

RAPPORT D'ÉTUDE
N° DRA-13-125880-01272D

22/07/2015

**Evaluation des phénomènes
dangereux (incendie,
explosion, dispersion) et de
leurs conséquences –
Programme DRA 72 -**

**Opération I1 : Base de Données Produits
FLUMILOG**

Evaluation des phénomènes dangereux (incendie, explosion, dispersion) et de leurs conséquences – Programme DRA 72 -

Opération I1 : Base Données Produits Flumilog

Direction des Risques Accidentels

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Relecture	Vérification	Approbation
NOM	Benjamin TRUCHOT	Emmanuel LEPRETTE	Guillaume CHANTELAUVE	Stéphane DUPLANTIER
Qualité	Responsable de l'unité Dispersion Incendie Expérimentation et Modélisation	Responsable de l'unité Expérimentation et Modélisation en Explosion	Délégué Appui à l'administration Direction des Risques Accidentels	Responsable du pôle PHDS Direction des Risques Accidentels
Visa				

Table des MATIÈRES

1. INTRODUCTION	7
2. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE SALADES FRAICHES	9
2.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE	9
2.1.1. Dispositif expérimental	9
2.1.2. Essais réalisés	10
2.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX	10
2.2.1. Description des palettes	10
2.2.2. Essai n°1 : Palette seule	12
2.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression	13
2.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage	15
2.2.5. Synthèse des essais	16
2.3. CONCLUSION	18
2.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES	20
2.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1	20
2.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2	21
2.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3	22
3. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE CHARCUTERIE	23
3.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE	23
3.1.1. Dispositif expérimental	23
3.1.2. Essais réalisés	24
3.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX	24
3.2.1. Description des palettes	24
3.2.2. Essai n°1 : Palette seule	25
3.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression	27
3.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage	29
3.2.5. Synthèse des essais	30
3.3. CONCLUSION	32
3.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES	34
3.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1	34
3.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2	35
3.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3	36
4. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE DVD	37
4.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE	37
4.1.1. Dispositif expérimental	37
4.1.2. Essais réalisés	38
4.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX	39
4.2.1. Description des palettes	39
4.2.2. Essai n°1 : Palette seule	40
4.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression	42
4.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage	44
4.2.5. Synthèse des essais	45
4.3. CONCLUSION	46
4.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES	47
4.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1	47
4.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2	48
4.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3	49
5. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE BEURRE SURGELE	50
5.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE	50
5.1.1. Dispositif expérimental	50
5.1.2. Essais réalisés	51
5.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX	51

5.2.1.	<i>Description des palettes</i>	51
5.2.2.	<i>Essai n°1 : Palette seule</i>	52
5.2.3.	<i>Essai n°2 : Calibration de l'agression</i>	54
5.2.4.	<i>Essai n°3 : Palette en configuration de stockage</i>	56
5.2.5.	<i>Synthèse des essais</i>	57
5.3.	CONCLUSION	58
5.4.	COURBES D'ÉVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES	59
5.4.1.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°1</i>	59
5.4.2.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°2</i>	60
5.4.3.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°3</i>	61
6.	ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE CHAMPIGNONS ET CHOUX DE BRUXELLES SURGELES	62
6.1.	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE	62
6.1.1.	<i>Dispositif expérimental</i>	62
6.1.2.	<i>Essais réalisés</i>	63
6.2.	RESULTATS EXPERIMENTAUX	64
6.2.1.	<i>Description des palettes</i>	64
6.2.2.	<i>Essai n°1 : Palette seule</i>	64
6.2.3.	<i>Essai n°2 : Calibration de l'agression</i>	67
6.2.4.	<i>Essai n°3 : Palette en configuration de stockage</i>	68
6.2.5.	<i>Synthèse des essais</i>	70
6.3.	CONCLUSIONS	70
6.4.	COURBES D'ÉVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES	72
6.4.1.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°1</i>	72
6.4.2.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°2</i>	73
6.4.3.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°3</i>	74
7.	ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE YAOURTS	75
7.1.	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE	75
7.1.1.	<i>Dispositif expérimental</i>	75
7.1.2.	<i>Essais réalisés</i>	76
7.2.	RESULTATS EXPERIMENTAUX	76
7.2.1.	<i>Description des palettes</i>	76
7.2.2.	<i>Essai n°1 : Palette seule</i>	77
7.2.3.	<i>Essai n°2 : Calibration de l'agression</i>	79
7.2.4.	<i>Essai n°3 : Palette en configuration de stockage</i>	80
7.2.5.	<i>Synthèse des essais</i>	82
7.3.	CONCLUSIONS	82
7.4.	COURBES D'ÉVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES	83
7.4.1.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°1</i>	83
7.4.2.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°2</i>	84
7.4.3.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°3</i>	85
8.	ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE POEELE CAMPAGNARDE ET AUBERGINES SURGELEE.....	86
8.1.	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE	86
8.1.1.	<i>Dispositif expérimental</i>	86
8.1.2.	<i>Essais réalisés</i>	87
8.2.	RESULTATS EXPERIMENTAUX	88
8.2.1.	<i>Description des palettes</i>	88
8.2.2.	<i>Essai n°1 : Palette seule</i>	88
8.2.3.	<i>Essai n°2 : Calibration de l'agression</i>	91
8.2.4.	<i>Essai n°3 : Palette en configuration de stockage</i>	92
8.2.5.	<i>Synthèse des essais</i>	94
8.3.	CONCLUSIONS	95
8.4.	COURBES D'ÉVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES	96
8.4.1.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°1</i>	96
8.4.2.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°2</i>	97

8.4.3.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°3</i>	98
9.	ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE POISSONS SURGELES	99
9.1.	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE	99
9.1.1.	<i>Dispositif expérimental</i>	99
9.1.2.	<i>Essais réalisés</i>	100
9.2.	RESULTATS EXPERIMENTAUX	100
9.2.1.	<i>Description des palettes</i>	100
9.2.2.	<i>Essai n°1 : Palette seule</i>	101
9.2.3.	<i>Essai n°2 : Calibration de l'agression</i>	104
9.2.4.	<i>Essai n°3 : Palette en configuration de stockage</i>	104
9.2.5.	<i>Synthèse des essais</i>	107
9.3.	CONCLUSION.....	108
9.4.	COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES	109
9.4.1.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°1</i>	109
9.4.2.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°2</i>	110
9.4.3.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°3</i>	111
10.	ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE VIANDE SURGELES	112
10.1.	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE	112
10.1.1.	<i>Dispositif expérimental</i>	112
10.1.2.	<i>Essais réalisés</i>	113
10.2.	RESULTATS EXPERIMENTAUX	113
10.2.1.	<i>Description des palettes</i>	113
10.2.2.	<i>Essai n°1 : Palette seule</i>	114
10.2.3.	<i>Essai n°2 : Calibration de l'agression</i>	117
10.2.4.	<i>Essai n°3 : Palette en configuration de stockage</i>	117
10.2.5.	<i>Synthèse des essais</i>	120
10.3.	CONCLUSION.....	121
10.4.	COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES	122
10.4.1.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°1</i>	122
10.4.2.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°2</i>	123
10.4.3.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°3</i>	124
11.	ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE BOITES DE CONSERVES	125
11.1.	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE	125
11.1.1.	<i>Dispositif expérimental</i>	125
11.1.2.	<i>Essais réalisés</i>	126
11.2.	RESULTATS EXPERIMENTAUX	127
11.2.1.	<i>Description des palettes</i>	127
11.2.2.	<i>Essai n°1 : Palette seule</i>	127
11.2.3.	<i>Essai n°2 : Calibration de l'agression</i>	130
11.2.4.	<i>Essai n°3 : Palette en configuration de stockage</i>	131
11.2.5.	<i>Synthèse des essais</i>	132
11.3.	CONCLUSION.....	133
11.4.	COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES	134
11.4.1.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°1</i>	134
11.4.2.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°2</i>	135
11.4.3.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai n°3</i>	136
12.	ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE BOUTEILLES PLASTIQUES REMPLIES D'EAU	137
12.1.	PRESENTATION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE	137
12.1.1.	<i>Dispositif expérimental</i>	137
12.1.2.	<i>Essais réalisés</i>	138
12.2.	RESULTATS EXPERIMENTAUX	138
12.2.1.	<i>Description des palettes</i>	138
12.2.2.	<i>Essai n°1 : Palette seule</i>	139

12.2.3.	<i>Essai n°2 : Calibration de l'agression</i>	142
12.2.4.	<i>Essai n°3 : Palette en configuration de stockage</i>	144
12.2.5.	<i>Synthèse des essais</i>	145
12.3.	CONCLUSIONS	147
12.3.1.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai N°1</i>	149
12.3.2.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai N°2</i>	150
12.3.3.	<i>Courbes obtenues lors de l'essai N°3</i>	151
13.	SYNTHESE DES ESSAIS	152

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du programme d'appui DRA 72 de 2012 et 2013, une campagne d'essais de comportement au feu de palettes de produits combustibles ont permis la réalisation du rapport d'étude de l'INERIS du 19 mars 2014 référencé N°DRA-13-133881-07549A relatif aux protocoles d'essais de caractérisation de l'incendie d'une palette.

Ce rapport d'étude explicite :

1. le protocole d'essais de caractérisation de l'incendie d'une palette de combustibles. Il permet d'évaluer la puissance et la durée de combustion à utiliser dans le cadre de l'évaluation des distances d'effets thermiques au moyen de la méthode Flumilog référencée dans le document de l'INERIS " Description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt ", partie A, réf. DRA-09-90977-14553A. Cette évaluation est notamment demandé au 2.1 de l'annexe I de l'arrêté du 15 avril 2010 relatif aux prescriptions générales applicables aux entrepôts couverts relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n° 1510 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement ;
2. le protocole d'essais permettant de démontrer le caractère non combustible pour classement dans la rubrique 1510 d'une palette, comme indiqué dans le chapitre 3 de la note de doctrine générale n°BRTICP/2011-331/AL-PB du 28 novembre 2011.

Chacun de ces protocoles impose la réalisation de 3 essais :

- Essai 1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- Essai 2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- Essai 3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

L'essai n°1 permet de se positionner entre les deux protocoles, comme précisé au chapitre 1 de ce rapport d'étude de l'INERIS du 19 mars 2014 précité.

Le protocole complet est reproduit sur le site internet de l'INERIS : http://www.ineris.fr/aida/sites/default/files/gesdoc/73123/Protocole_essais_V1.pdf

Le présent rapport présente dans les chapitres suivants les résultats des essais des différentes palettes testées comme précisé dans le Tableau 1 sous la forme de rapport type conformément au protocole précédemment cité. L'ensemble des résultats sont résumés dans la synthèse du présent document.

Chapitre	Type de produit	Catégorie
2	Salade	Produit frais
3	Charcuterie	Produit frais
4	DVD	Bazar
5	Beurre	Produit surgelé
6	Mélange de légumes (Champignons et choux de Bruxelles)	Produit surgelé
7	Yaourts	Produits frais
8	Mélange de légumes (poêlée campagnarde et aubergines)	Produits surgelés
9	Poissons	Produits surgelés
10	Viande	Produits surgelés
11	Boîtes de conserve	Divers alimentaire
12	Bouteilles d'eau	Boissons

Tableau 1 : Liste des essais réalisés et catégorie de produit correspondante.

2. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE SALADES FRAICHES

2.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

2.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure 1. La zone d'essais est localisée à l'extrémité de la galerie, en pied de tour. La consigne de ventilation pour de tels essais est fixée entre 16 000 et 18 000 Nm³/h, la porte est positionnée à 30 cm du sol.

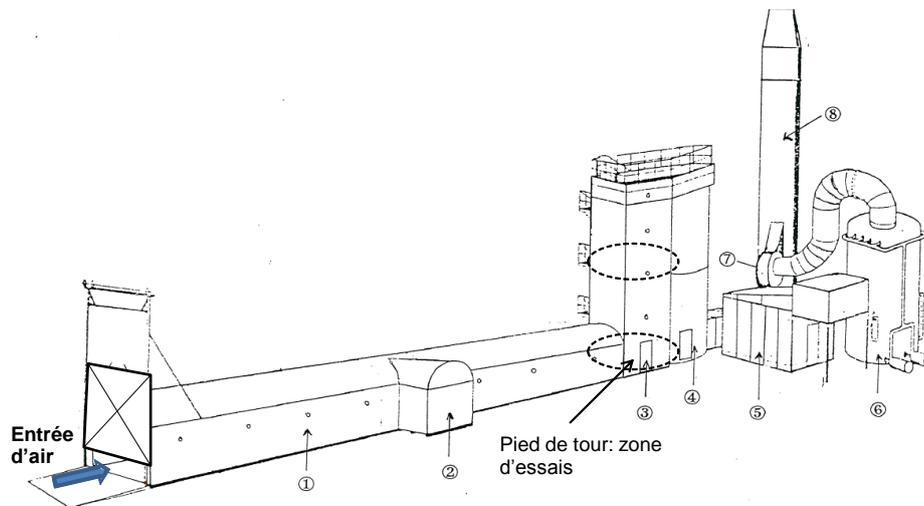


Figure 1 : Schéma de la galerie incendie

La Figure 2 présente la position des différents éléments ainsi que la métrologie mise en place. Cette métrologie est la même pour tous les essais réalisés.

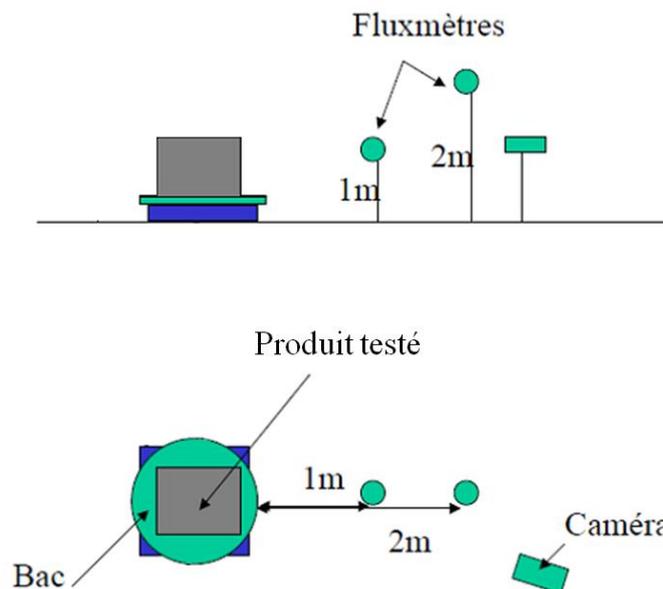


Figure 2 : Représentation schématique de la métrologie des essais

L'instrumentation mise en œuvre est donc constituée :

- de deux fluxmètres permettant de mesurer le flux à 1 et 2 m de hauteur, placés respectivement à une distance de 1 m et 2 m de l'échantillon sur la même face (gamme de flux 0-50 kW/m²) ;
- de mesures de concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) permettant la détermination de la puissance du feu ;
- d'un analyseur à transformée de Fourier Infrarouge (FTIR) permettant de déterminer les différents composés chimiques présents dans les fumées ;
- de plusieurs caméras, dont une caméra thermique, filmant les essais et permettant de déterminer la hauteur de flamme.

2.1.2. Essais réalisés

Conformément au protocole Flumilog d'essai palette de produits combustibles, document DRA-13-133881-07549A, 3 essais ont été réalisés :

- essai 1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- essai 2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- essai 3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

2.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

2.2.1. Description des palettes

Les 2 palettes de salade étaient constituées de salade fraîche en barquettes plastique filmées. Les barquettes étaient organisées en carton et les cartons empilés sur une palette Européenne de 1,2 X 0,8 m². La hauteur totale de la palette était de 1,8 m soit un volume total pour la palette de 1,7 m³.

La masse totale de la palette et les masses des différents constituants sont synthétisées dans le Tableau 2. Les deux palettes fournies étaient exactement identiques.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1	Palette Essai 3	ΔH_c produit [MJ/kg]
Bois palette	21	21	≈ 18
Carton	15,6	15,6	≈ 18
Barquette (Polypropylène)	7,6	7,6	≈ 40
Film plastique	$\approx 0,1$	$\approx 0,1$	≈ 43
Salade	38	38	-
Masse totale	83	83	$\approx 11,6$
Charge de bois pour l'agression	0	67,5	≈ 18

Tableau 2 : Composition des palettes de salades fraîches.

La Figure 3 montre les palettes positionnées dans la galerie incendie avant les essais.



Figure 3 : Photographies des palettes avant les essais, gauche : essai 1, droite : essai 3

2.2.2. Essai n°1 : Palette seule

Cet essai consiste à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Pour cet essai, l'allumage est réalisé par deux brûleurs orientés vers la base de la palette, qui est décollée du sol à l'aide de bloc en Siporex. La position des différents éléments est schématisée sur la Figure 4.

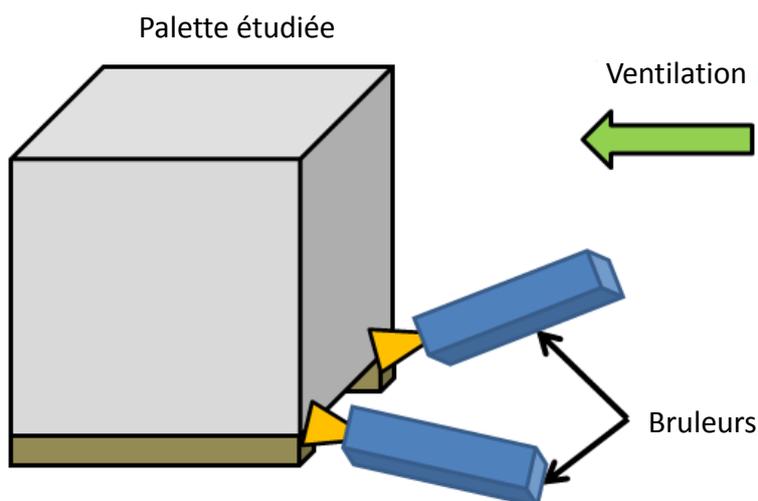


Figure 4 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance de la palette brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance est présentée sur la Figure 5 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

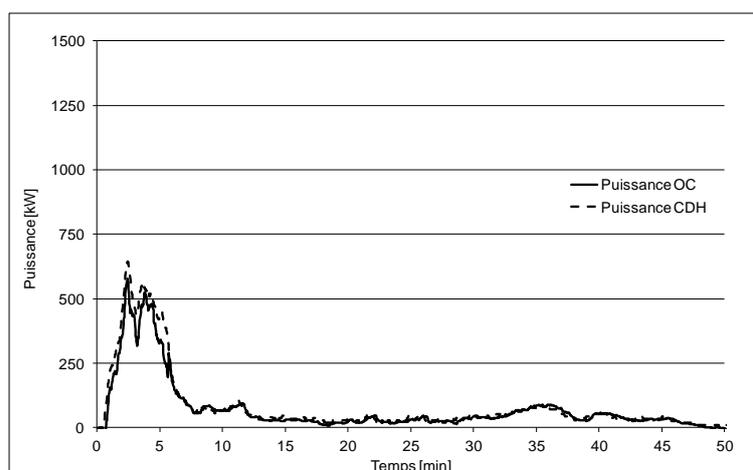


Figure 5 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1.

La puissance maximale mesurée lors de cet essai est de 576 kW. L'énergie totale dégagée durant cet essai est de 212 MJ pour une masse perdue de 44 kg. La chaleur de combustion moyenne pour cet essai est donc d'environ 5 MJ/kg. Cette valeur faible est en accord avec les observations expérimentales sur le développement de l'incendie. Elle est également plus faible que la valeur moyenne, cette dernière ne tenant pas compte de la présence des produits non combustibles sur la palette.

De plus, cet essai permet de démontrer la cohérence de l'instrumentation en montrant l'homogénéité des valeurs de concentration mesurée.

La Figure 6 montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

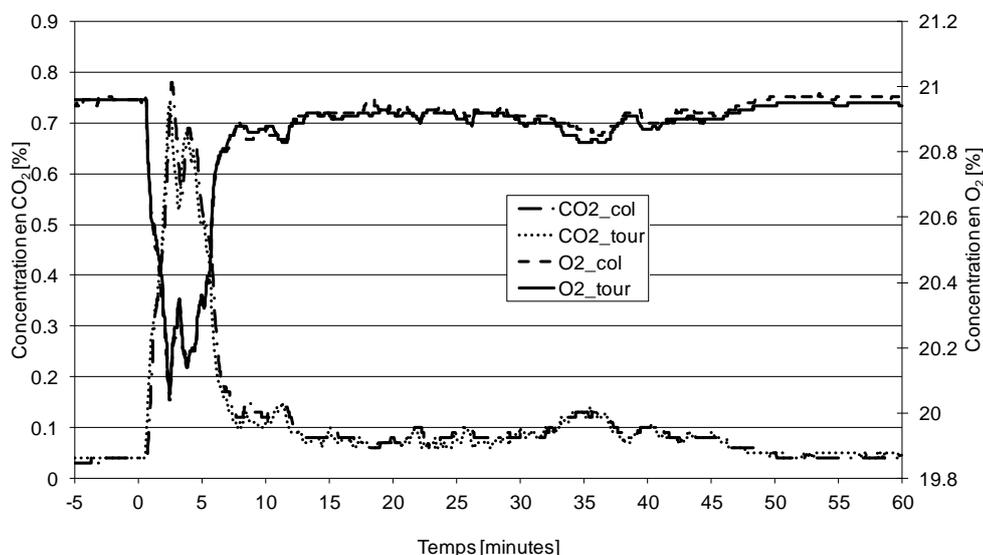


Figure 6 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure.

Cette courbe montre un excellent accord entre les 2 points de mesure témoignant de l'homogénéité du mélange gazeux au point de mesure.

2.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression

L'inflammation est réalisée à l'aide de trois petits brûleurs au propane d'une puissance unitaire de 20 kW environ ou de coupelles d'heptane. Quel que soit le mode d'allumage utilisé, la puissance et l'énergie développées par ce dernier sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La Figure 7 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

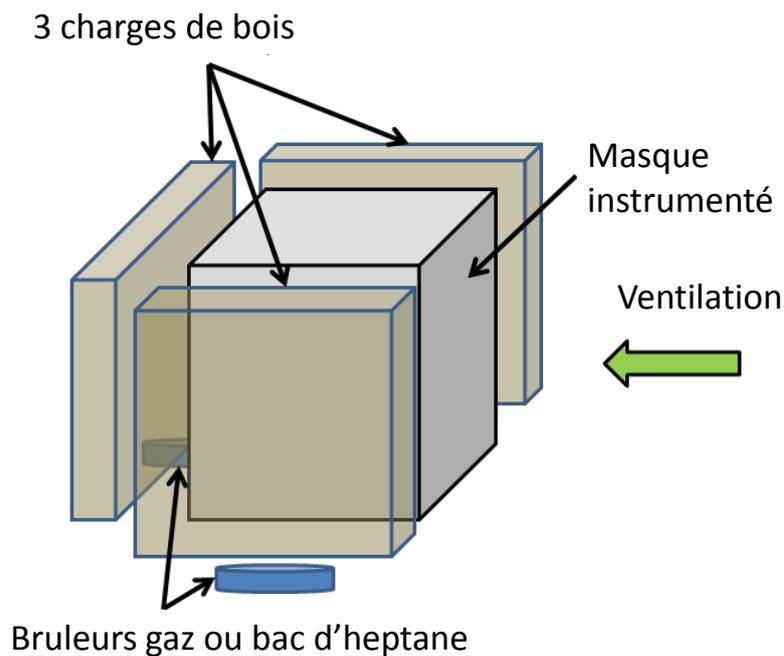


Figure 7 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

Afin de reproduire la proximité de palettes voisines lors de l'essai 3, l'agression au moyen de 2 palettes par face a été retenue. La Figure 8 montre l'évolution de la puissance mesurée lors de l'essai 1 avec la puissance individuelle des agressions pour l'essai n°2.

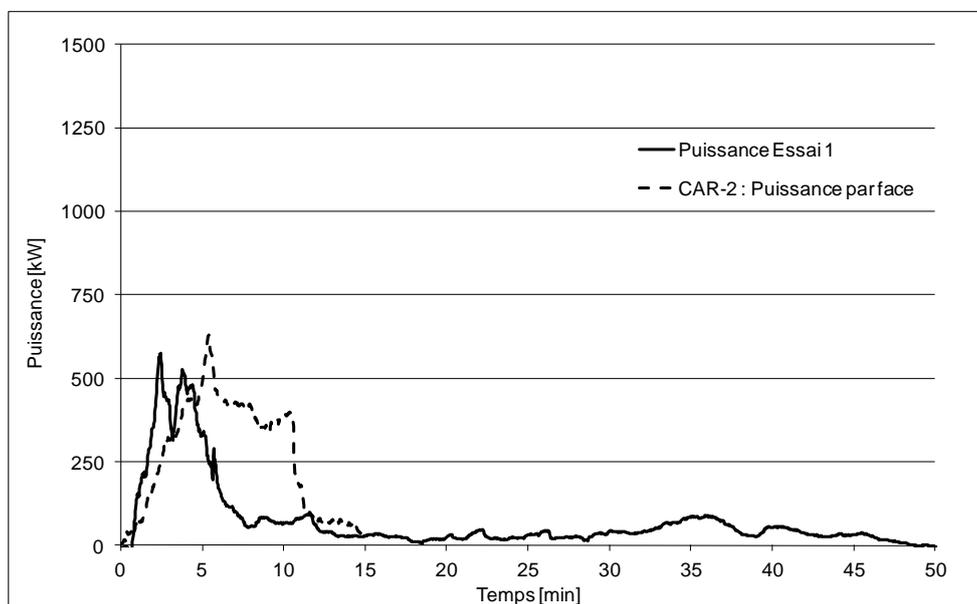


Figure 8 : Evolution de la puissance palette essai 1 et de l'agression retenue.

Le pic de puissance est bien identique avec une cinétique de développement très proche.

2.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage

Cet essai consiste à mesurer la puissance développée par l'incendie d'une palette de salade agressée sur 3 de ses faces par un incendie de puissance similaire, correspondant ainsi au développement du feu pour une palette prise dans un incendie généralisé. L'allumage est réalisé pendant 5 minutes par des brûleurs à gaz d'une puissance individuelle de 20 kW positionnés sous les palettes.

L'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai est indiquée par la courbe de la Figure 9. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai CAR-2.

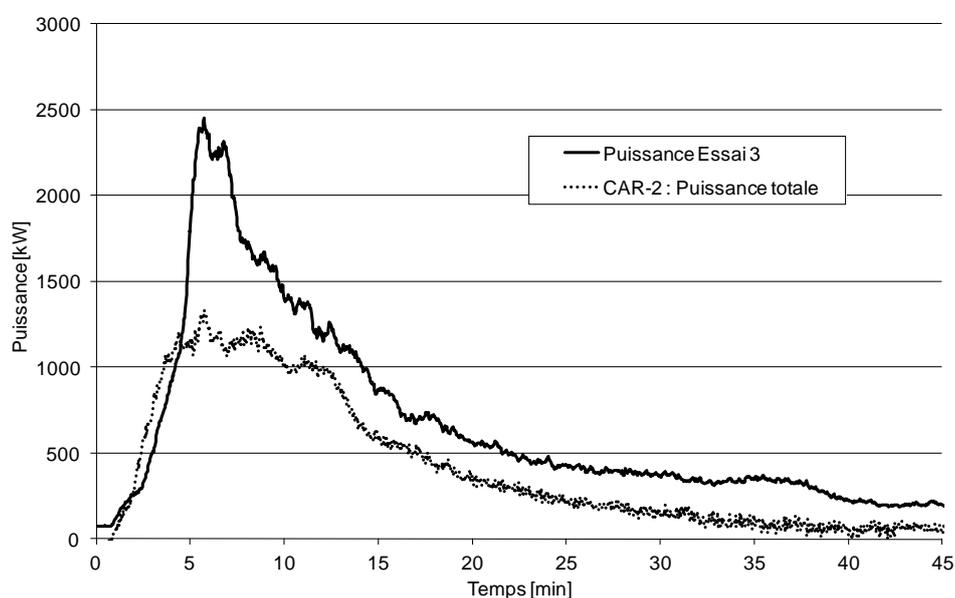


Figure 9 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de salades fraîches

En retranchant la puissance du blanc à la puissance totale, cela permet d'obtenir la puissance dégagée par la palette de salades, Figure 10. L'évolution de la puissance obtenue lors de l'essai 1 est également rappelée sur cette courbe. La puissance maximale atteinte par la palette de salades lors de cet essai est de 1 221 kW, pendant une durée très courte, de l'ordre de 3 minutes.

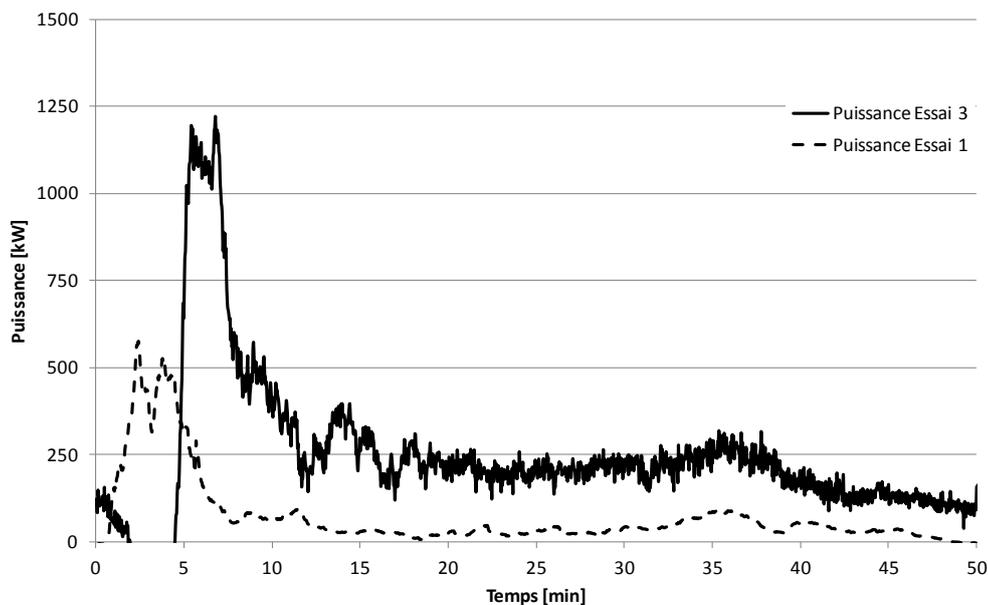


Figure 10 : Evolution de la puissance mesurée pendant l'essai 3 sur la palette de salades fraîches

Cette courbe montre que, d'une part, la cinétique de développement de l'incendie pour cet essai type 3 est plus lente que pour la même palette avec une agression par brûleur, essai type 1, au contraire de l'essai précédent. D'autre part, elle montre un comportement significativement différent, notamment pour ce qui concerne le pic de puissance atteint, la puissance atteinte lors de ce second essai est plus de 2 fois supérieure à celle mesurée lors du premier essai.

L'énergie totale dégagée par la combustion lors de cet essai de type 3 est de 1 057 MJ, pour une masse perdue de 145,8 kg, soit une chaleur de combustion d'environ 7 MJ/kg. L'écart sur la masse résiduelle entre les deux essais doit être également souligné, environ 50% pour le premier essai contre moins de 5% dans cet essai type 3.

Cet essai sur une palette de salades fraîches met en évidence l'importance de réaliser les essais de type 3 représentatifs dans incendie généralisé, en effet, les agressions réciproques des palettes lors de l'incendie favorise la combustion des produits, ce qui ne peut pas être observé avec un essai sur une palette isolée.

2.2.5. Synthèse des essais

Il convient tout d'abord de comparer la puissance maximale obtenue et l'énergie dégagée à celles indiquées pour une palette type 1511 dans la méthode Flumilog.

La palette type 1511 dégage ainsi une puissance de 1 300 kW pour une palette de dimensions 1,2 x 0,8 x 1,5 m³, soit 1,44 m³. La puissance théorique dégagée par une palette de 1,2 x 0,8 x 1,8 serait ainsi de 1 560 kW et une énergie dégagée de 4 200 MJ.

La puissance pic mesurée pendant l'essai est légèrement inférieure à la puissance prédite pour une palette type. L'énergie totale dégagée est quatre fois plus faible que l'énergie disponible pour la combustion d'une palette type. Il convient ainsi dans ce cas d'adapter la courbe à prendre en compte pour représenter au mieux le produit. Etant entendu que le type de courbe de puissance utilisable dans la méthode Flumilog est un créneau avec une valeur de puissance pendant une durée donnée, ce couple de valeurs doit être fourni. Concernant la puissance, la valeur maximale mesurée doit être considérée, soit ici 1 221 kW. Afin de déterminer ensuite la durée de la combustion de la palette à prendre en compte pour l'évaluation des flux thermiques, il est nécessaire a minima de conserver l'énergie, soit ici une durée nécessaire de 14,4 minutes. Il faut par ailleurs s'assurer également que la puissance développée par la palette au-delà de cette durée ne contribue pas aux effets thermiques en vérifiant que le flux reçu à 1 m est bien inférieur à 1,5 kW/m², au-delà de la durée proposée. La Figure 11 montre l'évolution des flux en parallèle de la puissance du foyer.

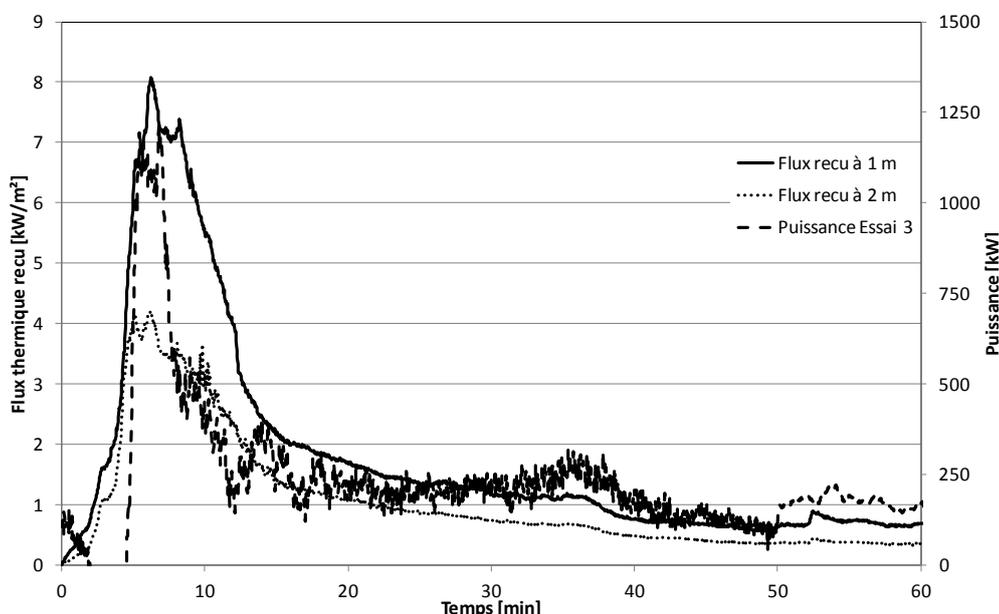


Figure 11 : Evolution des flux thermiques reçus à 1 et 2 m du foyer et de la puissance.

Le flux 1,5 kW/m² à 1 m du foyer est atteint après 22 minutes environ. Cette durée est supérieure à celle nécessaire pour conserver l'énergie. Retenir cette valeur implique donc une surestimation de l'énergie. Cette approche prudente est en cohérence avec la méthode Flumilog. De ce fait, le couple de valeur (Puissance ; Durée) proposée est ainsi de (1 221 kW ; 22 minutes), Figure 12.

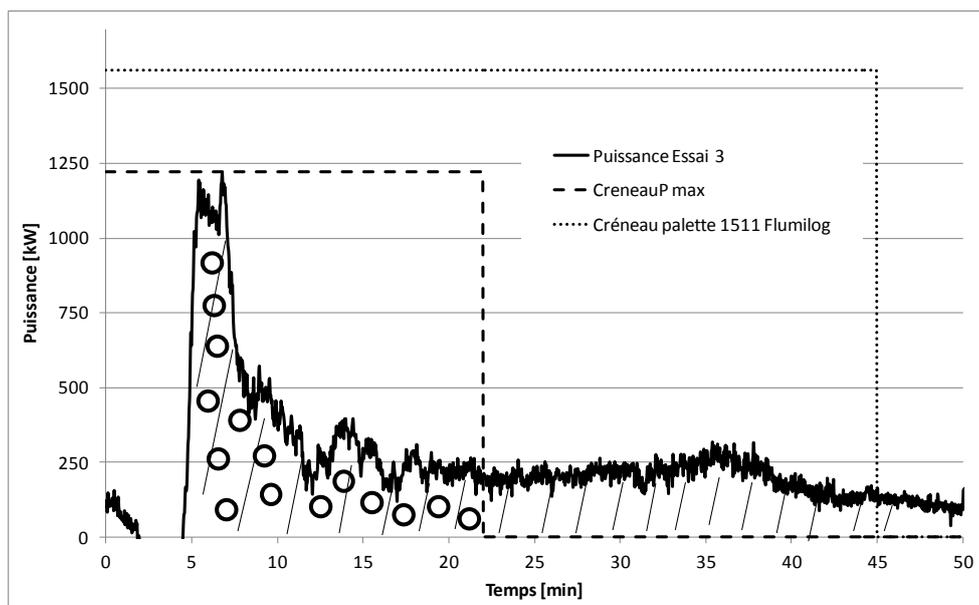


Figure 12 : Comparaison de l'évolution de la puissance dégagée par une palette de salades fraiche et puissance d'une palette type équivalente.

Les énergies correspondantes aux différentes courbes de puissance de cette courbe sont indiquées dans le Tableau 3.

Courbe	Repérage sur la figure	Energie développée [MJ]
Essai-3, énergie totale	Surface hachurée ///	1 057
Essai-3, flux < 1,5 kW/m ²	Surface marquée °°	406
Créneau P _{max}	Créneau -----	1 612
Créneau palette 1511	Créneau	4 200

Tableau 3 : Energie développée par les courbes de puissance de la Figure 12.

2.3. CONCLUSION

Les essais montrent qu'une palette de salade fraiche peut être modélisée dans le logiciel Flumilog par une palette expérimentale avec une puissance palette de **1 221 kW** et une durée de combustion de **21 minutes**.

Cette puissance n'est valable que pour une palette composée comme suit :

	Masse des produits [kg]
Bois palette	21
Carton	15,6
Barquette (Polypropylène)	7,6
Film plastique	0,1
Salade	38
Masse totale	82,3

Les dimensions de la palette sont : **1,2 m de long, 0,8 m de large et 1,5 m de hauteur.**

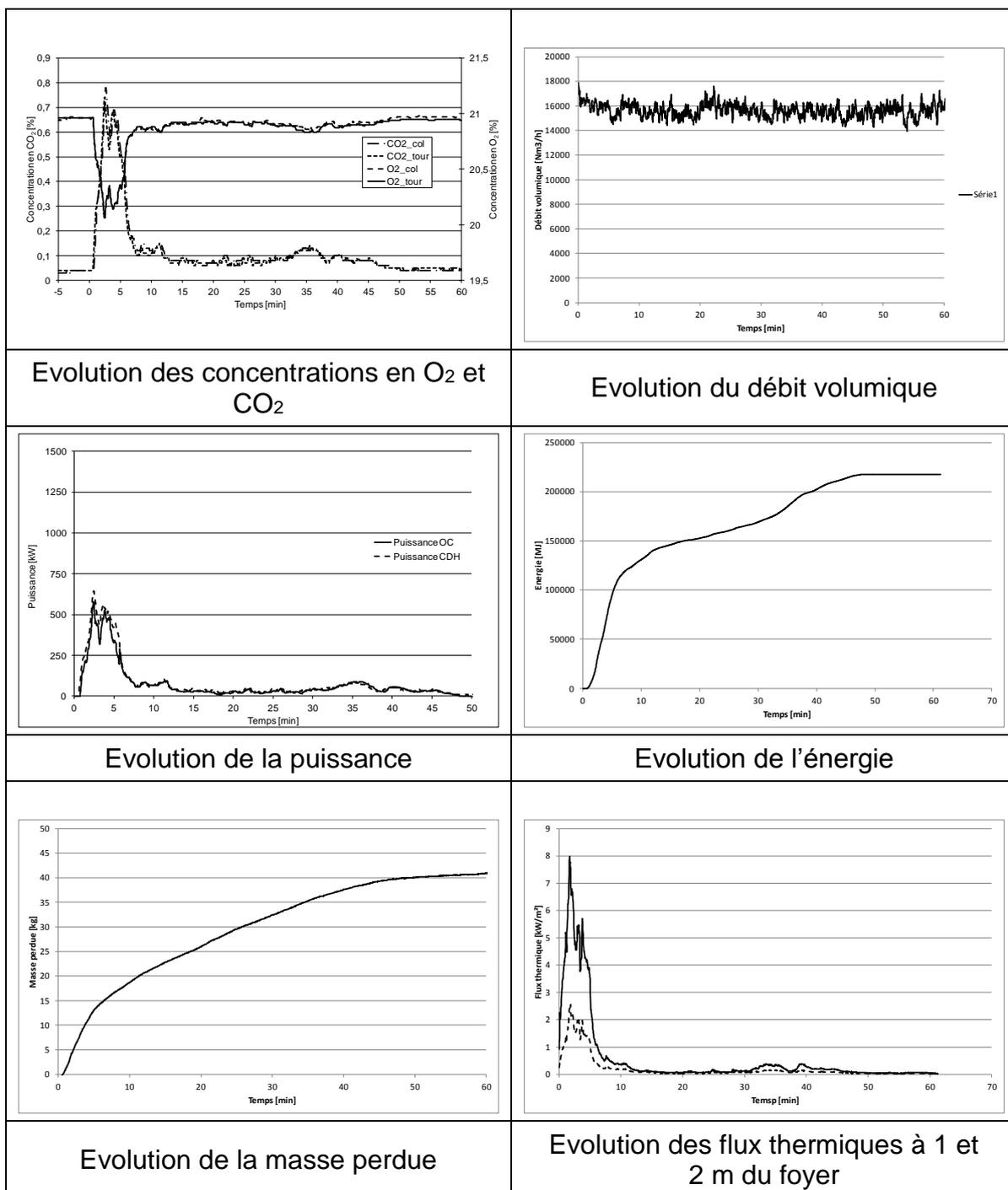
L'ensemble de ces valeurs sera à saisir dans le logiciel Flumilog pour le calcul des effets thermiques¹.

Dans ce cas, l'entrepôt concerné sera spécialisé pour stocker uniquement ce type de palettes ou des palettes ayant des effets thermiques inférieurs. L'exploitant devra préciser dans son dossier de demande comment il vérifiera le respect de ces conditions de stockage.

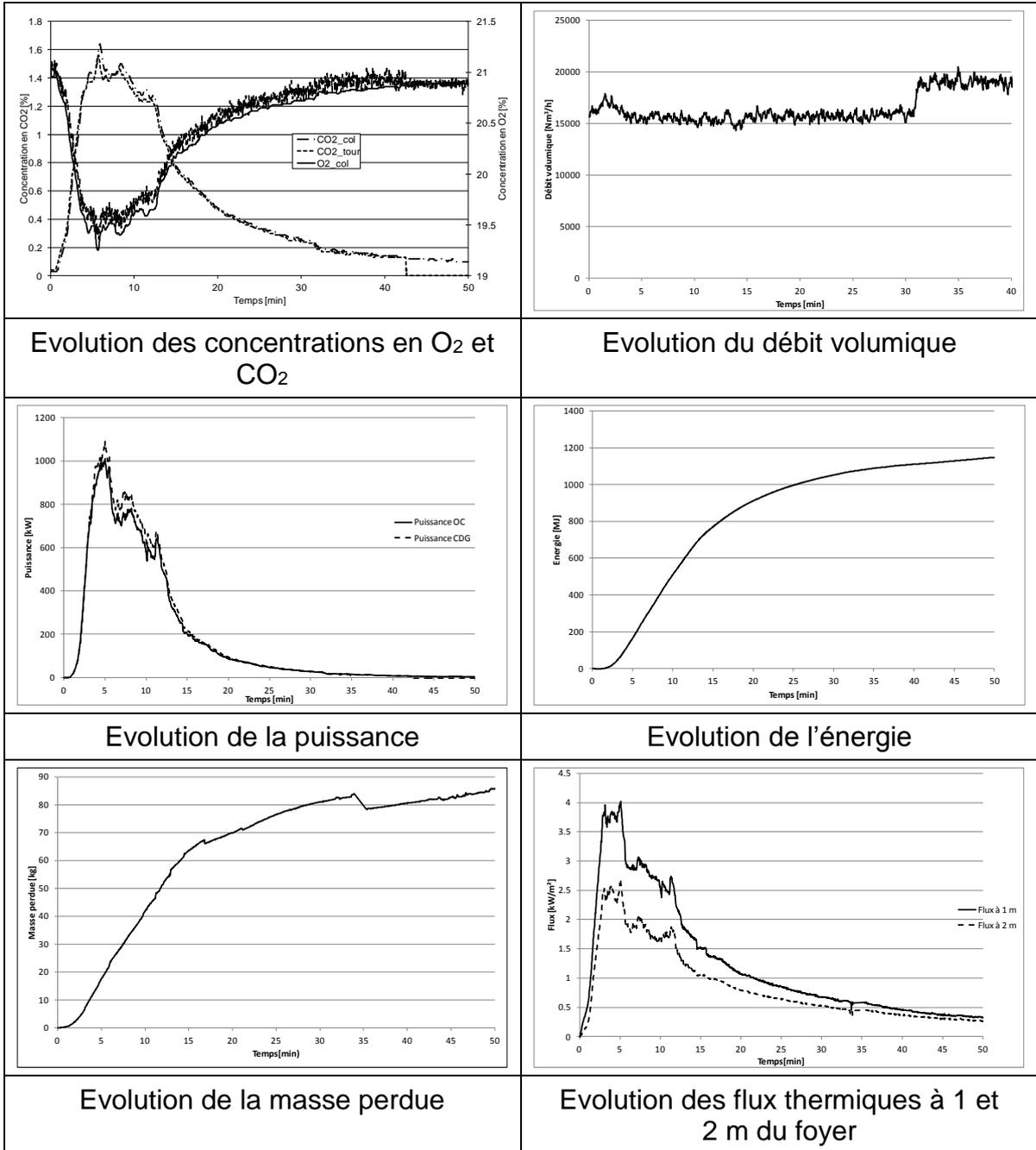
¹ Ces valeurs pourront être utilisées, de façon prudente, pour des palettes contenant une proportion de salades plus importante.

