire. Ainsi, en phase de conception cet outil permettra d'identifier, sans recours à des calculs de développement du feu avancés, à une estimation rapide de la quantité de bois qui peut rester apparente.

On rappellera que le critère d'arrêt de la combustion avec flammes vives est nécessaire mais insuffisant pour juger de la stabilité au feu des structures en cas d'incendie.

## 7. ANALYSES DE L'IMPACT DE CERTAINS PARAMETRES

### 7.1. EFFET DE LA METHODE DE CONTRIBUTION

La méthode A n'est pas évaluée dans ce cas. En effet, cette méthode a déjà montré qu'elle évaluait de façon très enveloppe la contribution bois et induisait de façon systématique l'auto-entretien de la combustion avec flamme vive dans le cas des logements [2][3][4] ou une très forte sous-ventilation qui mène à une auto-extinction artificielle des éléments bois [5]. Elle générerait aussi des feux fortement sous-ventilés dans le cas des bureaux. Il s'agira donc d'une méthode applicable pour des cas de feu localisé ou des feux libres [26][27].

Pour des cas de feu généralisé dans des espaces clos, les méthodes B et C sont plus adaptés. Ainsi nous présentons uniquement une comparaison entre la méthode B et C pour des configurations limites :

- Cas logement 9m<sup>2</sup> d'une surface d'ouverture de 16 % et une surface de bois de 20 % (Figure 7-1).
- Cas bureau 288m<sup>2</sup> avec des surfaces d'ouverture de 30 et 40 % et des surfaces de bois de 30 et 40% (**Figure 7-2**):

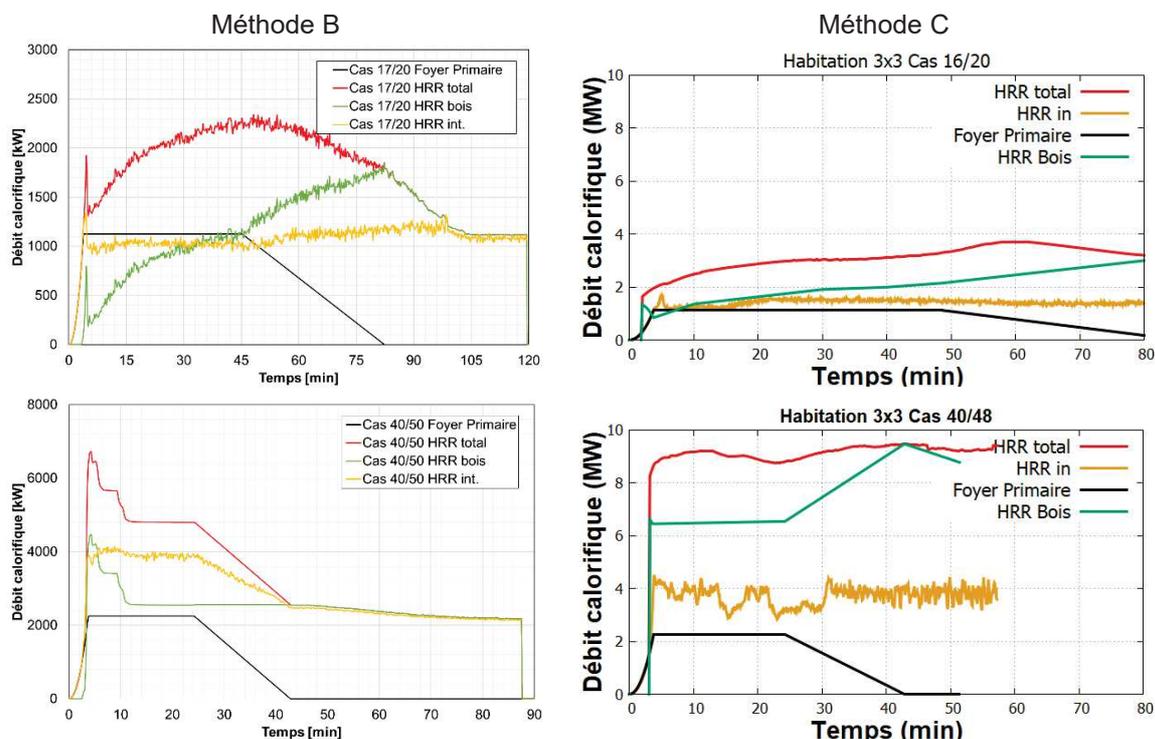
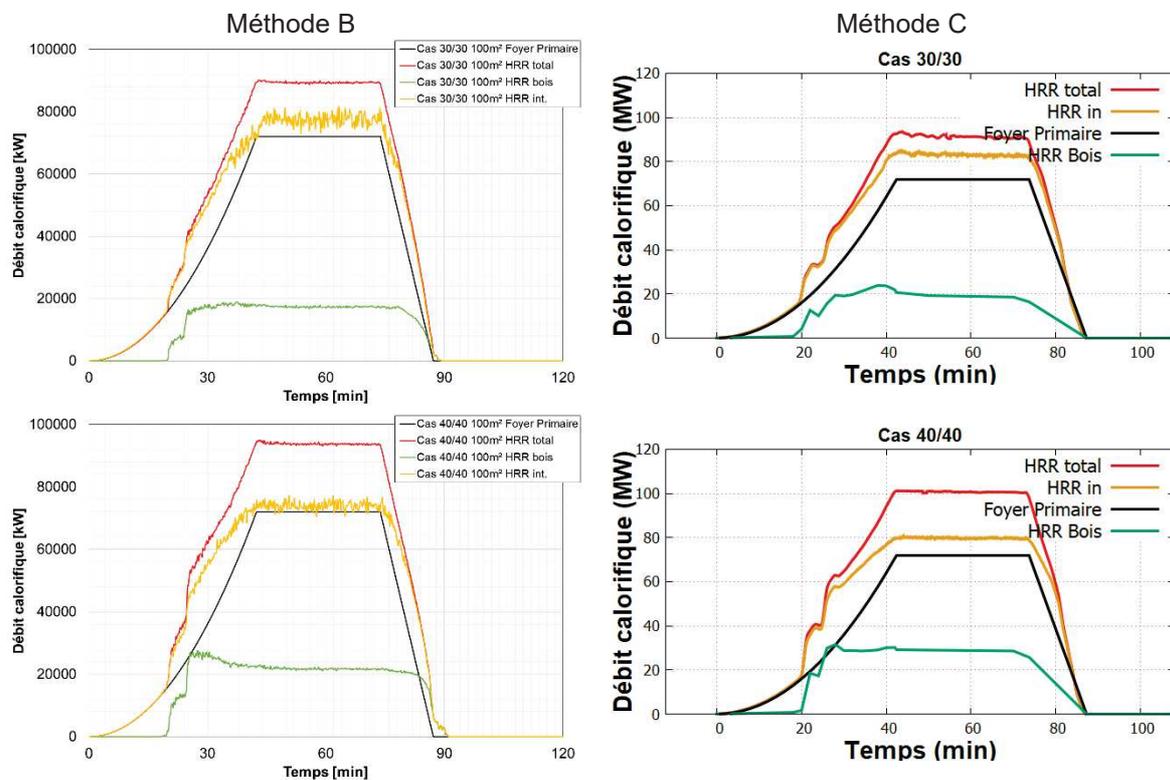


Figure 7-1 : Résultats de calcul selon les méthodes B et C

Il apparaît au vu des résultats que pour les 2 méthodes utilisées le phénomène d'auto-entretien de la combustion se produit dans le cas de petits locaux.

Basé sur la **Figure 7-2**, Il est intéressant de souligner que pour les mêmes ratios de surface de bois et d'ouverture ce phénomène n'est pas observé pour des configurations de plus grandes dimensions (cas 16x18 m<sup>2</sup>).

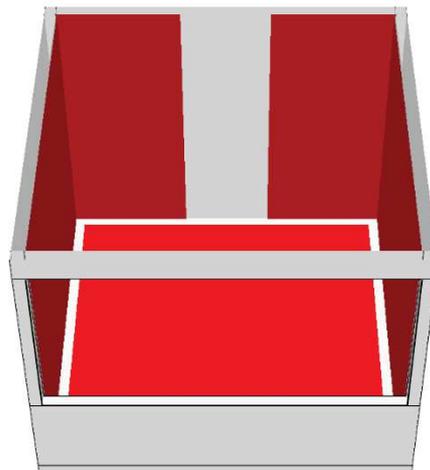


**Figure 7-2 : Résultats de calcul selon les méthodes B et C**

On notera que la méthode de prise en compte de la combustion du bois n'a pas d'impact sur les résultats. En effet, les phénomènes sont identiques (extinction et auto-entretien pour les mêmes cas) et les ordres de grandeur des différentes valeurs étudiées en termes de puissances libérées sont également proches.

## 7.2. EFFET DE LA CHARGE CALORIFIQUE

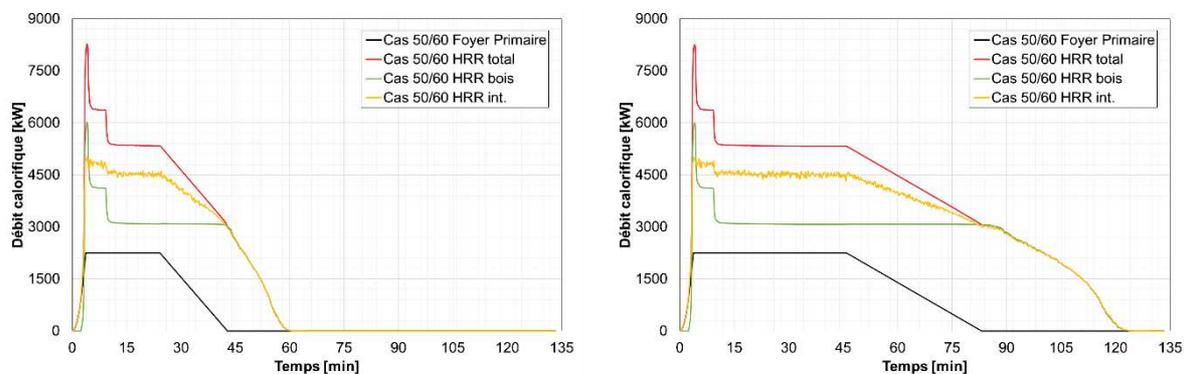
Afin d'évaluer l'impact de la charge calorifique et donc de la durée d'exposition des parois en bois sur la capacité d'auto-extinction, il est proposé de retenir un cas à la limite de la courbe proposée précédemment (Figure 6-3), soit un pourcentage d'ouverture de 50% et un pourcentage de bois de 60%.



**Figure 7-3** Modèle géométrique considéré pour l'effet de la charge calorifique

Les charges calorifiques retenues sont 465 MJ/kg et 930 MJ/kg. Pour information, cette analyse est réalisée en utilisant la Méthode B de contribution du bois.

Les résultats, présentés sur la figure ci-après, montrent un comportement similaire pour les deux cas étudiés. En effet, l'auto-extinction est bien observée quelques minutes après l'extinction du foyer primaire. La durée d'exposition semble avoir un léger impact sur le temps d'auto-extinction avec une auto-extinction en 15 minutes pour le cas 465 MJ/kg (à gauche sur la figure) et de 40 minutes pour le cas 930 MJ/kg (à droite sur la figure). Par ailleurs, ce résultat suggère que le temps d'auto-entretien de la combustion avec flammes vives, au-delà de la phase du foyer primaire, augmente en fonction du temps d'exposition de façon non linéaire.



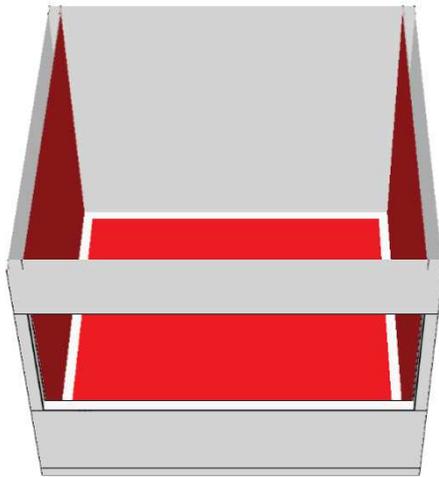
**Figure 7-4 :** Résultats de calcul pour un local de 9m<sup>2</sup> avec 50% d'ouverture et 60% de surface de bois pour une charge calorifique de 465MJ/m<sup>2</sup> (à gauche) et 930MJ/m<sup>2</sup> (à droite)