2.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

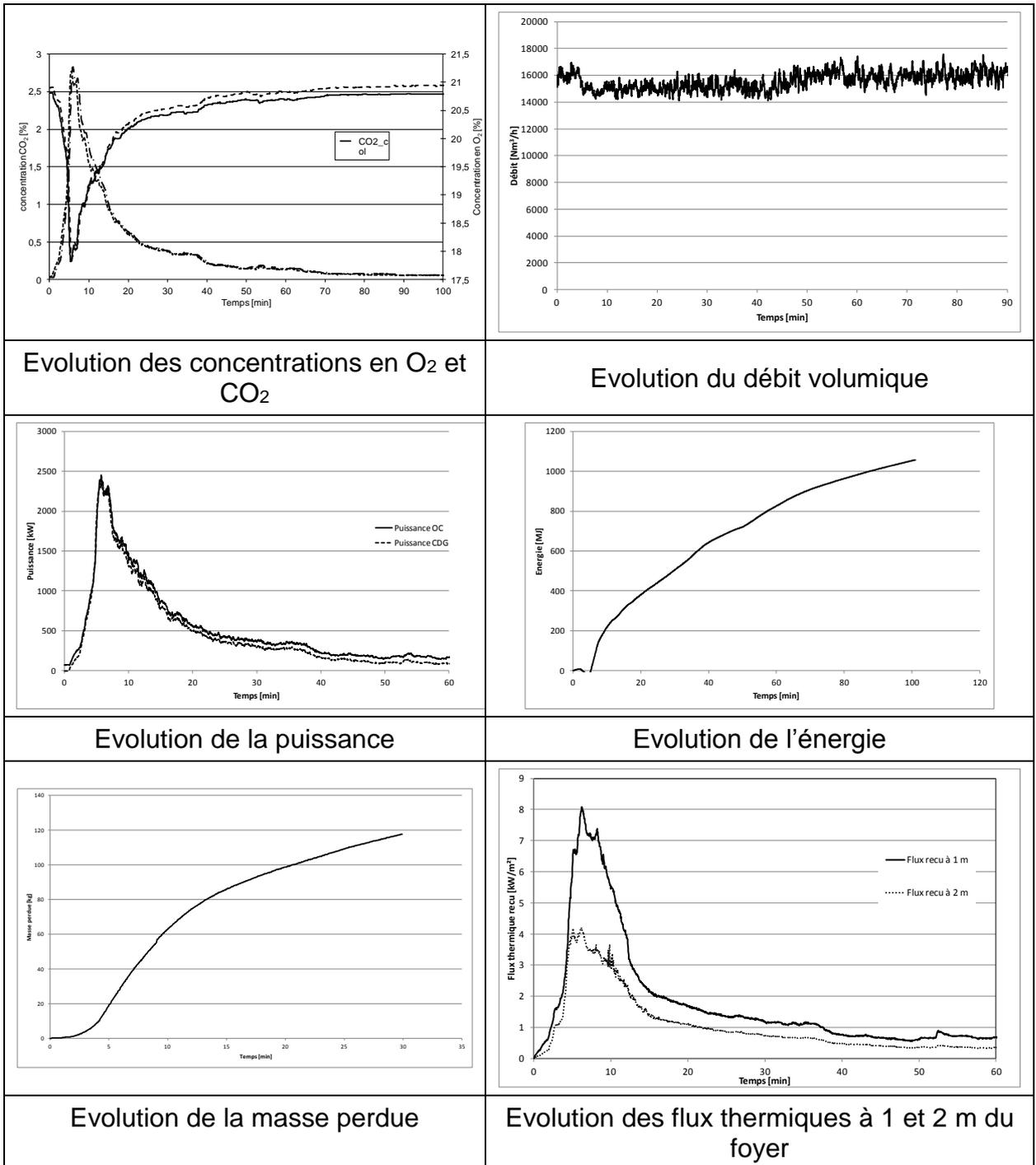
2.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1



2.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2



2.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3



3. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE CHARCUTERIE

3.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

3.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure 13. La zone d'essais est localisée à l'extrémité de la galerie, en pied de tour. La consigne de ventilation pour de tels essais est fixée entre 16 000 et 18 000 Nm³/h, la porte est positionnée à 30 cm du sol.

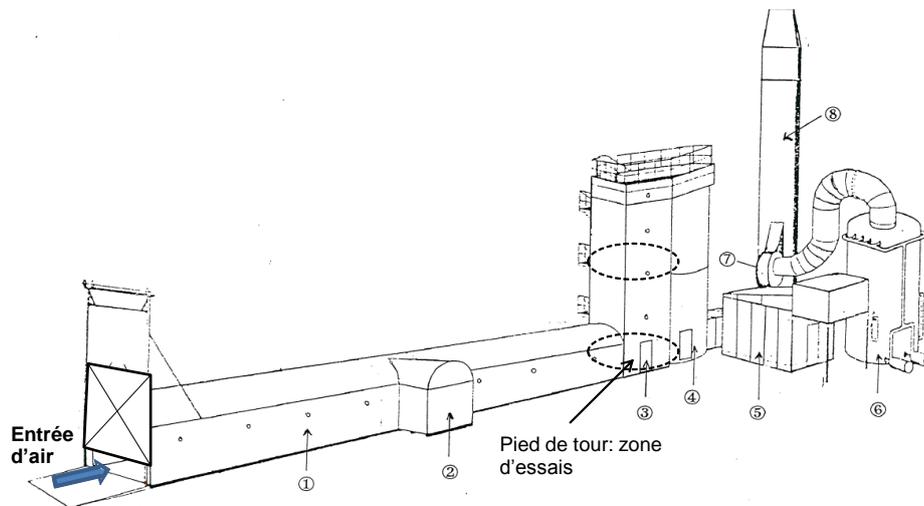


Figure 13 : Schéma de la galerie incendie

La Figure 14 présente la position des différents éléments ainsi que la métrologie mise en place. Cette métrologie est la même pour tous les essais réalisés.

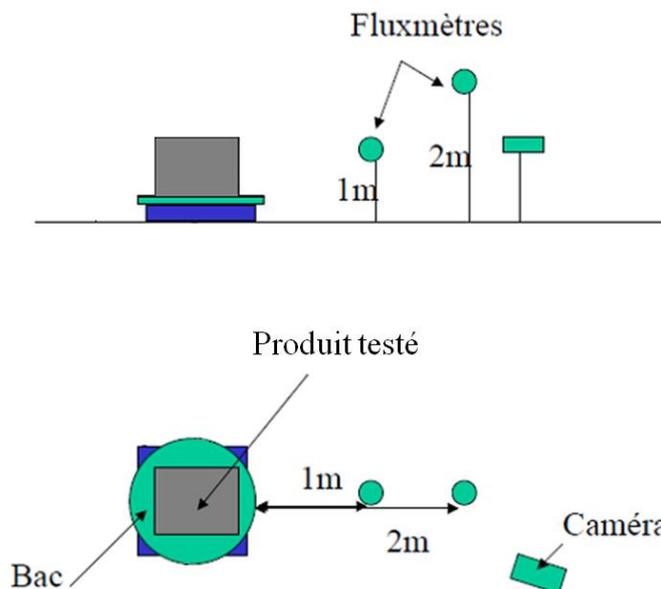


Figure 14 : Représentation schématique de la métrologie des essais

L'instrumentation mise en œuvre est donc constituée :

- de deux fluxmètres permettant de mesurer le flux à 1 et 2 m de hauteur, placés respectivement à une distance de 1 m et 2 m de l'échantillon sur la même face (gamme de flux 0-50 kW/m²) ;
- de mesures de concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) permettant la détermination de la puissance du feu ;
- d'un analyseur à transformée de Fourier Infrarouge (FTIR) permettant de déterminer les différents composés chimiques présents dans les fumées ;
- de plusieurs caméras, dont une caméra thermique, filmant les essais et permettant de déterminer la hauteur de flamme.

3.1.2. Essais réalisés

Conformément au protocole Flumilog d'essai palette de produits combustibles, document DRA-13-133881-07549A, 3 essais ont été réalisés :

- essai 1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- essai 2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- essai 3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

3.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

3.2.1. Description des palettes

Les 2 palettes de charcuterie étaient constituées de rillettes en pots, soit de 220 g soit de 400 g, et de mortadelle empilés sur une palette Européenne de 1,2 X 0,8 m². La hauteur totale de la palette était de 1,8 m soit un volume total pour la palette de 1,7 m³.

La masse totale de la palette et les masses des différents constituants sont synthétisées dans le Tableau 4. Les deux palettes fournies étaient exactement identiques.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1	Palette Essai 3	ΔH_c produit [MJ/kg]
Bois palette	22	24	≈ 18
Carton	21	21	≈ 18
Emballage plastique	12	12	≈ 40
Mortadelle	248	248	≈ 10 (?)
Rillettes	120	120	≈ 10 (?)
Charge de bois pour l'agression	0	67,5	≈ 18
Masse totale	422	491	11,6

Tableau 4 : Composition des palettes de salades fraîches.

La Figure 15 montre les palettes positionnées dans la galerie incendie avant les essais.



Figure 15 : Photographies des palettes avant les essais, gauche : essai 1, droite : essai 3

3.2.2. Essai n°1 : Palette seule

Cet essai consiste à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Pour cet essai, l'allumage est réalisé par deux brûleurs orientés vers la base de la palette, qui est décollée du sol à l'aide de bloc en Siporex. La position des différents éléments est schématisée sur la Figure 16.

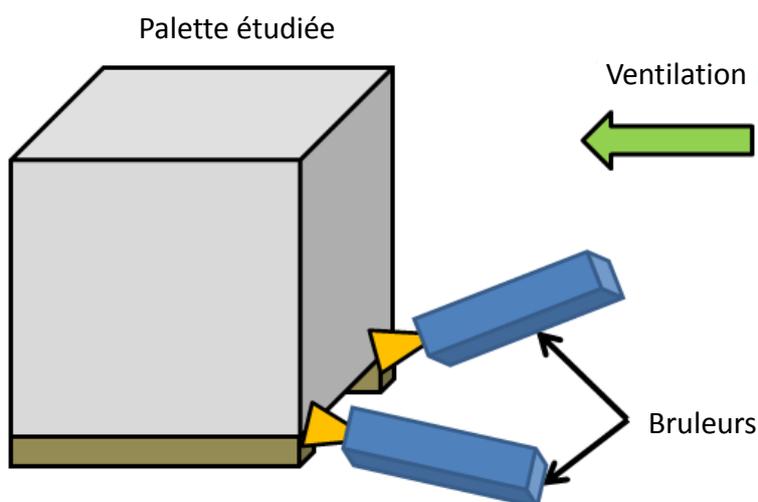


Figure 16 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance de la palette brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance est présentée sur la avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires, Figure 17.

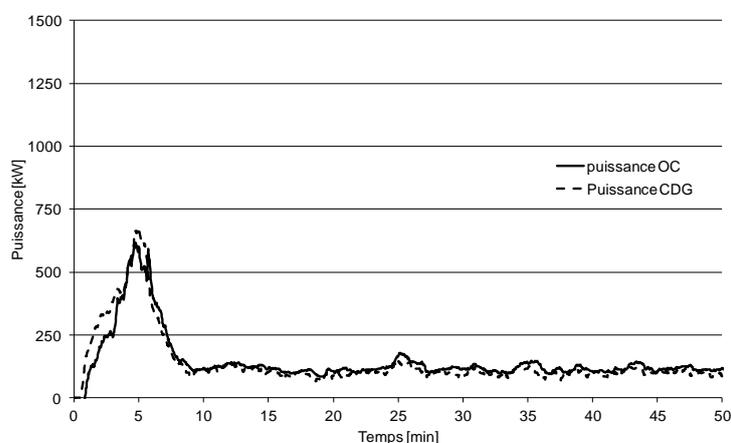


Figure 17 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1 sur des palettes de charcuterie.

La puissance maximale mesurée lors de cet essai est de 615 kW. L'énergie totale dégagée durant cet essai est de 931 MJ pour une masse perdue de 110 kg. La chaleur de combustion moyenne pour cet essai est donc d'environ 8,5 MJ/kg. Cette valeur faible est en accord avec les observations expérimentales sur le développement de l'incendie.

De plus, cet essai permet de démontrer la cohérence de l'instrumentation en montrant l'homogénéité des valeurs de concentration mesurée.

La Figure 18 montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

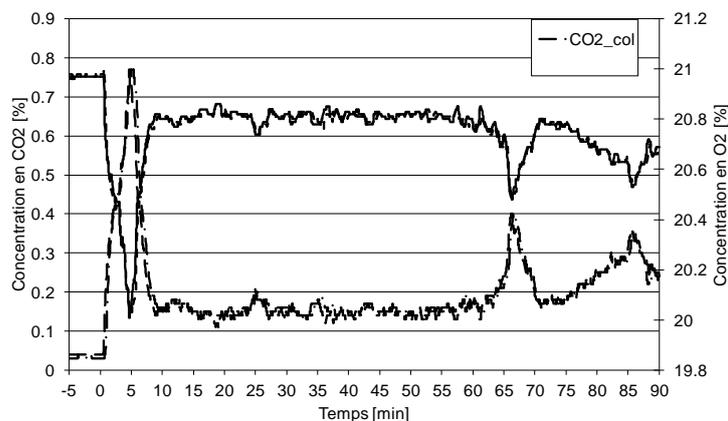


Figure 18 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure.

Cette courbe montre un excellent accord entre les 2 points de mesure témoignant de l'homogénéité du mélange gazeux au point de mesure.

3.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression

L'inflammation est réalisée à l'aide de trois petits brûleurs au propane d'une puissance unitaire de 20 kW environ ou de coupelles d'heptane. Quel que soit le mode d'allumage utilisé, la puissance et l'énergie développées par ce dernier sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La Figure 19 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

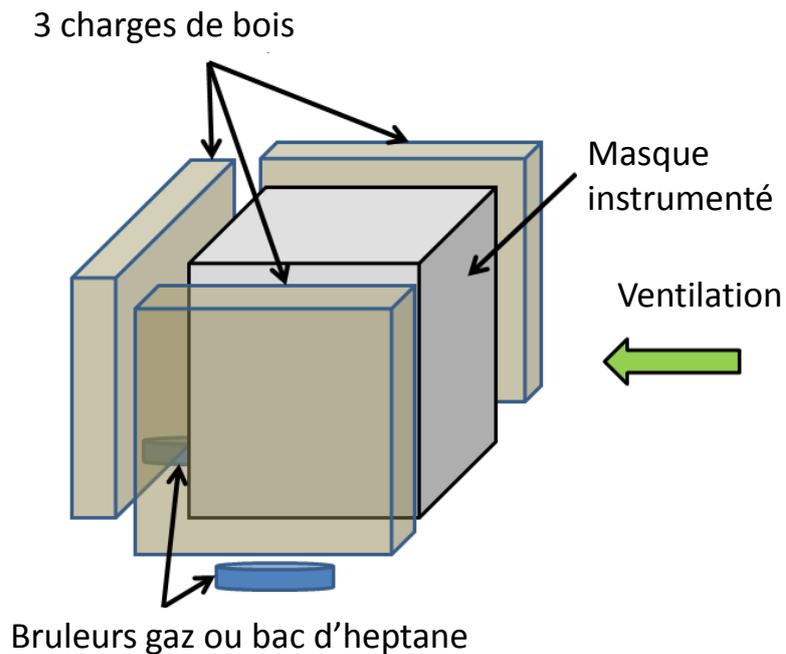


Figure 19 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

Afin de reproduire la proximité de palettes voisines lors de l'essai 3, l'agression au moyen de 2 palettes par face a été retenue. La Figure 20 montre l'évolution de la puissance mesurée lors de l'essai 1 avec la puissance individuelle des agressions pour l'essai n°2.

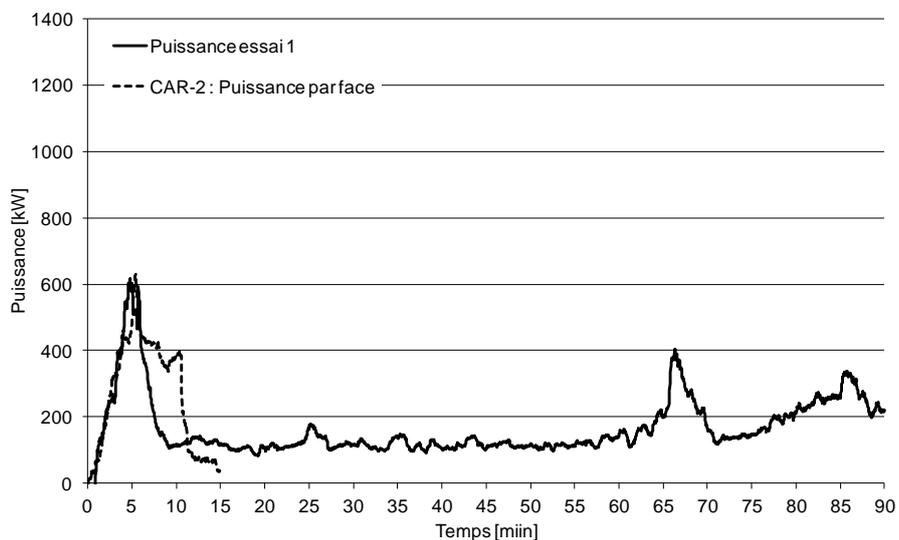


Figure 20 : Evolution de la puissance palette essai 1 et de l'agression retenue.

Le pic de puissance est bien identique avec une cinétique de développement très proche.

3.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage

Cet essai consiste à mesurer la puissance développée par l'incendie d'une palette de salade agressée sur 3 de ses faces par un incendie de puissance similaire, correspondant ainsi au développement du feu pour une palette prise dans un incendie généralisé. L'allumage est réalisé pendant 5 minutes par des brûleurs à gaz d'une puissance individuelle de 20 kW positionnés sous les palettes.

L'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai est indiquée par la courbe de la Figure 21. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai de type 2 (agression seule).

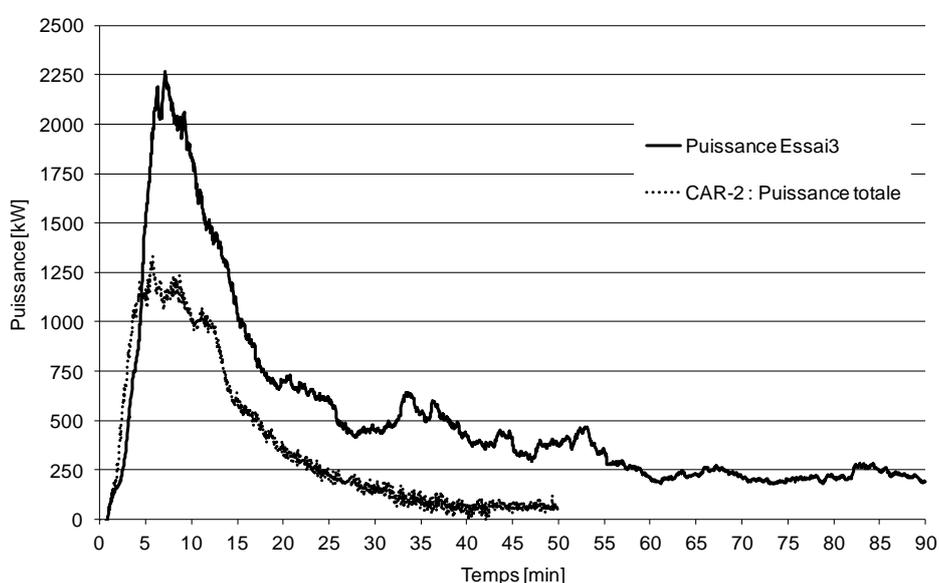


Figure 21 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de charcuterie.

En retranchant la puissance du blanc à la puissance totale, cela permet d'obtenir la puissance dégagée par la palette de salades, Figure 22. L'évolution de la puissance obtenue lors de l'essai 1 est également rappelée sur cette courbe. La puissance maximale atteinte par la palette de charcuterie lors de cet essai est de 1 159 kW, pendant une durée très courte, de l'ordre de 3 à 5 minutes.

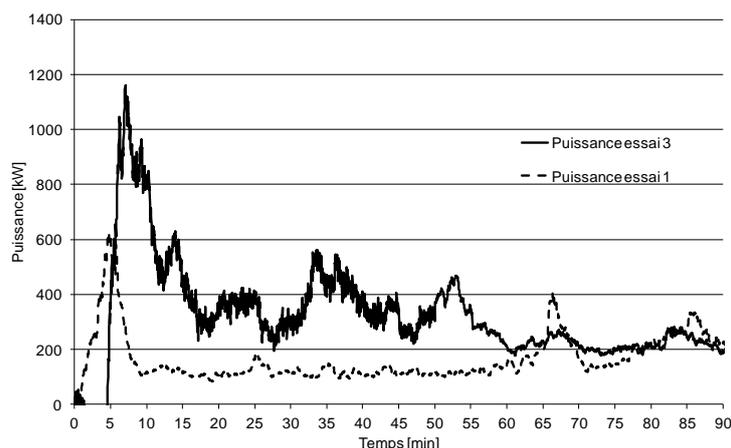


Figure 22 : Evolution de la puissance mesurée pendant l'essai 3 sur la palette de charcuterie.

Cette courbe montre que, d'une part, la cinétique de développement de l'incendie pour cet essai type 3 est plus lente que pour la même palette avec une agression par brûleur, essai type 1. D'autre part, elle montre un comportement significativement différent, notamment pour ce qui concerne le pic de puissance atteint, la puissance atteinte lors de ce second essai est près de 2 fois supérieure à celle mesurée lors du premier essai.

L'énergie totale dégagée par la combustion lors de cet essai de type 3 est de 1 931 MJ, pour une masse perdue de 263 kg pendant les 90 minutes indiquées, soit une chaleur de combustion d'environ 7 MJ/kg. Comme pour le premier essai, la combustion du produit se poursuit plusieurs heures après l'allumage de foyer pour une masse résiduelle finale de l'ordre de 2 kg.

Cet essai sur une palette de charcuterie met en évidence l'importance de réaliser les essais de type 3 représentatifs dans incendie généralisé, en effet, les agressions réciproques des palettes lors de l'incendie favorise la combustion des produits, ce qui ne peut pas être observé avec un essai sur une palette isolée.

3.2.5. Synthèse des essais

Il convient tout d'abord de comparer la puissance maximale obtenue et l'énergie dégagée à celles indiquées pour une palette type 1511 dans la méthode Flumilog.

La palette type 1511 dégage ainsi une puissance de 1 300 kW pour une palette de dimensions 1,2 x 0,8 x 1,5 m³, soit 1,44 m³. La puissance théorique dégagée par une palette de 1,2 x 0,8 x 1,8 serait ainsi de 1 560 kW et une énergie dégagée de 4 200 MJ.

La puissance pic mesurée pendant l'essai est légèrement inférieure à la puissance prédite pour une palette type. L'énergie totale dégagée est environ deux fois plus faible que l'énergie disponible pour la combustion d'une palette type. Il convient ainsi dans ce cas d'adapter la courbe à prendre en compte pour représenter au mieux le produit. Etant entendu que le type de courbe de puissance utilisable dans la méthode Flumilog est un créneau avec une valeur de puissance pendant une durée donnée, ce couple de valeur doit être fourni. Concernant la puissance, la valeur maximale mesurée doit être considérée, soit ici 1 159 kW. Afin de déterminer ensuite la durée de la combustion de la palette à prendre en compte pour l'évaluation des flux thermiques, il convient de conserver l'énergie, soit ici une durée nécessaire d'environ 28 minutes. Il convient toutefois de s'assurer que la puissance développée par la palette au-delà de cette durée ne contribue pas aux effets thermiques dans le cadre de l'utilisation de la méthode Flumilog, il convient de vérifier que le flux reçu à 1 m est bien inférieur à 1,5 kW/m², au-delà de la durée proposée. La Figure 23 montre l'évolution des flux en parallèle de la puissance du foyer.

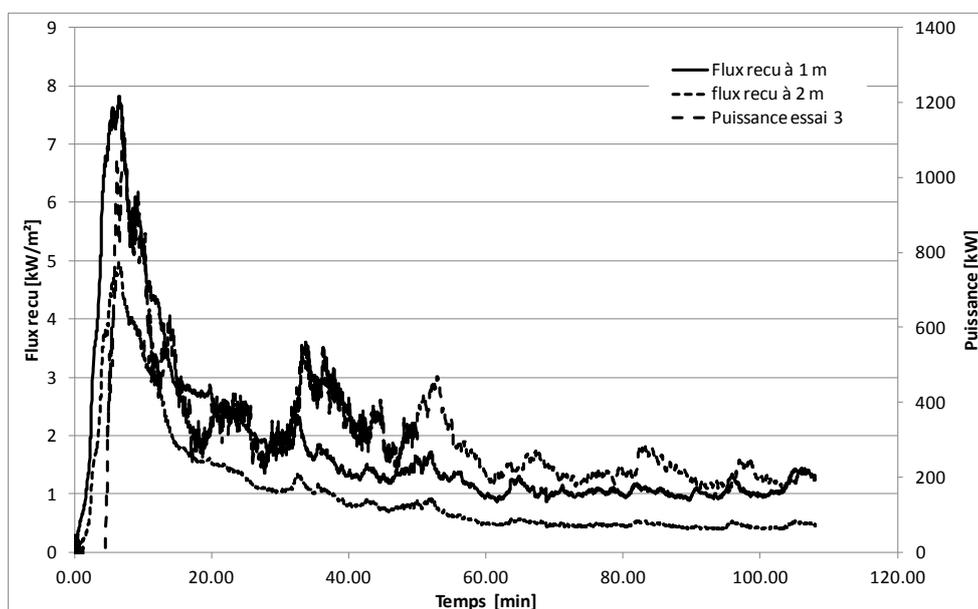


Figure 23 : Evolution des flux thermiques reçus à 1 et 2 m du foyer et de la puissance.

Cela conduit à surestimer l'énergie dégagée par la palette en considérant une durée d'incendie d'environ 38 minutes, comme pour le cas des salades, cela est en accord avec la démarche Flumilog. Le couple (Puissance ; Durée) retenu est donc (1 159 kW ; 38 minutes), Figure 24.

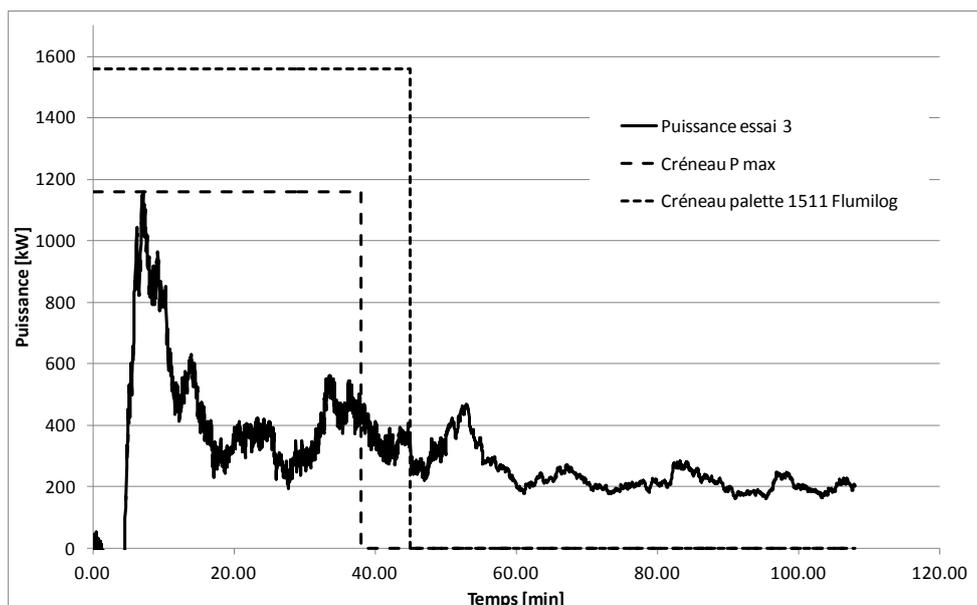


Figure 24 : Comparaison de l'évolution de la puissance dégagée par une palette de charcuterie et puissance d'une palette type équivalente et de la palette 1511 intégrée dans la méthode Flumilog.

3.3. CONCLUSION

Les essais montrent qu'une palette de charcuterie peut être modélisée dans le logiciel Flumilog par une palette expérimentale avec une puissance palette de **1 159 kW** et une durée de combustion de **38 minutes**.

Cette puissance n'est valable que pour une palette composée comme suit :

	Masse des produits [kg]
Bois palette	24
Carton	21
Emballage plastique)	12
Mortadelle	248
Rillettes	120
Masse totale	425

Les dimensions de la palette sont de **1,2 m de long, 0,8 m de large et 1,5 m de hauteur**.

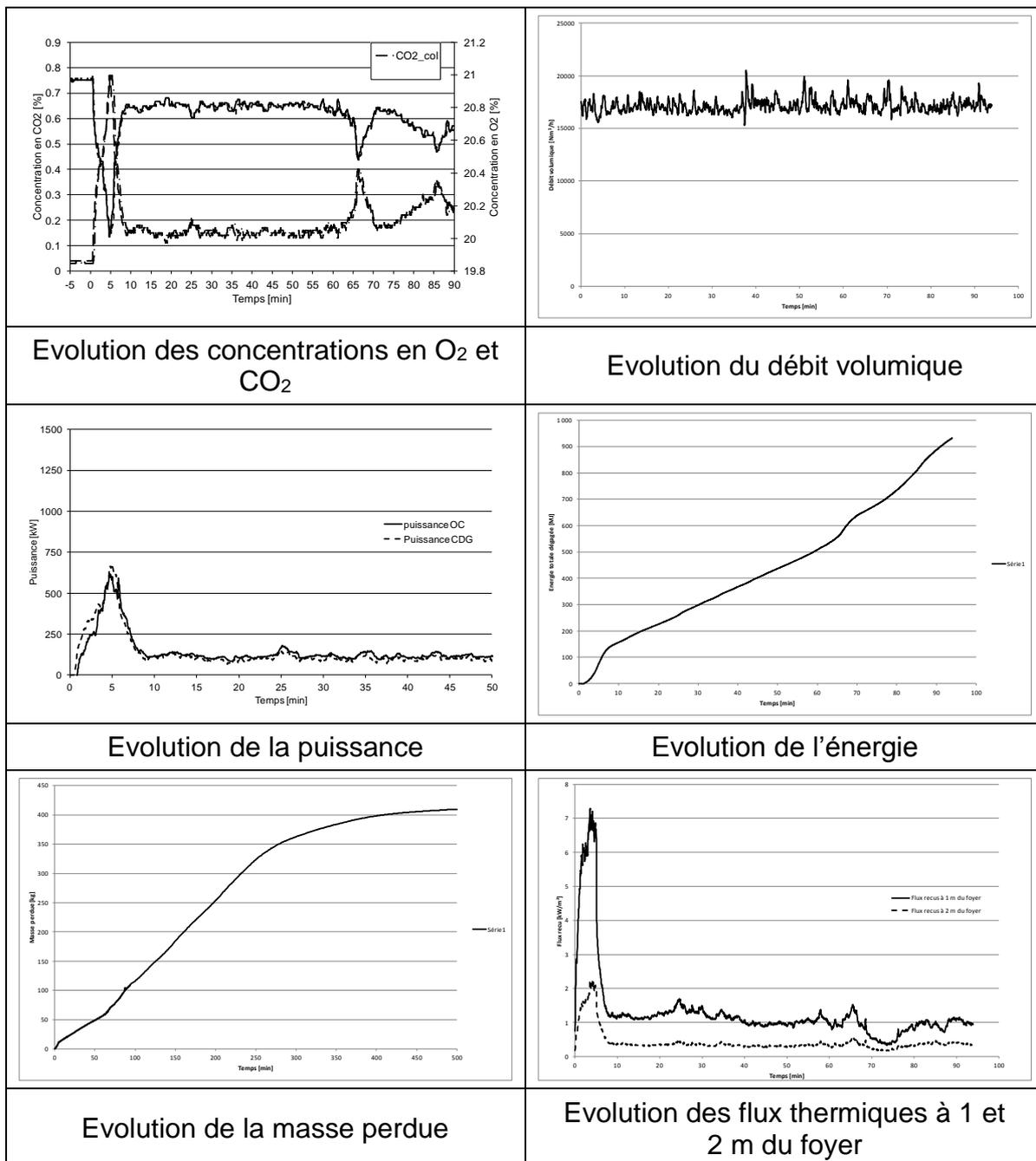
L'ensemble de ces valeurs sera à saisir dans le logiciel Flumilog pour le calcul des effets thermiques².

² Ces valeurs pourront être utilisées, de façon prudente, pour des palettes contenant une proportion de charcuterie plus importante.

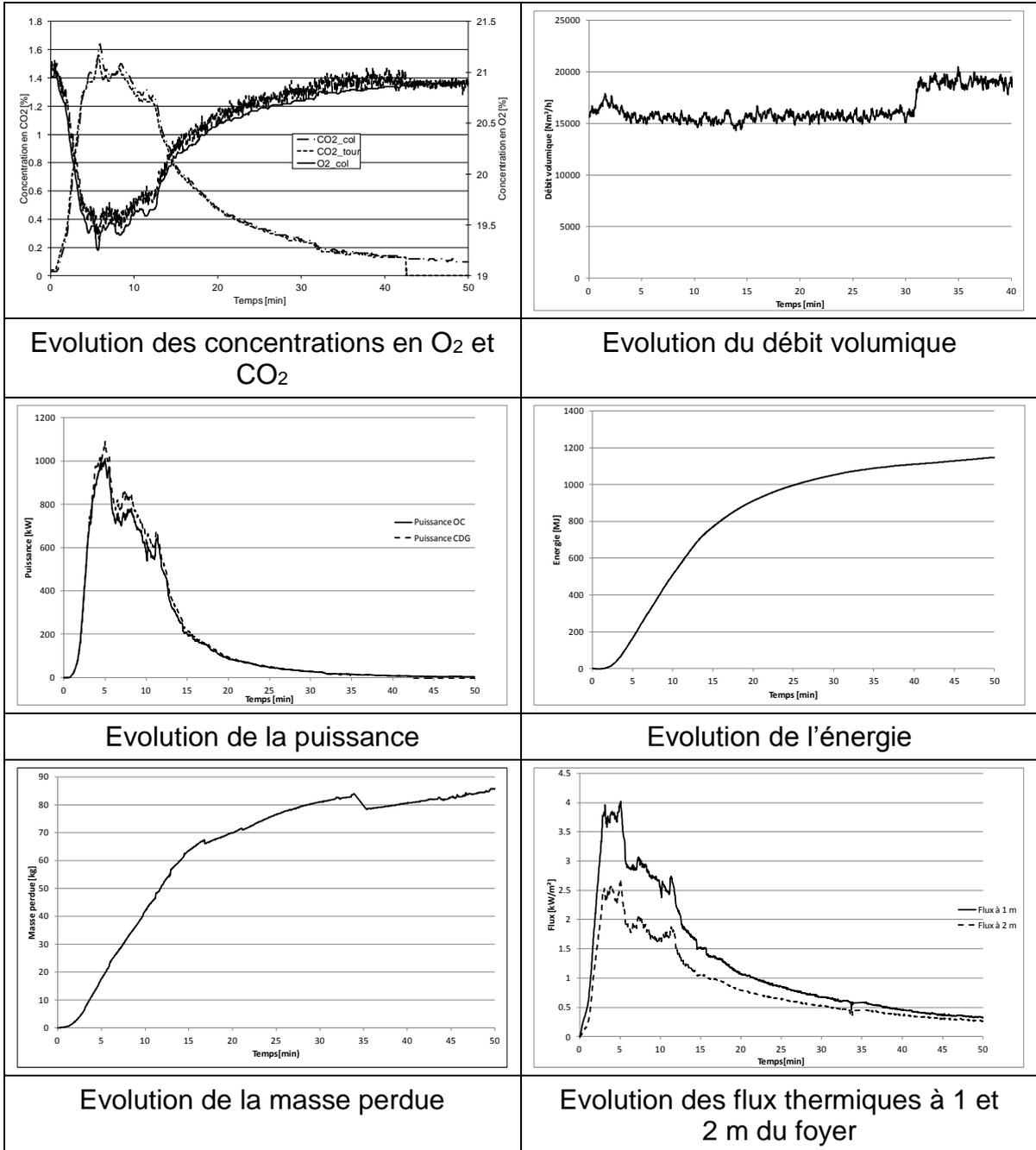
Dans ce cas, l'entrepôt concerné sera spécialisé pour stocker uniquement ce type de palettes ou des palettes ayant des effets thermiques inférieurs. L'exploitant devra préciser dans son dossier de demande comment il vérifiera le respect de ces conditions de stockage.

3.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

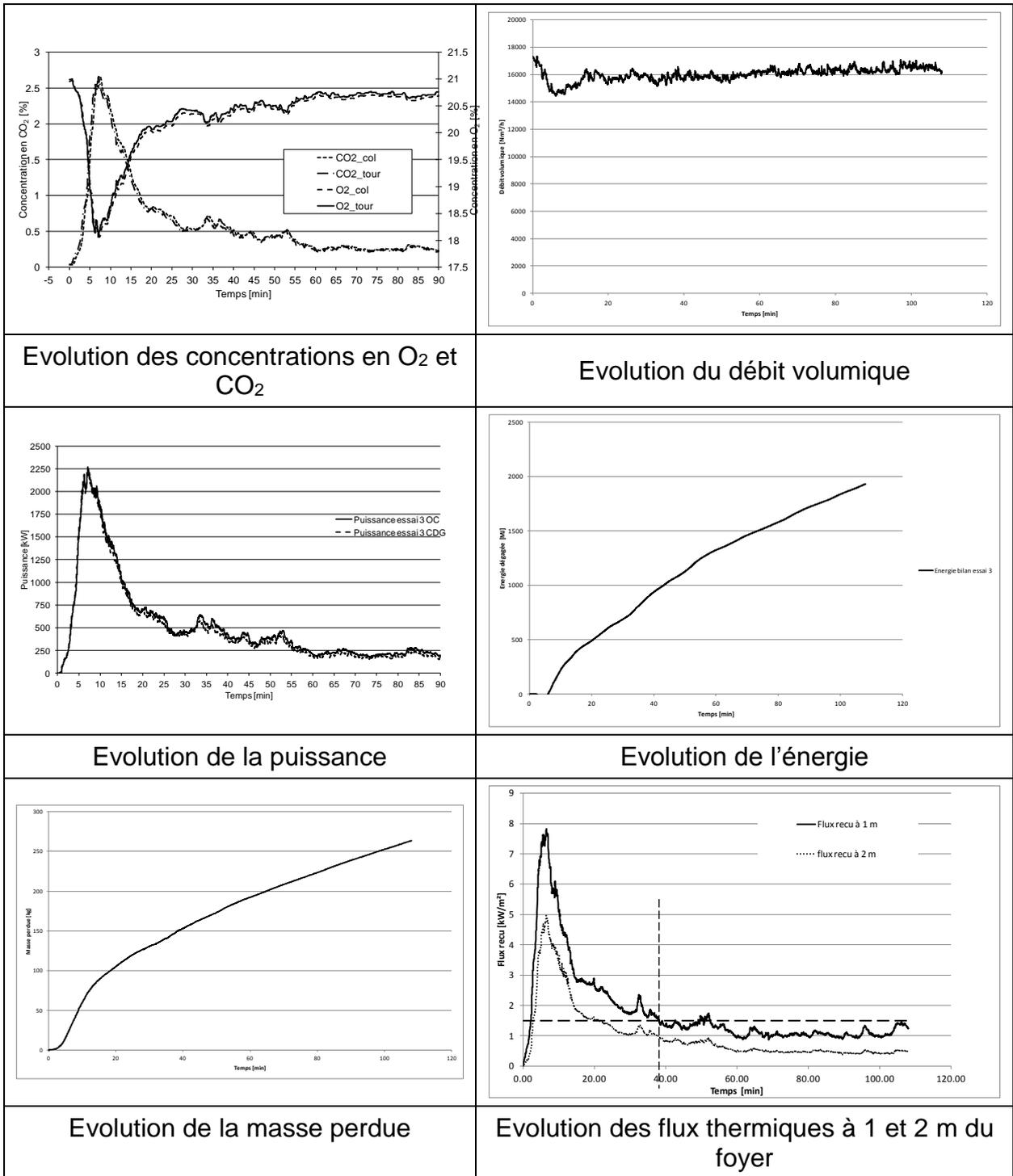
3.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1



3.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2



3.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3



4. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE DVD

4.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

4.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure 25. La zone d'essais est localisée à l'extrémité de la galerie, en pied de tour. La consigne de ventilation pour de tels essais est fixée entre 16 000 et 18 000 Nm³/h, la porte est positionnée à 30 cm du sol.

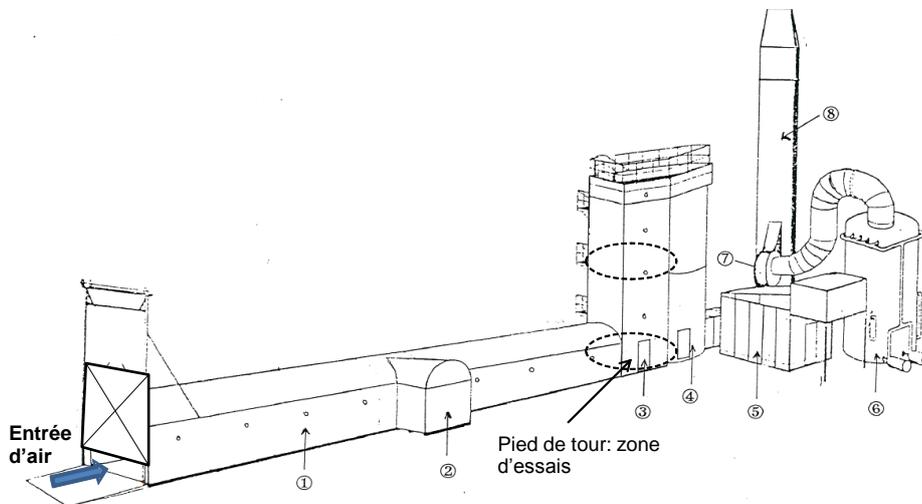


Figure 25 : Schéma de la galerie incendie

La Figure 26 présente la position des différents éléments ainsi que la métrologie mise en place. Cette métrologie est la même pour tous les essais réalisés.

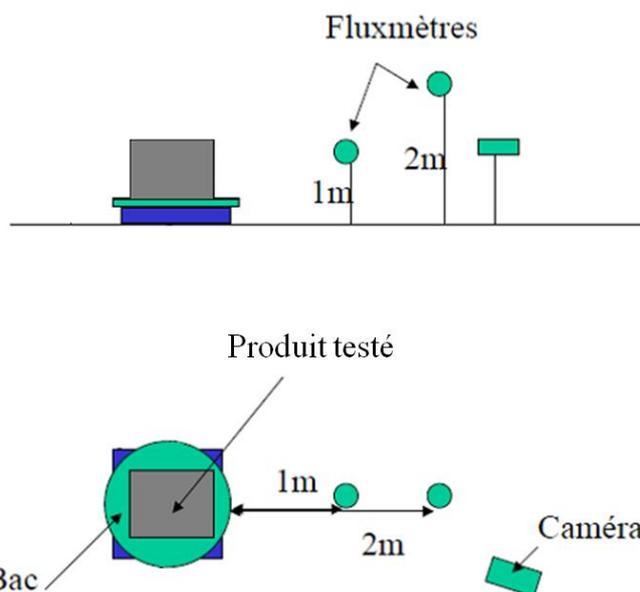


Figure 26 : Représentation schématique de la métrologie des essais

L'instrumentation mise en œuvre est donc constituée :

- de deux fluxmètres permettant de mesurer le flux à 1 et 2 m de hauteur, placés respectivement à une distance de 1 m et 2 m de l'échantillon sur la même face (gamme de flux 0-50 kW/m²) ;
- de mesures de concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) permettant la détermination de la puissance du feu ;
- d'un analyseur à transformée de Fourier Infrarouge (FTIR) permettant de déterminer les différents composés chimiques présents dans les fumées ;
- de plusieurs caméras, dont une caméra thermique, filmant les essais et permettant de déterminer la hauteur de flamme.

4.1.2. Essais réalisés

Conformément au protocole Flumilog d'essai palette de produits combustibles, document DRA-13-133881-07549A, 3 essais ont été réalisés :

- essai 1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- essai 2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- essai 3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

4.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

4.2.1. Description des palettes

Les 2 palettes de DVD étaient constituées de DVD placés dans des cartons empilés sur une palette Européenne de 1,2 X 0,8 m². La hauteur totale de la palette était de 1,8 m soit un volume total pour la palette de 1,7 m³.

La masse totale de la palette et les masses des différents constituants sont synthétisées dans le Tableau 5. Dans ce tableau, et dans tout le document, la chaleur moyenne de combustion indiquée est donnée pour la palette hors agression.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1	Palette Essai 3	ΔH_c produit [MJ/kg]
Bois palette	12	12	≈ 18
Carton	13,5	14,5	≈ 18
Papier	22,9	24,6	≈ 18
Polystyrène (Jaquettes des DVD)	181	194,6	≈ 40
Polycarbonate (DVD)	36,6	39,3	≈ 30
Masse totale	266	285	≈ 34,6
Charge de bois pour l'agression	0	137,6	≈ 18

Tableau 5 : Composition des palettes de DVD

La Figure 27 montre les palettes positionnées dans la galerie incendie avant les essais.



Figure 27 : Photographies des palettes avant les essais, gauche : essai 1, droite : essai 3

4.2.2. Essai n°1 : Palette seule

Cet essai consiste à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Pour cet essai, l'allumage est réalisé par deux brûleurs orientés vers la base de la palette, qui est décollée du sol à l'aide de bloc en Siporex. La position des différents éléments est schématisée sur la Figure 28.