### 7.3. EFFET DES DIMENSIONS

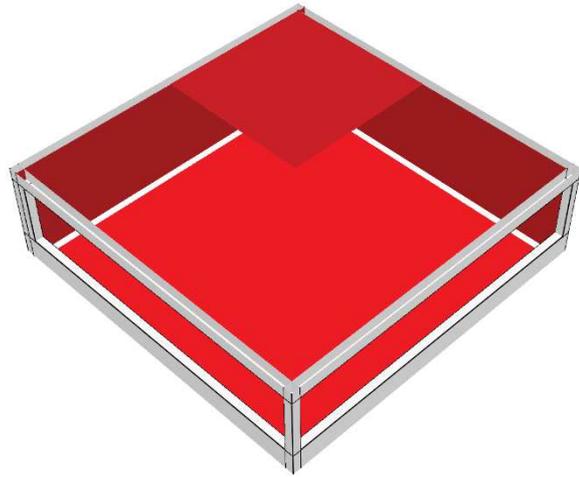
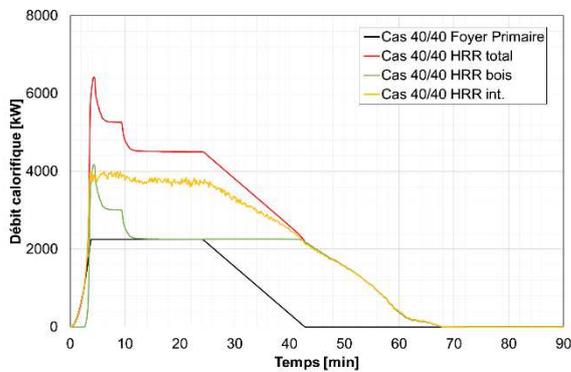
L'influence des dimensions du local a été investiguée. Les résultats présentés sur la figure ci-après montrent que les dimensions du local ont peu ou pas d'impact sur l'auto-extinction pour la plupart des configurations testées, et quelle que soit la Méthode de contribution.

Cependant, en deçà d'un certain seuil de surface d'ouverture rapportée aux dimensions du local, il a été observé un changement de comportement notamment entre la configuration logement et celle d'un bureau ((le cas 16% d'ouverture 20 % de bois et le cas 40% d'ouverture 48 % de bois). En effet, pour des faibles pourcentages d'ouverture et un local de faibles dimensions, un effet de confinement thermique bride le refroidissement des gaz chauds dans le local. Ainsi, pour un même pourcentage d'ouverture, un petit local aura plus de difficultés à faire chuter la température à un niveau acceptable pour atteindre l'auto-extinction qu'un grand local.

Cet effet est moins probant avec la méthode C.



Local de 9 m<sup>2</sup>



Local de 64 m<sup>2</sup>

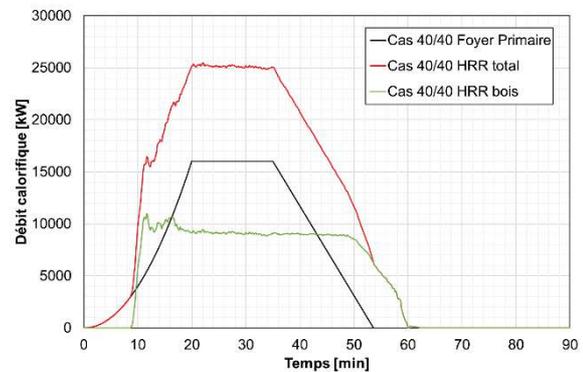
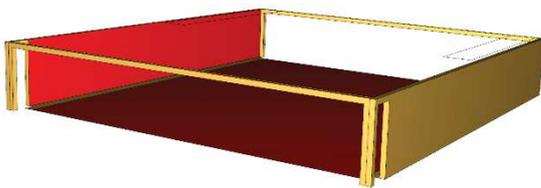
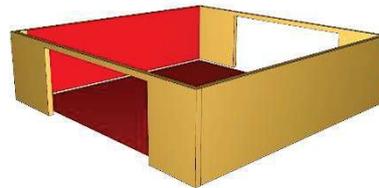
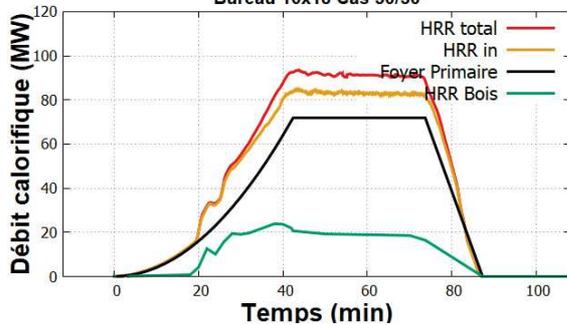


Figure 7-5 : Évaluation de l'effet des dimensions du local (Méthode B)



Bureau 16x18 Cas 30/30



Bureau 10x10 Cas 30/30

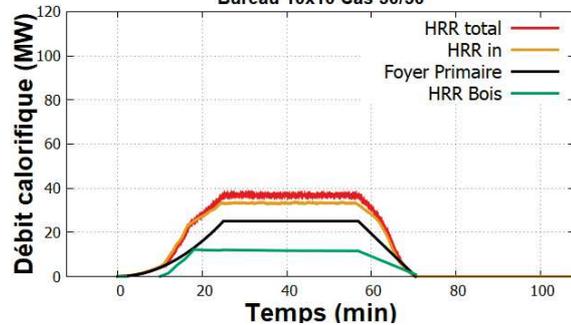
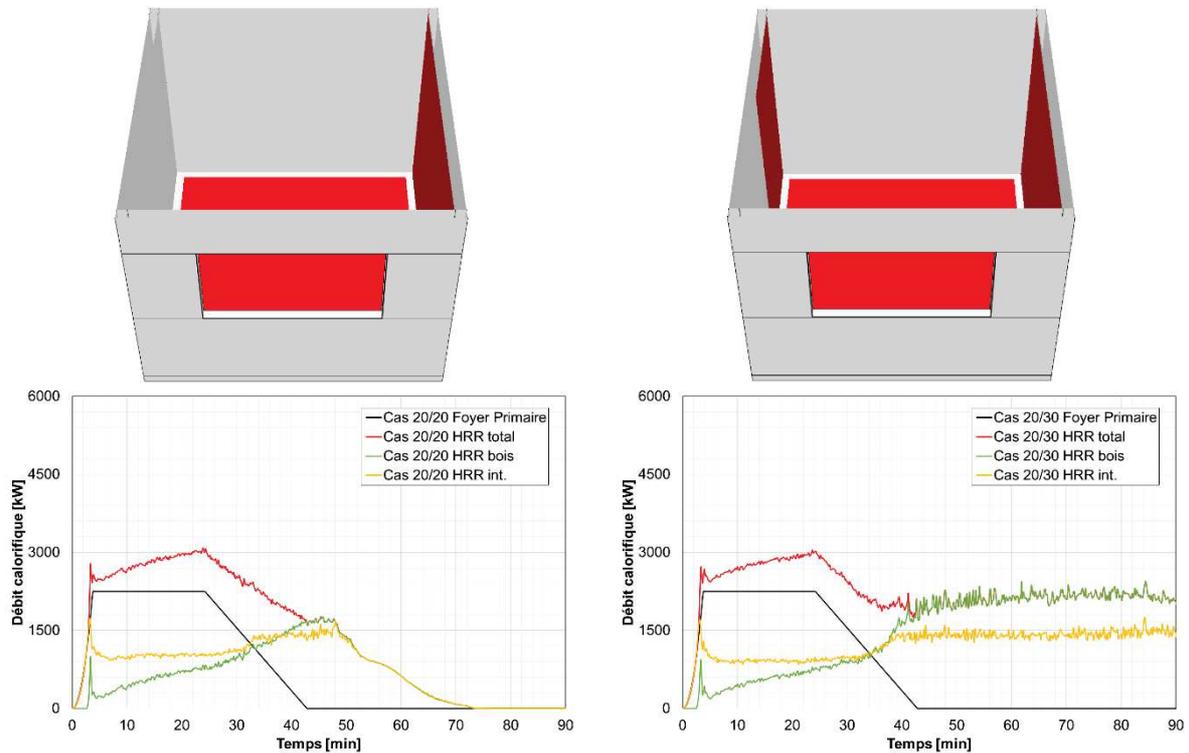


Figure 7-6 : Évaluation de l'effet des dimensions du local (Méthode C)

## 7.4. EFFETS DES POURCENTAGES

### 7.4.1. Pourcentage de bois

La figure ci-après présentent les résultats obtenus pour deux cas de calcul logement (9m<sup>2</sup>) à 20% d'ouverture pour un pourcentage de bois de 20 et 30% respectivement. Ces résultats montrent l'effet du pourcentage de bois sur l'apparition des conditions d'auto-extinction. Ainsi, alors que la puissance libérée pendant la phase de généralisation de l'incendie est globalement identique (environ 3 MW), l'augmentation de la surface de bois va apporter la charge calorifique supplémentaire nécessaire à l'auto-entretien.



#### 7.4.2. Pourcentage d'ouverture

La figure ci-après présente les résultats obtenus pour deux cas de calcul logement (9m<sup>2</sup>) à 30% de bois pour un pourcentage d'ouverture de 20 et 30% respectivement. Ces résultats montrent l'effet du pourcentage d'ouverture sur l'apparition des conditions d'auto-extinction. Ainsi, alors que la puissance libérée pendant la phase de généralisation de l'incendie est supérieure d'environ 500 kW du fait d'un apport d'air complémentaire, l'augmentation de la surface d'ouverture va apporter l'air frais nécessaire au refroidissement des gaz chauds à la fin du foyer primaire, permettant d'obtenir les conditions d'auto-extinction.

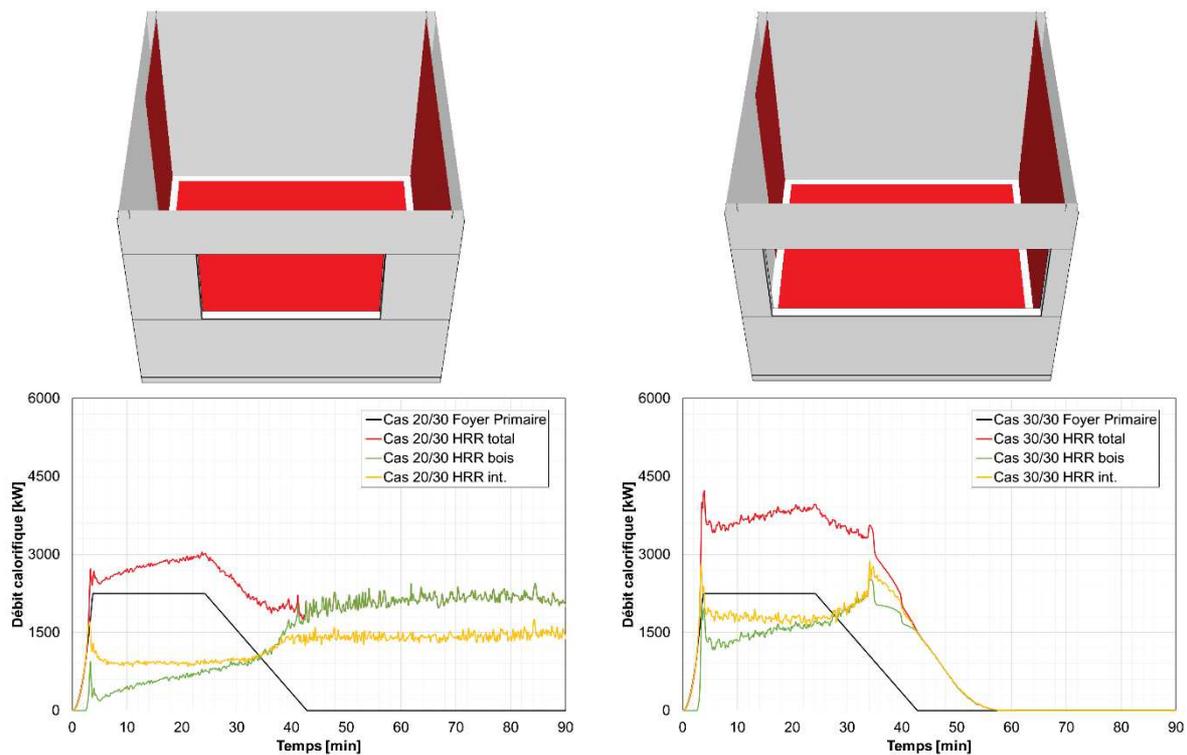


Figure 7-8 : Évaluation de l'effet du pourcentage d'ouverture (Méthode B)

## 8. CONCLUSION

La présente étude paramétrique a permis de proposer un outil simple permettant d'évaluer la quantité de bois structural qui peut être laissée apparent dans un local tout en garantissant l'arrêt de sa combustion après extinction du foyer primaire (mobilier).