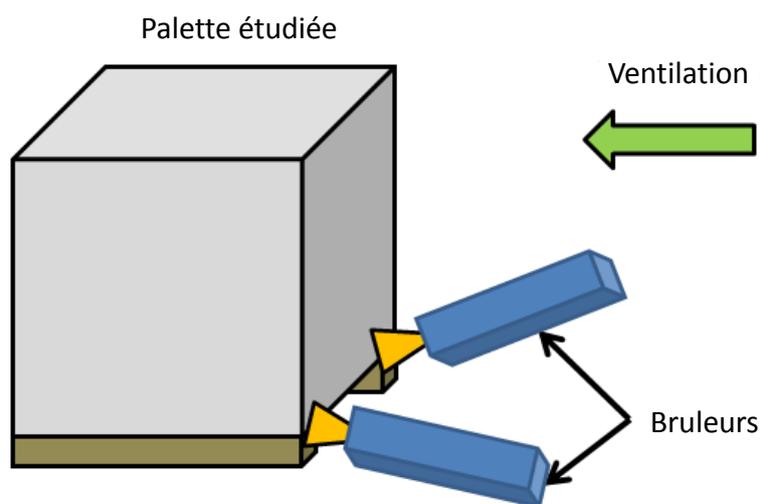


Figure 28 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance de la palette brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance est présentée sur la Figure 29 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

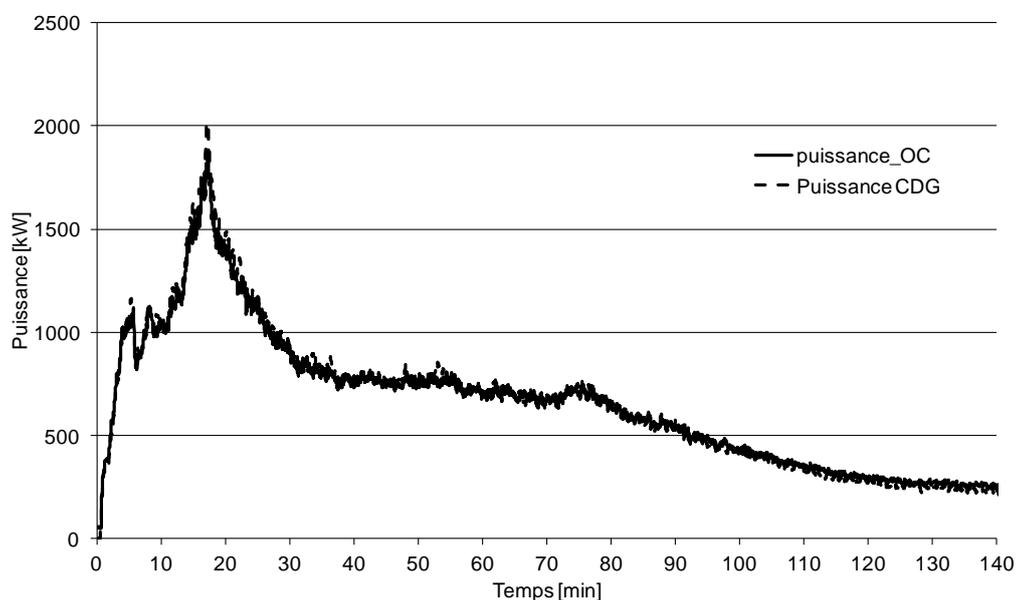


Figure 29 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1, comparaison des méthodes OC et CDG.

La puissance maximale mesurée lors de cet essai est de 1 885 kW. L'énergie totale dégagée durant cet essai est de 6 050 MJ pour une masse perdue de 250,7 kg. La chaleur de combustion moyenne pour cet essai est donc de 24 MJ/kg. Cette valeur est cohérente, bien qu'un peu plus faible, avec celle attendue sur la base de la composition de la palette.

De plus, cet essai permet de démontrer la cohérence de l'instrumentation en montrant l'homogénéité des valeurs de concentration mesurée.

La Figure 30 montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

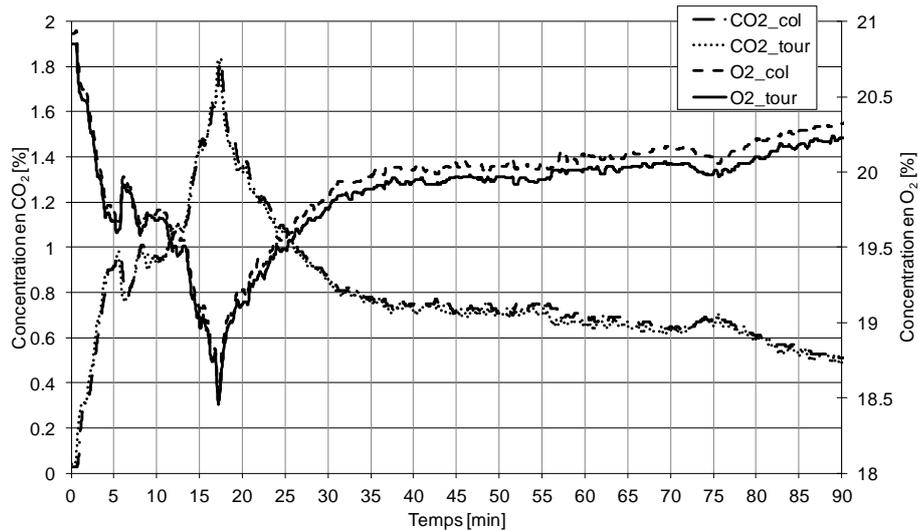


Figure 30 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure.

Cette courbe montre un excellent accord entre les 2 points de mesure témoignant de l'homogénéité du mélange gazeux au point de mesure. Dans la négative (inférieur à 5%), cela prouve que l'instrumentation n'est pas adaptée.

4.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression

L'inflammation est réalisée à l'aide de trois petits brûleurs au propane d'une puissance unitaire de 20 kW environ ou de coupelles d'heptane. Quel que soit le mode d'allumage utilisé, la puissance et l'énergie développées par ce dernier sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La Figure 31 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

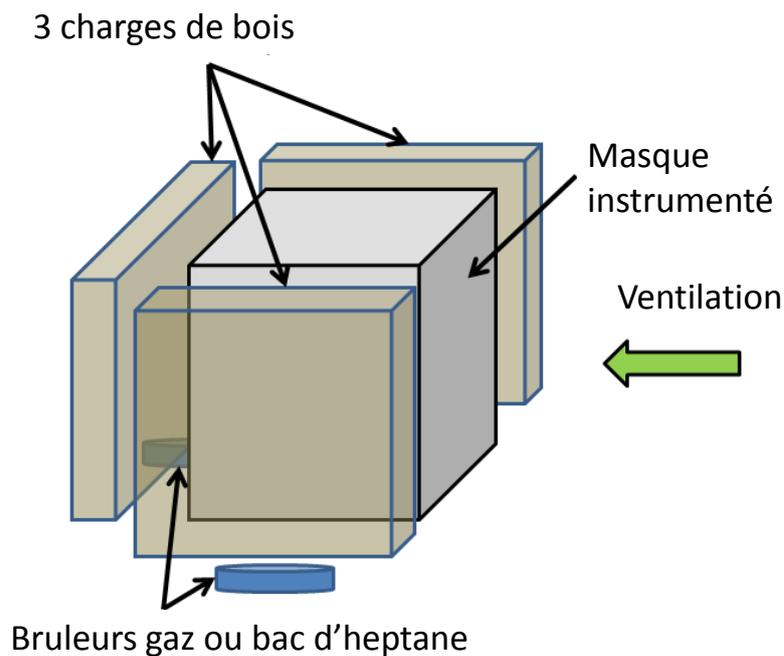


Figure 31 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

Afin de reproduire la proximité de palettes voisines lors de l'essai 3, l'agression au moyen de 4 palettes par face a été retenue. La Figure 32 montre l'évolution de la puissance mesurée lors de l'essai 1 avec la puissance individuelle des agressions pour l'essai n°2.

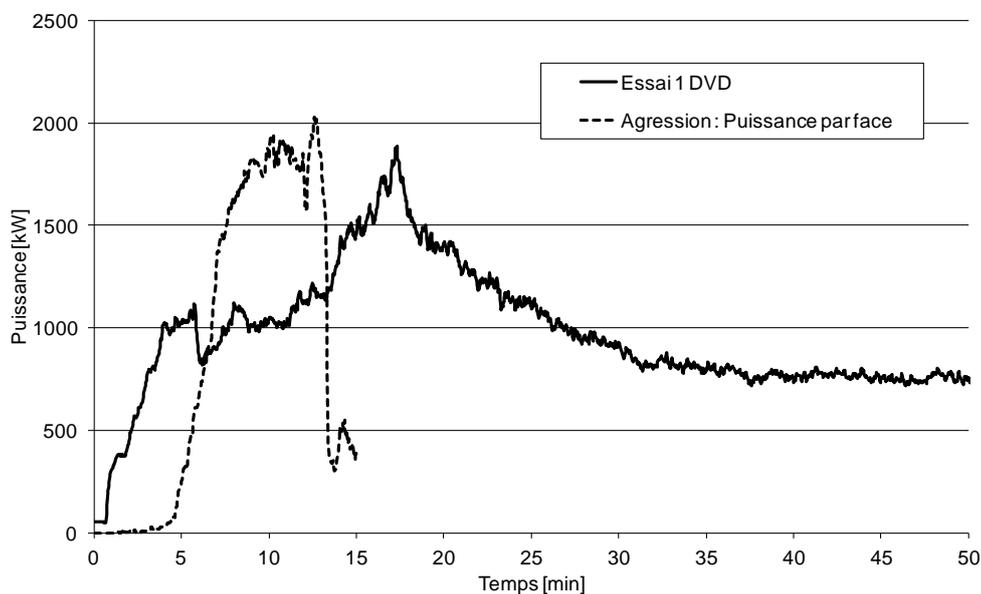


Figure 32 : Evolution de la puissance palette essai 1 et de l'agression retenue.

Le pic de puissance est bien identique avec une cinétique plus rapide pour l'agression.

4.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage

Cet essai consiste à mesurer la puissance développée par l'incendie d'une palette de DVD agressée sur 3 de ses faces par un incendie de puissance similaire, correspondant ainsi au développement du feu pour une palette prise dans un incendie généralisé. L'allumage est réalisé pendant 5 minutes par des brûleurs gaz d'une puissance individuelle de 20 kW positionnés sous les palettes.

L'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai est indiquée par la courbe de la Figure 33. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai n°2, identifié essai CAR-4 sur cette courbe.

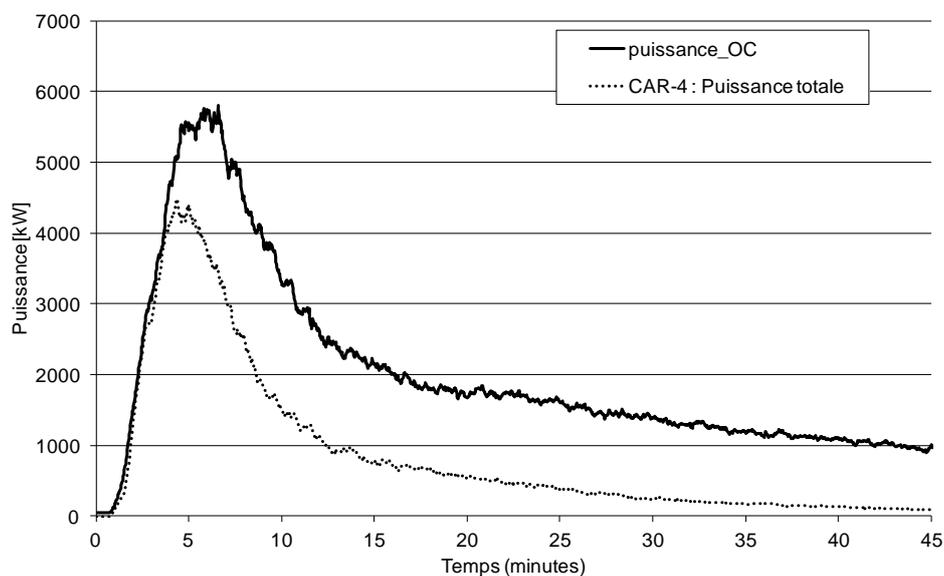


Figure 33 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de DVD

En retranchant la puissance du blanc à la puissance totale, cela permet d'obtenir la puissance dégagée par la palette de DVD, Figure 34. L'essai à blanc à considérer ici est l'essai CAR-4 comme indiqué précédemment, de façon plus générale, il s'agit de l'essai type 2 réalisé. L'évolution de la puissance obtenue lors de l'essai 1 est également rappelée sur cette courbe. La puissance maximale atteinte par la palette de DVD lors de cet essai est de 2 414 kW.

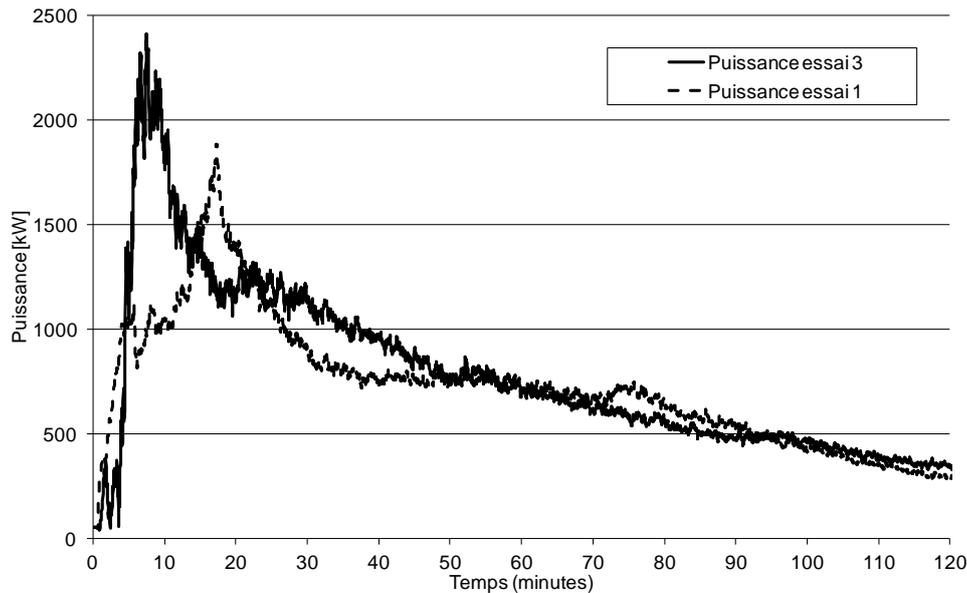


Figure 34 : Evolution de la puissance mesurée pendant l'essai 3 sur la palette de DVD

Cette courbe montre un développement plus rapide de l'incendie sur la palette de DVD liée notamment à la présence de l'agression. Elle montre également que la puissance mesurée environ 20% supérieure pour l'essai type 3 avec, pour mémoire une masse de palette environ 7% supérieure lors de l'essai 3.

L'énergie totale dégagée par la combustion de la palette de DVD est de 7 768 MJ, pour une masse perdue de 395,1 kg, soit une chaleur de combustion d'environ 20 MJ/kg.

4.2.5. Synthèse des essais

Il convient tout d'abord de comparer la puissance maximale obtenue et l'énergie dégagée à celles indiquées pour une palette type 2662 dans la méthode Flumilog.

La palette type 2662 dégage ainsi une puissance de 1825 kW pour une palette de dimensions 1,2 x 0,8 x 1,5 m³, soit 1,44 m³. La charge combustible présente étant directement fonction du volume de la palette, à temps de combustion égale, la puissance est donc également directement fonction du volume de celle-ci. La puissance théorique dégagée par une palette de 1,2 x 0,8 x 1,8 serait ainsi de 2 250 kW et une énergie dégagée de 6 075 MJ. La puissance pic mesurée pendant l'essai est proche de la puissance prédite pour une palette type. L'écart sur l'énergie peut être expliqué par la durée importante de la combustion lors de l'essai, celle-ci se poursuit en effet pendant plusieurs heures, sous forme de braises avec une puissance faible, moins de 250 kW. Lors de cette phase, le flux reçu à 1 m du foyer est d'environ 1 kW/m², ce qui ne génère par conséquent aucun effet thermique. La Figure 35 montre l'évolution dans le temps de la puissance expérimentale en comparaison de la courbe utilisée pour une palette type, corrigée pour tenir compte de la taille de la palette.

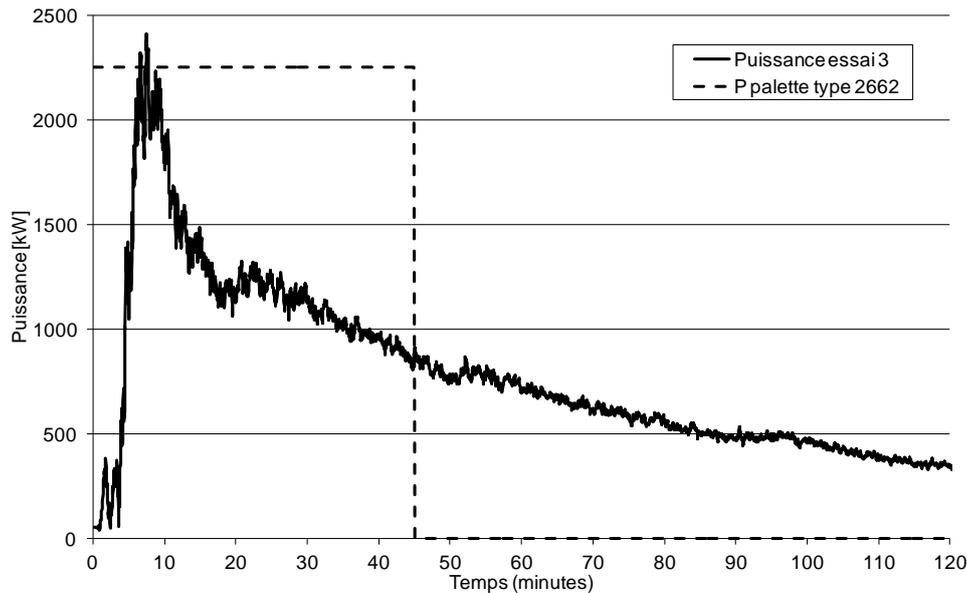


Figure 35 : Comparaison de l'évolution de la puissance dégagée par une palette de DVD et puissance d'une palette type équivalente

Il convient dans ce cas de retenir une palette type 2662 pour le calcul des distances d'effets thermiques avec l'outil Flumilog. En effet, au vu de la puissance pic obtenue et de l'énergie totale dégagée, les distances d'effet calculées au moyen du logiciel Flumilog pour une palette type sont représentatives de ce type de palettes.

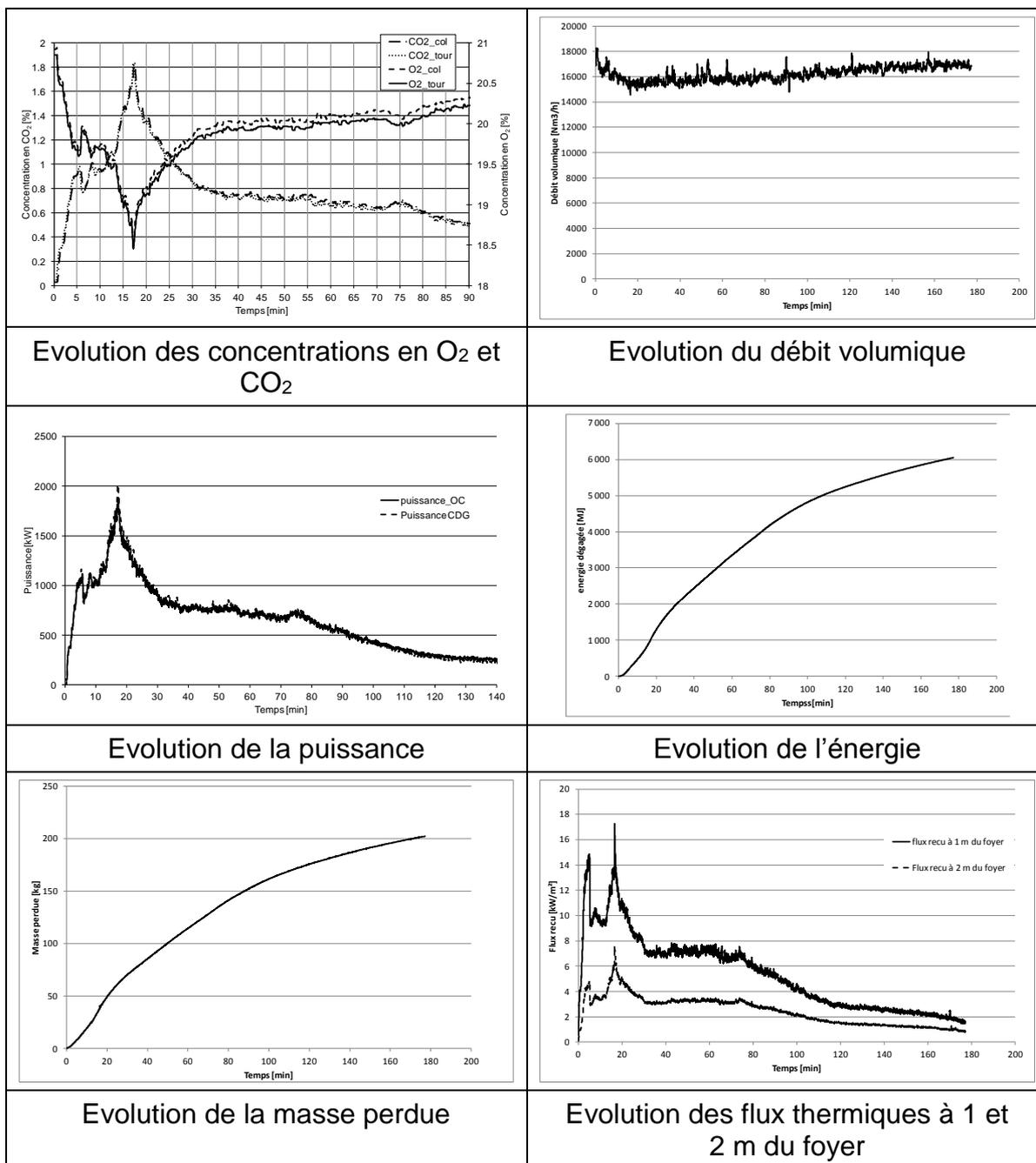
Les courbes des résultats des essais sont présentées en annexe de ce rapport d'essais.

4.3. CONCLUSION

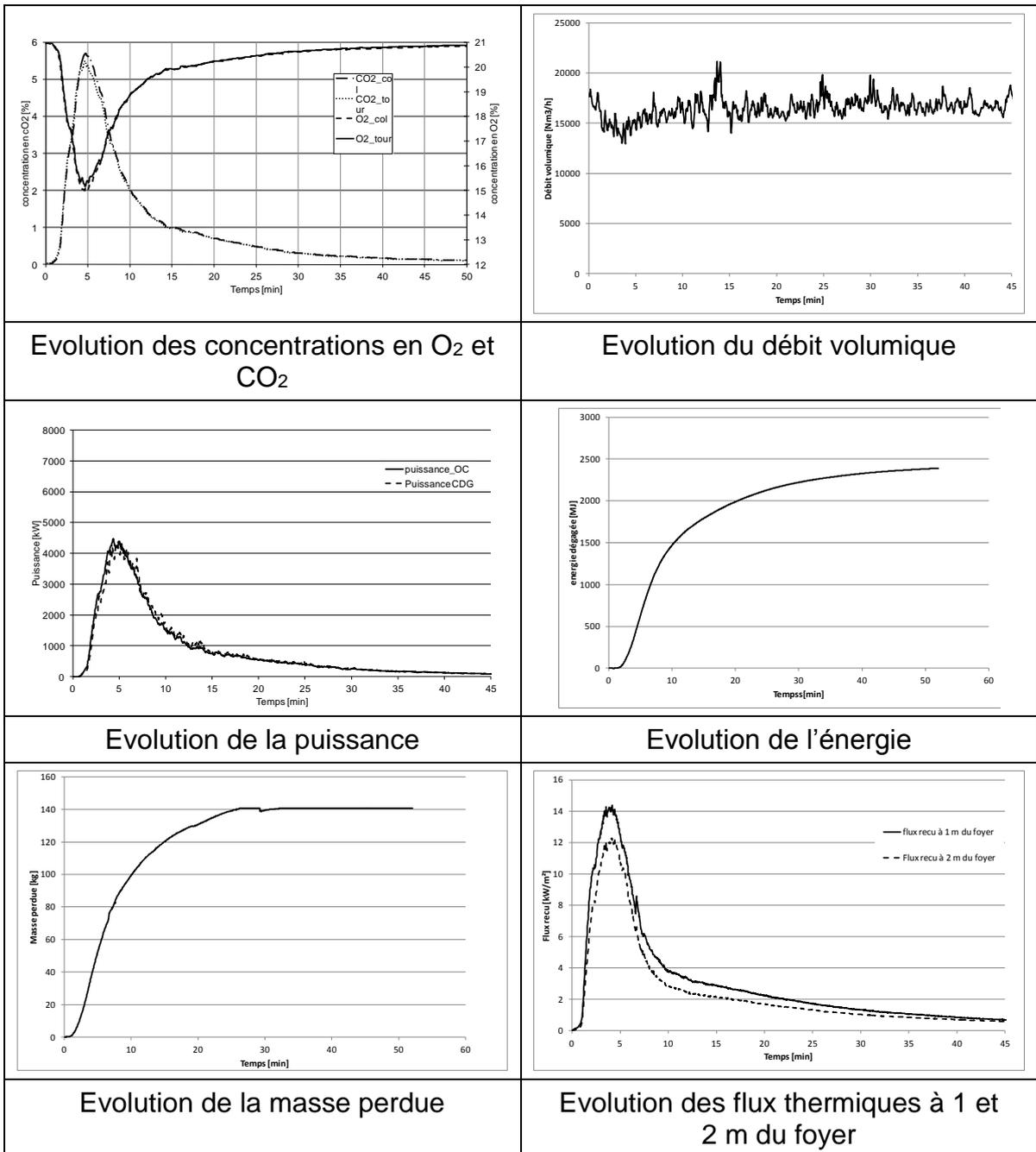
Les essais montrent qu'il n'y a pas d'intérêt à considérer des caractéristiques spécifiques de combustion relative à la palette de DVD car la palette type 2662 est représentative de ces caractéristiques pour le calcul des distances d'effet thermiques avec l'outil Flumilog.

4.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

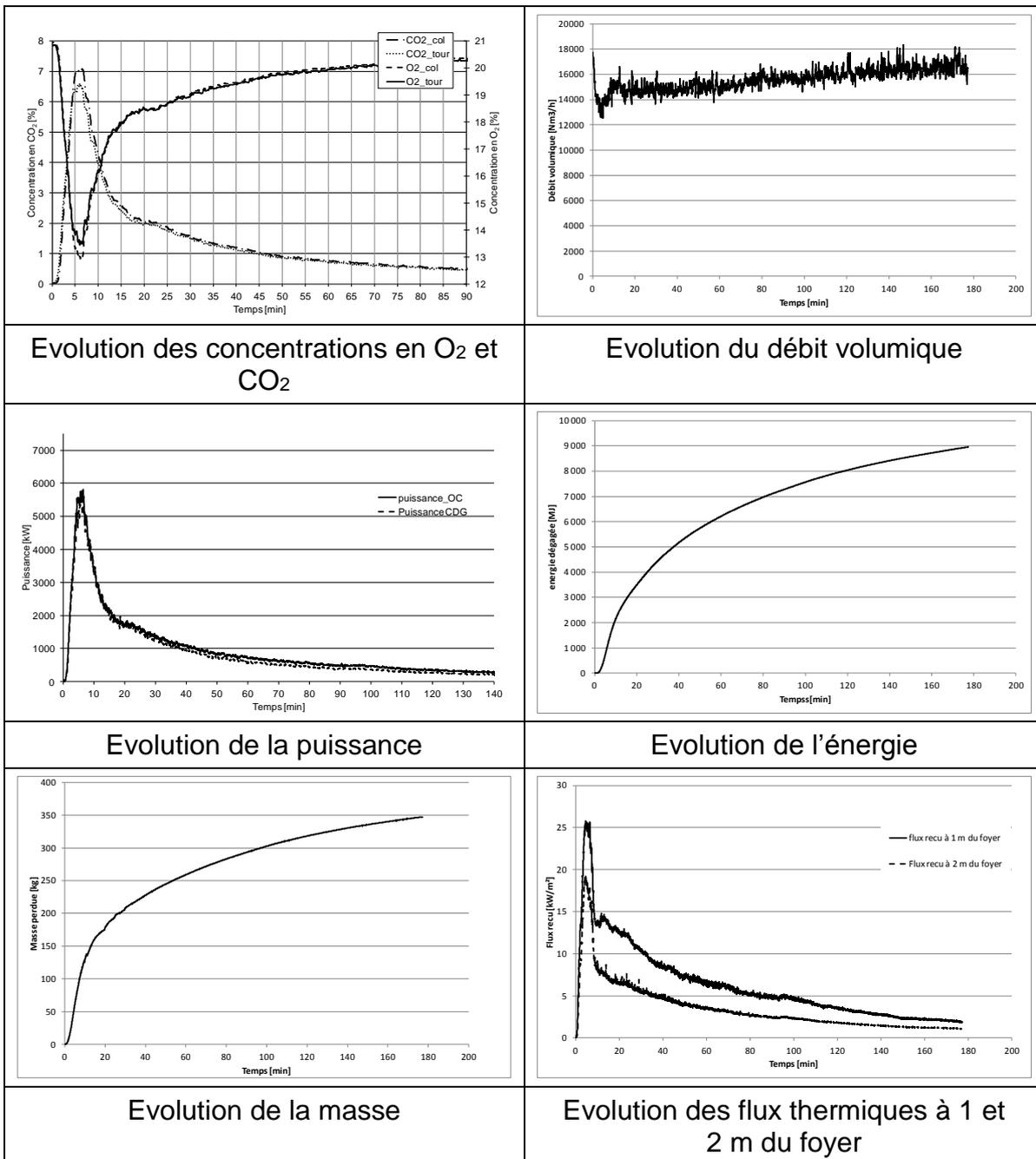
4.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1



4.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2



4.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3



5. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE BEURRE SURGELE

5.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

5.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure 36. La zone d'essais est localisée à l'extrémité de la galerie, en pied de tour. La consigne de ventilation pour de tels essais est fixée entre 16 000 et 18 000 Nm³/h, la porte est positionnée à 30 cm du sol.

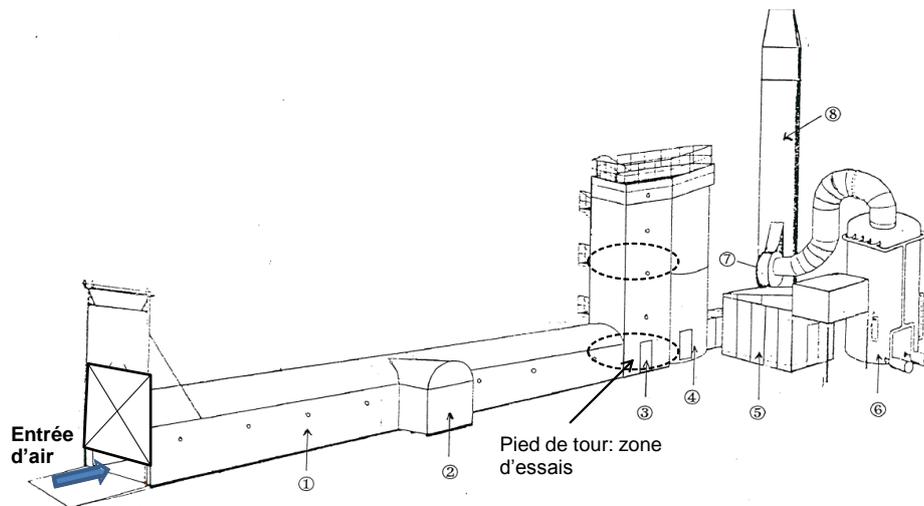


Figure 36 : Schéma de la galerie incendie

La Figure 37 présente la position des différents éléments ainsi que la métrologie mise en place. Cette métrologie est la même pour tous les essais réalisés.

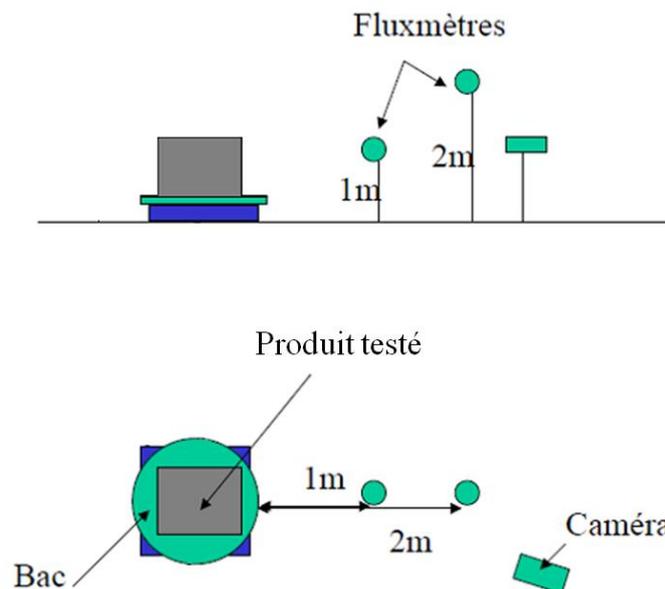


Figure 37 : Représentation schématique de la métrologie des essais

L'instrumentation mise en œuvre est donc constituée :

- de deux fluxmètres permettant de mesurer le flux à 1 et 2 m de hauteur, placés respectivement à une distance de 1 m et 2 m de l'échantillon sur la même face (gamme de flux 0-50 kW/m²) ;
- de mesures de concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) permettant la détermination de la puissance du feu ;
- d'un analyseur à transformée de Fourier Infrarouge (FTIR) permettant de déterminer les différents composés chimiques présents dans les fumées ;
- de plusieurs caméras, dont une caméra thermique, filmant les essais et permettant de déterminer la hauteur de flamme.

5.1.2. Essais réalisés

Conformément au protocole Flumilog d'essai palette de produits combustibles, document DRA-13-133881-07549A, 3 essais ont été réalisés :

- essai 1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- essai 2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- essai 3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

5.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

5.2.1. Description des palettes

Les 2 palettes de beurre surgelé étaient constituées de mottes de 25 kg de beurre, soit une masse totale de 800 kg de beurre. A cela s'ajoutent les cartons mais également la masse de film d'emballage. La hauteur totale de la palette était de 1,8 m soit un volume total pour la palette de 1,7 m³.

La masse totale de la palette et les masses des différents constituants sont synthétisées dans le Tableau 6. Les deux palettes fournies étaient exactement identiques.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1	Palette Essai 3	ΔH_c produit [MJ/kg]
Bois palette	20	20	≈ 18
Carton	14,4	14,4	≈ 18
Emballage plastique	1,6	1,6	≈ 40
Beurre	800	800	≈ 35
Charge de bois pour l'agression	0	67,5	≈ 18
Masse totale	836	904	$\approx 34,3$

Tableau 6 : Composition des palettes de beurre.

La Figure 38 montre les palettes positionnées dans la galerie incendie avant les essais.



Figure 38 : Photographies des palettes de beurre avant les essais, gauche : essai 1, Droite : essai 3.

5.2.2. Essai n°1 : Palette seule

Cet essai consiste à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Pour cet essai, l'allumage est réalisé par deux brûleurs orientés vers la base de la palette, qui est décollée du sol à l'aide de bloc en Siporex. La position des différents éléments est schématisée sur la Figure 39.

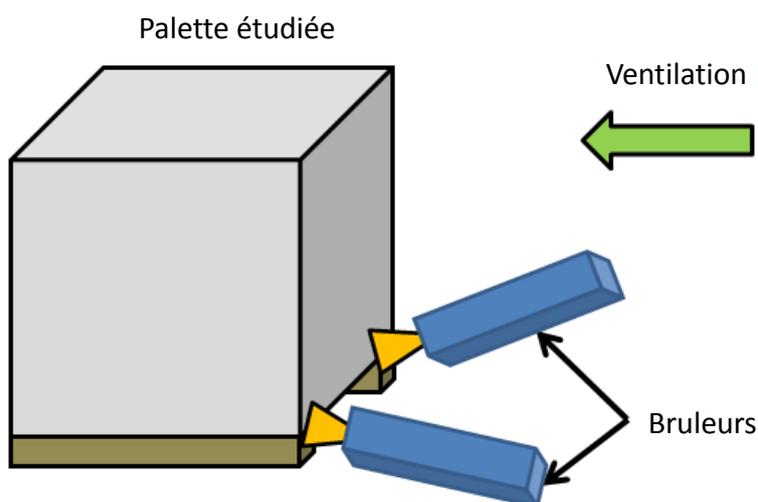


Figure 39 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance de la palette brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance est présentée sur la Figure 40 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

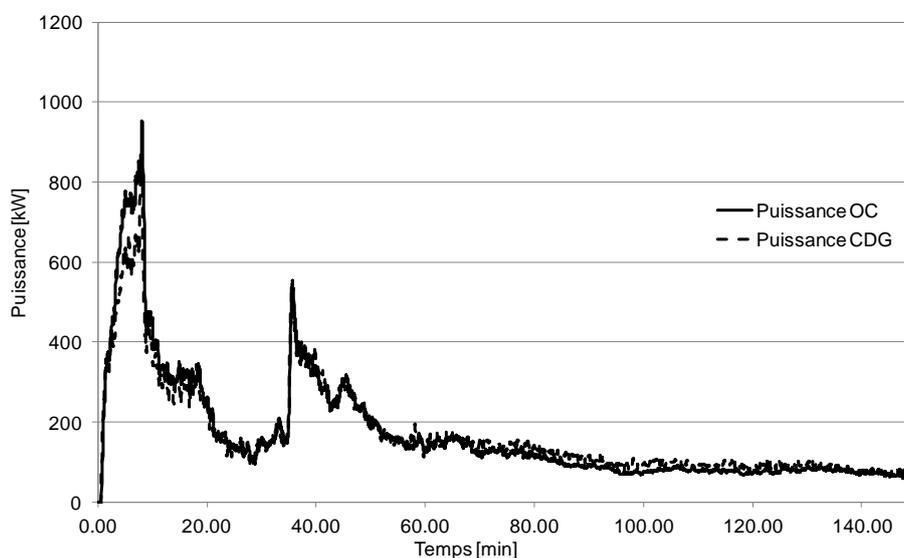


Figure 40 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1, comparaison des méthodes OC et CDG.

La puissance maximale mesurée lors de cet essai est légèrement inférieure à 1 000 kW. L'énergie totale dégagée durant cet essai est de 1 560 MJ pour une masse perdue de 270 kg. La chaleur de combustion moyenne pour cet essai est donc de 6 MJ/kg. Cette valeur est cohérente, bien qu'un peu plus faible, avec celle attendue sur la base de la composition de la palette.

De plus, cet essai permet de démontrer la cohérence de l'instrumentation en montrant l'homogénéité des valeurs de concentration mesurée.

La Figure 41 montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

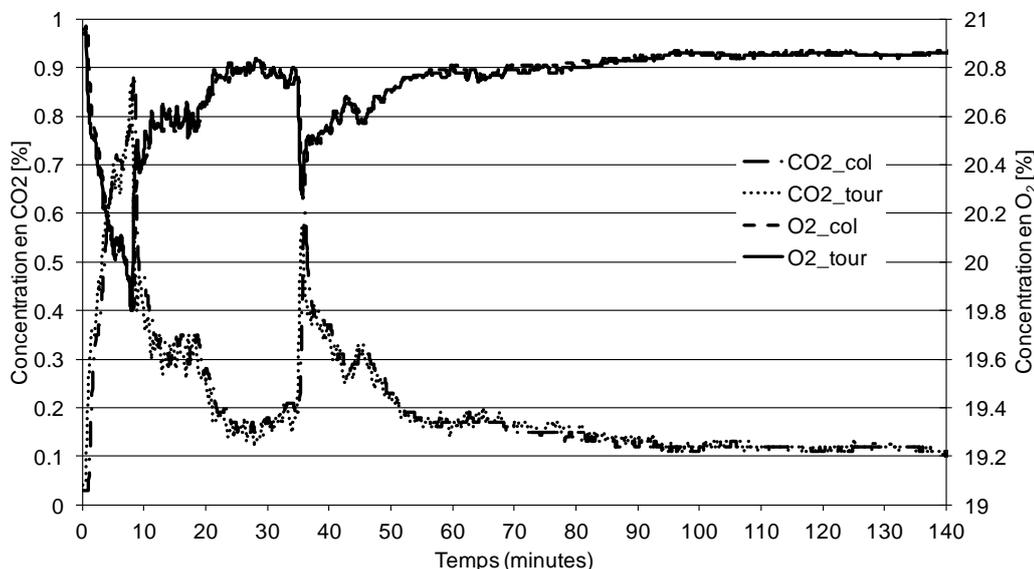


Figure 41 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure.

Cette courbe montre un excellent accord entre les 2 points de mesure témoignant de l'homogénéité du mélange gazeux au point de mesure.

5.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression

L'inflammation est réalisée à l'aide de trois petits brûleurs au propane d'une puissance unitaire de 20 kW environ ou de coupelles d'heptane. Quel que soit le mode d'allumage utilisé, la puissance et l'énergie développées par ce dernier sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La Figure 42 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

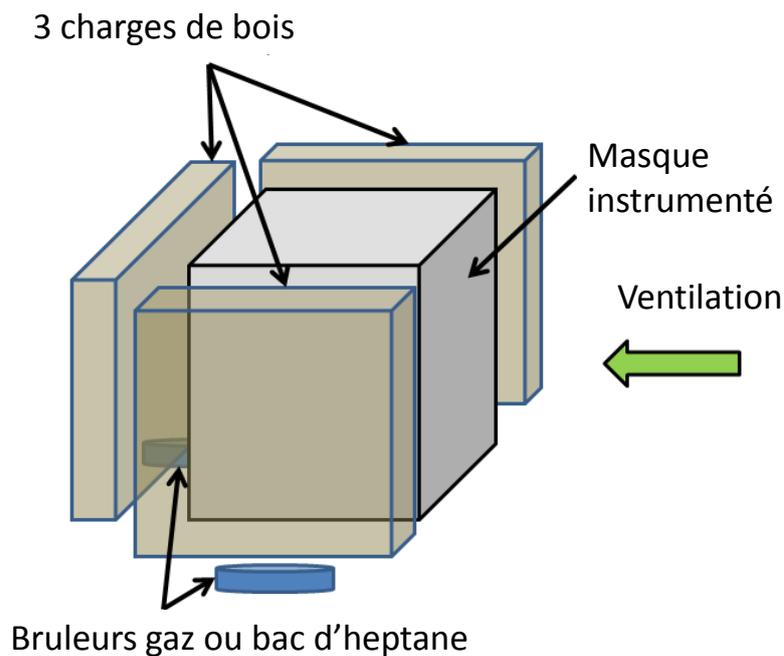


Figure 42 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

Afin de reproduire la proximité de palettes voisines lors de l'essai 3, l'agression au moyen de 4 palettes par face a été retenue. La Figure 43 montre l'évolution de la puissance mesurée lors de l'essai 1 avec la puissance individuelle des agressions pour l'essai n°2.

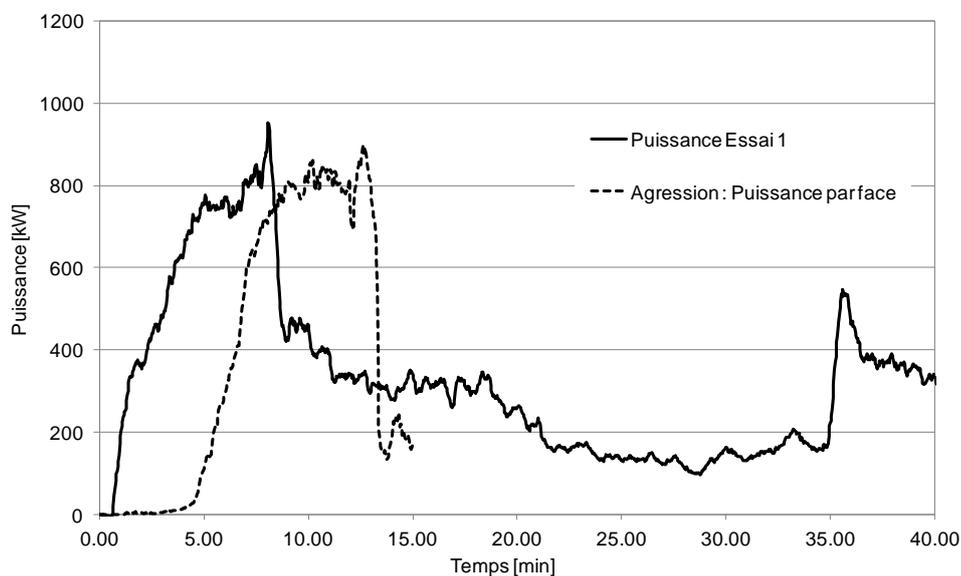


Figure 43 : Evolution de la puissance palette essai 1 et de l'agression retenue.

Le pic de puissance est bien identique avec une cinétique légèrement plus lente pour l'agression.

5.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage

Cet essai consiste à mesurer la puissance développée par l'incendie d'une palette de beurre surgelé agressée sur 3 de ses faces par un incendie de puissance similaire, correspondant ainsi au développement du feu pour une palette prise dans un incendie généralisé. L'allumage est réalisé pendant 5 minutes par des brûleurs gaz d'une puissance individuelle de 20 kW positionnés sous les palettes.

L'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai est indiquée par la courbe de la Figure 44. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai n°2 dit essai à blanc.