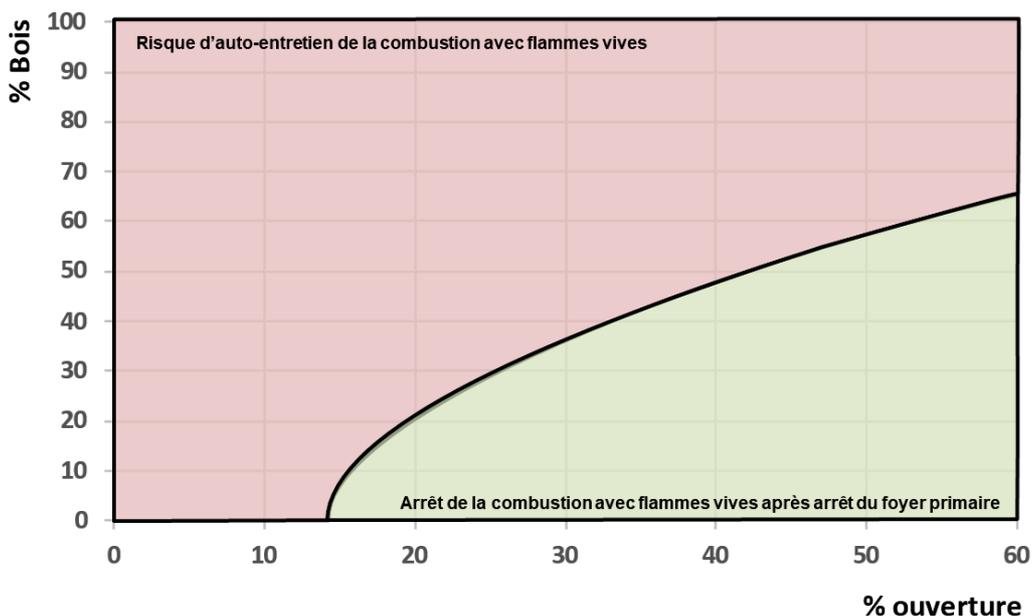
L'étude paramétrique s'est basée sur des simulations numériques réalisées avec code de calcul FDS pour lesquelles des configurations reproduisant des cas des logements et bureaux ont été modélisées.

Compte tenu des résultats expérimentaux pris en compte et de la validation des modèles de calcul utilisés, sur la base des calculs réalisés, l'abaque de la figure 8-1 est proposé. Il permet d'identifier les plages de valeurs des combinaisons %bois et %ouvertures qui permettent d'estimer si le critère d'arrêt de la combustion avec flammes vives après arrêt du foyer primaire sera atteint ou non. Ainsi, en phase de conception cet outil permettra une estimation rapide de la surface de bois de structure qui peut rester apparente.

Les pourcentages de bois de structure apparent et d'ouverture, pour un local donné, sont déterminés comme suit :

$$\text{Bois} = \frac{\text{Surface de bois apparent}}{\text{Surface des parois verticales} + \text{surface du plafond} - \text{surface d'ouverture}}$$

$$\% \text{ ouvertures} = \frac{\text{Surface d'ouverture}^6}{\text{Surface de plancher}}$$



**Figure 8-1 : Abaque relatif au couple % bois et % d'ouverture permettant de statuer sur l'arrêt de la combustion avec flammes vives après arrêt du foyer primaire**

Le domaine d'application de cet abaque est le suivant :

- Local de 9 m<sup>2</sup> à 70 m<sup>2</sup>, quel que soit la charge incendie mobilière dans le cas d'un immeuble d'habitation, et dans la limite supérieure de 930 MJ/m<sup>2</sup> pour les autres activités,
- Local de 9 m<sup>2</sup> à 300 m<sup>2</sup>, quel que soit la charge incendie mobilière dans le cas d'un immeuble de bureaux, et dans la limite supérieure de 740 MJ/m<sup>2</sup> pour les autres activités,
- Quel que soit l'essence de bois structural apparent,
- Locaux parallélépipédiques, c'est-à-dire ayant quatre parois verticales planes,

<sup>6</sup> Surface connectée à l'extérieur ou à un volume connecté à l'environnement extérieur

- 
- Surface de bois apparent constituée d'éléments plans à base de panneau en bois, type lamellé croisé avec colle "non-délaminante", disposé en plafond ou en cloison (avec possibilité de cumul de la surface de bois apparent entre éléments verticaux et éléments horizontaux),
  - En cas de poteau et poutre en bois apparent, la surface de bois apparent correspond à la surface développée de ces éléments. Il n'est pas possible de les cumuler avec la surface d'éléments plans.
  - Au-delà de 60% d'ouverture un calcul supplémentaire peut être nécessaire en fonction de la configuration géométrique du local.

On rappelle que ce document n'est pas une appréciation de laboratoire générique, mais un outil d'aide au choix préalable d'une configuration pour la maîtrise d'œuvre, le maître d'ouvrage ou le bureau d'étude. La nécessité de réaliser un calcul spécifique de validation de la configuration restera à la discrétion du maître d'ouvrage ou à la demande des autorités.

## ANNEXE A VALIDATION DES MODELES DE CONTRIBUTION

### A.1 INTRODUCTION

Cette annexe a pour objet d'illustrer les cas de validation des modèles de contribution B et C sur la base des essais à moyenne [8] et pleine échelle [9] menés dans cadre des travaux avec ADIVbois.

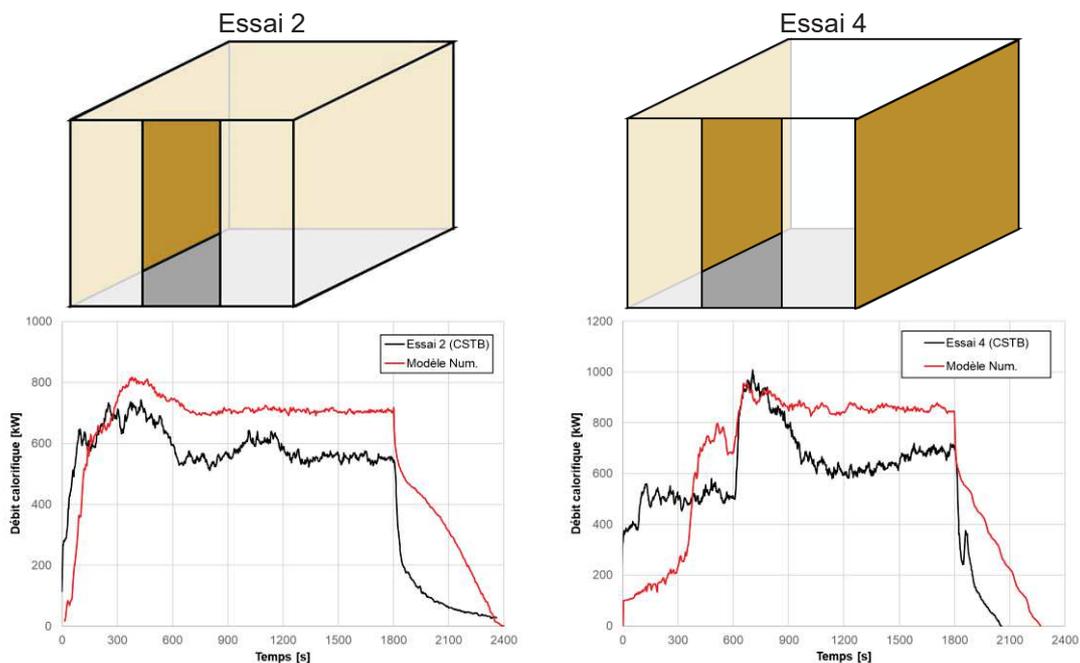
Le modèle de contribution A avait déjà fait l'objet d'évaluation lors d'études précédentes [2].

### A.2 VALIDATION DU MODELE DE CONTRIBUTION B

#### A.2.1 Essais à moyenne échelle

On présente ci-après deux modélisations des essais à moyenne échelle [8] ayant servi à la validation du modèle de contribution selon le § 4.3. Des situations d'essai sans problème de sous-ventilation avec un taux d'ouverture de 57% et une surface de bois de 45% ont été choisies. Pour mémoire le foyer et un bruleur gaz débitant une puissance de 100kW pendant une demi-heure.

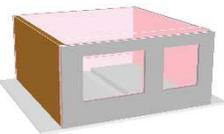
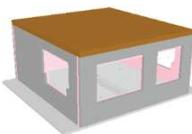
Outre la relative bonne corrélation des puissances entre les essais et le modèle numérique, on notera que le résultat obtenu est cohérent avec l'abaque final ( ) sur les conditions d'auto-extinction.



**Figure A-2 : Comparaison des débits calorifiques mesurés et calculés pour les essais 2 et 4 à moyenne échelle [8]**

## A.2.2 Essais à pleine échelle

On rappelle en premier lieu les configurations et résultats des essais à plein échelle réalisés dans le cadre des travaux avec ADIVbois [9]. Les configurations sont largement ventilées.

Essai	1	2	3	4
schéma				
Configuration de la cellule d'essai				
Dimensions intérieures	5,17mx5,55m (lxP) 2,64m (h)	5,15mx5,55m (lxP) 2,68m (h)	5,15mx5,55m(lxP) 2,64m (h)	5,15mx5,55m (lxP) 2,68m (h)
Taux ouverture <sup>7</sup>	19%	42%	42%	42%
Foyer primaire	1775kg de bois 968MJ/m <sup>2</sup>	1464kg de bois 809MJ/m <sup>2</sup>	1441kg de bois 795MJ/m <sup>2</sup>	1490kg de bois 822MJ/m <sup>2</sup>
Configuration de la structure « Bois »				
Face	Mur CLT MUF	Plafond CLT MUF	Poteau/poutres LC	Plafond CLT PU
Surf. Bois <sup>7</sup>	14,65m <sup>2</sup> (17%)	28,58m <sup>2</sup> (39%)	26,07m <sup>2</sup> (35%)	28,58m <sup>2</sup> (39%)
Illustration				
Principaux résultats				
Pic HRR Total	9000 kW	11000 kW	8000 kW	13000 kW
Pic HRR Foyer primaire	6000 kW	6000 kW	5000 kW	7000 kW
Pic HRR Structure bois	4000 kW	7000 kW	5000 kW	9000 kW
Auto-extinction	Oui	Oui	Oui	Oui

**Tableau A-1 : Synthèse des configurations et résultats des essais à pleine échelle [9]**

On présente dans un premier temps les résultats pour la modélisation de l'essai 1 (avec une paroi verticale en CLT MUF), puis de l'essai 2 (avec un plafond CL MUF).

Si la comparaison entre des essais pleine échelle et des simulations numériques sont toujours sujettes à caution, on constate que les modèles de contribution permettent de capter les principaux phénomènes et reproduisent dans une certaine mesure les niveaux mesurés.