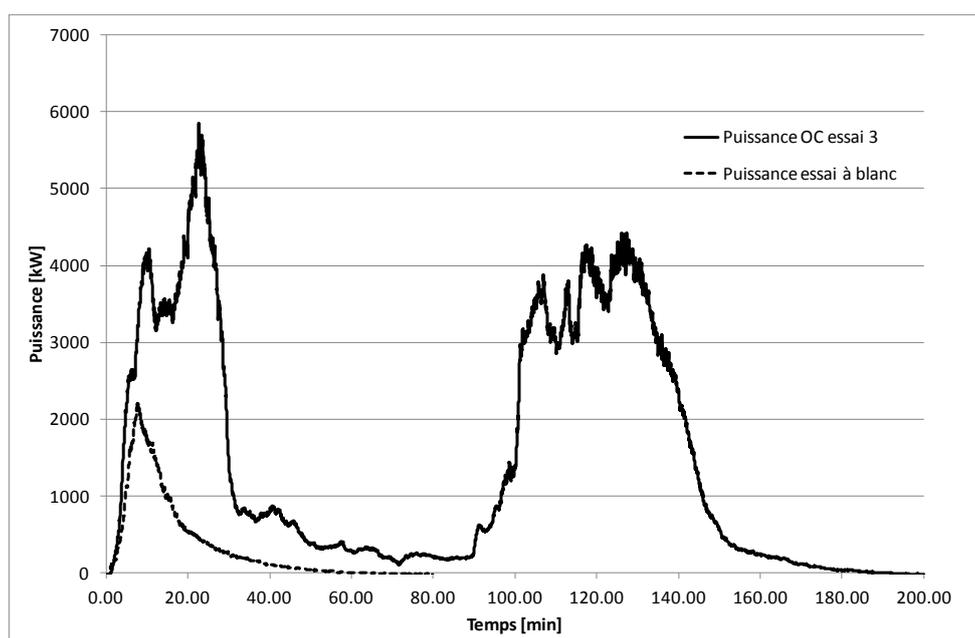


Figure 44 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de beurre surgelé.

En retranchant la puissance du blanc à la puissance totale, cela permet d'obtenir la puissance dégagée par la palette de beurre surgelé, Figure 45. L'essai à blanc à considérer ici est l'essai CAR-4 comme indiqué précédemment, de façon plus générale, il s'agit de l'essai type 2 réalisé. L'évolution de la puissance obtenue lors de l'essai 1 est également rappelée sur cette courbe. La puissance maximale atteinte par la palette de beurre surgelé lors de cet essai est de 5 000 kW.

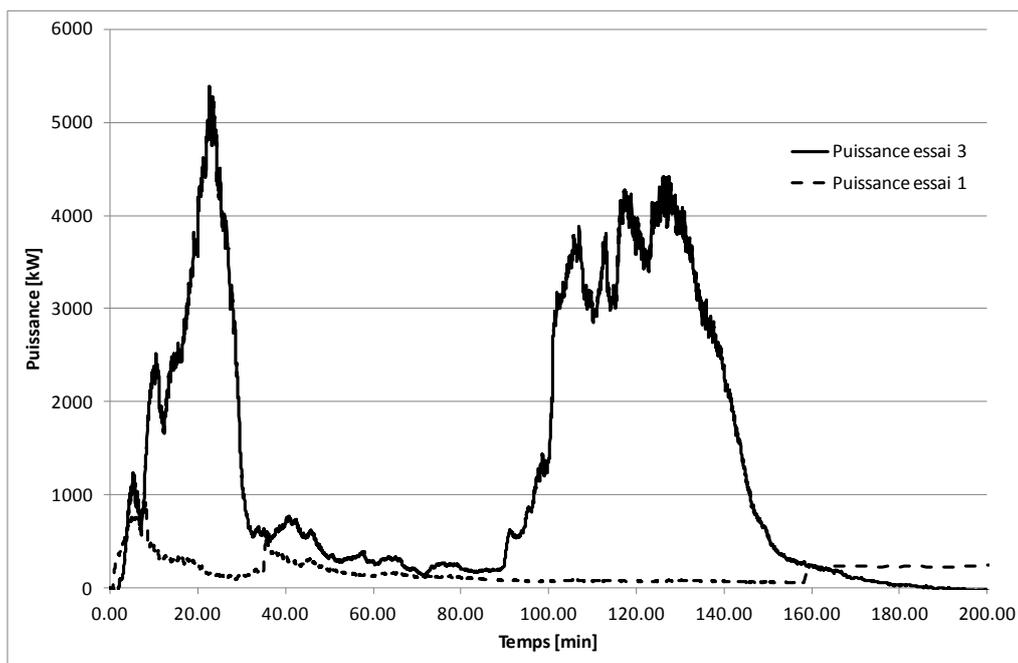


Figure 45 : Evolution de la puissance mesurée pendant l'essai 3 sur la palette de beurre surgelé.

Cette courbe montre un développement très rapide de l'incendie sur la palette de beurre liée notamment à la présence de l'agression. Elle montre également le développement d'un incendie en deux phases, une première phase correspondant à un feu de solide puis une seconde phase, après liquéfaction du produit. Il s'agit alors d'un feu de nappe de beurre.

5.2.5. Synthèse des essais

Cet essai a avant tout mis en évidence le risque d'engendrer un feu de nappe de puissance très importante. Il convient ainsi, pour une palette de produit liquéfiable, de prendre en considération cet aspect. Pour cela, il convient d'utiliser une approche similaire à celle développée pour les palettes de la rubrique 2663. Cette méthode prend ainsi en compte, non seulement l'enveloppe de la palette mais ajoute la surface au sol comme participant à la combustion. Il convient ainsi de calculer la puissance palette en intégrant cette spécificité.

Le bac de rétention utilisé pour l'essai avec palette de beurre mesurant 9 m², la puissance surfacique de l'incendie était donc de 555 kW/m². Il est évident que la puissance développée sera fonction de la taille de la flaque. Dans le cas d'un entrepôt, la taille de flaque associée à la palette correspondra à la surface de la palette additionnée de la demi-largeur des allées que multiplie la largeur de la palette, soit environ 2,5 m² pour des allée de 2,5 m de large. La surface totale de la flaque serait alors de 3,46 m², correspondant à une puissance de 1 920 kW. Dans la méthode Flumilog, la surface prise en compte sera la surface développée de la palette atteignant, pour cette palette 8,16 m² additionnée de 2,5 m² pour prendre en compte les allées, soit 10,66 m². La puissance à considérer pour la palette dans le cadre de l'utilisation de la méthode est donc de 1 470 kW. En effet, la puissance calculée dans Flumilog sera alors de : $P_{palette} / (S_{développée_palette}) * S_{en\ feu}$, soit bien 1 920 kW.

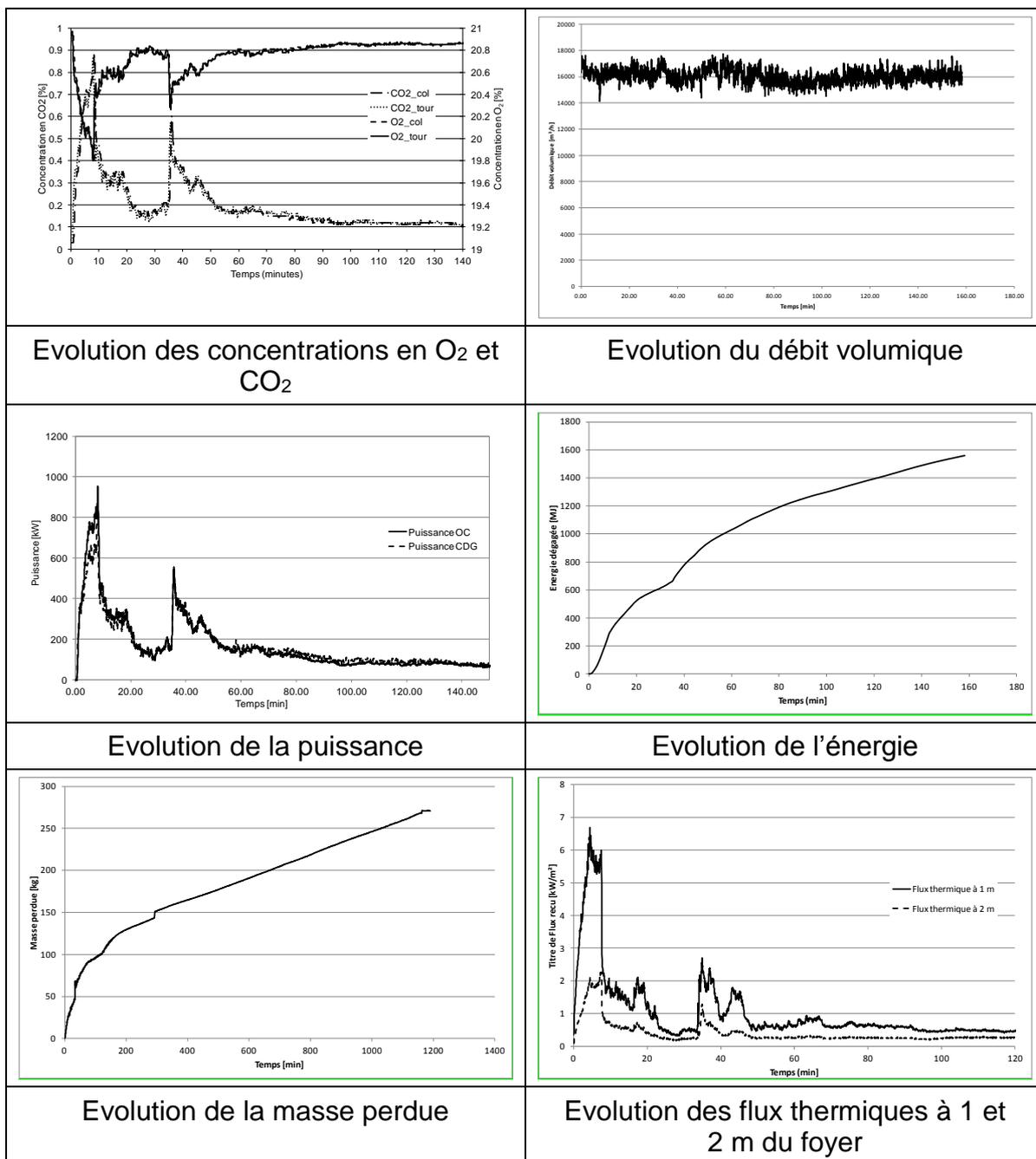
Les courbes des résultats des essais sont présentées en annexe de ce rapport d'essais.

5.3. CONCLUSION

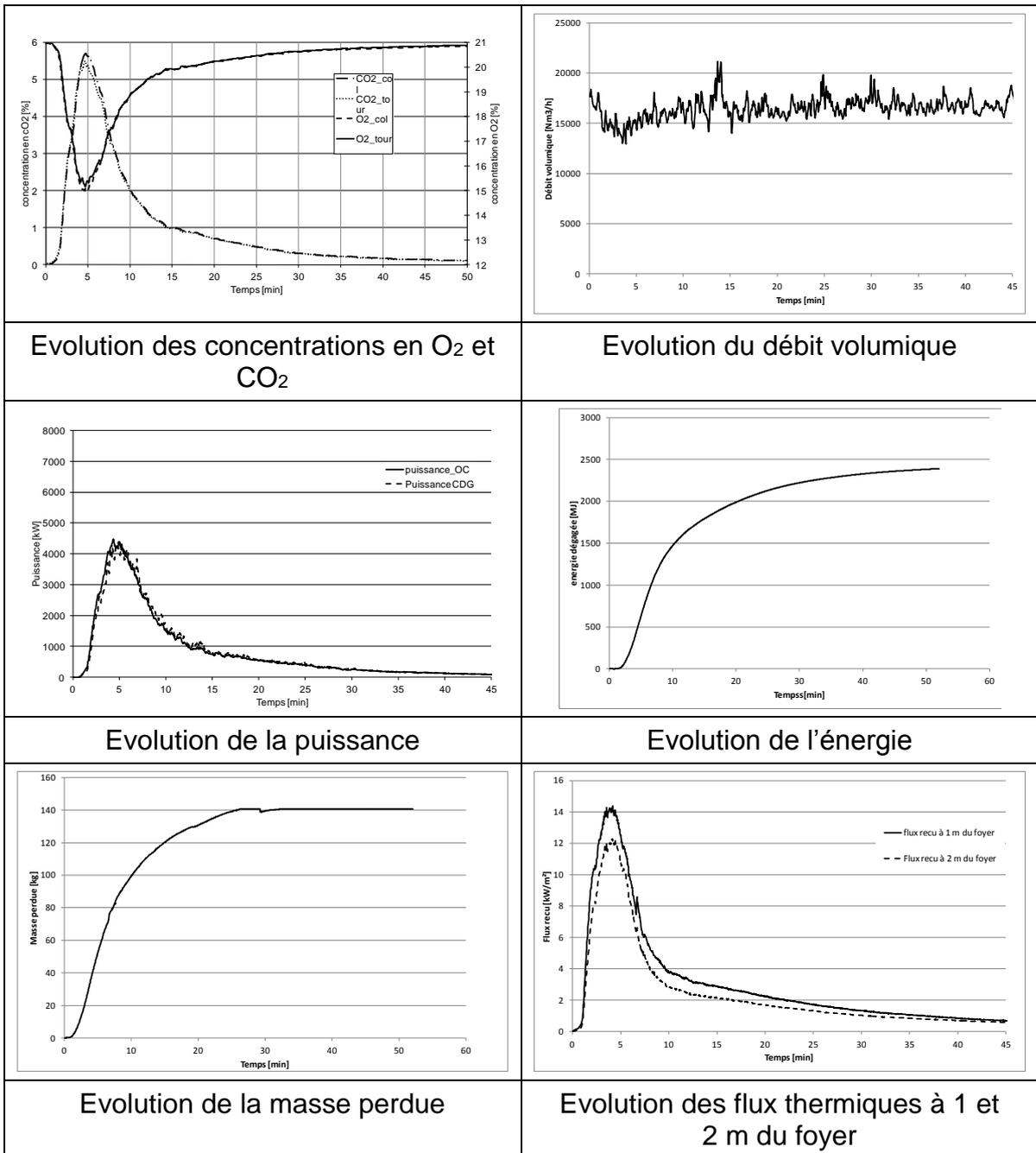
Les essais montrent qu'une palette de beurre surgelé est un cas particulier de solide liquéfiable sous l'effet de la chaleur. Cette palette fait partie des exceptions à la notion de palette type couvrant le percentile 95 des produits d'une rubrique et un entrepôt exclusivement dédié au stockage de beurre devra être traité comme un cas particulier (modélisation Flumilog avec valeurs de l'essai Flumilog, avec si besoin prescriptions spécifiques comme des sous-rétentions pour prendre en compte le changement de phase sous l'effet de la chaleur afin de limiter la propagation du feu de nappe).

5.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

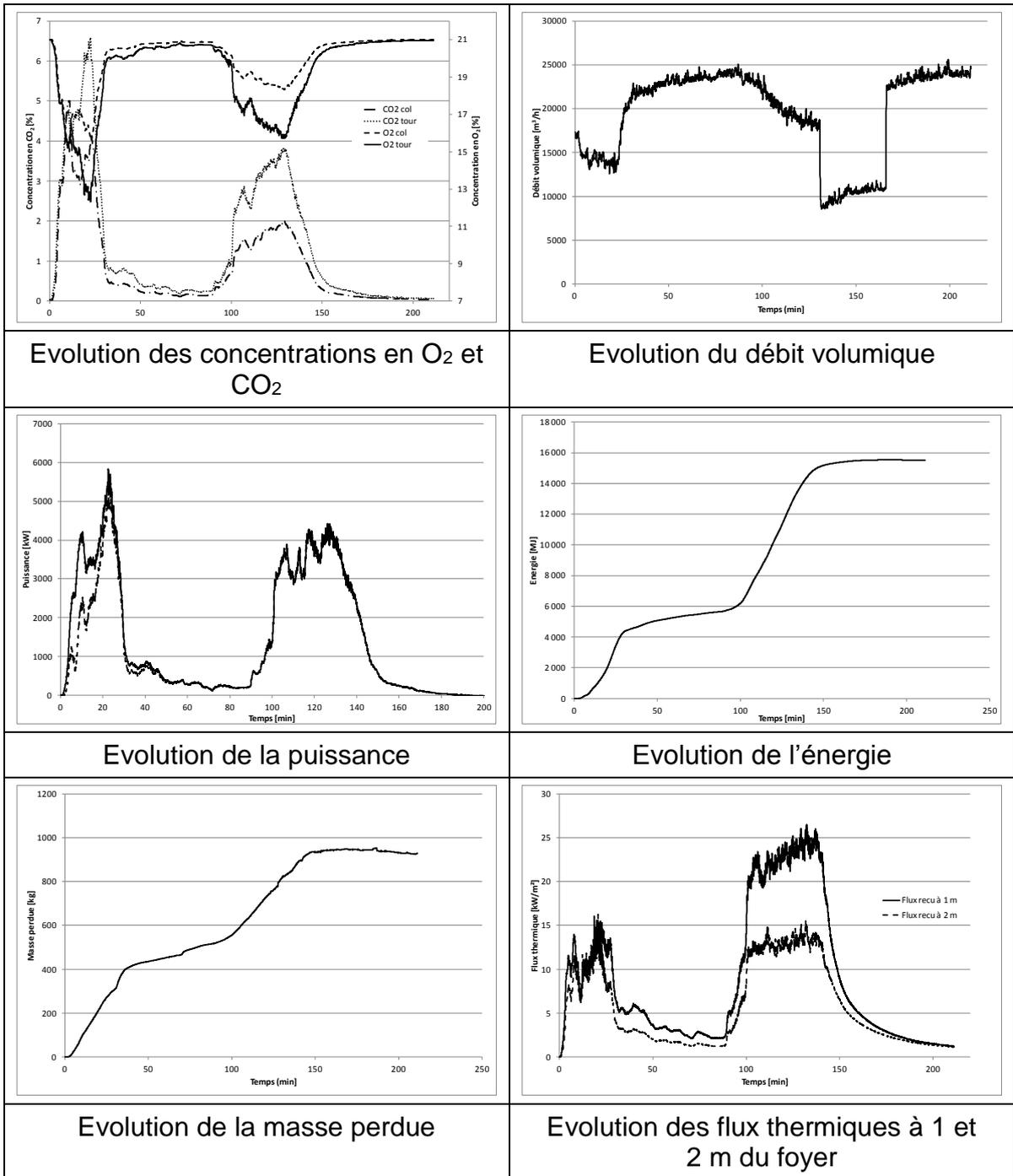
5.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1



5.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2



5.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3



6. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE CHAMPIGNONS ET CHOUX DE BRUXELLES SURGELES

6.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

6.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure 46. La zone d'essais est localisée à l'extrémité de la galerie, en pied de tour. La consigne de ventilation pour de tels essais est fixée entre 16 000 et 18 000 Nm³/h, la porte est positionnée à 30 cm du sol.

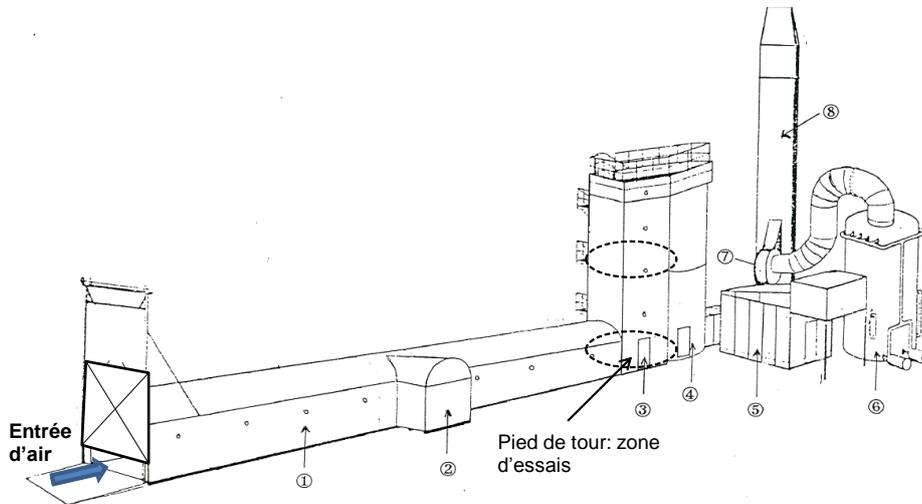


Figure 46 : Schéma de la galerie incendie

La Figure 47 présente la position des différents éléments ainsi que la métrologie mise en place. Cette métrologie est la même pour tous les essais réalisés.

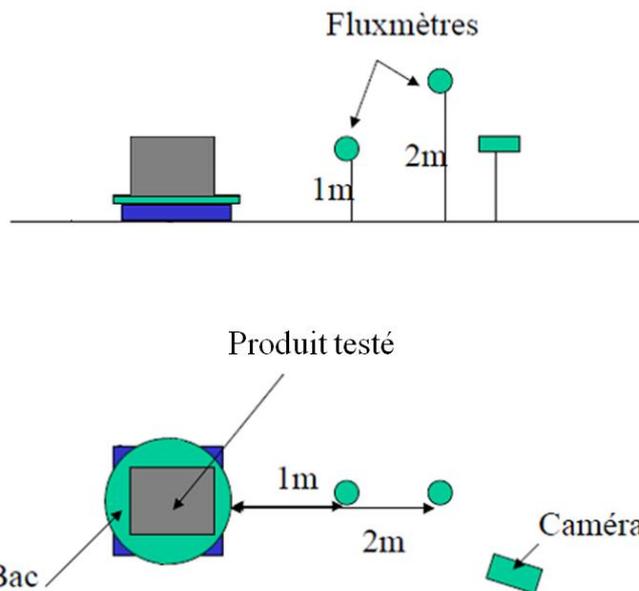


Figure 47 : Représentation schématique de la métrologie des essais

L'instrumentation mise en œuvre est donc constituée :

- de deux fluxmètres permettant de mesurer le flux à 1 et 2 m de hauteur, placés respectivement à une distance de 1 m et 2 m de l'échantillon sur la même face (gamme de flux 0-50 kW/m²) ;
- de mesures de concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) permettant la détermination de la puissance du feu ;
- d'un analyseur à transformée de Fourier Infrarouge (FTIR) permettant de déterminer les différents composés chimiques présents dans les fumées ;
- de plusieurs caméras, dont une caméra thermique, filmant les essais et permettant de déterminer la hauteur de flamme.

6.1.2. Essais réalisés

Conformément au protocole Flumilog, document DRA-13-133881-07549A, 3 essais ont été réalisés :

- essai 1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- essai 2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- essai 3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

6.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

6.2.1. Description des palettes

Les 2 palettes de produits étaient constituées de choux de Bruxelles et champignons placés dans des sachets plastiques empilés sur une palette Européenne de 1,2 X 0,8 m². La hauteur totale de la palette était de 1,8 m soit un volume total pour la palette de 1,7 m³.

La masse totale de la palette et les masses des différents constituants sont synthétisées dans le Tableau 7. Dans ce tableau, et dans tout le document, la chaleur moyenne de combustion indiquée est donnée pour la palette hors agression.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1	Palette Essai 3	ΔH_c produit [MJ/kg]
Bois palette	22,3	22,3	≈ 18
Carton	19,3	19,3	≈ 18
Marchandises : Légumes	684,8	684,8	≈ 0
Film plastique	6,1	6,1	≈ 30
Masse totale	732,5	732,5	1,3
Charge de bois pour l'agression	0	121	≈ 18

Tableau 7 : Composition des palettes de choux et champignons

6.2.2. Essai n°1 : Palette seule

Cet essai consiste à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Pour cet essai, l'allumage est réalisé par deux brûleurs orientés vers la base de la palette, qui est décollée du sol à l'aide de bloc en Siporex. La position des différents éléments est schématisée sur la Figure 48.

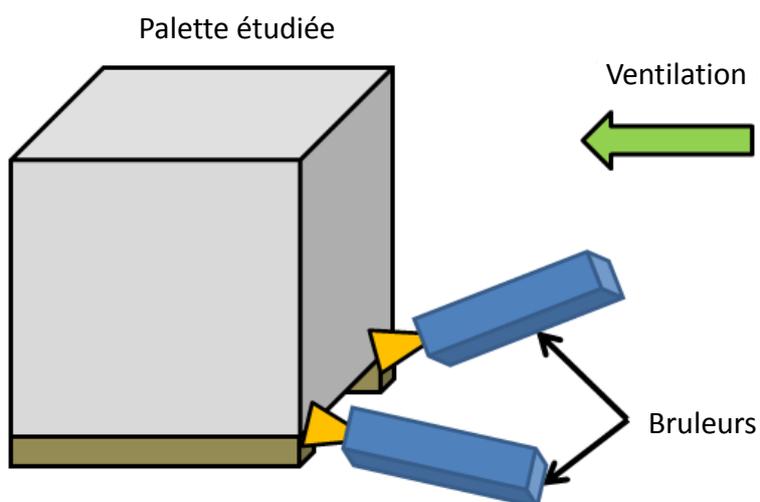


Figure 48 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance de la palette brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance est présentée sur la Figure 49 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

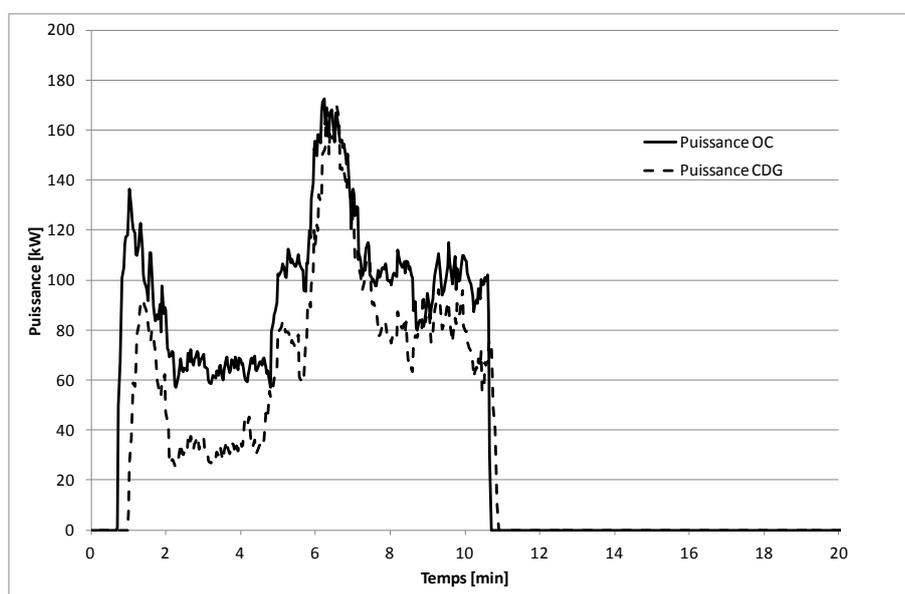


Figure 49 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1, comparaison des méthodes OC et CDG.

La puissance maximale mesurée lors de cet essai est de 160 kW et le dégagement de puissance s'arrête dès l'extinction des brûleurs. L'énergie totale dégagée lors de l'essai est d'environ 60 MJ. La chaleur de combustion ramenée à la masse de la palette est donc de 0,08 MJ/kg. Cette valeur est bien inférieure à 2,5 MJ/kg, premier critère de la note de doctrine générale n°BRTICP/2011-331/AL-PB du 28/11/11. Les essais 2 et 3 sont donc réalisés selon le protocole visant à démontrer la non combustibilité du produit pour classement sous la rubrique 1510. La vision schématique de ce protocole est rappelée sur la Figure 50.

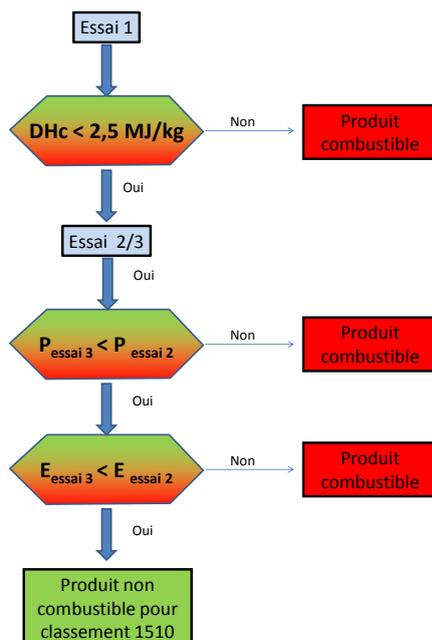


Figure 50 : Schéma des étapes pouvant conduire à l'exclusion d'un produit de la rubrique 1510.

De plus, cet essai permet de démontrer la cohérence de l'instrumentation en montrant l'homogénéité des valeurs de concentration mesurée.

La Figure 51 montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

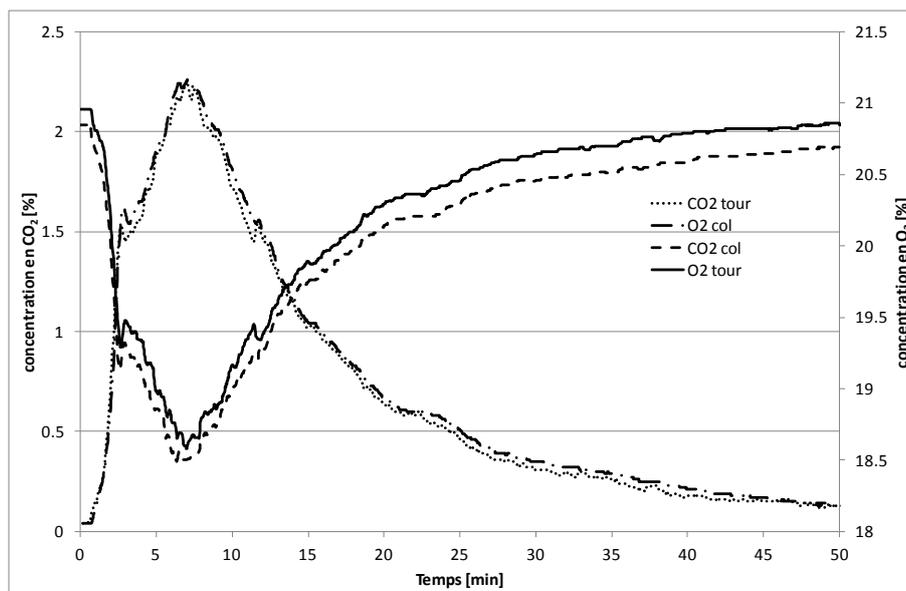


Figure 51 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure.

Cette courbe montre un excellent accord entre les 2 points de mesure témoignant de l'homogénéité du mélange gazeux au point de mesure. Dans la négative (inférieur à 5%), cela prouve que l'instrumentation n'est pas adaptée.

6.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression

Il s'agit dans le cas d'un produit pouvant prétendre au caractère non combustible, de générer une agression représentative de l'incendie des produits combustibles présents sur la palette. Dans le cas présent, la charge combustible totale sur la palette est de 990 MJ, soit une masse de bois d'environ 40 kg. L'agression sera donc réalisée au moyen de 3 palettes sur chacune des faces, soit une masse de 39 kg de bois par face.

L'inflammation est réalisée à l'aide de trois petits brûleurs au propane d'une puissance unitaire de 20 kW environ ou de coupelles d'heptane. Quel que soit le mode d'allumage utilisé, la puissance et l'énergie développées par ce dernier sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La Figure 52 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

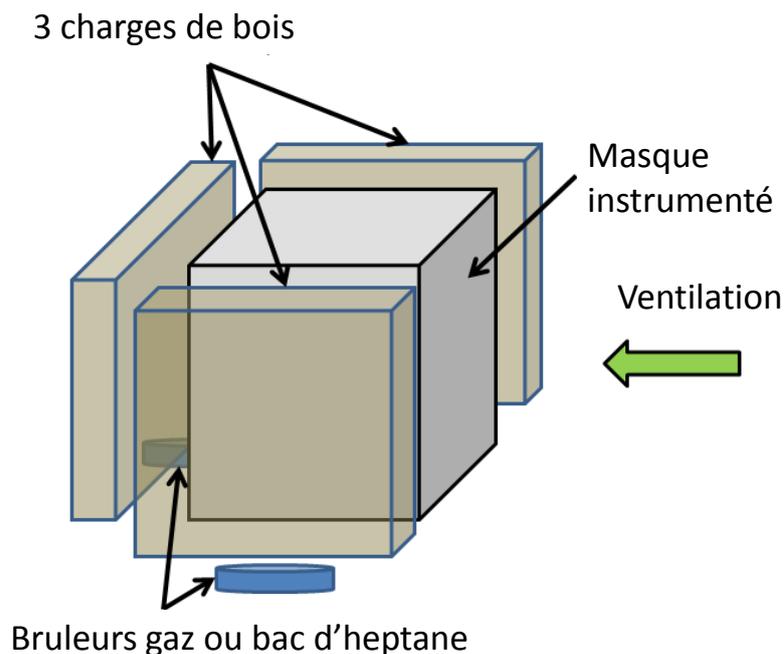


Figure 52 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

Afin de reproduire la proximité de palettes voisines lors de l'essai 3, l'agression au moyen de 3 palettes par face a été retenue. La Figure 53 montre l'évolution de la puissance individuelle des agressions pour l'essai n°2.

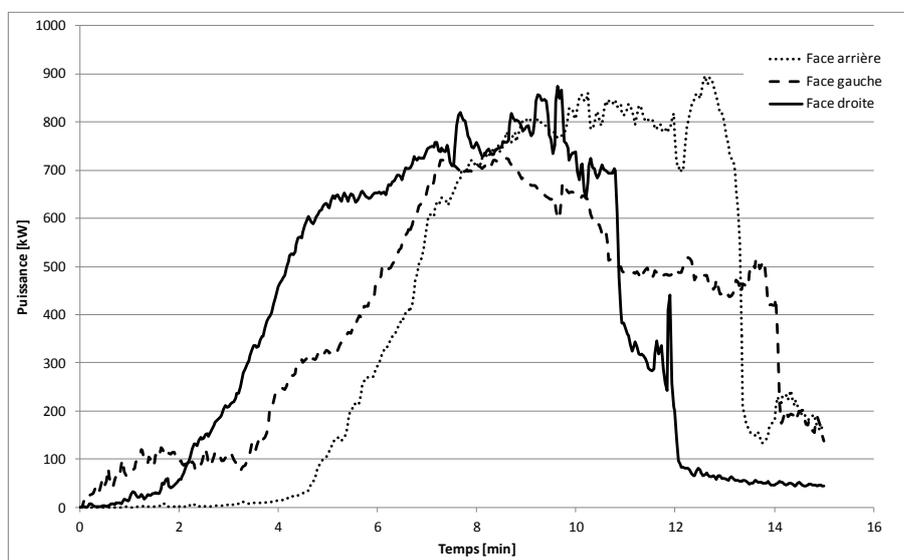


Figure 53 : Evolution de la puissance de l'agression retenue.

6.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage

Afin de démontrer le caractère non combustible au sens de la 1510, il convient à présent de vérifier les critères sur l'énergie et la puissance, à savoir :

- La puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète est inférieure à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette ;
- L'énergie libérée par la combustion de la palette complète est inférieure à l'énergie libérée par la combustion des combustibles présents sur la palette.

L'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai est indiquée par la courbe de la Figure 54. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai n°2.

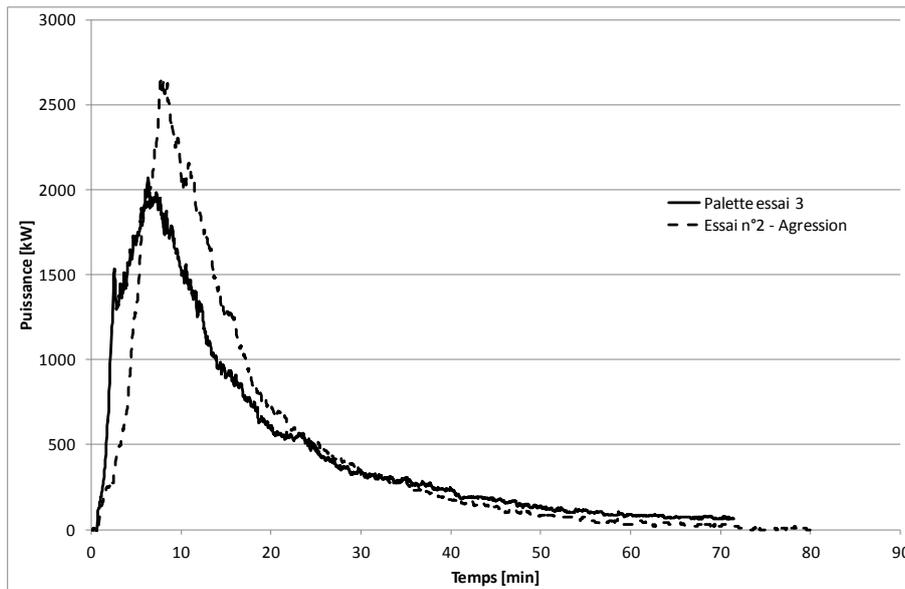


Figure 54 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de champignons et choux de Bruxelles surgelés.

Cette courbe montre que le pic de puissance mesuré lors de cet essai est inférieur à celui mesuré lors de la combustion de l'agression prise isolément. Ce point permet de valider le respect du critère n°2 du protocole

La Figure 55 montre l'évolution de l'énergie dégagée pour ces deux essais.

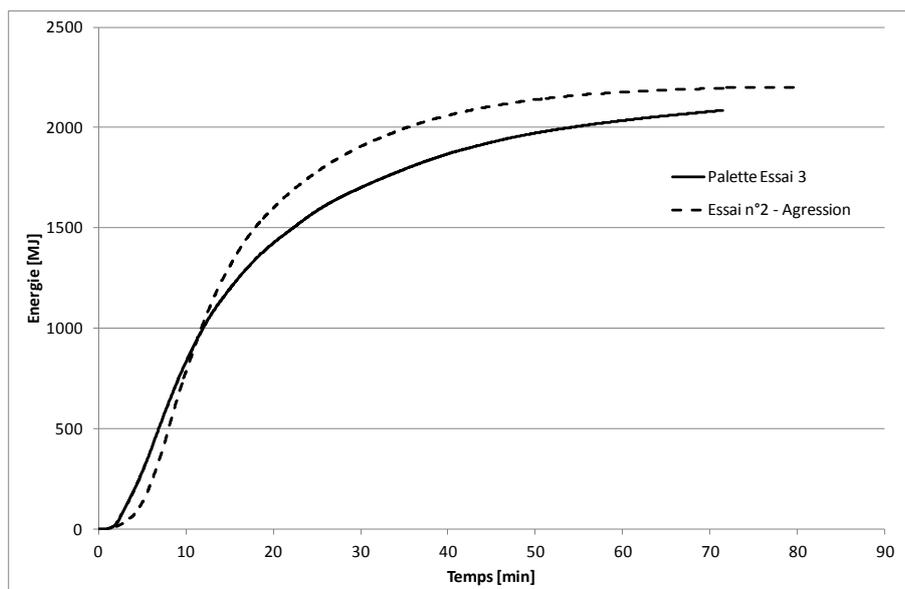


Figure 55 : Evolution de l'énergie totale dégagée lors de l'essai 3 avec une palette de champignons et choux de Bruxelles.

L'énergie totale dégagée lors de cet essai n°3 est donc bien inférieure à celle dégagée lors de l'essai n°2. Ce point permet de valider le respect du critère n°3 du protocole

6.2.5. Synthèse des essais

Les essais ont mis en évidence que la palette testée respectait les critères pour prétendre au caractère non combustible pour classement 1510 :

- une énergie très faible libérée lors de l'incendie de la palette complète (essai 1), inférieure à 2,5 MJ/kg ;
- La puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète est inférieure à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette;
- L'énergie libérée par la combustion de la palette complète est inférieure à l'énergie libérée par la combustion des combustibles présents sur la palette.

6.3. CONCLUSIONS

Les essais réalisés montrent qu'une palette telle que décrite dans le tableau ci-dessous n'est pas à classer comme un combustible sous la rubrique 1510 si elle est conforme à cette description.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1
Bois palette	22,3
Carton	19,3
Marchandises : Choux de Bruxelles et champignons	684,8
Film plastique	6,1
Masse totale	732,5

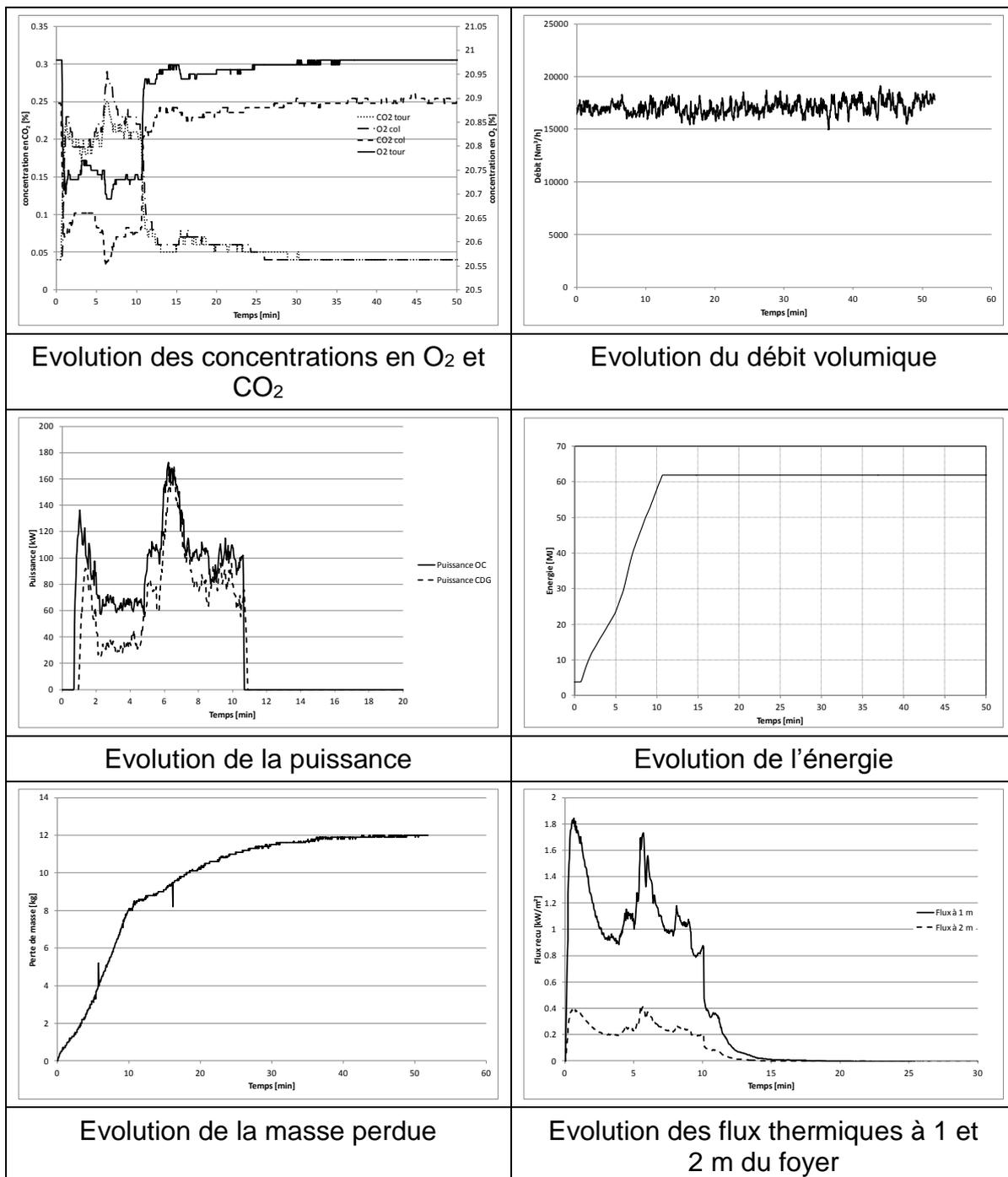
Ainsi, pour des palettes respectant une proportion minimale de choux de Bruxelles et Champignons, par rapport à la masse combustible totale, de 93%, les palettes pourront être considérées comme non classables en tant que combustible sous la rubrique 1510.

Pour pouvoir utiliser les conclusions de ce rapport, l'exploitant doit préciser par écrit et tenir à disposition sur le site d'utilisation, les dispositions permettant de mettre en œuvre et vérifier le respect de ces conditions de stockage. L'exploitant devra former les opérateurs pour cela.

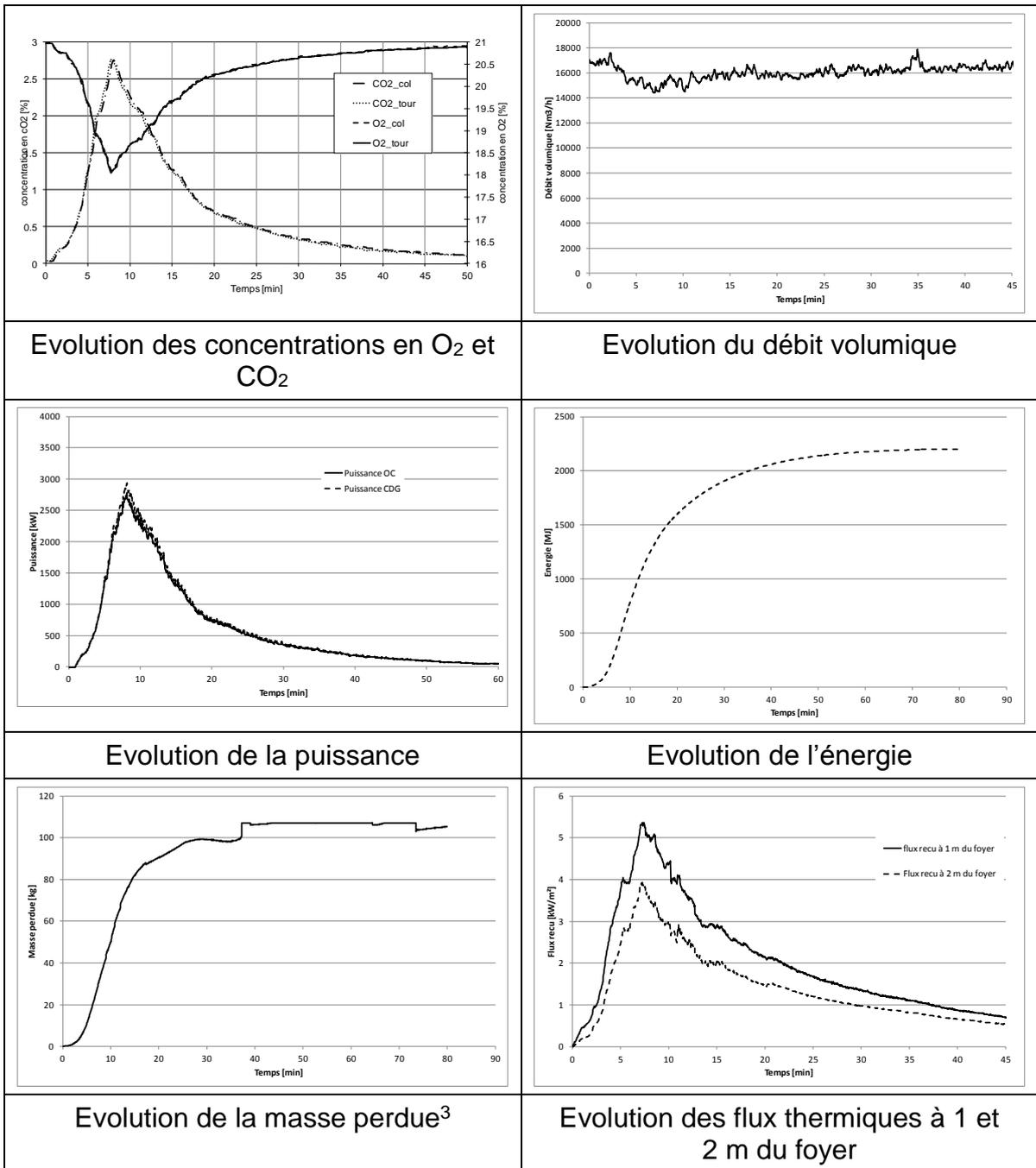
Ce constat n'est valable que pour une palette remplissant l'ensemble de ces conditions. Dans la négative, une expertise complémentaire pouvant nécessiter la réalisation de nouveaux essais est nécessaire pour justifier le classement ou non en combustible sous la rubrique 1510.

6.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

6.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1

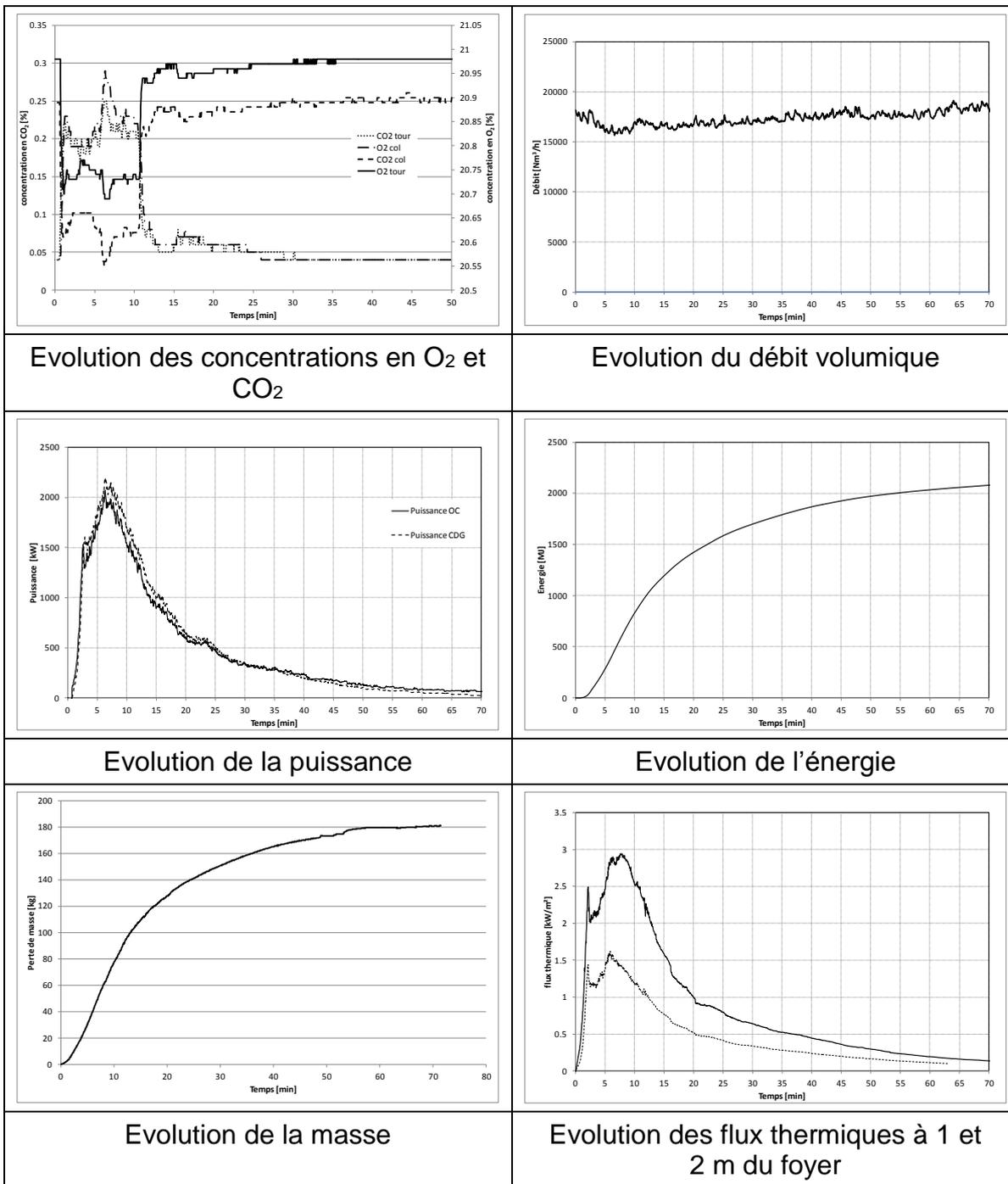


6.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2



³ La mesure de masse a été faussée lors de l'essai, l'échantillon étant entré en contact avec les parois.

6.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3



7. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE YAOURTS

7.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

7.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure 56. La zone d'essais est localisée à l'extrémité de la galerie, en pied de tour. La consigne de ventilation pour de tels essais est fixée entre 16 000 et 18 000 Nm³/h, la porte est positionnée à 30 cm du sol.

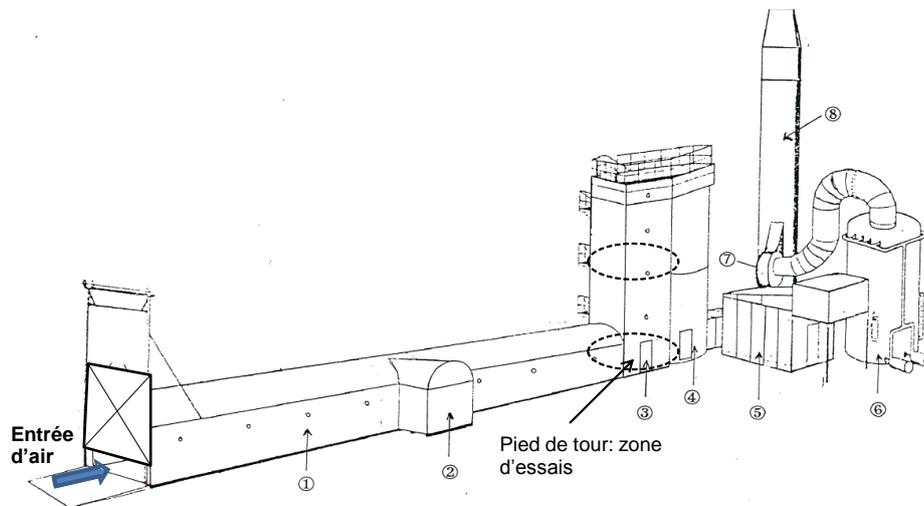


Figure 56 : Schéma de la galerie incendie

La Figure 57 présente la position des différents éléments ainsi que la métrologie mise en place. Cette métrologie est la même pour tous les essais réalisés.

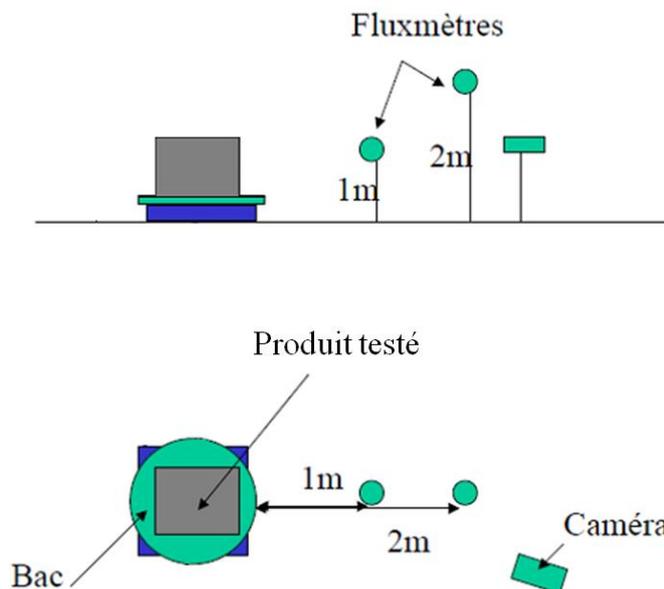


Figure 57 : Représentation schématique de la métrologie des essais

L'instrumentation mise en œuvre est donc constituée :

- de deux fluxmètres permettant de mesurer le flux à 1 et 2 m de hauteur, placés respectivement à une distance de 1 m et 2 m de l'échantillon sur la même face (gamme de flux 0-50 kW/m²) ;
- de mesures de concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) permettant la détermination de la puissance du feu ;
- d'un analyseur à transformée de Fourier Infrarouge (FTIR) permettant de déterminer les différents composés chimiques présents dans les fumées ;
- de plusieurs caméras, dont une caméra thermique, filmant les essais et permettant de déterminer la hauteur de flamme.

7.1.2. Essais réalisés

Conformément au protocole Flumilog, document DRA-13-133881-07549A, 3 essais ont été réalisés :

- essai 1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- essai 2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- essai 3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

7.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

7.2.1. Description des palettes

Les 2 palettes de yaourt étaient constituées de yaourts nature et au fruit. Les pots étaient en cartons empilés sur une palette Européenne de 1,2 X 0,8 m². La hauteur totale de la palette était de 1,8 m soit un volume total pour la palette de 1,7 m³.

La hauteur totale de la palette était de 1,8 m soit un volume total pour la palette de 1,7 m³.

La masse totale de la palette et les masses des différents constituants sont synthétisées dans le Tableau 8. Les deux palettes fournies étaient exactement identiques.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1	Palette Essai 3	ΔH_c produit [MJ/kg]
Bois palette	23	23	≈ 18
Carton	19	19	≈ 18
Pots de yaourt	25	25	≈ 40
Yaourt	611	611	-
Charge de bois pour l'agression	0	141	≈ 18
Masse totale	678	819	$\approx 2,6$

Tableau 8 : Composition des palettes de Yaourts.

7.2.2. Essai n°1 : Palette seule

Cet essai consiste à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Pour cet essai, l'allumage est réalisé par deux brûleurs orientés vers la base de la palette, qui est décollée du sol à l'aide de bloc en Siporex. La position des différents éléments est schématisée sur la Figure 58.

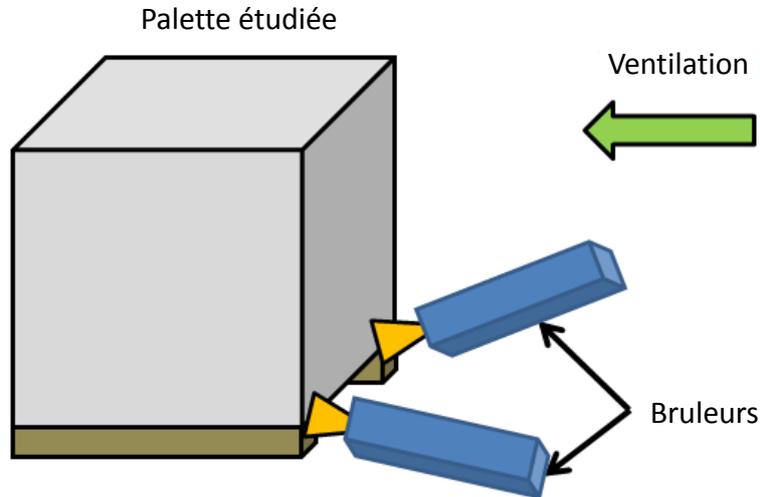


Figure 58 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance de la palette brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance est présentée sur la Figure 59 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

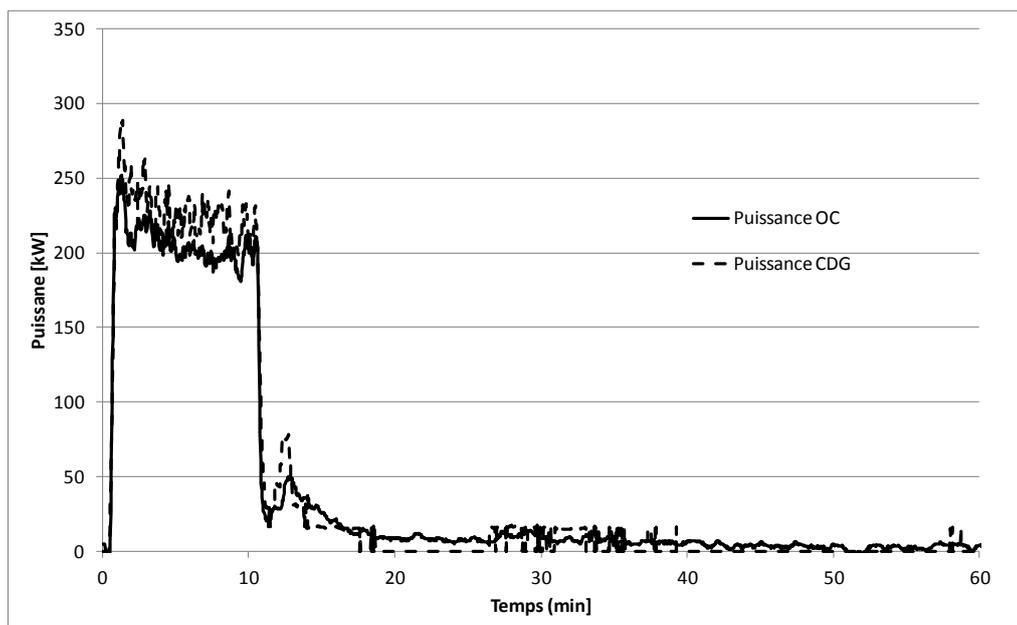


Figure 59 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1, comparaison des méthodes OC et CDG.

La puissance maximale mesurée lors de cet essai est de 250 kW et le dégagement de puissance s'arrête dès l'extinction des brûleurs. L'énergie totale dégagée lors de l'essai est d'environ 60 MJ. La chaleur de combustion ramenée à la masse de la palette est donc de 0,09 MJ/kg. Cette valeur est bien inférieure à 2,5 MJ/kg, premier critère de la note de doctrine générale n°BRTICP/2011-331/AL-PB du 28/11/11. Les essais 2 et 3 sont donc réalisés selon le protocole visant à démontrer la non combustibilité du produit pour classement sous la rubrique 1510. La vision schématique de ce protocole est rappelée sur la Figure 60.

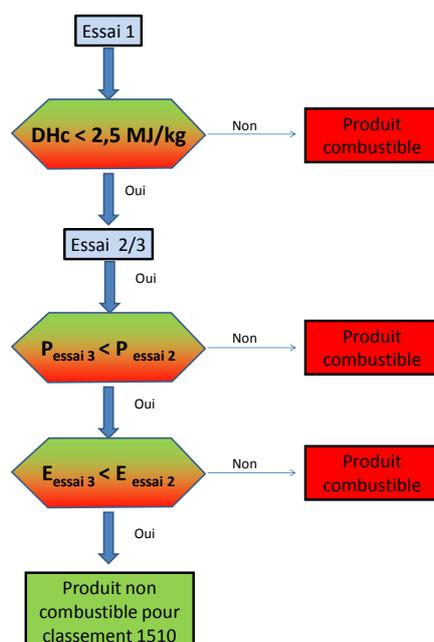


Figure 60 : Schéma des étapes pouvant conduire à l'exclusion d'un produit de la rubrique 1510.

De plus, cet essai permet de démontrer la cohérence de l'instrumentation en montrant l'homogénéité des valeurs de concentration mesurée.

La Figure 61 montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

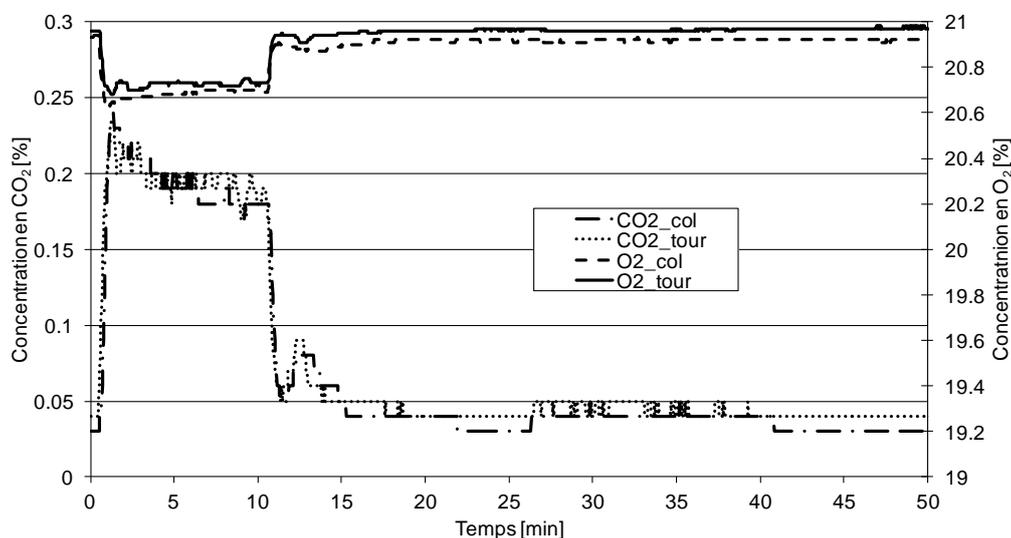


Figure 61 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure.

Cette courbe montre un excellent accord entre les 2 points de mesure témoignant de l'homogénéité du mélange gazeux au point de mesure.

7.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression

Il s'agit dans le cas d'un produit pouvant prétendre au caractère non combustible, de générer une agression représentative de l'incendie des produits combustibles présents sur la palette. Dans le cas présent, la charge combustible totale sur la palette est de 1200 MJ, soit une masse de bois d'environ 70 kg. L'agression sera donc réalisée au moyen de 4 palettes sur chacune des faces, soit une masse de 50 kg de bois par face.

L'inflammation est réalisée à l'aide de trois petits brûleurs au propane d'une puissance unitaire de 20 kW environ ou de coupelles d'heptane. Quel que soit le mode d'allumage utilisé, la puissance et l'énergie développées par ce dernier sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La Figure 62 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

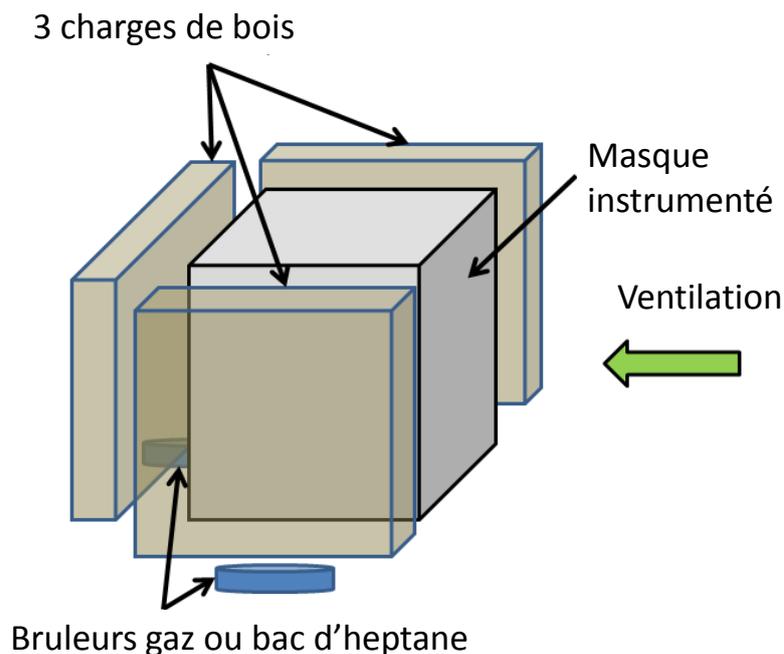


Figure 62 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

7.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage

Afin de démontrer le caractère non combustible au sens de la 1510, il convient à présent de vérifier les critères sur l'énergie et la puissance, à savoir :

- La puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète est inférieure à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette ;
- L'énergie libérée par la combustion de la palette complète est inférieure à l'énergie libérée par la combustion des combustibles présents sur la palette.

L'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai est indiquée par la courbe de la Figure 63. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai n°2.

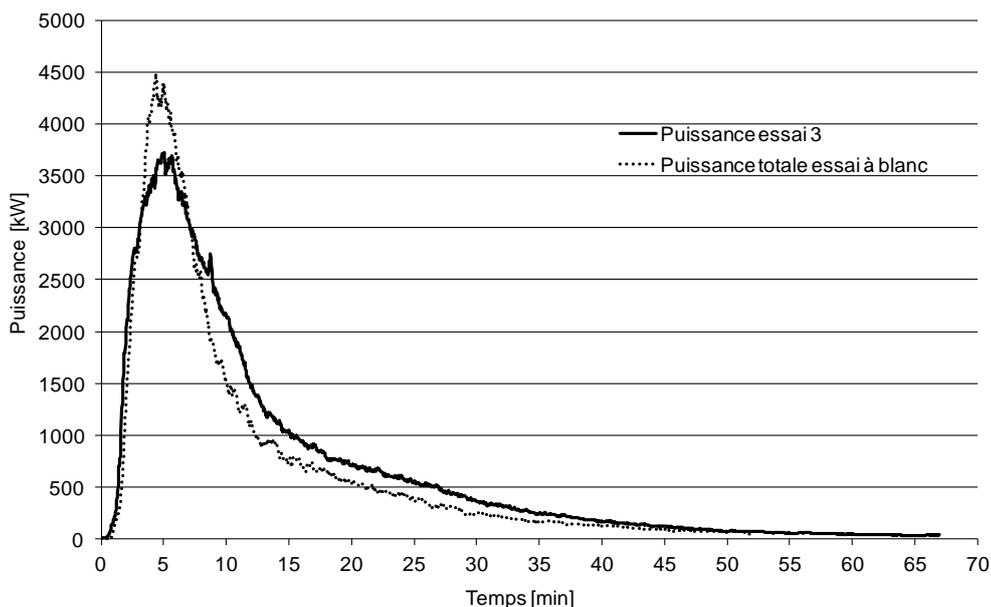


Figure 63 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de yaourts surgelés.

Cette courbe montre que le pic de puissance mesuré lors de cet essai est inférieur à celui mesuré lors de la combustion de l'agression prise isolément. Ce point permet de valider le respect du critère n°2 du protocole

La Figure 64 montre l'évolution de l'énergie dégagée pour ces deux essais.

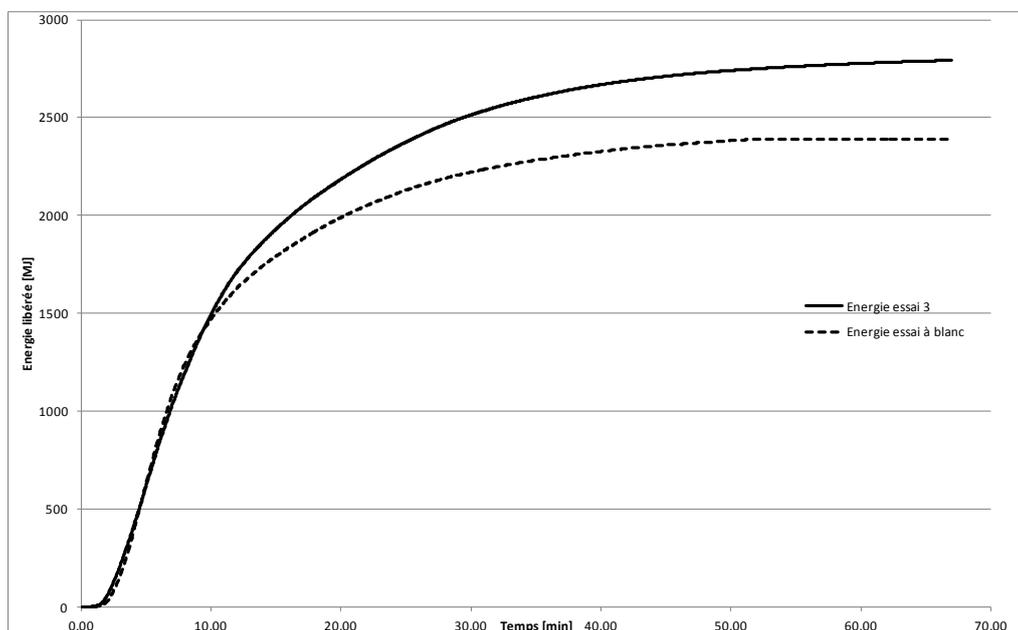


Figure 64 : Evolution de l'énergie totale dégagée lors de l'essai 3 avec une palette de yaourts.

L'énergie totale libérée lors de l'essai 3 est d'environ 2 800 MJ, l'énergie libérée lors de l'essai à blanc était de 2 400 MJ. La palette de yaourts ne remplit donc pas les trois critères pour être qualifiée d'incombustible.

7.2.5. Synthèse des essais

Les essais ont mis en évidence que la palette testée ne respectait pas les critères pour prétendre au caractère non combustible pour classement 1510 :

- une énergie très faible libérée lors de l'incendie de la palette complète (essai 1), inférieure à 2,5 MJ/kg ;
- La puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète est inférieure à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette;
- **Mais** une énergie libérée par la combustion de la palette complète est **supérieure** à l'énergie libérée par la combustion des combustibles présents sur la palette.

7.3. CONCLUSIONS

Les essais réalisés montrent qu'une palette telle que décrite dans le tableau ci-dessous est pas à classer comme un combustible sous la rubrique 1510 mais ne générerait pas de flux thermique si elle est conforme à cette description.

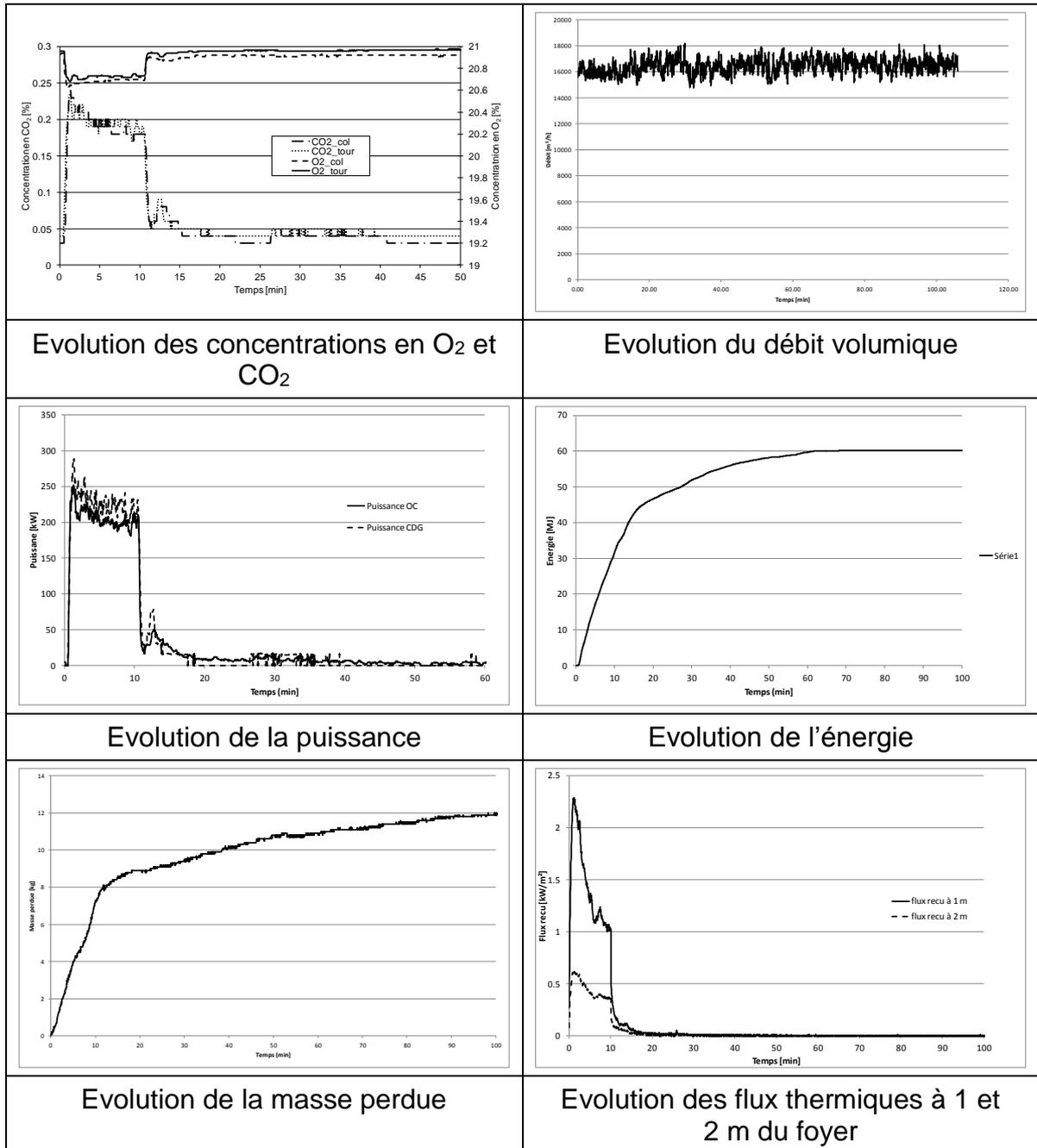
Masse des produits [kg]	Palette Essai 1
Bois palette	23
Carton	19
Pots de yaourts	25
Yaourt	611
Masse totale	678

L'essai sur la palette de yaourts a montré que, si la puissance développée lors de l'essai était faible, l'énergie totale libérée est supérieure à celle libérée lors de l'essai avec les seuls combustibles. De ce fait, ce produit ne peut pas être qualifié d'incombustible. L'énergie libérée par la palette de yaourts atteint environ 400 MJ. Au vu des vidéos et photographies de la palette après essai, la moitié de la palette environ a brûlé, 20% du carton et environ 10% de la masse de plastique présente, soit 12 kg de bois, 4 de carton et environ 3 kg de plastique.

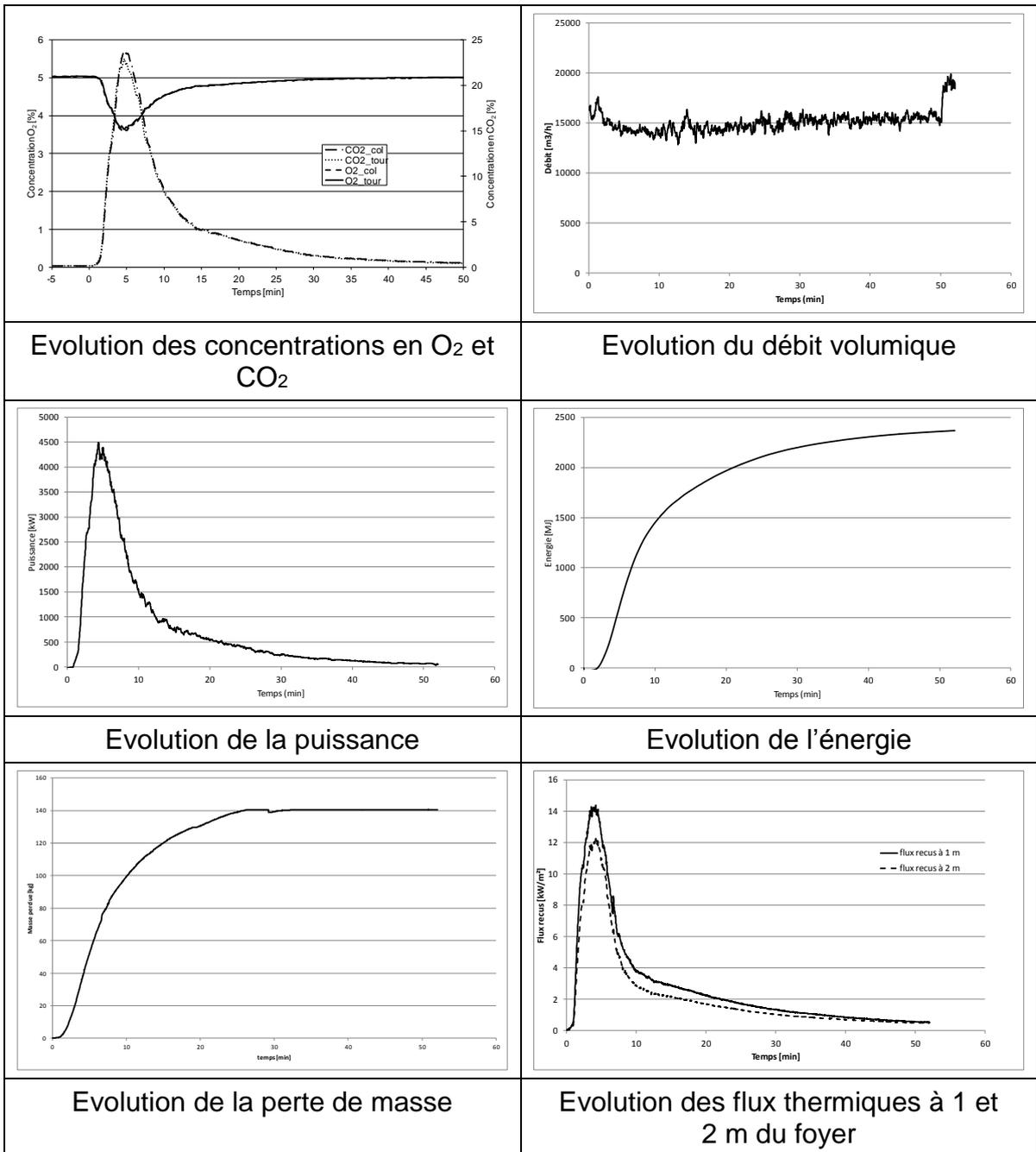
La puissance dégagée par la palette est toutefois très faible, inférieure à 100 kW, de ce fait, l'incendie d'un stockage de ces produits, s'il reste possible, ne générerait pas de flux thermiques. Il s'agirait très certainement, après la phase d'allumage, d'un feu couvant. Ce produit ne pouvant toutefois pas être considéré comme non classables en tant que combustible sous la rubrique 1510, l'entrepôt concerné devra respecter toutes les préconisations des AM 1510 correspondant au régime de classement.

7.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

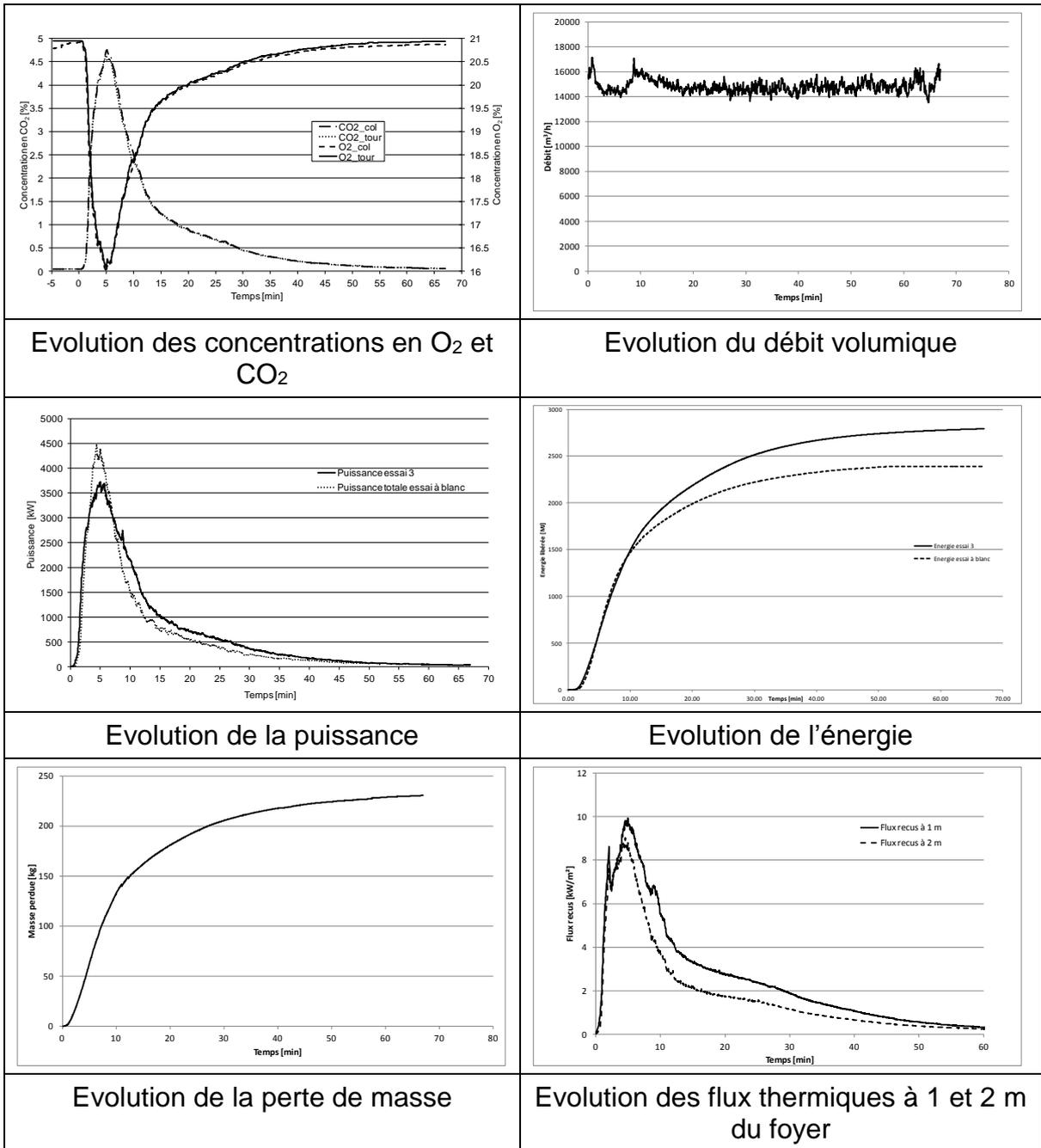
7.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1



7.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2



7.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3



8. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE POELEE CAMPAGNARDE ET AUBERGINES SURGELEE

8.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

8.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure 65. La zone d'essais est localisée à l'extrémité de la galerie, en pied de tour. La consigne de ventilation pour de tels essais est fixée entre 16 000 et 18 000 Nm³/h, la porte est positionnée à 30 cm du sol.

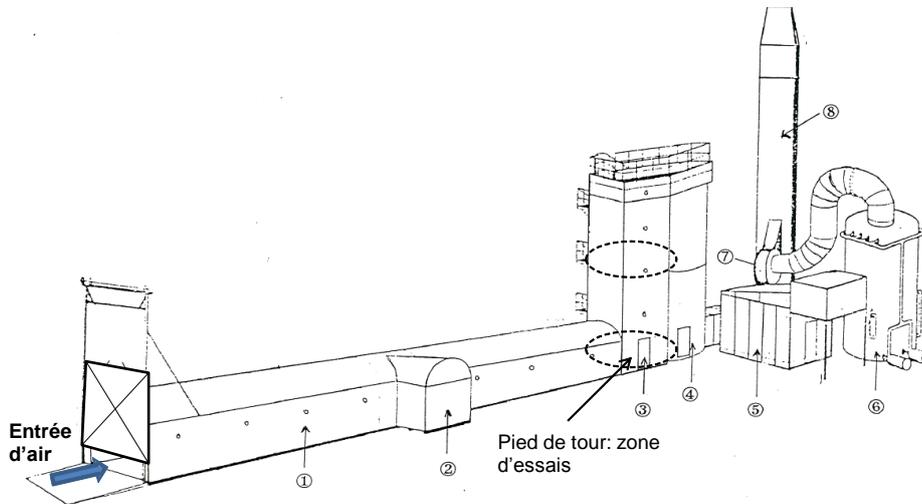


Figure 65 : Schéma de la galerie incendie

La Figure 66 présente la position des différents éléments ainsi que la métrologie mise en place. Cette métrologie est la même pour tous les essais réalisés.

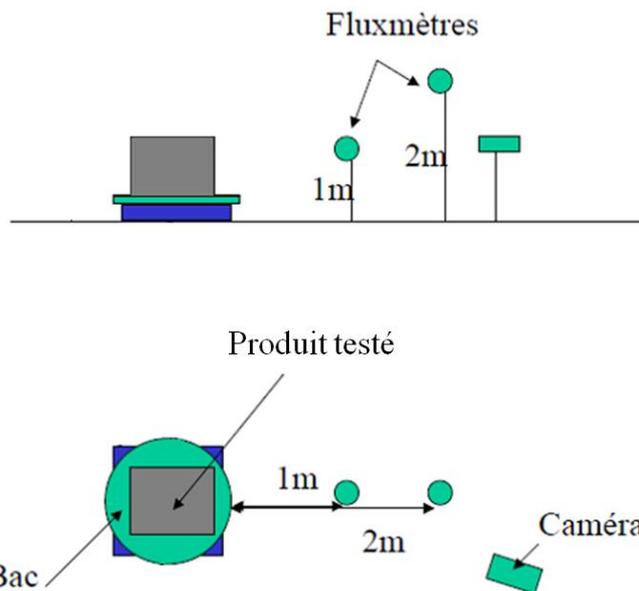


Figure 66 : Représentation schématique de la métrologie des essais

L'instrumentation mise en œuvre est donc constituée :

- de deux fluxmètres permettant de mesurer le flux à 1 et 2 m de hauteur, placés respectivement à une distance de 1 m et 2 m de l'échantillon sur la même face (gamme de flux 0-50 kW/m²) ;
- de mesures de concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) permettant la détermination de la puissance du feu ;
- d'un analyseur à transformée de Fourier Infrarouge (FTIR) permettant de déterminer les différents composés chimiques présents dans les fumées ;
- de plusieurs caméras, dont une caméra thermique, filmant les essais et permettant de déterminer la hauteur de flamme.

8.1.2. Essais réalisés

Conformément au protocole Flumilog, document DRA-13-133881-07549A, 3 essais ont été réalisés :

- essai 1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- essai 2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- essai 3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

8.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

8.2.1. Description des palettes

Les 2 palettes étaient constituées de sachets d'aubergines et de poêlée campagnarde. Les sachets étaient organisés en cartons et les cartons empilés sur une palette Européenne de 1,2 X 0,8 m². La hauteur totale de la palette était de 1,8 m soit un volume total pour la palette de 1,7 m³.

La masse totale de la palette et les masses des différents constituants sont synthétisées dans le Tableau 9. Les deux palettes fournies étaient exactement identiques.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1	Palette Essai 3	ΔH_c produit [MJ/kg]
Bois palette	19,2	19,2	≈ 18
Carton	44,4	44,4	≈ 18
Marchandises	465,7	465,7	≈ 0
Film plastique	6,1	6,1	≈ 30
Charge de bois pour l'agression	0	165,1	≈ 18
Masse totale	536,3	701,4	$\approx 2,5$

Tableau 9 : Composition des palettes de poêlée campagnardes et aubergines surgelées.

8.2.2. Essai n°1 : Palette seule

Cet essai consiste à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Pour cet essai, l'allumage est réalisé par deux brûleurs orientés vers la base de la palette, qui est décollée du sol à l'aide de bloc en Siporex. La position des différents éléments est schématisée sur la Figure 67.

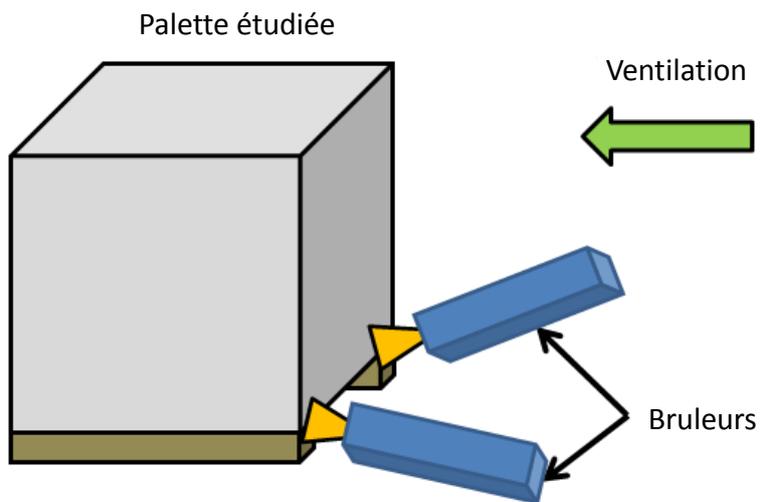


Figure 67 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance de la palette brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance est présentée sur la Figure 68 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

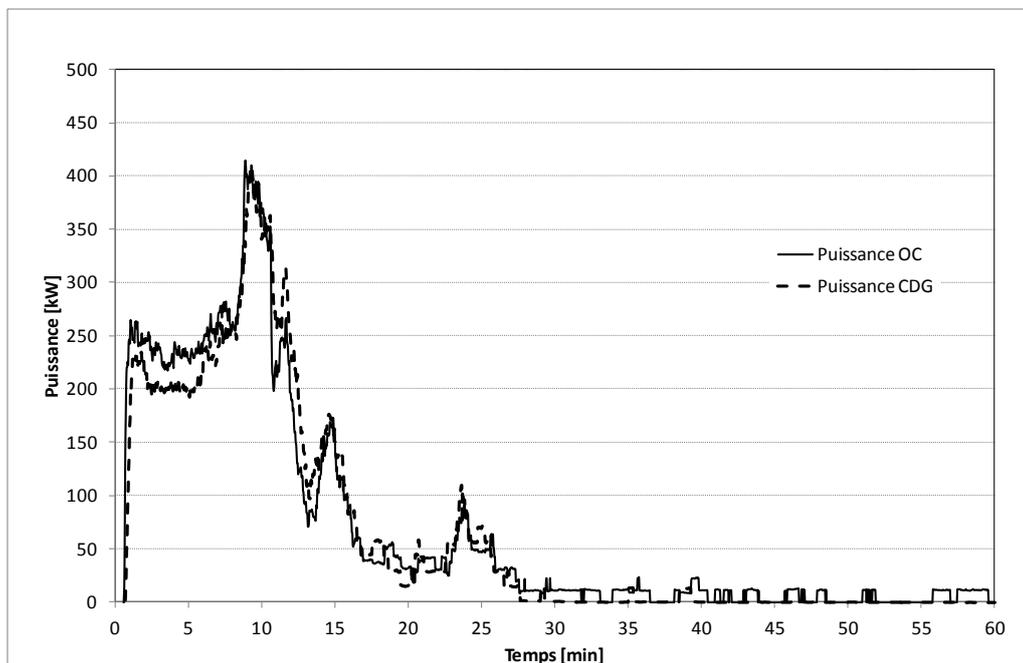


Figure 68 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1, comparaison des méthodes OC et CDG.