<sup>7</sup> Au sens des formules du § 3.2

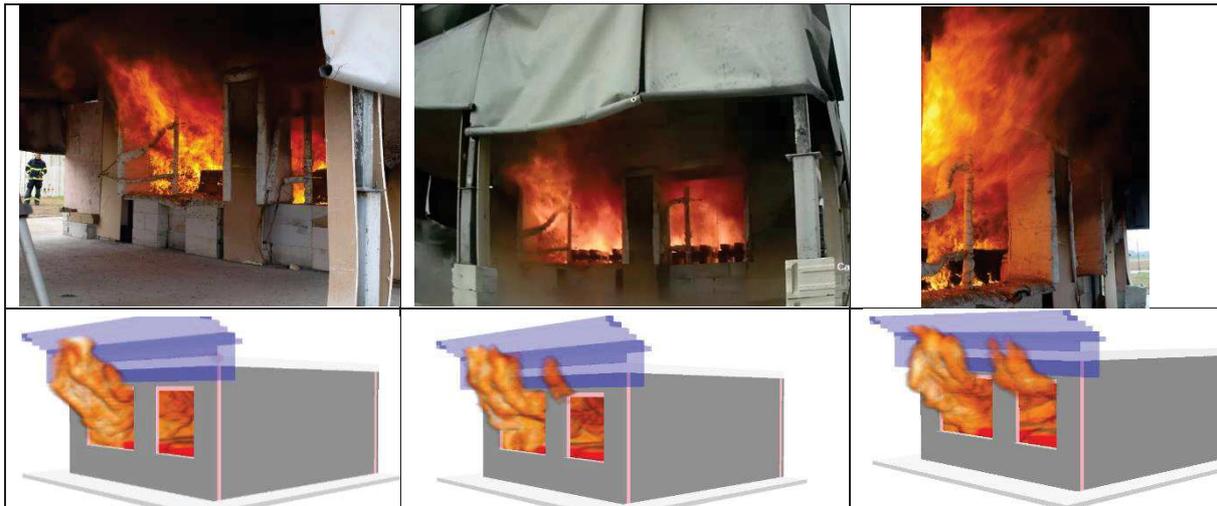


Figure A-3 : Comparaison qualitative de la libération d'énergie/flammes aux ouvertures pour différents instants de l'Essai 1 entre prises de vue et calcul

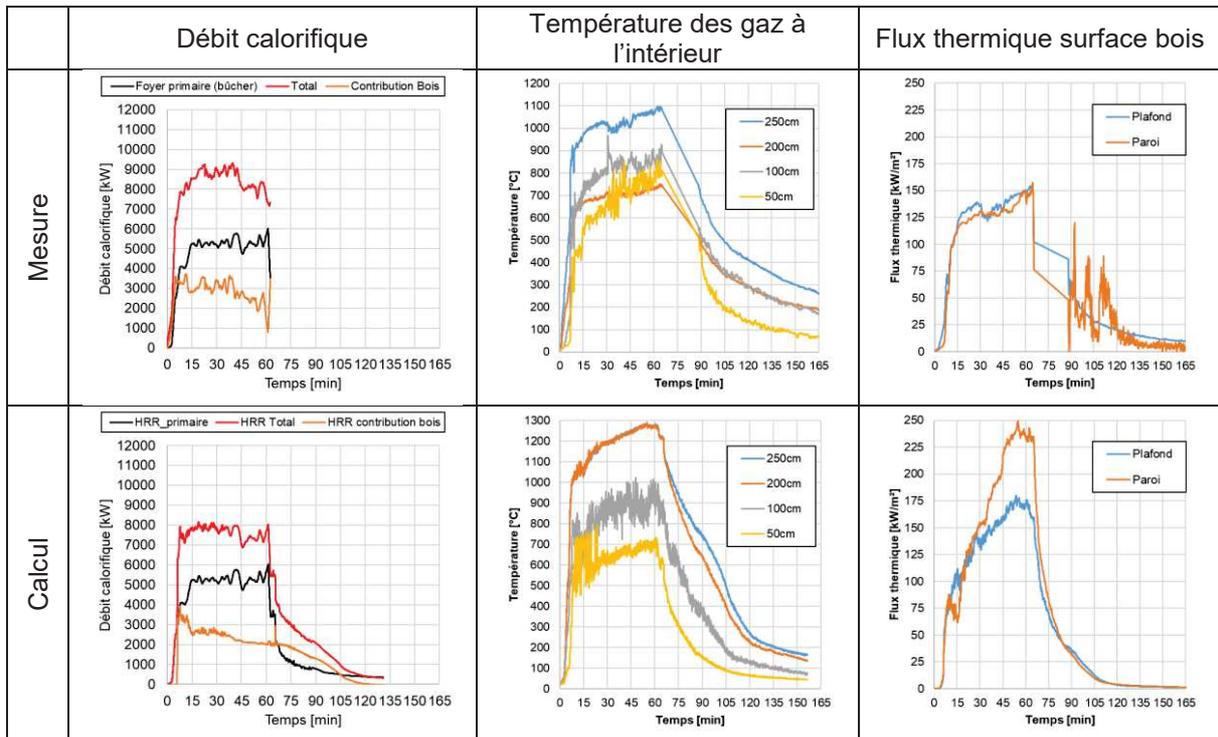


Figure A-4 : Comparaison quantitative pour l'essai 1 entre Mesures et calculs avec modèle B



Figure A-5 : Comparaison qualitative de la libération d'énergie/flammes aux ouvertures pour différents instants de l'Essai 2 entre prises de vue et calcul

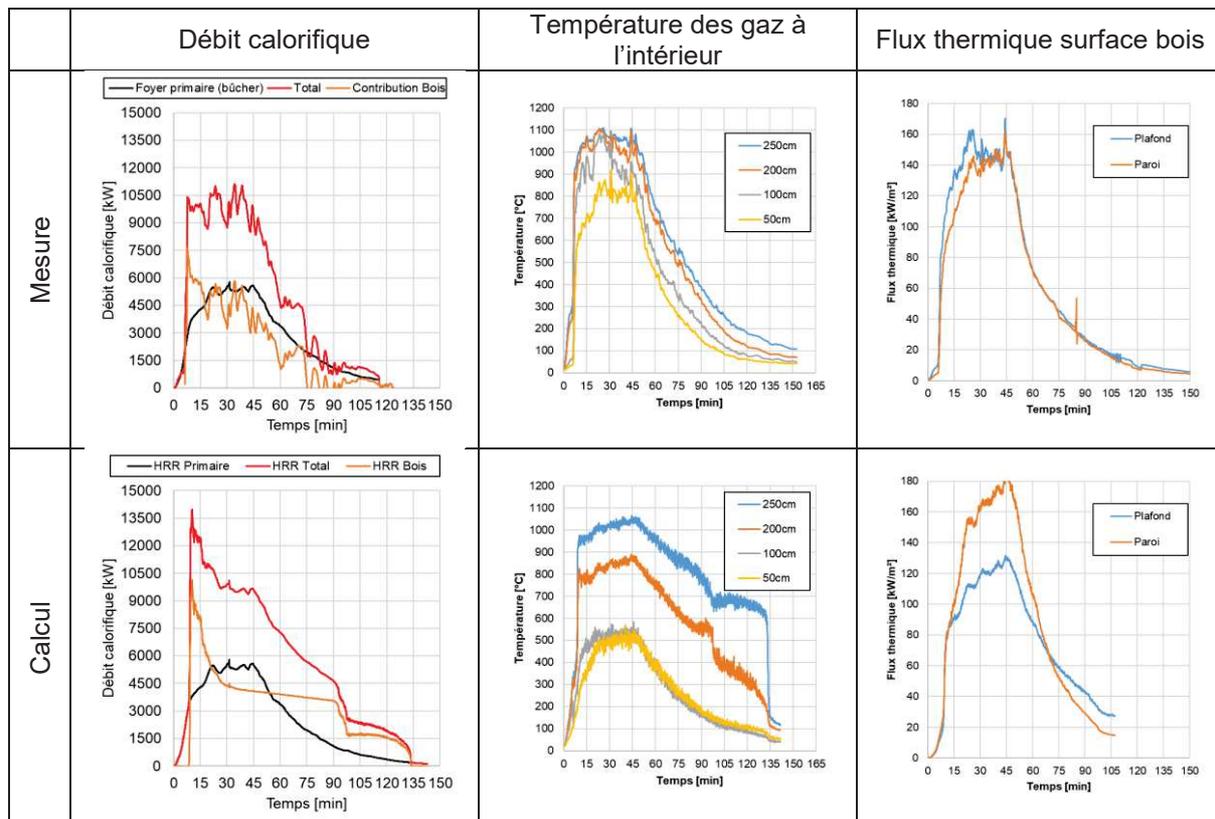


Figure A-6 : Comparaison quantitative pour l'essai 2 entre Mesures et calculs avec modèle B

### A.3 VALIDATION DU MODELE DE CONTRIBUTION C

Les résultats ci-dessous, présentent les principales conclusions mettant en évidence la capacité de la méthode C de contribution de bois à reproduire le phénomène d'auto-extinction en comparaison à la méthode A

Essais	Configuration	Puissance du brûleur (kW)	Taux d'ouverture <sup>8</sup>	Résultat	Prédiction
1	2 panneaux en coin	100	50	Extinction	Auto-entretien
2	2 panneaux en coin	100	100	Extinction	<ul style="list-style-type: none"> <li>Méthode C: Extinction</li> <li>Méthode A: Auto-entretien</li> </ul>
3	2 panneaux en vis-à-vis	50	50	Extinction	Auto-entretien
4	2 panneaux en vis-à-vis	100	100	Extinction	<ul style="list-style-type: none"> <li>Méthode C : Extinction</li> <li>Méthode 1: Auto-entretien</li> </ul>
5	2 panneaux en coin et un au plafond	100	100	Extinction	Auto-entretien
6	2 panneaux en coin et un au plafond	50	50	Extinction	Auto-entretien
7	2 panneaux en coin et un au plafond	50	25	Auto-entretien	Auto-entretien
8	2 panneaux en coin et un au plafond	100	50	Extinction	Auto-entretien

Tableau A-2 : Résumé des essais moyenne échelle réalisés [8]

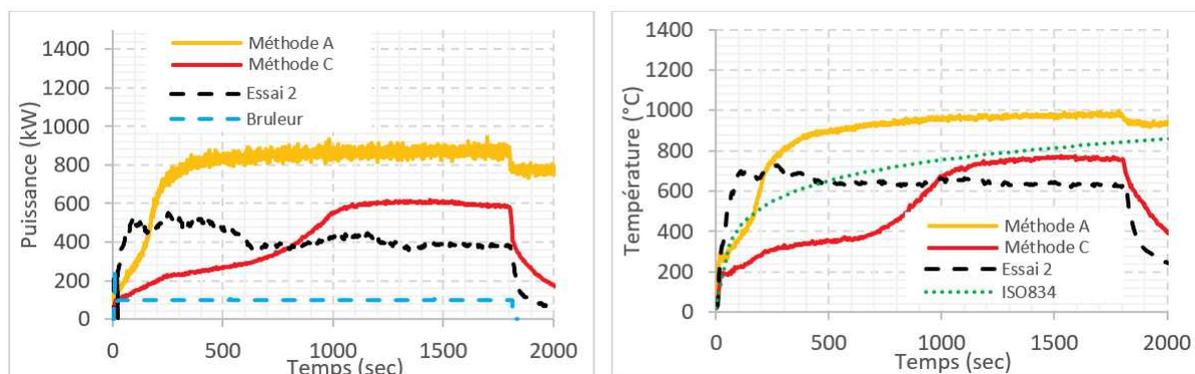


Figure A-7 : Essai 2 – Comparaison des puissances thermiques (à gauche) et des températures de couche chaude dans le local (à droite)

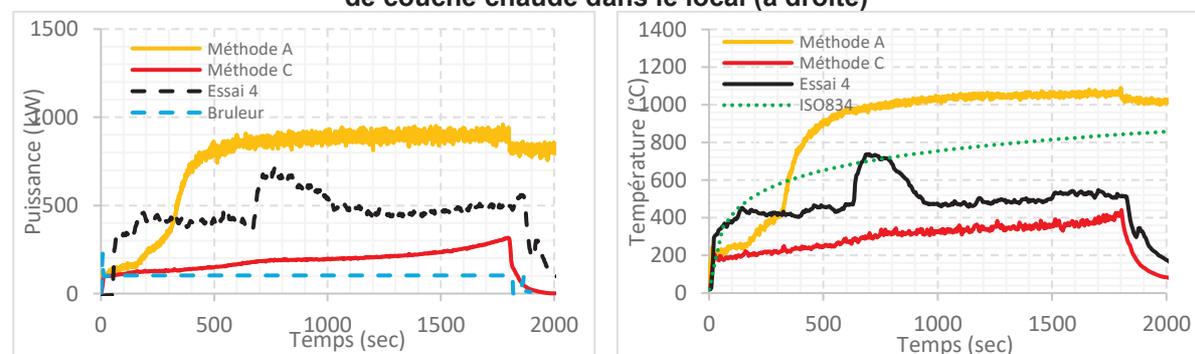


Figure A-8 : Essai 4 – Comparaison des puissances thermiques (à gauche) et des températures de couche chaude dans le local (à droite)

<sup>8</sup> Au sens du rapport d'essais [8] et non des formules du § 3.2.



A D I V B O I S

[www.adivbois.org](http://www.adivbois.org)

**CODIFAB**

comité professionnel de développement  
des industries françaises de l'ameublement et du bois