La puissance maximale mesurée lors de cet essai est de 400 kW et le dégagement de puissance diminue fortement dès l'extinction des brûleurs. L'énergie totale dégagée lors de l'essai est d'environ 250 MJ. La chaleur de combustion ramenée à la masse de la palette est donc de 0,47 MJ/kg. Cette valeur est bien inférieure à 2,5 MJ/kg, premier critère de la note de doctrine générale n°BRTICP/2011-331/AL-PB du 28/11/11. Les essais 2 et 3 sont donc réalisés selon le protocole visant à démontrer la non combustibilité du produit pour classement sous la rubrique 1510. La vision schématique de ce protocole est rappelée sur la Figure 69.

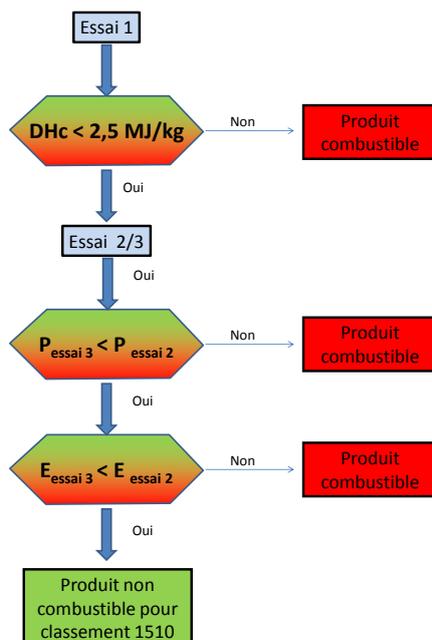


Figure 69 : Schéma des étapes pouvant conduire à l'exclusion d'un produit de la rubrique 1510.

De plus, cet essai permet de démontrer la cohérence de l'instrumentation en montrant l'homogénéité des valeurs de concentration mesurée.

La Figure 70 montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

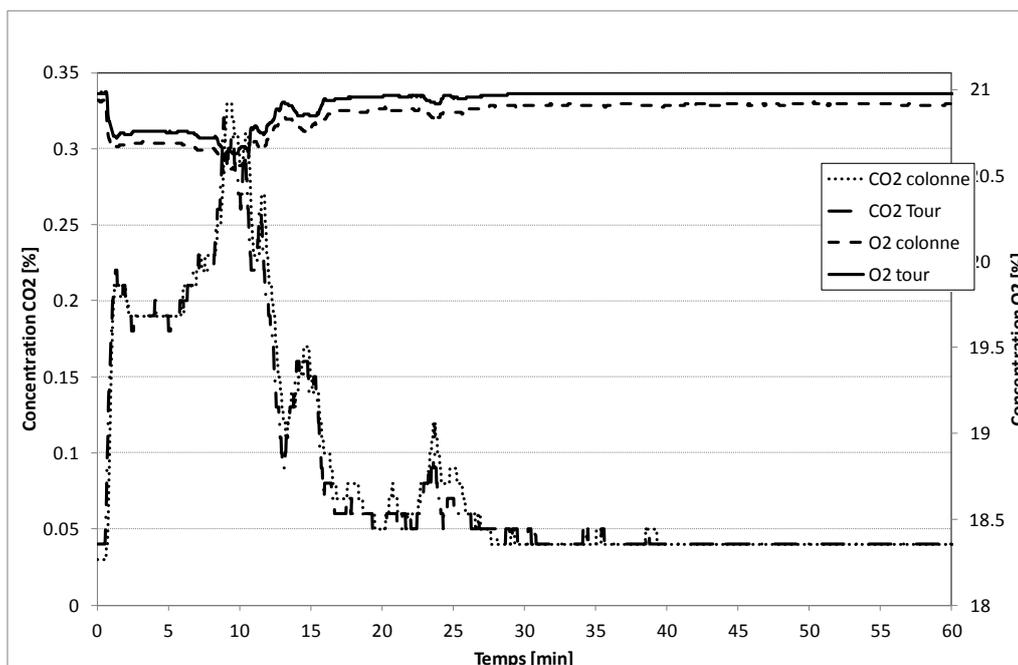


Figure 70 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure.

Cette courbe montre un excellent accord entre les 2 points de mesure témoignant de l'homogénéité du mélange gazeux au point de mesure.

8.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression

Il s'agit dans le cas d'un produit pouvant prétendre au caractère non combustible, de générer une agression représentative de l'incendie des produits combustibles présents sur la palette. Dans le cas présent, la charge combustible totale sur la palette est de 1130 MJ, soit une masse de bois d'environ 70 kg. L'agression sera donc réalisée au moyen de 4 palettes sur chacune des faces, soit une masse de 50 kg de bois par face.

L'inflammation est réalisée à l'aide de trois petits brûleurs au propane d'une puissance unitaire de 20 kW environ ou de coupelles d'heptane. Quel que soit le mode d'allumage utilisé, la puissance et l'énergie développées par ce dernier sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La Figure 71 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

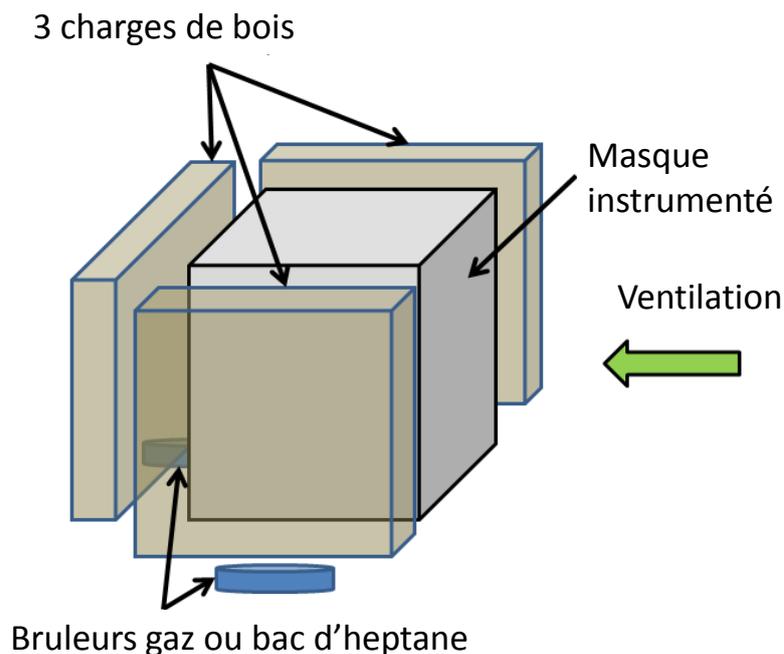


Figure 71 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

8.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage

Afin de démontrer le caractère non combustible au sens de la 1510, il convient à présent de vérifier les critères sur l'énergie et la puissance, à savoir :

- La puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète est inférieure à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette ;
- L'énergie libérée par la combustion de la palette complète est inférieure à l'énergie libérée par la combustion des combustibles présents sur la palette.

L'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai est indiquée par la courbe de la Figure 72. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai n°2.

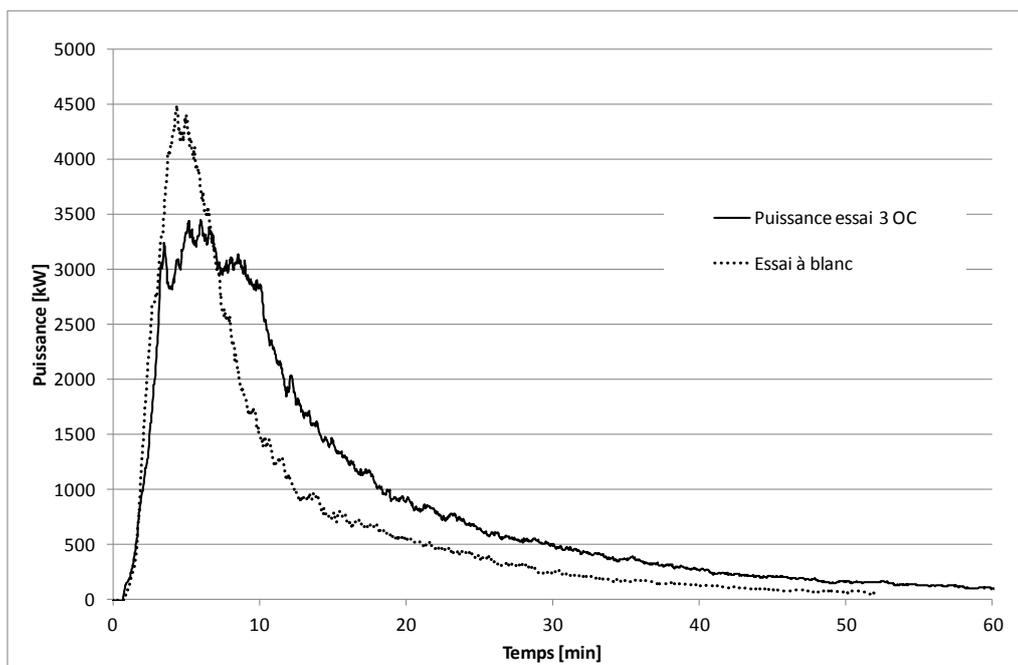


Figure 72 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de légumes surgelés.

Cette courbe montre que le pic de puissance mesuré lors de cet essai est inférieur à celui mesuré lors de la combustion de l'agression prise isolément. Ce point permet de valider le respect du critère n°2 du protocole

La Figure 73 montre l'évolution de l'énergie dégagée pour ces deux essais.

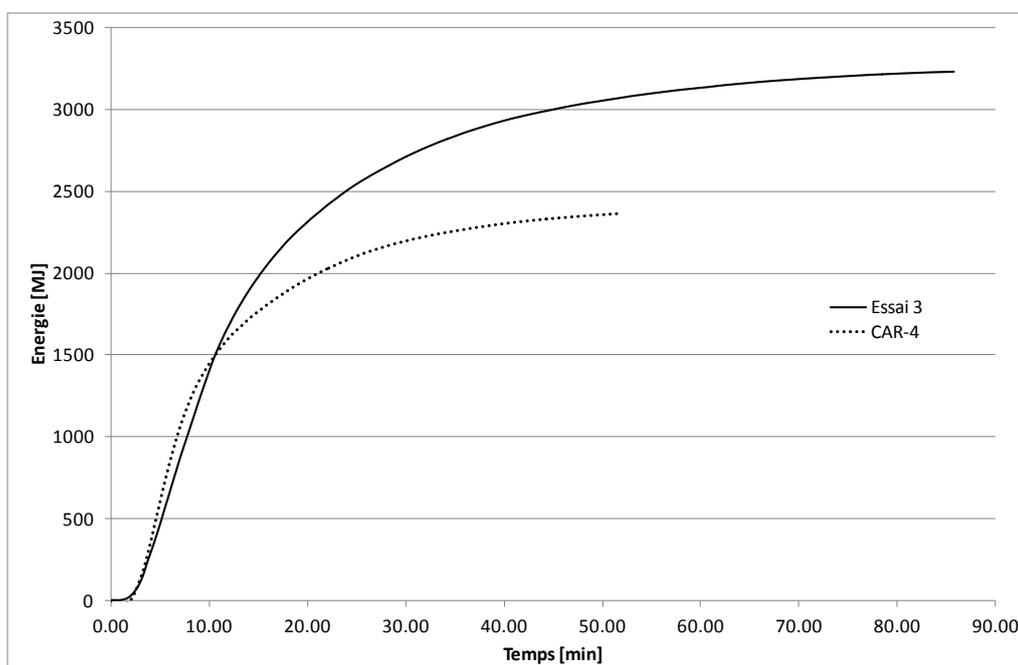


Figure 73 : Evolution de l'énergie totale dégagée lors de l'essai 3 avec une palette de légumes surgelés.

L'énergie totale dégagée par cet essai est supérieure à celle dégagée lors de la combustion de la charge calorifique seule. Ce résultat est en accord avec la courbe de puissance montrant que 10 minutes environ après le départ de feu, une puissance plus élevée pour l'incendie de la palette avec agression.

8.2.5. Synthèse des essais

Il convient tout d'abord de comparer la puissance maximale obtenue et l'énergie dégagée à celles indiquées pour une palette type 1511 dans la méthode Flumilog.

La palette type 1511 dégage ainsi une puissance de 1 300 kW pour une palette de dimensions 1,2 x 0,8 x 1,5 m³, soit 1,44 m³. La puissance théorique dégagée par une palette de 1,2 x 0,8 x 1,8 serait ainsi de 1 560 kW et une énergie dégagée de 4 200 MJ.

La puissance pic mesurée pendant l'essai est bien inférieure à la puissance prédite pour une palette type. L'énergie totale dégagée est environ deux fois plus faible que l'énergie disponible pour la combustion d'une palette type. Il convient ainsi dans ce cas d'adapter la courbe à prendre en compte pour représenter au mieux le produit. Etant entendu que le type de courbe de puissance utilisable dans la méthode Flumilog est un créneau avec une valeur de puissance pendant une durée donnée, ce couple de valeur doit être fourni.

Pour cet essai, il convient de considérer l'énergie totale dégagée par l'incendie de la palette, soit environ 350 La durée de combustion est d'environ 40 minutes, la puissance moyenne développée est alors de 350 kW. Il convient toutefois de s'assurer que la puissance développée par la palette au-delà de cette durée ne contribue pas aux effets thermiques dans le cadre de l'utilisation de la méthode Flumilog, il convient de vérifier que le flux reçu à 1 m est bien inférieur à 1,5 kW/m², au-delà de la durée proposée. La Figure 74 montre l'évolution des flux en parallèle de la puissance du foyer.

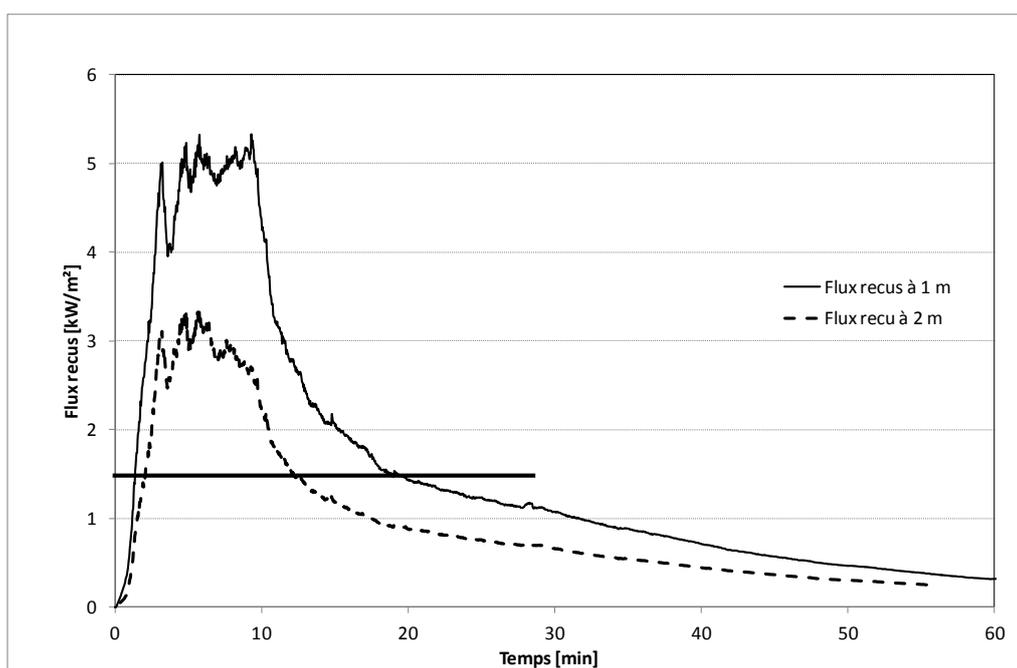


Figure 74 : Evolution des flux thermiques reçus à 1 et 2 m du foyer et de la puissance.

Le couple (Puissance ; Durée) retenu est donc (350 kW ; 40 minutes).

8.3. CONCLUSIONS

Les essais montrent qu'une palette de poêlée campagnarde et aubergines surgelés peut être modélisée dans le logiciel Flumilog par une palette expérimentale avec une puissance palette de **350 kW** et une durée de combustion de **40 minutes**.

Cette puissance n'est valable que pour une palette composée comme suit :

	Masse des produits [kg]
Bois palette	19,2
Carton	44,4
Film plastique	6,1
Marchandises	465,7
Masse totale	536,3

Les dimensions de la palette sont de **1,2 m de long, 0,8 m de large et 1,5 m de hauteur**.

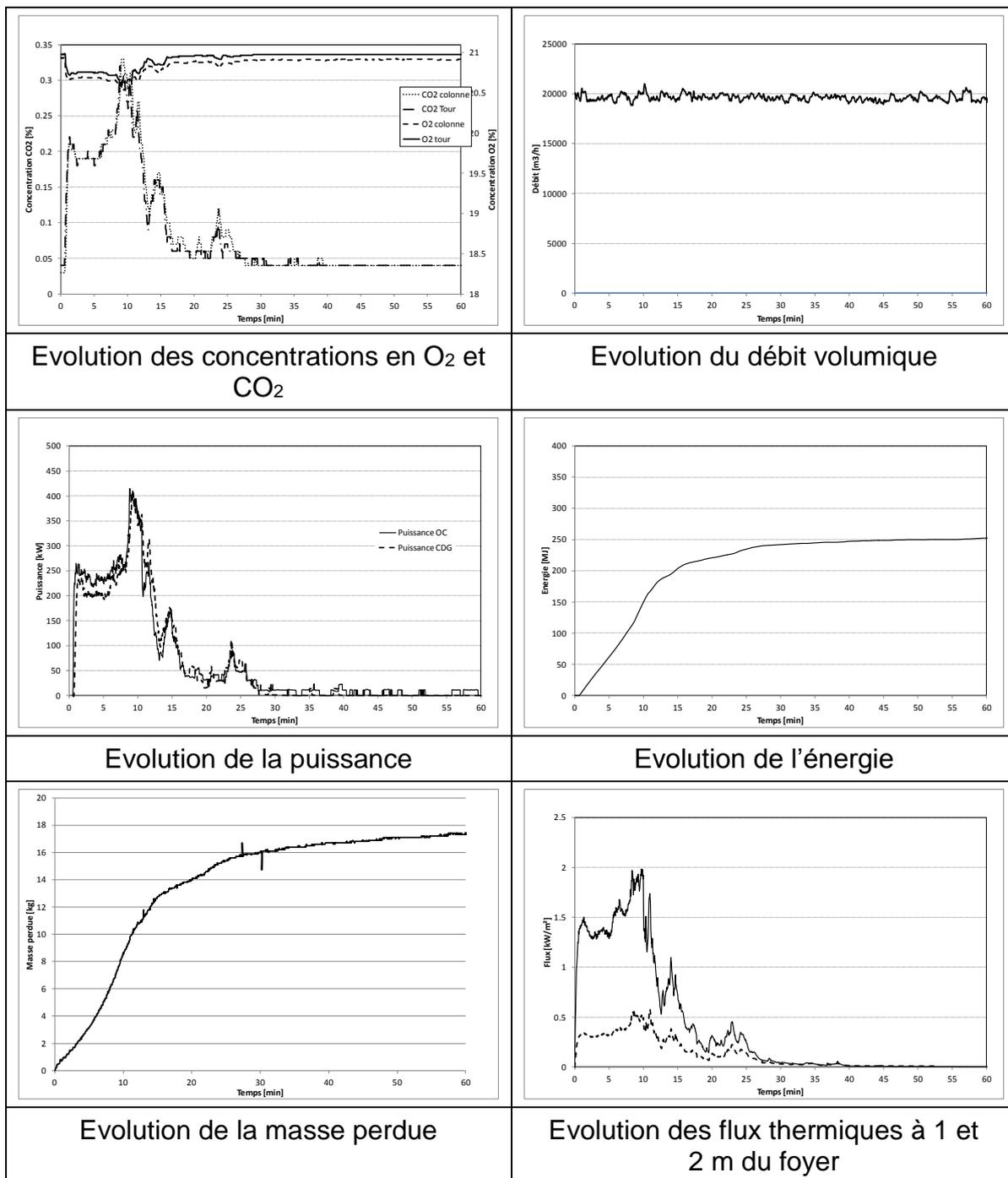
L'ensemble de ces valeurs sera à saisir dans le logiciel Flumilog pour le calcul des effets thermiques⁴.

Dans ce cas, l'entrepôt concerné sera spécialisé pour stocker uniquement ce type de palettes ou des palettes ayant des effets thermiques inférieurs. L'exploitant devra préciser dans son dossier de demande comment il vérifiera le respect de ces conditions de stockage.

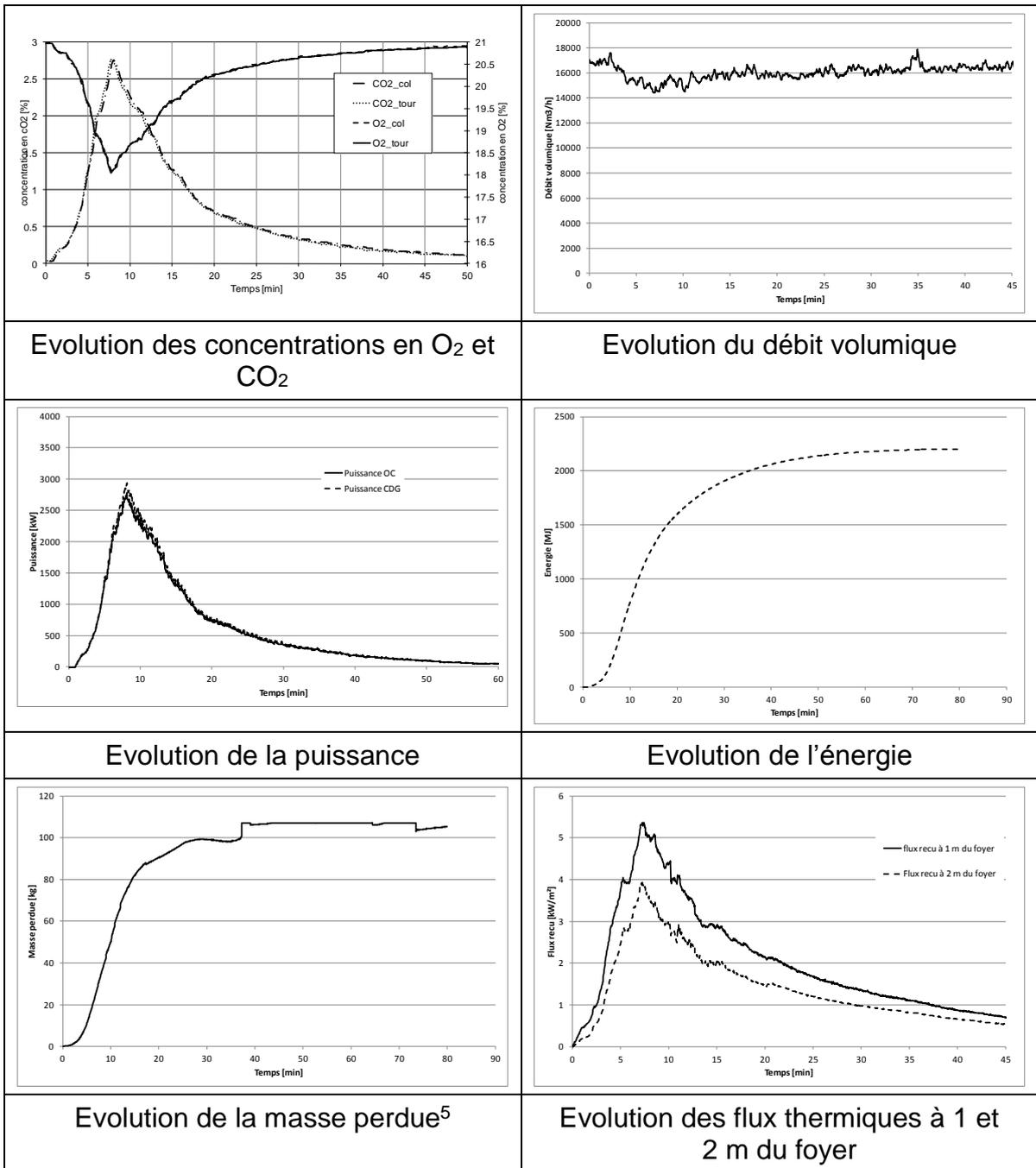
⁴ Ces valeurs pourront être utilisées, de façon prudente, pour des palettes contenant une proportion de charcuterie plus importante.

8.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

8.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1

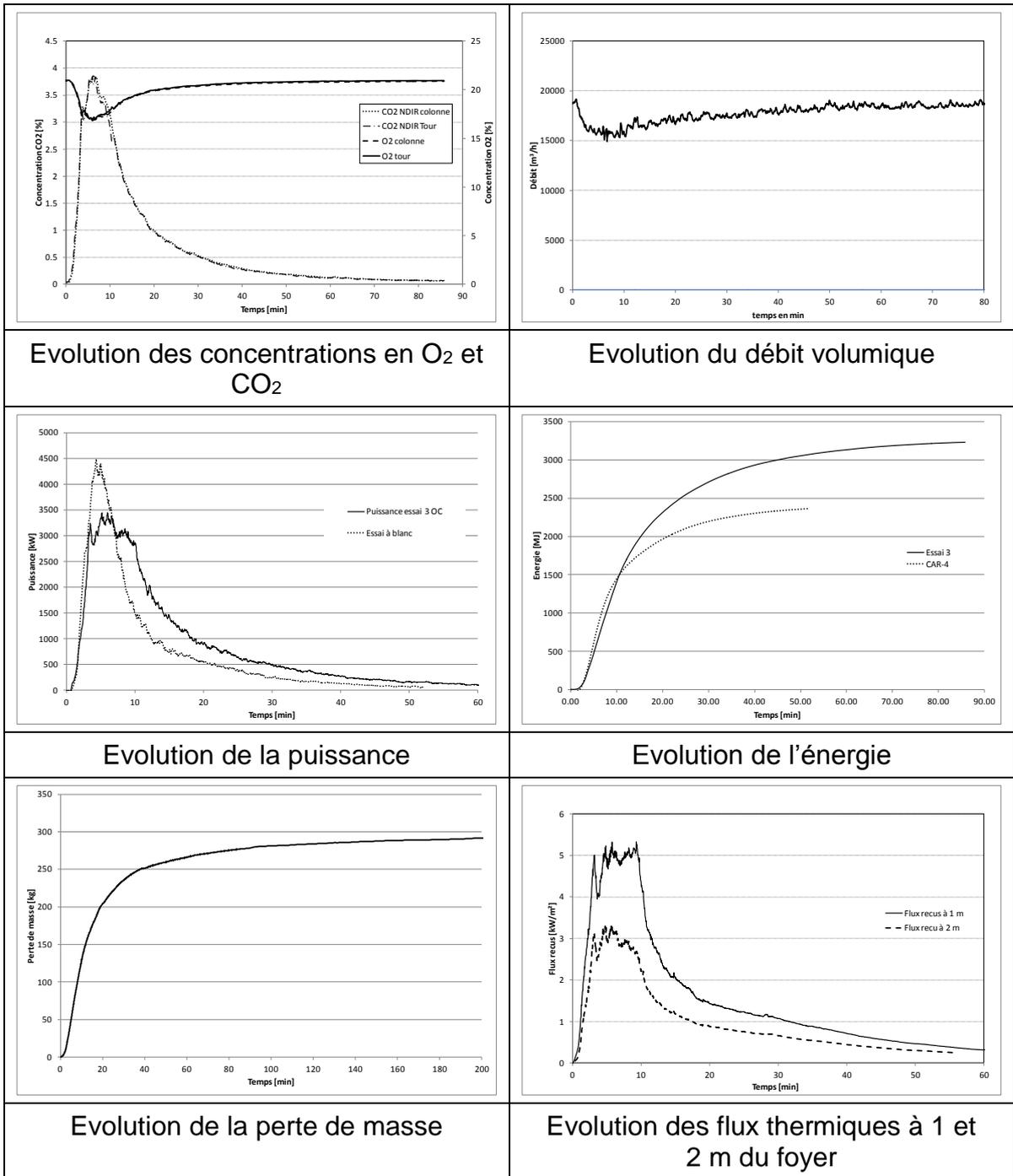


8.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2



⁵ La mesure de masse a été faussée lors de l'essai, l'échantillon étant entré en contact avec les parois.

8.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3



9. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE POISSONS SURGELES

9.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

9.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure 75. La zone d'essais est localisée à l'extrémité de la galerie, en pied de tour. La consigne de ventilation pour de tels essais est fixée entre 16 000 et 18 000 Nm³/h, la porte est positionnée à 30 cm du sol.

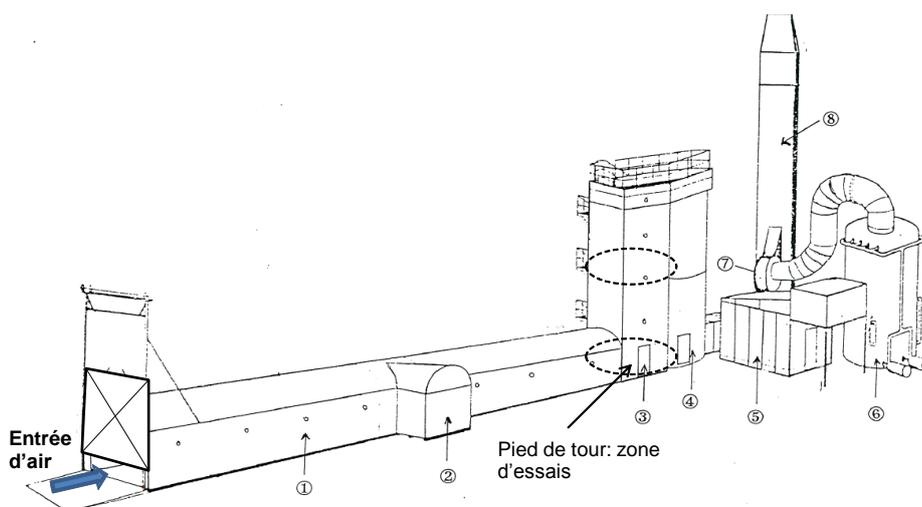


Figure 75 : Schéma de la galerie incendie

La Figure 76 présente la position des différents éléments ainsi que la métrologie mise en place. Cette métrologie est la même pour tous les essais réalisés.

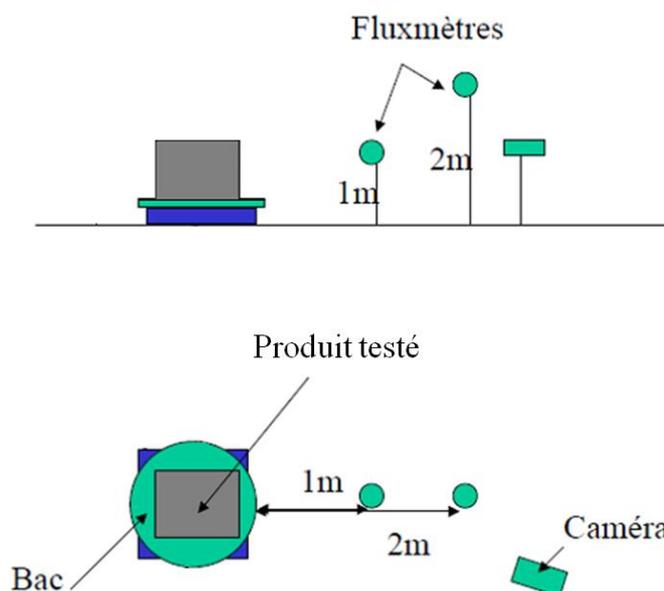


Figure 76 : Représentation schématique de la métrologie des essais

L'instrumentation mise en œuvre est donc constituée :

- de deux fluxmètres permettant de mesurer le flux à 1 et 2 m de hauteur, placés respectivement à une distance de 1 m et 2 m de l'échantillon sur la même face (gamme de flux 0-50 kW/m²) ;
- de mesures de concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) permettant la détermination de la puissance du feu ;
- d'un analyseur à transformée de Fourier Infrarouge (FTIR) permettant de déterminer les différents composés chimiques présents dans les fumées ;
- de plusieurs caméras, dont une caméra thermique, filmant les essais et permettant de déterminer la hauteur de flamme.

9.1.2. Essais réalisés

Conformément au protocole Flumilog, document DRA-13-133881-07549A, 3 essais ont été réalisés :

- essai 1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- essai 2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- essai 3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

9.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

9.2.1. Description des palettes

Les 2 palettes étaient constituées de sachets de poisson surgelé et de coquilles Saint Jacques. Les sachets étaient organisés en cartons et les cartons empilés sur une palette Européenne de 1,2 X 0,8 m². La hauteur totale de la palette était de 1,8 m soit un volume total pour la palette de 1,7 m³.

La masse totale de la palette et les masses des différents constituants sont synthétisées dans le Tableau 10. Les deux palettes fournies étaient exactement identiques.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1	Palette Essai 3	ΔH_c produit [MJ/kg]
Bois palette	21	21	≈ 18
Carton	37	37	≈ 18
Marchandises	467	467	≈ 0
Film plastique	9,5	9,5	≈ 30
Charge de bois pour l'agression	0	158	≈ 18
Masse totale	535	693	$\approx 2,5$

Tableau 10 : Composition des palettes de poisons surgelés.

9.2.2. Essai n°1 : Palette seule

Cet essai consiste à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Pour cet essai, l'allumage est réalisé par deux brûleurs orientés vers la base de la palette, qui est décollée du sol à l'aide de bloc en Siporex. La position des différents éléments est schématisée sur la Figure 77.

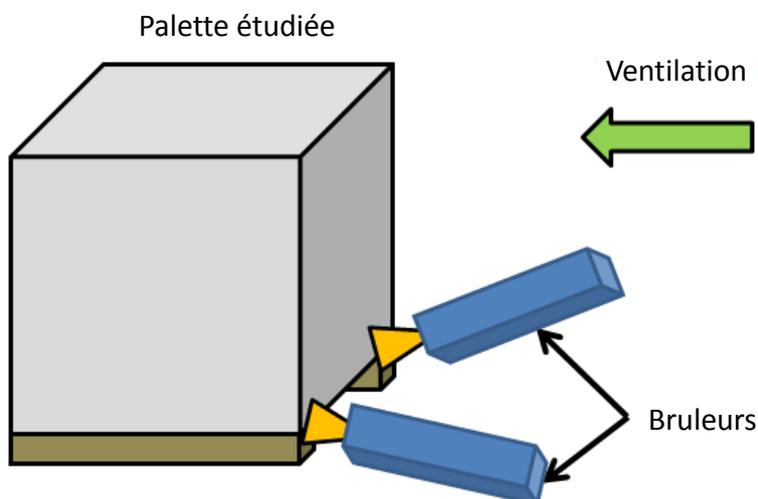


Figure 77 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance de la palette brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance est présentée sur la Figure 78 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

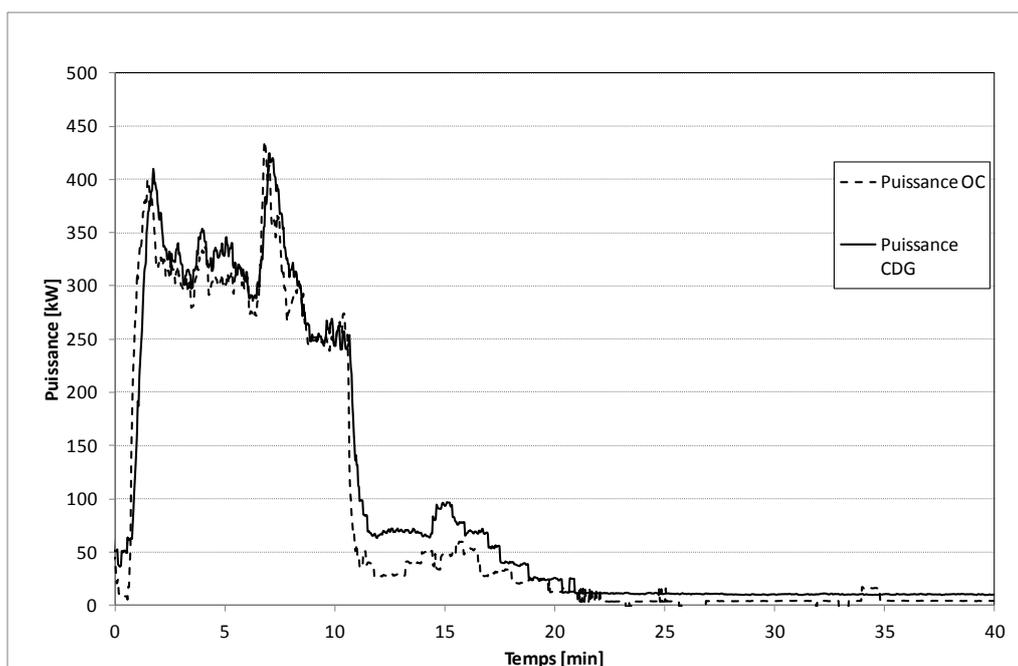


Figure 78 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1, comparaison des méthodes OC et CDG.

La puissance maximale mesurée lors de cet essai est de 400 kW et le dégagement de puissance diminue fortement dès l'extinction des brûleurs. L'énergie totale dégagée lors de l'essai est d'environ 200 MJ. La chaleur de combustion ramenée à la masse de la palette est donc de 0,37 MJ/kg. Cette valeur est bien inférieure à 2,5 MJ/kg, premier critère de la note de doctrine générale n°BRTICP/2011-331/AL-PB du 28/11/11. Les essais 2 et 3 sont donc réalisés selon le protocole visant à démontrer la non combustibilité du produit pour classement sous la rubrique 1510. La vision schématique de ce protocole est rappelée sur la Figure 79.

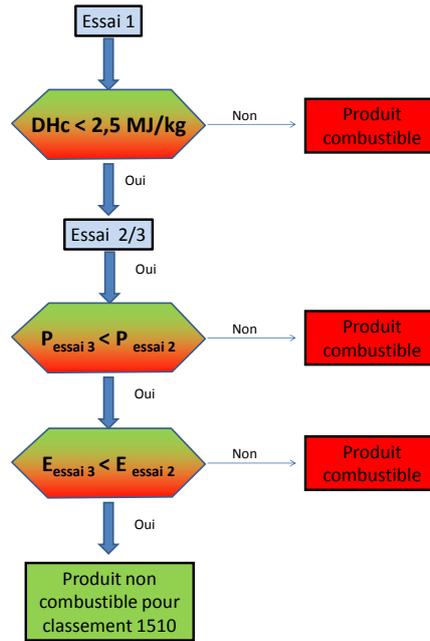


Figure 79 : Schéma des étapes pouvant conduire à l'exclusion d'un produit de la rubrique 1510.

De plus, cet essai permet de démontrer la cohérence de l'instrumentation en montrant l'homogénéité des valeurs de concentration mesurée.

La *Figure 80* montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

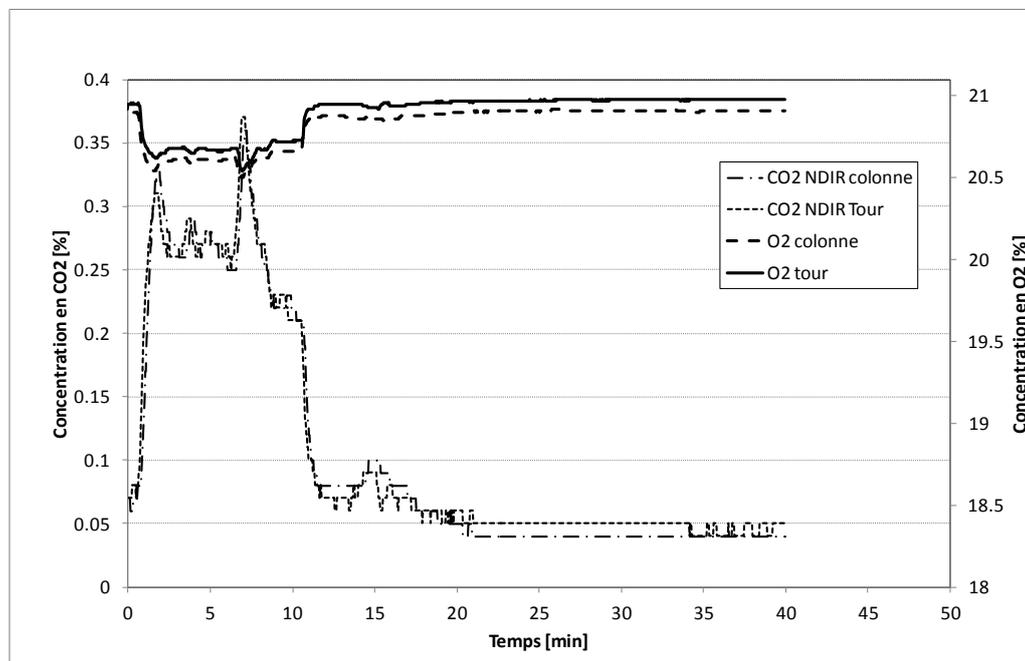


Figure 80 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure.

Cette courbe montre un excellent accord entre les 2 points de mesure témoignant de l'homogénéité du mélange gazeux au point de mesure.

9.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression

Il s'agit dans le cas d'un produit pouvant prétendre au caractère non combustible, de générer une agression représentative de l'incendie des produits combustibles présents sur la palette. Dans le cas présent, la charge combustible totale sur la palette est de 1224 MJ. L'agression sera donc réalisée au moyen de 4 palettes sur chacune des faces, soit une masse de 50 kg de bois par face.

L'inflammation est réalisée à l'aide de trois petits brûleurs au propane d'une puissance unitaire de 20 kW environ ou de coupelles d'heptane. Quel que soit le mode d'allumage utilisé, la puissance et l'énergie développée par ce dernier sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La *Figure 81* présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

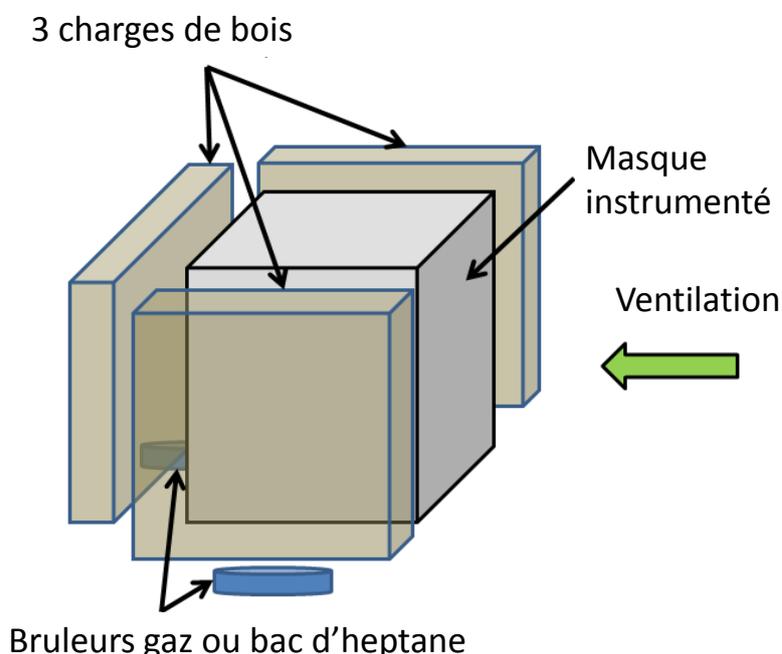


Figure 81 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

9.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage

Afin de démontrer le caractère non combustible au sens de la 1510, il convient à présent de vérifier les critères sur l'énergie et la puissance, à savoir :

- La puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète est inférieure à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette ;
- L'énergie libérée par la combustion de la palette complète est inférieure à l'énergie libérée par la combustion des combustibles présents sur la palette.

L'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai est indiquée par la courbe de la *Figure 83*. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai n°2.

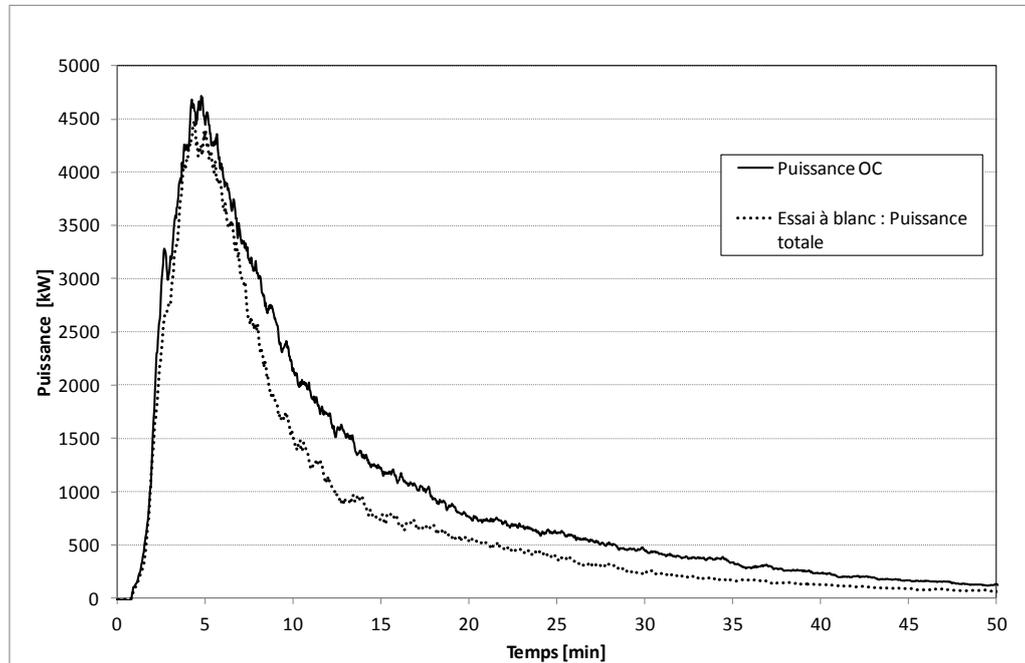


Figure 82 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de poissons surgelés.

La puissance maximale dégagée au cours de cet essai est donc légèrement supérieure à celle dégagée lors de l'essai CAR-4. La puissance maximale dégagée par la seule palette de produit lors de cet essai l'est après le pic de puissance correspondant à la combustion de l'agression, *Figure 83*. Le pic de puissance atteint 750 kW environ. Au regard des éléments vidéo, le pic initial sur cette courbe est dû à un déphasage entre l'essai CAR-4 et l'essai 3 pour cette palette. La combustion de la palette à proprement parlé ne démarre qu'environ 7 minutes après le début de l'essai.

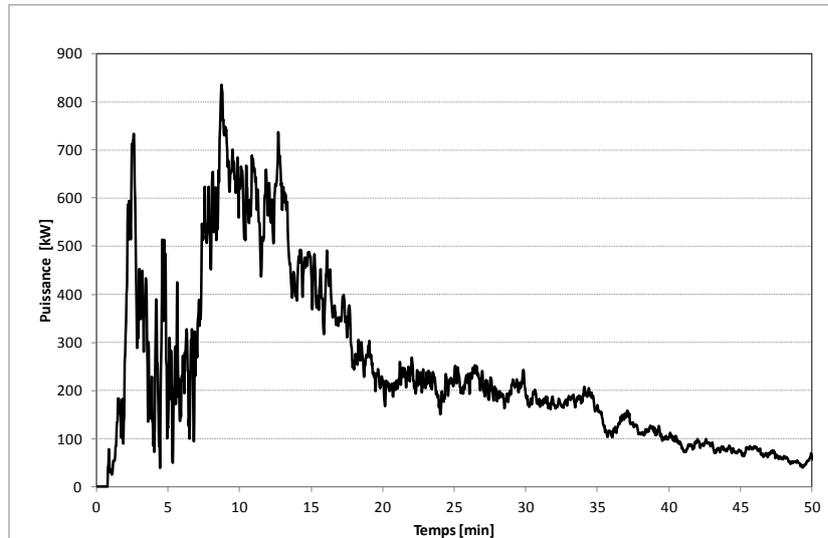


Figure 83 : Evolution de la puissance dégagée lors de l'essai 3 avec une palette de poissons surgelés.

La Figure 84 montre l'évolution de l'énergie dégagée pour ces deux essais.

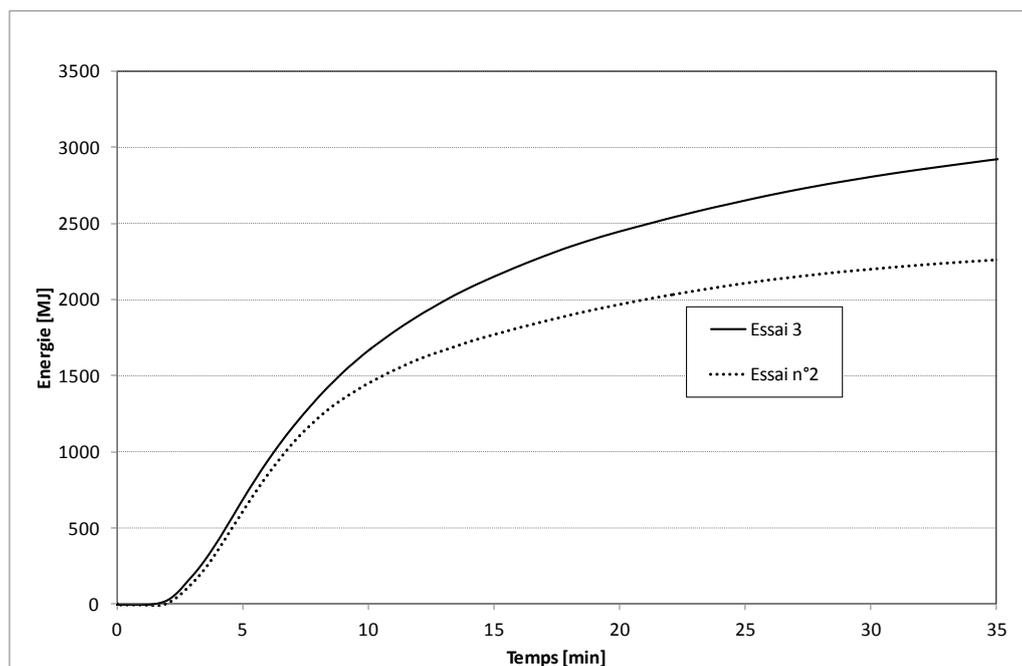


Figure 84 : Evolution de l'énergie totale dégagée lors de l'essai 3 avec une palette de poissons surgelés.

L'énergie totale dégagée par cet essai est supérieure à celle dégagée lors de la combustion de la charge calorifique seule. L'énergie totale dégagée est d'environ 830 MJ. La durée de combustion nécessaire pour dégager cette énergie avec une puissance instantanée de 750 kW est de 18 minutes. Cette valeur est cohérente à celle calculée avec l'évolution des flux thermiques qui indiquent une valeur inférieure à 1,5 kW/m² à 1 m après 25 minutes, soit environ 18 minutes après le début de la combustion de la palette de produit.

9.2.5. Synthèse des essais

Il convient tout d'abord de comparer la puissance maximale obtenue et l'énergie dégagée à celles indiquées pour une palette type 1511 dans la méthode Flumilog.

La palette type 1511 dégage ainsi une puissance de 1 300 kW pour une palette de dimensions 1,2 x 0,8 x 1,5 m³, soit 1,44 m³. La puissance théorique dégagée par une palette de 1,2 x 0,8 x 1,8 serait ainsi de 1 560 kW et une énergie dégagée de 4 200 MJ.

La puissance pic mesurée pendant l'essai est bien inférieure à la puissance prédite pour une palette type. L'énergie totale dégagée est environ deux fois plus faible que l'énergie disponible pour la combustion d'une palette type. Il convient ainsi dans ce cas d'adapter la courbe à prendre en compte pour représenter au mieux le produit. Etant entendu que le type de courbe de puissance utilisable dans la méthode Flumilog est un créneau avec une valeur de puissance pendant une durée donnée, ce couple de valeur doit être fourni.

Concernant la puissance, la valeur maximale mesurée doit être considérée, soit ici 750 kW. Afin de déterminer ensuite la durée de la combustion de la palette à prendre en compte pour l'évaluation des flux thermiques, il est nécessaire a minima de conserver l'énergie, soit ici une durée nécessaire de 18 minutes. Il faut par ailleurs s'assurer également que la puissance développée par la palette au-delà de cette durée ne contribue pas aux effets thermiques en vérifiant que le flux reçu à 1 m est bien inférieur à 1,5 kW/m², au-delà de la durée proposée. La *Figure 85* montre l'évolution des flux en parallèle de la puissance du foyer.

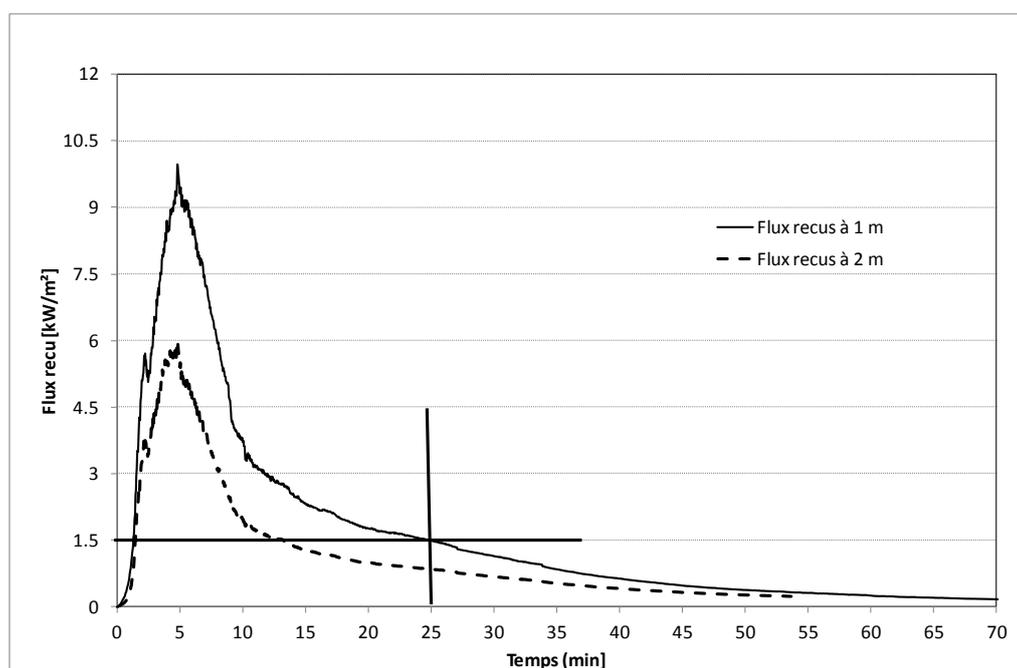


Figure 85 : Evolution des flux thermiques reçus à 1 et 2 m du foyer et de la puissance.

Le flux 1,5 kW/m² à 1 m du foyer est atteint après 25 minutes environ. Cette durée est supérieure à celle nécessaire pour conserver l'énergie. Retenir cette valeur implique donc une surestimation de l'énergie. Cette approche prudente est en

cohérence avec la méthode Flumilog. De ce fait, le couple de valeur (Puissance ; Durée) proposée est ainsi de (750 kW ; 25 minutes).

Le couple (Puissance ; Durée) retenu est donc (750 kW ; 25 minutes).

9.3. CONCLUSION

Les essais montrent qu'une palette de poissons surgelés peut être modélisée dans le logiciel Flumilog par une palette expérimentale avec une puissance palette de **750 kW** et une durée de combustion de **25 minutes**.

Cette puissance n'est valable que pour une palette composée comme suit :

	Masse des produits [kg]
Bois palette	21
Carton	37
Film plastique	9,5
Marchandises	467
Masse totale	535

Les dimensions de la palette sont de : **1,2 m de long, 0,8 m de large et 1,5 m de hauteur**.

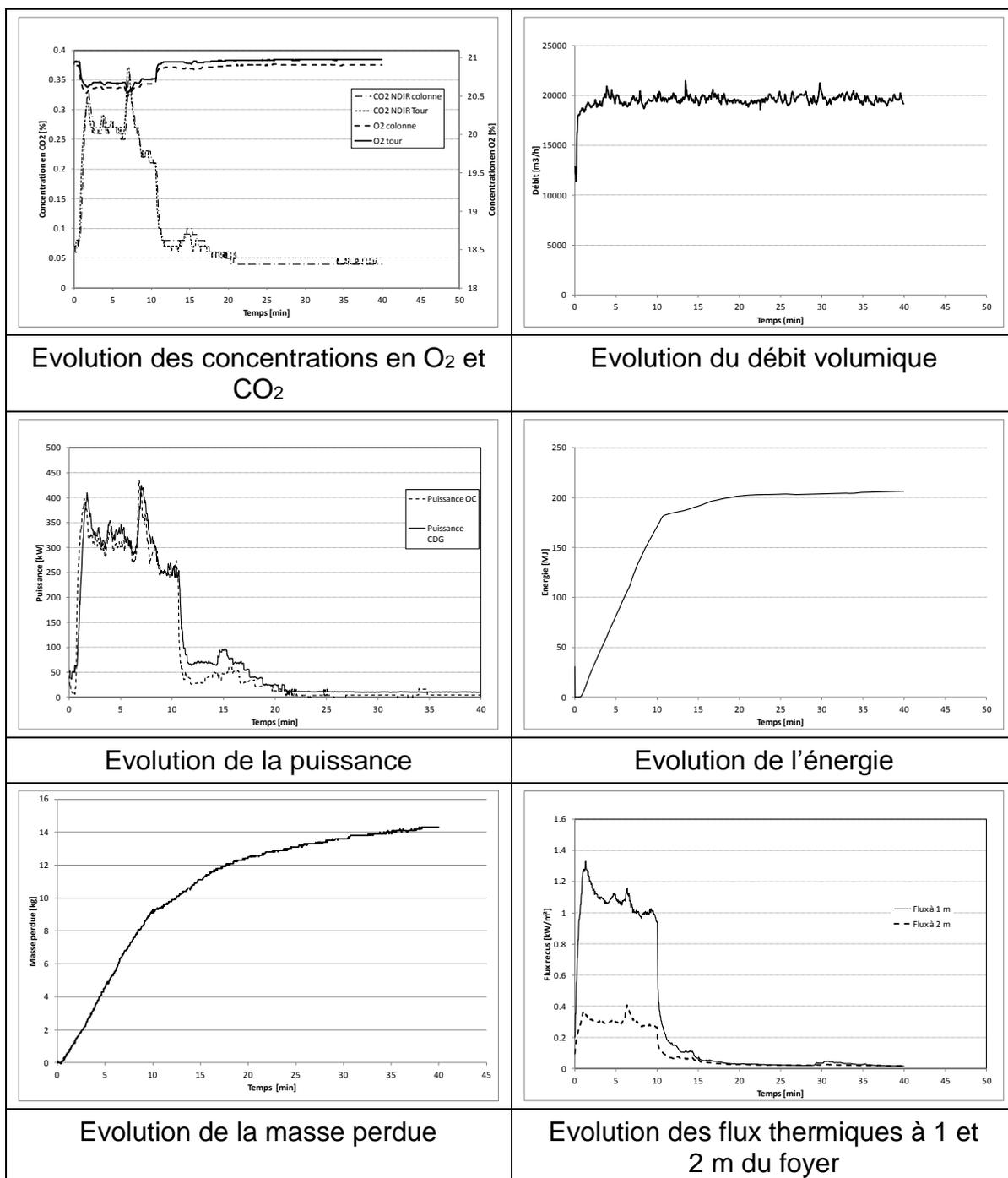
L'ensemble de ces valeurs sera à saisir dans le logiciel Flumilog pour le calcul des effets thermiques⁶.

Dans ce cas, l'entrepôt concerné sera spécialisé pour stocker uniquement ce type de palettes ou des palettes ayant des effets thermiques inférieurs. L'exploitant devra préciser dans son dossier de demande comment il vérifiera le respect de ces conditions de stockage.

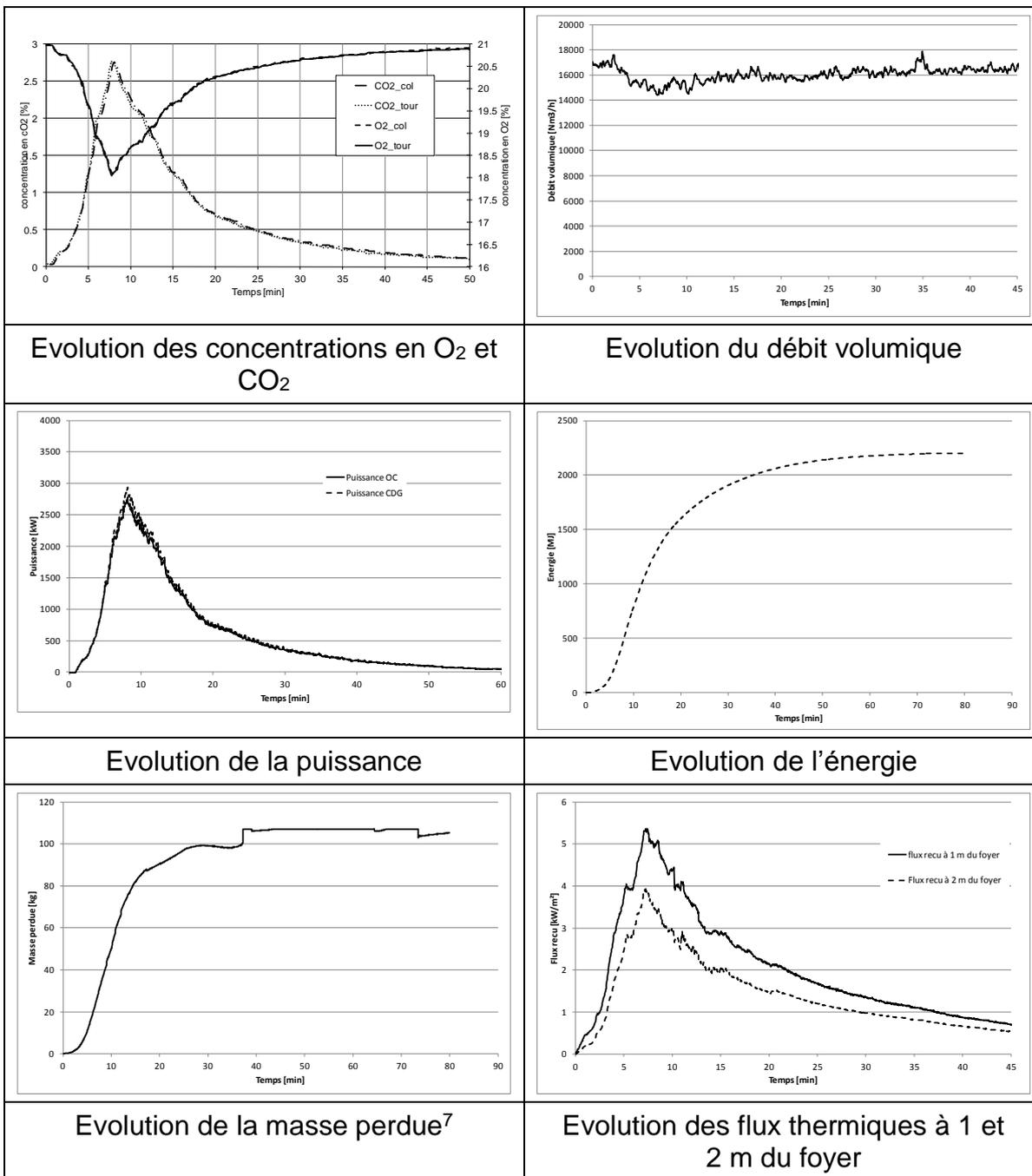
⁶ Ces valeurs pourront être utilisées, de façon prudente, pour des palettes contenant une proportion de charcuterie plus importante.

9.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

9.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1

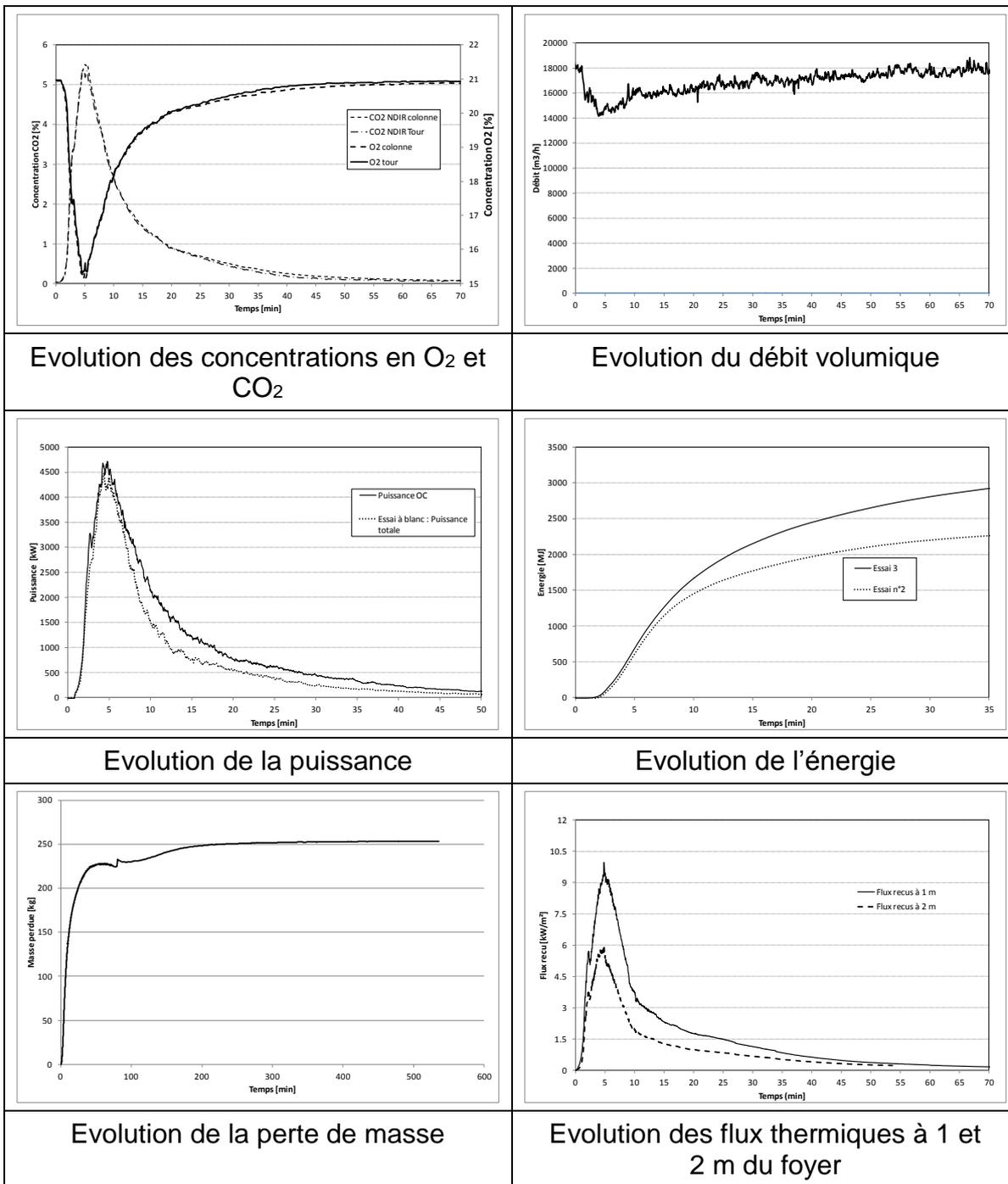


9.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2



⁷ La mesure de masse a été faussée lors de l'essai, l'échantillon étant entré en contact avec les parois.

9.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3



10. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE VIANDE SURGELES

10.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

10.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure 86. La zone d'essais est localisée à l'extrémité de la galerie, en pied de tour. La consigne de ventilation pour de tels essais est fixée entre 16 000 et 18 000 Nm³/h, la porte est positionnée à 30 cm du sol.

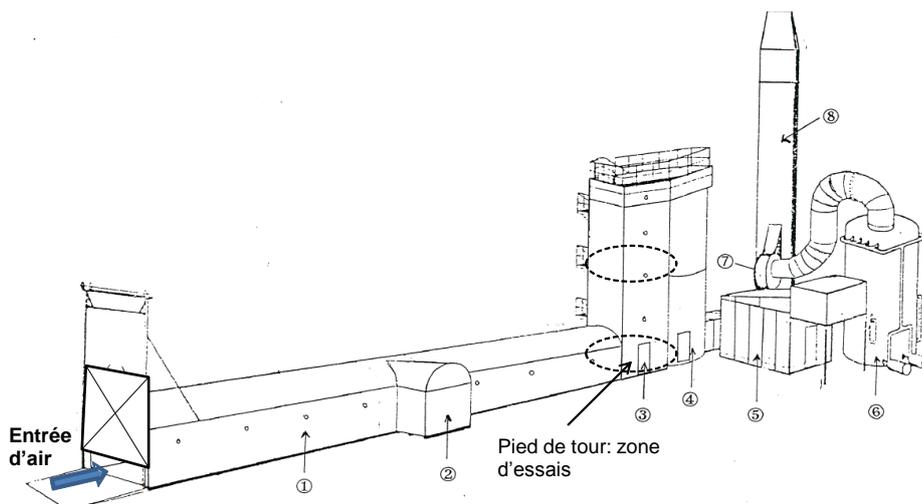


Figure 86 : Schéma de la galerie incendie

La Figure 87 présente la position des différents éléments ainsi que la métrologie mise en place. Cette métrologie est la même pour tous les essais réalisés.

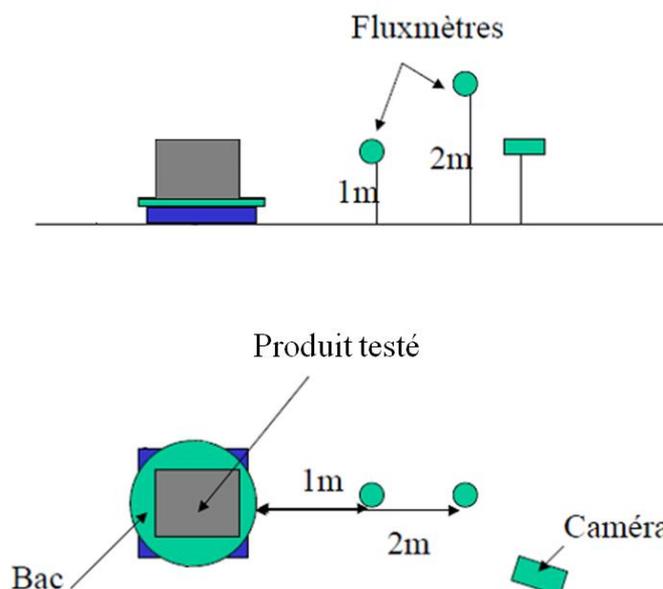


Figure 87 : Représentation schématique de la métrologie des essais

L'instrumentation mise en œuvre est donc constituée :

- de deux fluxmètres permettant de mesurer le flux à 1 et 2 m de hauteur, placés respectivement à une distance de 1 m et 2 m de l'échantillon sur la même face (gamme de flux 0-50 kW/m²) ;
- de mesures de concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) permettant la détermination de la puissance du feu ;
- d'un analyseur à transformée de Fourier Infrarouge (FTIR) permettant de déterminer les différents composés chimiques présents dans les fumées ;
- de plusieurs caméras, dont une caméra thermique, filmant les essais et permettant de déterminer la hauteur de flamme.

10.1.2. Essais réalisés

Conformément au protocole Flumilog, document DRA-13-133881-07549A, 3 essais ont été réalisés :

- essai 1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- essai 2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- essai 3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

10.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

10.2.1. Description des palettes

Les 2 palettes étaient constituées de viande surgelée. Les sachets étaient organisés en cartons et les cartons empilés sur une palette Européenne de 1,2 X 1,0 m². La hauteur totale de la palette était de 1,8 m soit un volume total pour la palette de 2,16 m³.

La masse totale de la palette et les masses des différents constituants sont synthétisées dans le Tableau 11. Les deux palettes fournies étaient exactement identiques.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1	Palette Essai 3	ΔH_c produit [MJ/kg]
Bois palette	20,6	20,6	≈ 18
Carton	18,9	18,9	≈ 18
Marchandises	835,9	835,9	≈ 0
Film plastique	3,5	3,5	≈ 30
Charge de bois pour l'agression	0	120	≈ 18
Masse totale	879	999	$\approx 0,95$

Tableau 11 : Composition des palettes de viande surgelée.

10.2.2. Essai n°1 : Palette seule

Cet essai consiste à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Pour cet essai, l'allumage est réalisé par deux brûleurs orientés vers la base de la palette, qui est décollée du sol à l'aide de bloc en Siporex. La position des différents éléments est schématisée sur la Figure 88.

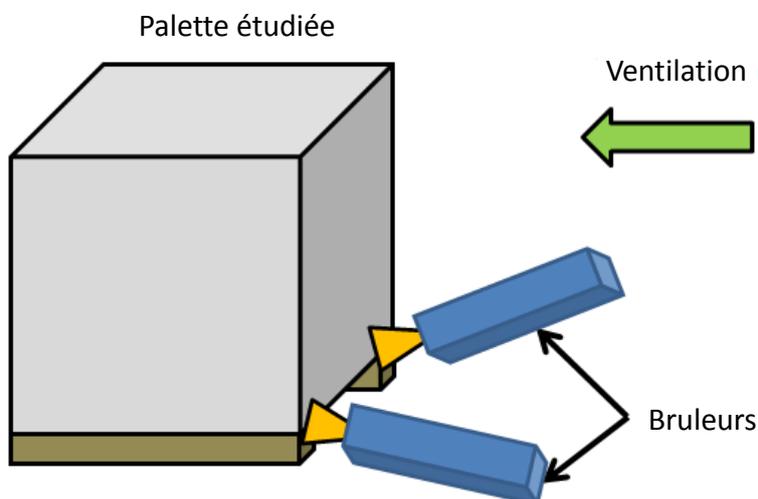


Figure 88 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance de la palette brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance est présentée sur la Figure 89 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

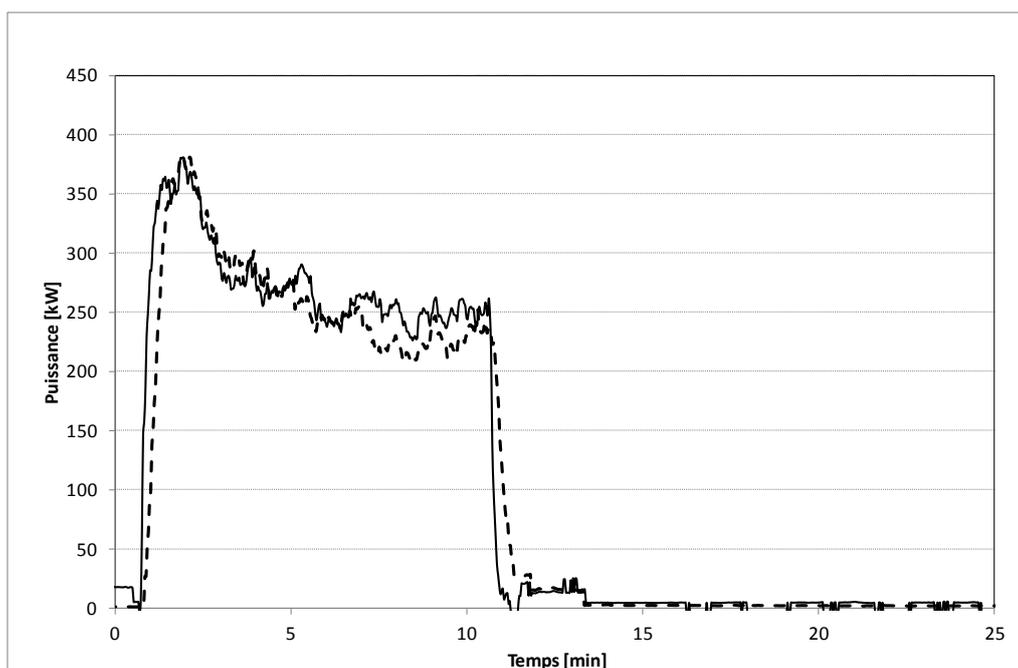


Figure 89 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1, comparaison des méthodes OC et CDG.

La puissance maximale mesurée lors de cet essai est de 350 kW et le dégagement de puissance diminue fortement dès l'extinction des brûleurs. L'énergie totale dégagée lors de l'essai est d'environ 160 MJ. La chaleur de combustion ramenée à la masse de la palette est donc de 0,18 MJ/kg. Cette valeur est bien inférieure à 2,5 MJ/kg, premier critère de la note de doctrine générale n°BRTICP/2011-331/AL-PB du 28/11/11. Les essais 2 et 3 sont donc réalisés selon le protocole visant à démontrer la non combustibilité du produit pour classement sous la rubrique 1510. La vision schématique de ce protocole est rappelée sur la Figure 90.

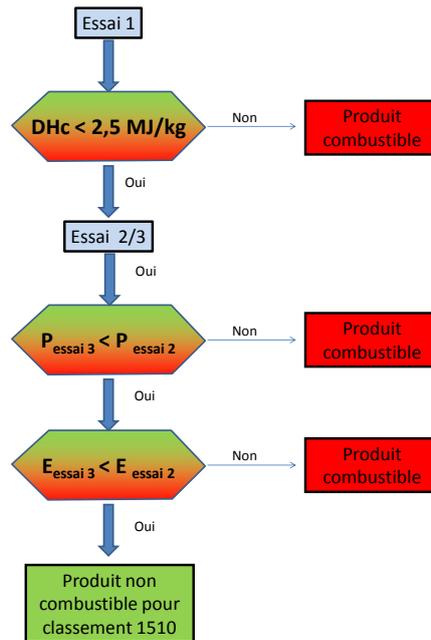


Figure 90 : Schéma des étapes pouvant conduire à l'exclusion d'un produit de la rubrique 1510.

De plus, cet essai permet de démontrer la cohérence de l'instrumentation en montrant l'homogénéité des valeurs de concentration mesurée.

La Figure 91 montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

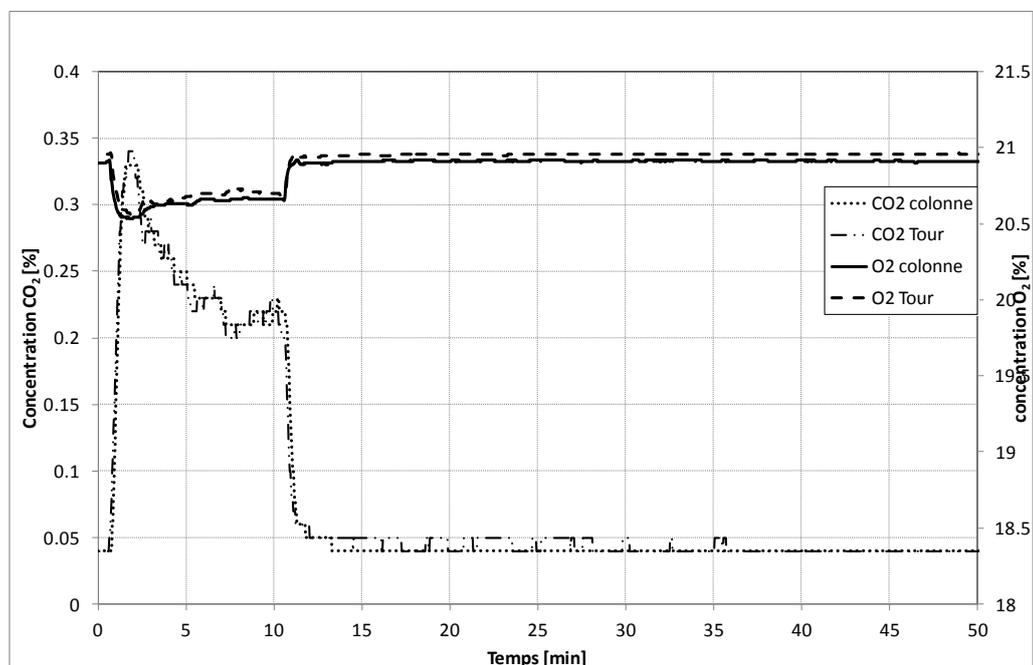


Figure 91 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure.

Cette courbe montre un excellent accord entre les 2 points de mesure témoignant de l'homogénéité du mélange gazeux au point de mesure.

10.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression

Il s'agit dans le cas d'un produit pouvant prétendre au caractère non combustible, de générer une agression représentative de l'incendie des produits combustibles présents sur la palette. Dans le cas présent, la charge combustible totale sur la palette est de 1224 MJ. L'agression sera donc réalisée au moyen de 4 palettes sur chacune des faces, soit une masse de 50 kg de bois par face.

L'inflammation est réalisée à l'aide de trois petits brûleurs au propane d'une puissance unitaire de 20 kW environ ou de coupelles d'heptane. Quel que soit le mode d'allumage utilisé, la puissance et l'énergie développées par ce dernier sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La Figure 92 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

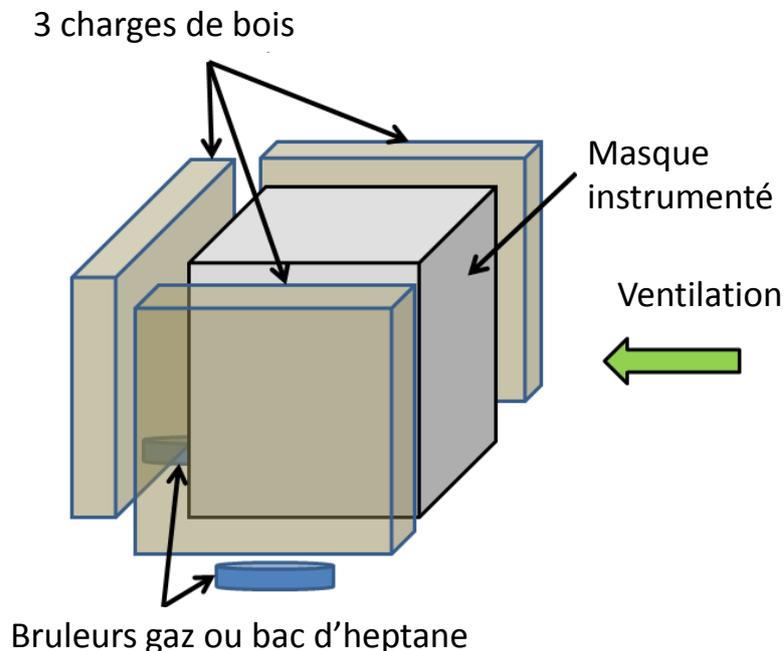


Figure 92 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

10.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage

Afin de démontrer le caractère non combustible au sens de la 1510, il convient à présent de vérifier les critères sur l'énergie et la puissance, à savoir :

- La puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète est inférieure à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette ;
- L'énergie libérée par la combustion de la palette complète est inférieure à l'énergie libérée par la combustion des combustibles présents sur la palette.

L'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai est indiquée par la courbe de la Figure 114. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai n°2.

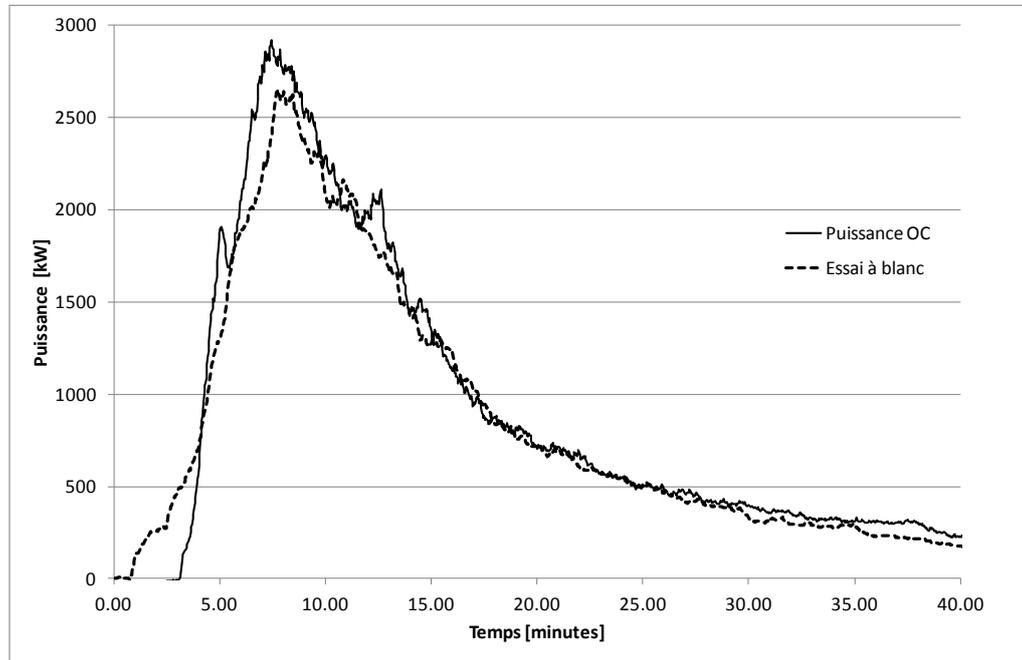


Figure 93 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de viande surgelée.

La puissance maximale dégagée au cours de cet essai est donc légèrement supérieure à celle dégagée lors de l'essai CAR-3. La puissance maximale dégagée par la seule palette de produit lors de cet essai l'est après le pic de puissance correspondant à la combustion de l'agression, *Figure 83*. La première partie étant en partie due à un déphasage des courbes de puissance. Après recalage, la puissance dégagée par la combustion de la palette seule est estimée à 600 kW au maximum pendant les premiers instants puis moins de 100 kW lorsque la palette brûle seule, *Figure 94*. Une valeur prudente de 500 kW sera retenue.

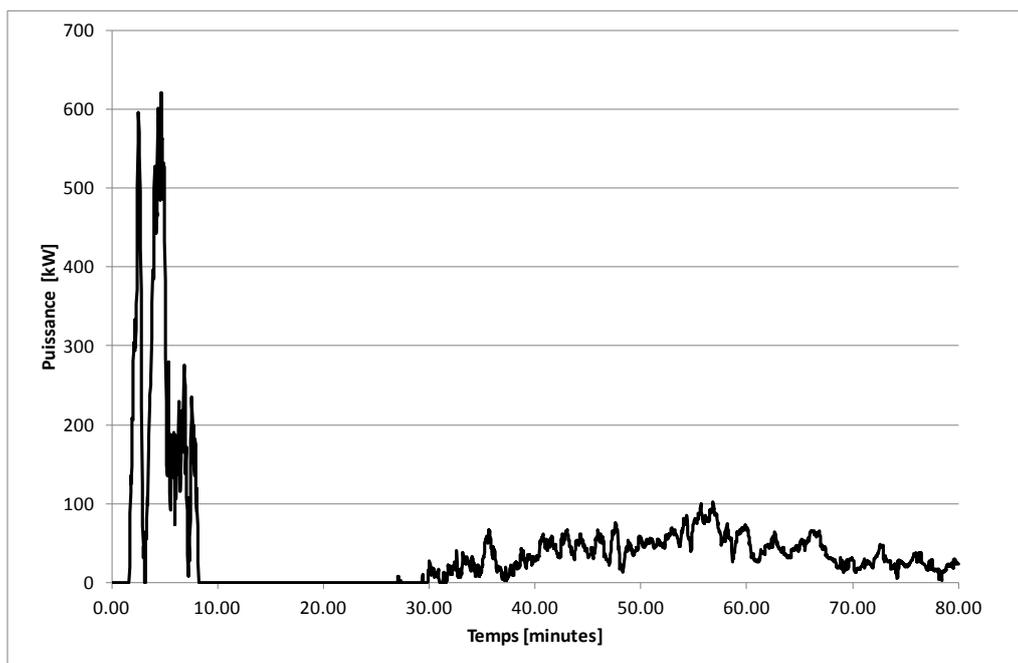


Figure 94 : Evolution de la puissance dégagée lors de l'essai 3 avec une palette de viande surgelée.

La Figure 95 montre l'évolution de l'énergie dégagée pour ces deux essais.

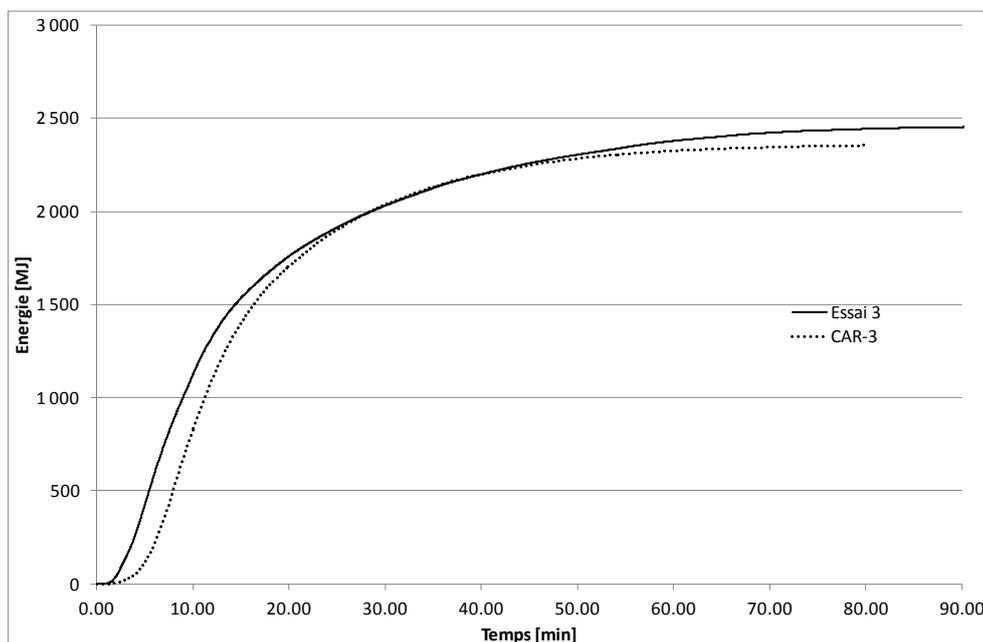


Figure 95 : Evolution de l'énergie totale dégagée lors de l'essai 3 avec une palette de viande surgelée.

L'énergie totale dégagée par cet essai est supérieure à celle dégagée lors de la combustion de la charge calorifique seule. L'énergie totale dégagée est d'environ 100 MJ. La durée de combustion nécessaire pour dégager cette énergie avec une puissance instantanée de 500 kW est de 3,5 minutes. Cette valeur est cohérente à confirmer avec l'évolution des flux thermiques.

10.2.5. Synthèse des essais

Il convient tout d'abord de comparer la puissance maximale obtenue et l'énergie dégagée à celles indiquées pour une palette type 1511 dans la méthode Flumilog.

La palette type 1511 dégage ainsi une puissance de 1 300 kW pour une palette de dimensions 1,2 x 0,8 x 1,5 m³, soit 1,44 m³. La puissance théorique dégagée par une palette de 1,2 x 0,8 x 1,8 serait ainsi de 1 560 kW et une énergie dégagée de 4 200 MJ.

La puissance pic mesurée pendant l'essai est bien inférieure à la puissance prédite pour une palette type. L'énergie totale dégagée est environ deux fois plus faible que l'énergie disponible pour la combustion d'une palette type. Il convient ainsi dans ce cas d'adapter la courbe à prendre en compte pour représenter au mieux le produit. Etant entendu que le type de courbe de puissance utilisable dans la méthode Flumilog est un créneau avec une valeur de puissance pendant une durée donnée, ce couple de valeur doit être fourni.

Concernant la puissance, la valeur maximale mesurée doit être considérée, soit ici 500 kW. Afin de déterminer ensuite la durée de la combustion de la palette à prendre en compte pour l'évaluation des flux thermiques, il est nécessaire a minima de conserver l'énergie, soit ici une durée nécessaire de 3,5 minutes. Il faut par ailleurs s'assurer également que la puissance développée par la palette au-delà de cette durée ne contribue pas aux effets thermiques en vérifiant que le flux reçu à 1 m est bien inférieur à 1,5 kW/m², au-delà de la durée proposée. La Figure 96 montre l'évolution des flux en parallèle de la puissance du foyer.

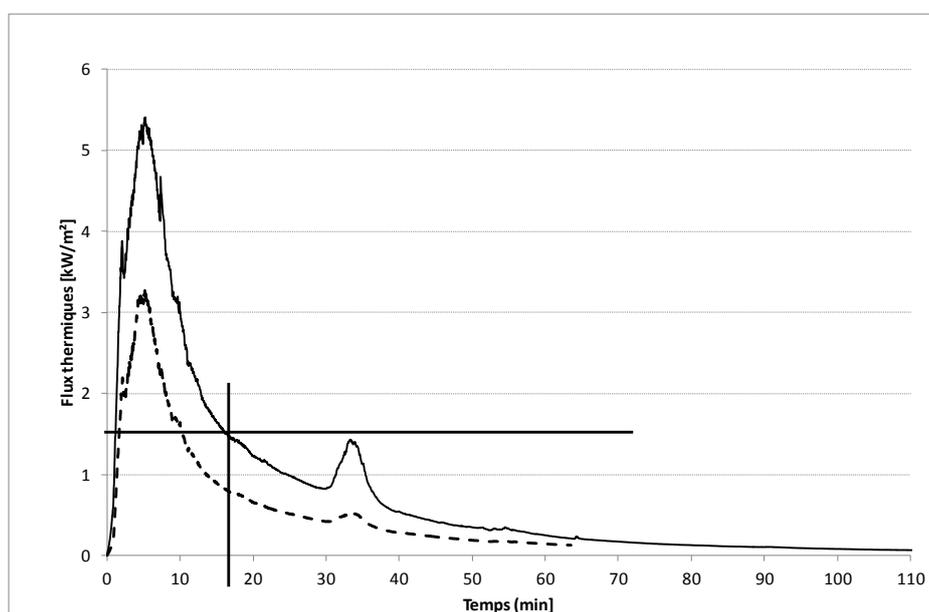


Figure 96 : Evolution des flux thermiques reçus à 1 et 2 m du foyer et de la puissance.

Le flux 1,5 kW/m² à 1 m du foyer est atteint après 15 minutes environ. Cette durée est supérieure à celle nécessaire pour conserver l'énergie. Ce flux correspond certainement à celui généré par la combustion de l'agression, cette valeur de 15 minutes est retenue de manière prudente. Retenir cette valeur implique donc une

surestimation de l'énergie. Cette approche prudente est en cohérence avec la méthode Flumilog. De ce fait, le couple de valeur (Puissance ; Durée) proposée est ainsi de (500 kW ; 15 minutes).

Le couple (Puissance ; Durée) retenu est donc (500 kW ; 15 minutes).

10.3. CONCLUSION

Les essais montrent qu'une palette de poissons surgelés peut être modélisée dans le logiciel Flumilog par une palette expérimentale avec une puissance palette de **500 kW** et une durée de combustion de **15 minutes**.

Cette puissance n'est valable que pour une palette composée comme suit :

	Masse des produits [kg]
Bois palette	20,6
Carton	18,9
Film plastique	3,5
Marchandises	835,9
Masse totale	879

et ayant pour dimensions : **1,2 m de long, 0,8 m de large et 1,5 m de hauteur**.

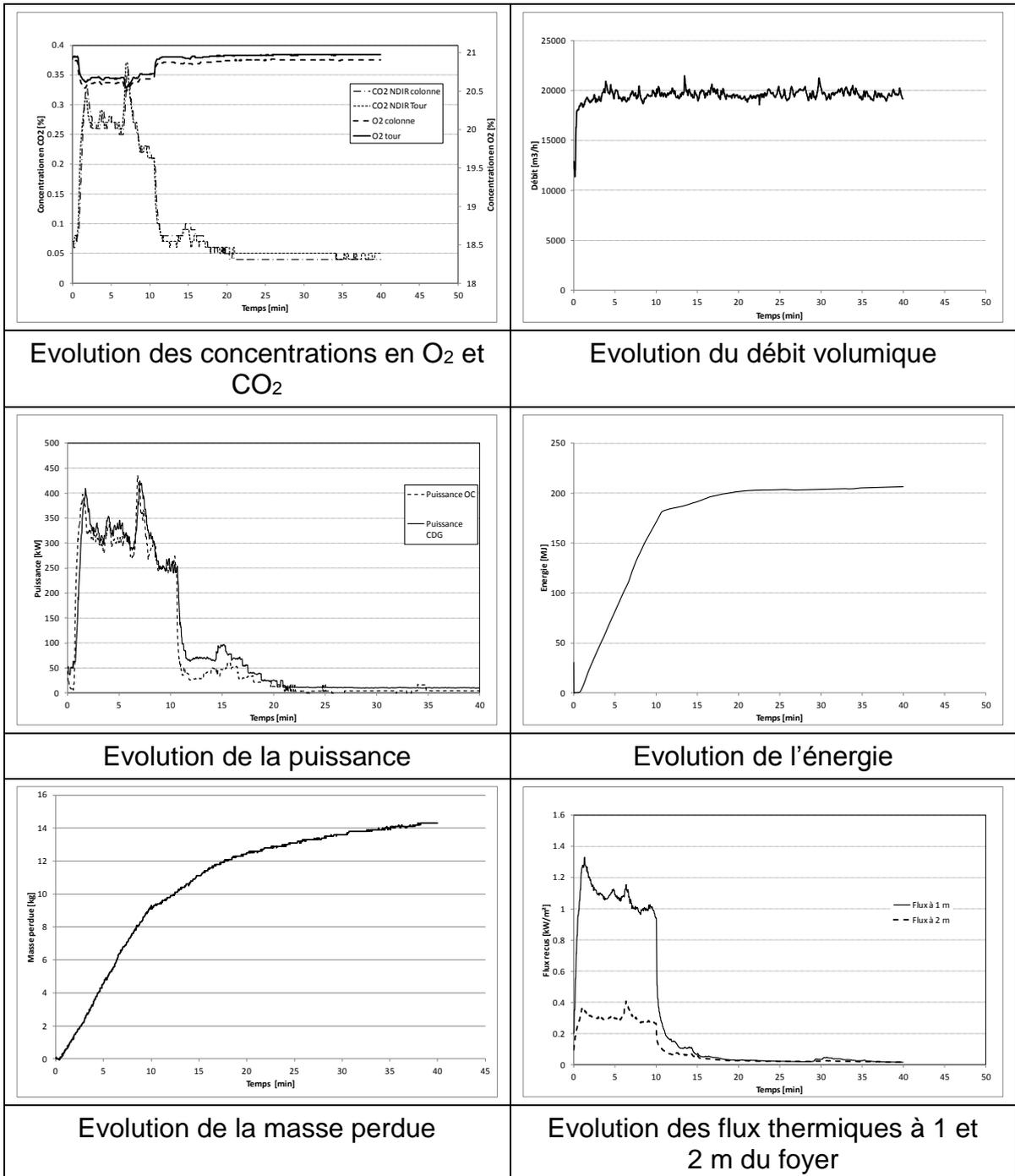
L'ensemble de ces valeurs sera à saisir dans le logiciel Flumilog pour le calcul des effets thermiques⁸.

Dans ce cas, l'entrepôt concerné sera spécialisé pour stocker uniquement ce type de palettes ou des palettes ayant des effets thermiques inférieurs. L'exploitant devra préciser dans son dossier de demande comment il vérifiera le respect de ces conditions de stockage.

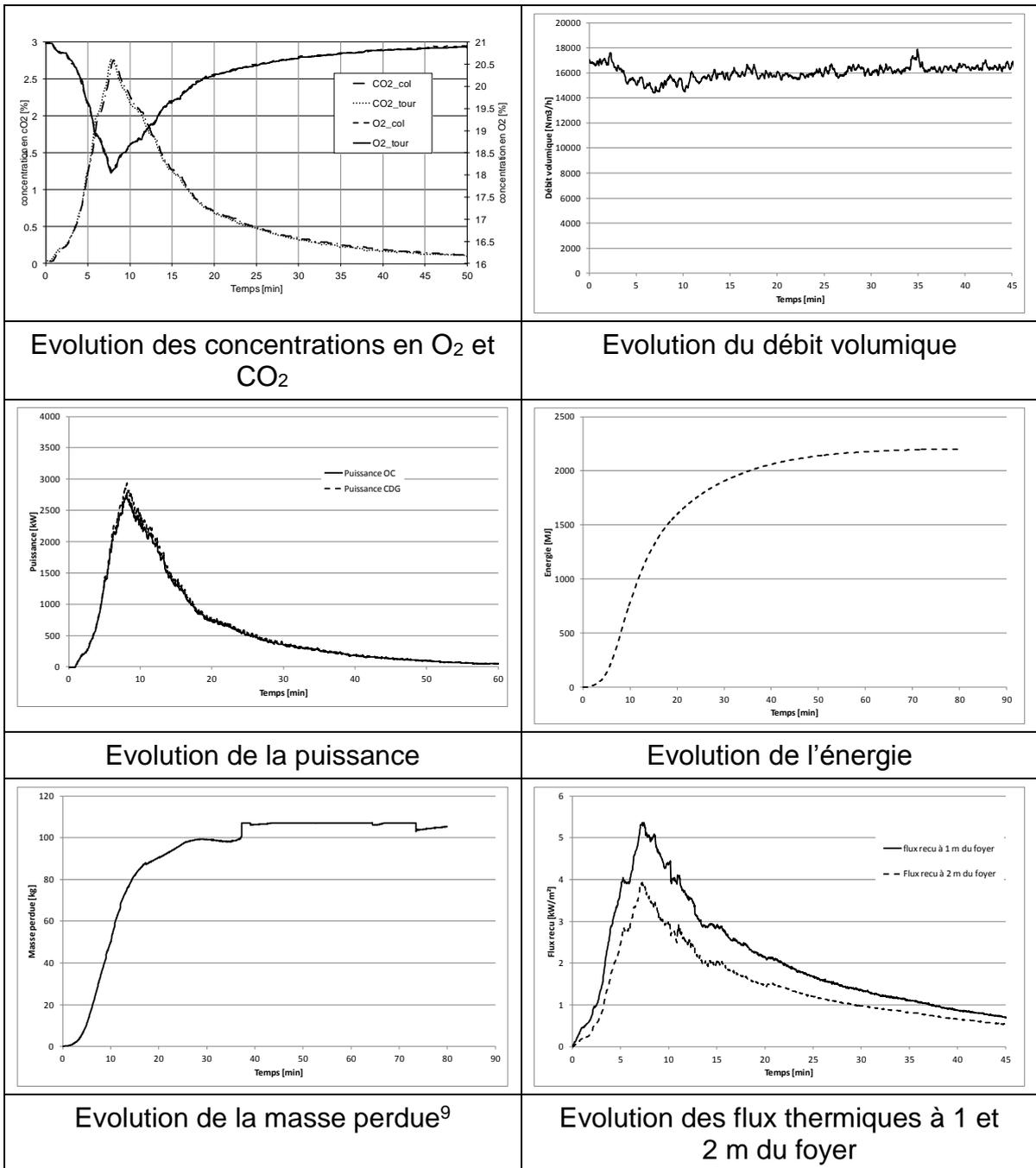
⁸ Ces valeurs pourront être utilisées, de façon prudente, pour des palettes contenant une proportion de charcuterie plus importante.

10.4. COURBES D'ÉVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

10.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1

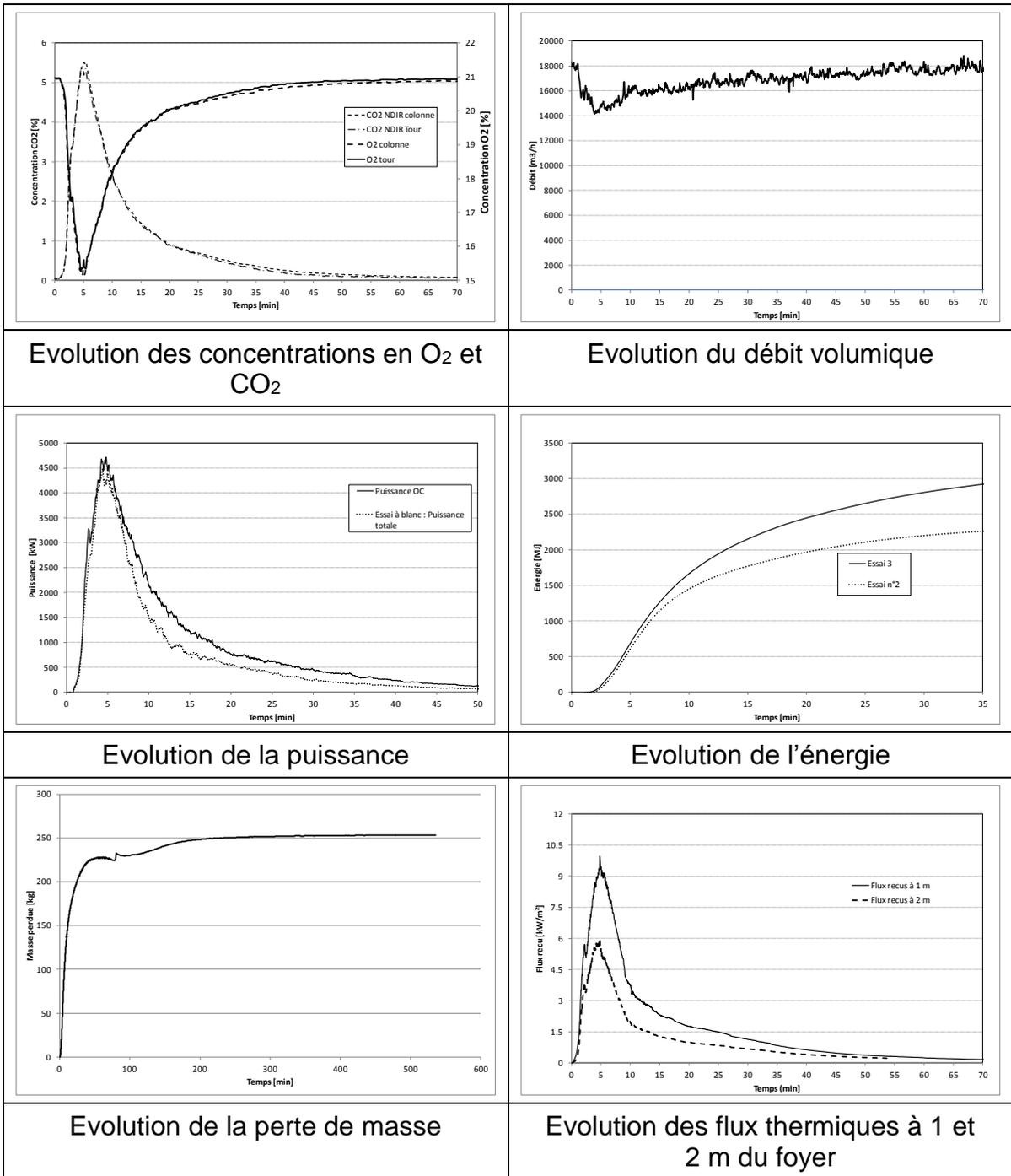


10.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2



⁹ La mesure de masse a été faussée lors de l'essai, l'échantillon étant entré en contact avec les parois.

10.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3



11. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE BOITES DE CONSERVES

11.1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

11.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure 97. La zone d'essais est localisée à l'extrémité de la galerie, en pied de tour. La consigne de ventilation pour de tels essais est fixée entre 16 000 et 18 000 Nm³/h, la porte est positionnée à 30 cm du sol.

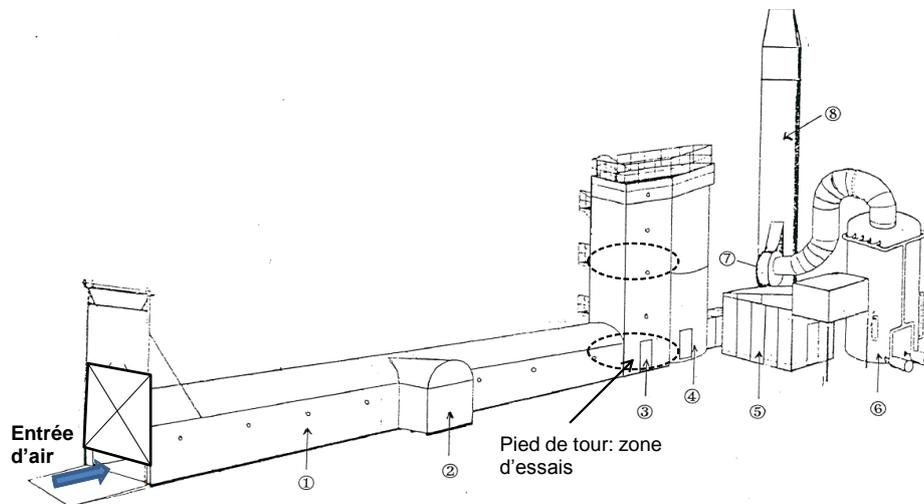


Figure 97 : Schéma de la galerie incendie

La Figure 98 présente la position des différents éléments ainsi que la métrologie mise en place. Cette métrologie est la même pour tous les essais réalisés.

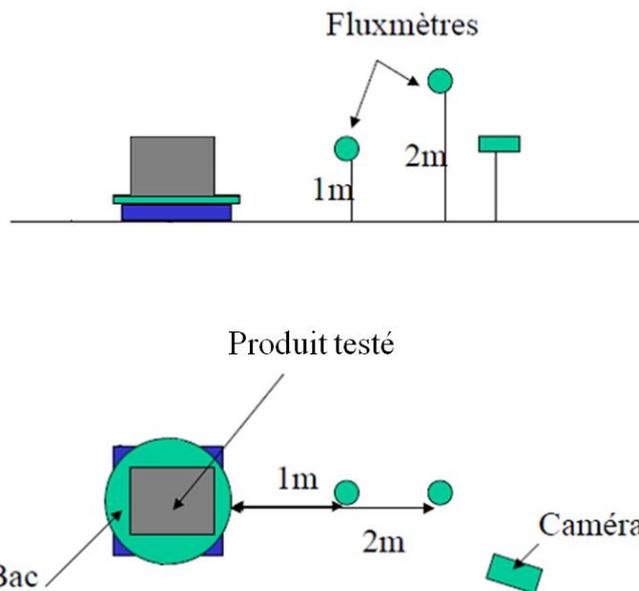


Figure 98 : Représentation schématique de la métrologie des essais

L'instrumentation mise en œuvre est donc constituée :

- de deux fluxmètres permettant de mesurer le flux à 1 et 2 m de hauteur, placés respectivement à une distance de 1 m et 2 m de l'échantillon sur la même face (gamme de flux 0-50 kW/m²) ;
- de mesures de concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) permettant la détermination de la puissance du feu ;
- d'un analyseur à transformée de Fourier Infrarouge (FTIR) permettant de déterminer les différents composés chimiques présents dans les fumées ;
- de plusieurs caméras, dont une caméra thermique, filmant les essais et permettant de déterminer la hauteur de flamme.

11.1.2. Essais réalisés

Conformément au protocole Flumilog, document DRA-13-133881-07549A, 3 essais ont été réalisés :

- essai 1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- essai 2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- essai 3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

11.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

11.2.1. Description des palettes

Les 2 palettes étaient constituées de boîtes de conserve. Les boîtes de conserve étaient empilées sur une palette Européenne de 1,2 X 1,0 m². La hauteur totale de la palette était de 1,8 m soit un volume total pour la palette de 2,16 m³.

La masse totale de la palette et les masses des différents constituants sont synthétisées dans le Tableau 12. Les deux palettes fournies étaient exactement identiques.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1	Palette Essai 3	ΔH_c produit [MJ/kg]
Bois palette	20,5	20,5	≈ 18
Marchandises	1531	1531	≈ 0
Film plastique	3,5	3,5	≈ 30
Charge de bois pour l'agression	0	67,5	≈ 18
Masse totale	1 555	1 622,5	$\approx 0,3$

Tableau 12 : Composition des palettes de boîtes de conserve.

11.2.2. Essai n°1 : Palette seule

Cet essai consiste à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Pour cet essai, l'allumage est réalisé par deux brûleurs orientés vers la base de la palette, qui est décollée du sol à l'aide de bloc en Siporex. La position des différents éléments est schématisée sur la Figure 99.

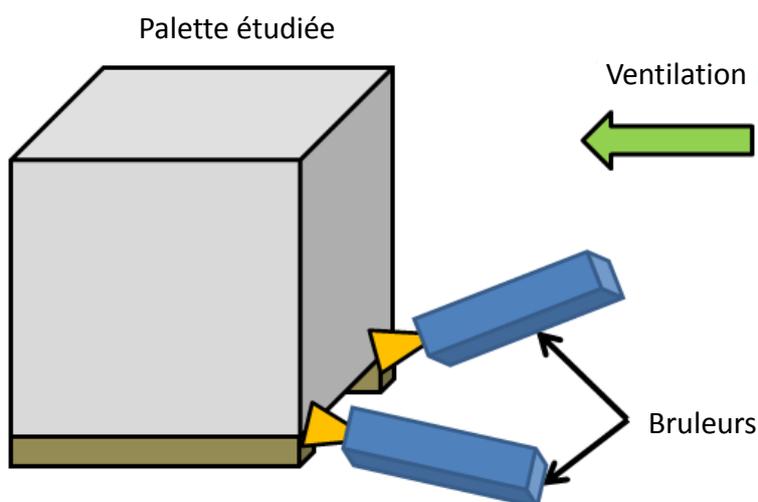


Figure 99 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance de la palette brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance est présentée sur la Figure 100 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

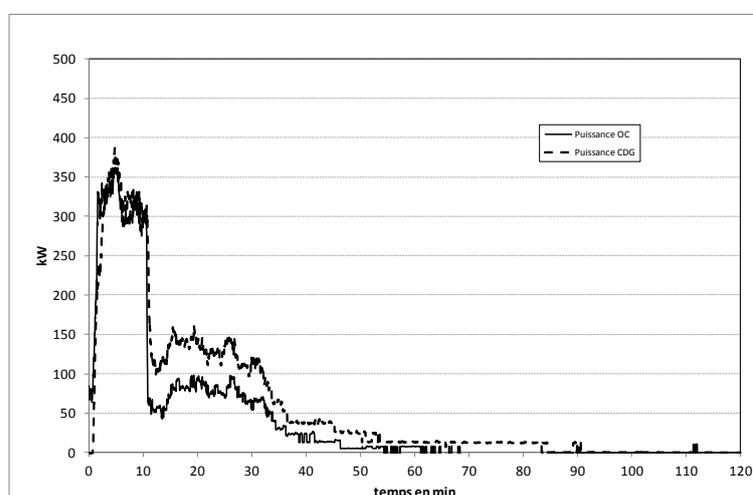


Figure 100 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1, comparaison des méthodes OC et CDG.

La puissance maximale mesurée lors de cet essai est de 350 kW et le dégagement de puissance diminue fortement dès l'extinction des brûleurs. L'énergie totale dégagée lors de l'essai est d'environ 300 MJ. La chaleur de combustion ramenée à la masse de la palette est donc de 0,19 MJ/kg. Cette valeur est bien inférieure à 2,5 MJ/kg, premier critère de la note de doctrine générale n°BRTICP/2011-331/AL-PB du 28/11/11. Les essais 2 et 3 sont donc réalisés selon le protocole visant à démontrer la non combustibilité du produit pour classement sous la rubrique 1510. La vision schématique de ce protocole est rappelée sur la Figure 101.

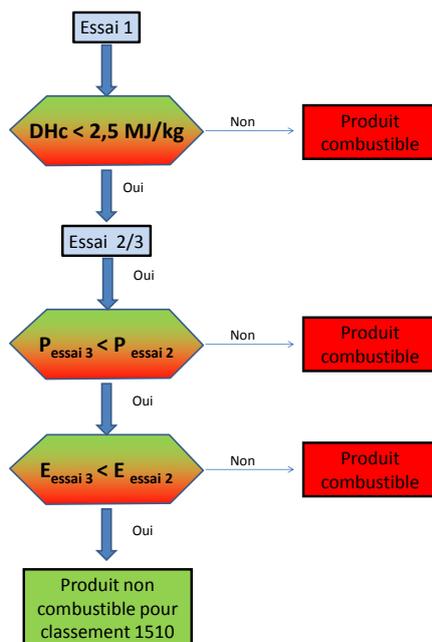


Figure 101 : Schéma des étapes pouvant conduire à l'exclusion d'un produit de la rubrique 1510.

De plus, cet essai permet de démontrer la cohérence de l'instrumentation en montrant l'homogénéité des valeurs de concentration mesurée.

La Figure 102 montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

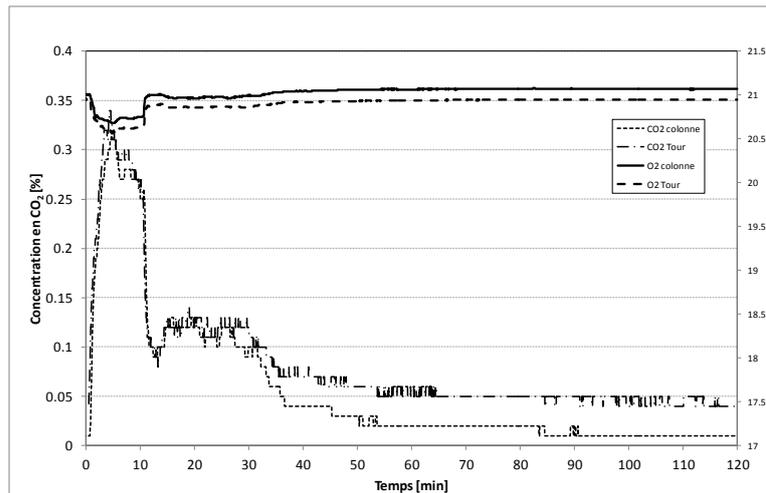


Figure 102 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure.

Cette courbe montre un excellent accord entre les 2 points de mesure témoignant de l'homogénéité du mélange gazeux au point de mesure.

11.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression

Il s'agit dans le cas d'un produit pouvant prétendre au caractère non combustible, de générer une agression représentative de l'incendie des produits combustibles présents sur la palette. Dans le cas présent, la charge combustible totale sur la palette est de 470 MJ. L'agression sera donc réalisée au moyen de 2 palettes sur chacune des faces, soit une masse de 23 kg de bois par face.

L'inflammation est réalisée à l'aide de trois petits brûleurs au propane d'une puissance unitaire de 20 kW environ ou de coupelles d'heptane. Quel que soit le mode d'allumage utilisé, la puissance et l'énergie développées par ce dernier sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La Figure 103 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

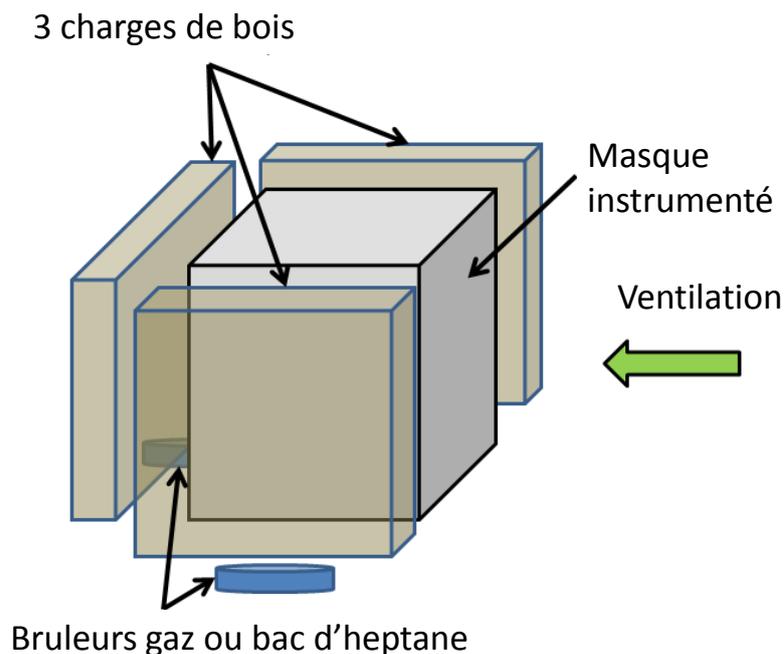


Figure 103 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

11.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage

Afin de démontrer le caractère non combustible au sens de la 1510, il convient à présent de vérifier les critères sur l'énergie et la puissance, à savoir :

- La puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète est inférieure à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette ;
- L'énergie libérée par la combustion de la palette complète est inférieure à l'énergie libérée par la combustion des combustibles présents sur la palette.

L'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai est indiquée par la courbe de la Figure 104. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai n°2.

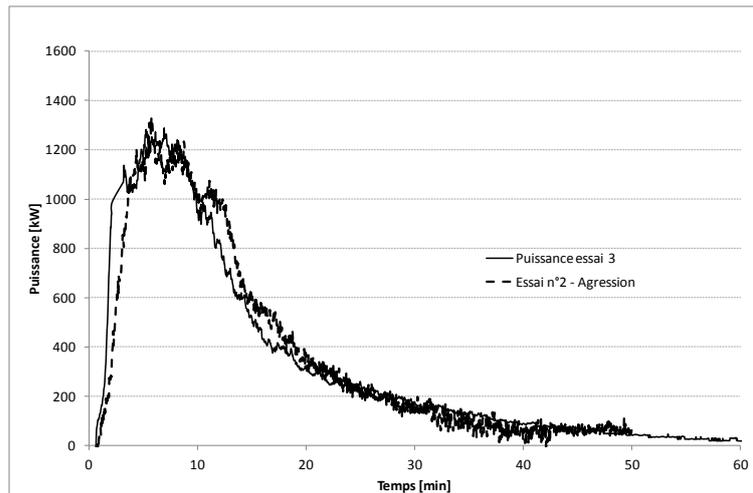


Figure 104 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de boîtes de conserve.

La puissance maximale dégagée au cours de cet essai est donc bien inférieure à celle dégagée lors de l'essai de type 2, correspondant à l'agression seule.

La Figure 105 montre l'évolution de l'énergie dégagée pour ces deux essais.

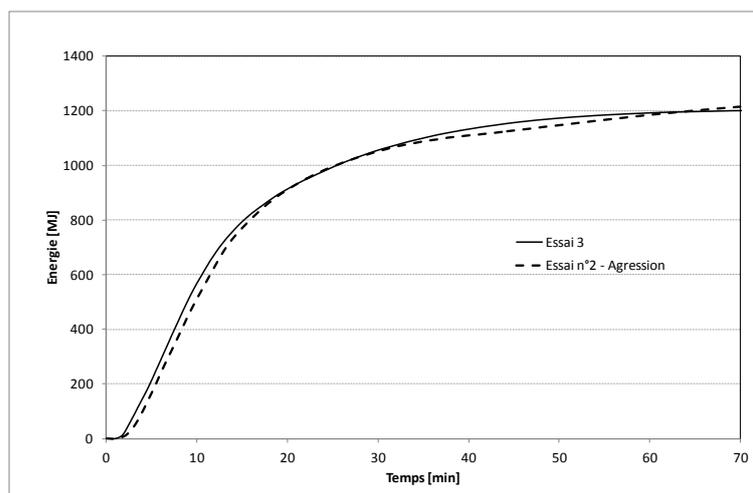


Figure 105 : Evolution de l'énergie totale dégagée lors de l'essai 3 avec une palette de boîtes de conserve.

L'énergie totale dégagée par cet essai est inférieure à celle dégagée lors de la combustion de la charge calorifique seule.

11.2.5. Synthèse des essais

Les essais ont mis en évidence que la palette testée respectait les critères pour prétendre au caractère non combustible pour classement 1510 :

- une énergie très faible libérée lors de l'incendie de la palette complète (essai 1), inférieure à 2,5 MJ/kg ;
- La puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète est inférieure à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette;

- L'énergie libérée par la combustion de la palette complète est inférieure à l'énergie libérée par la combustion des combustibles présents sur la palette.

11.3. CONCLUSION

Les essais réalisés montrent qu'une palette telle que décrite dans le tableau ci-dessous n'est pas à classer comme un combustible sous la rubrique 1510 si elle est conforme à cette description.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1
Bois palette	20,5
Film plastique	3,5
Marchandises : Boîtes de conserve	1 531
Masse totale	1 555

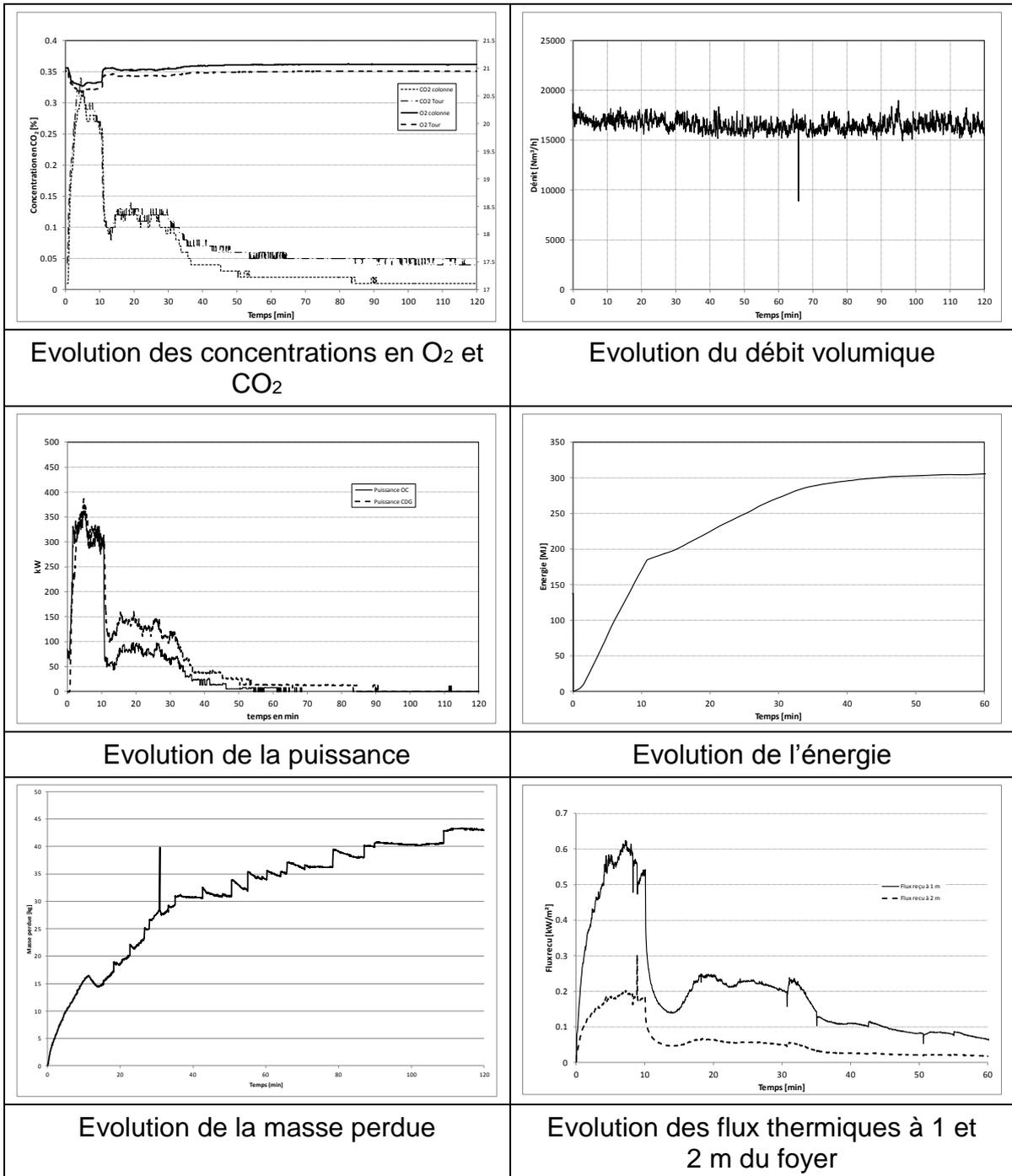
Ainsi, pour des palettes respectant une proportion minimale de boîtes de conserve de plus de 90%, par rapport à la masse combustible totale les palettes pourront être considérées comme non classables en tant que combustible sous la rubrique 1510.

Pour pouvoir utiliser les conclusions de ce rapport, l'exploitant doit préciser par écrit et tenir à disposition sur le site d'utilisation, les dispositions permettant de mettre en œuvre et vérifier le respect de ces conditions de stockage. L'exploitant devra former les opérateurs pour cela.

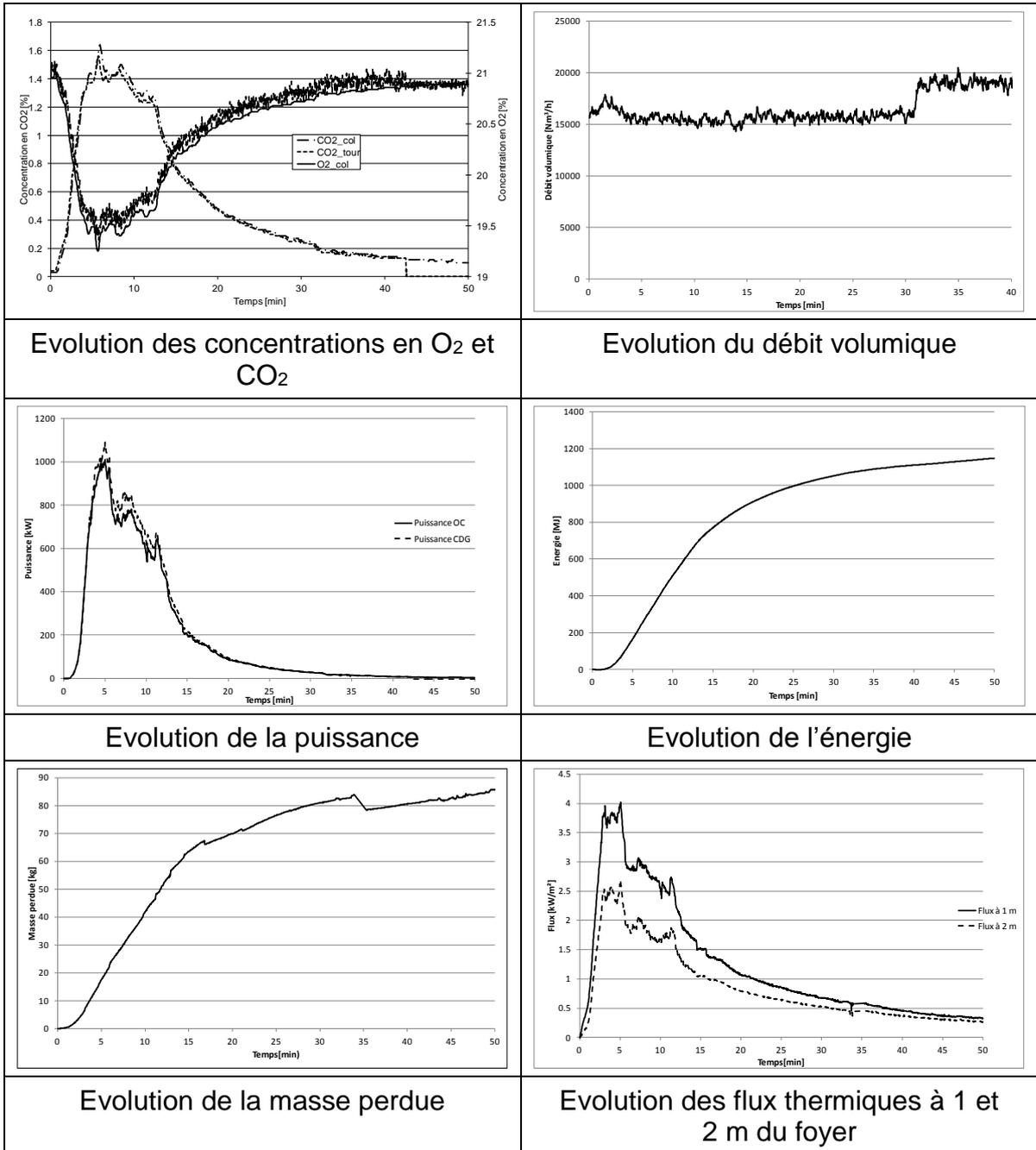
Ce constat n'est valable que pour une palette remplissant l'ensemble de ces conditions. Dans la négative, une expertise complémentaire pouvant nécessiter la réalisation de nouveaux essais est nécessaire pour justifier le classement ou non en combustible sous la rubrique 1510.

11.4. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

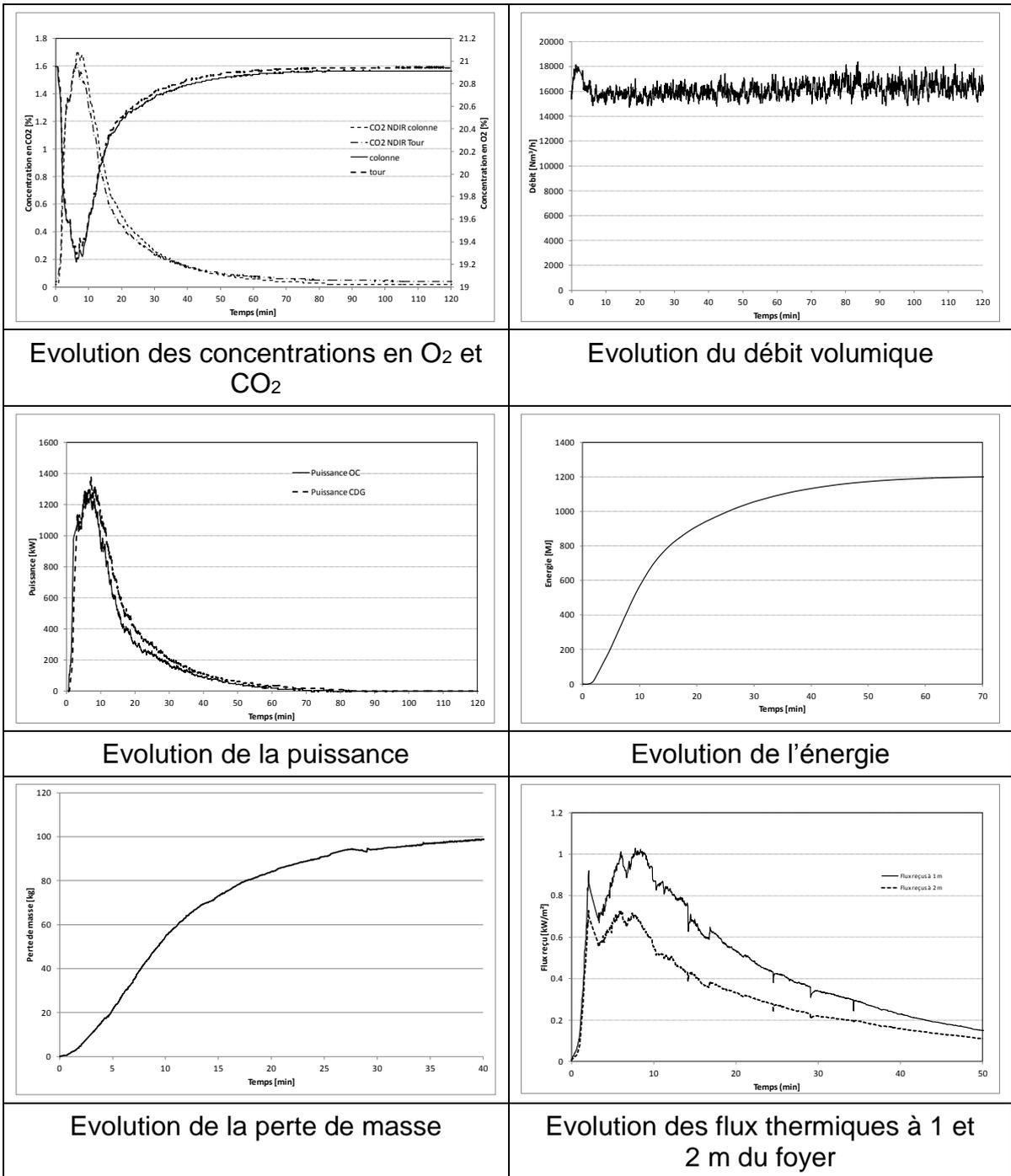
11.4.1. Courbes obtenues lors de l'essai n°1



11.4.2. Courbes obtenues lors de l'essai n°2



11.4.3. Courbes obtenues lors de l'essai n°3



12. ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE BOUTEILLES PLASTIQUES REMPLIES D'EAU

12.1. PRESENTATION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

12.1.1. Dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure 106. La zone d'essais est localisée à l'extrémité de la galerie. La consigne de ventilation pour de tels essais était fixée entre 16 000 et 18 000 Nm³/h, la porte était positionnée à 30 cm du sol.

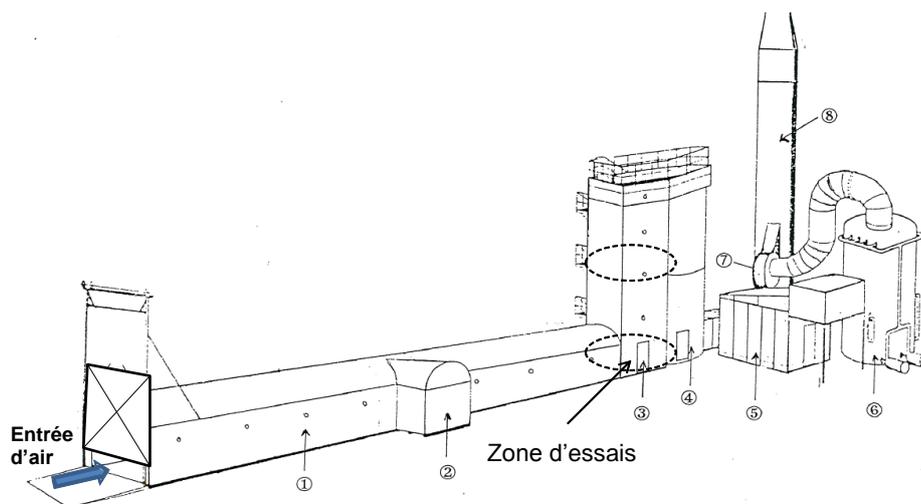


Figure 106 : Schéma de la galerie incendie

La Figure 107 présente la position des différents éléments ainsi que la métrologie mise en place. Cette métrologie est la même pour tous les essais réalisés.

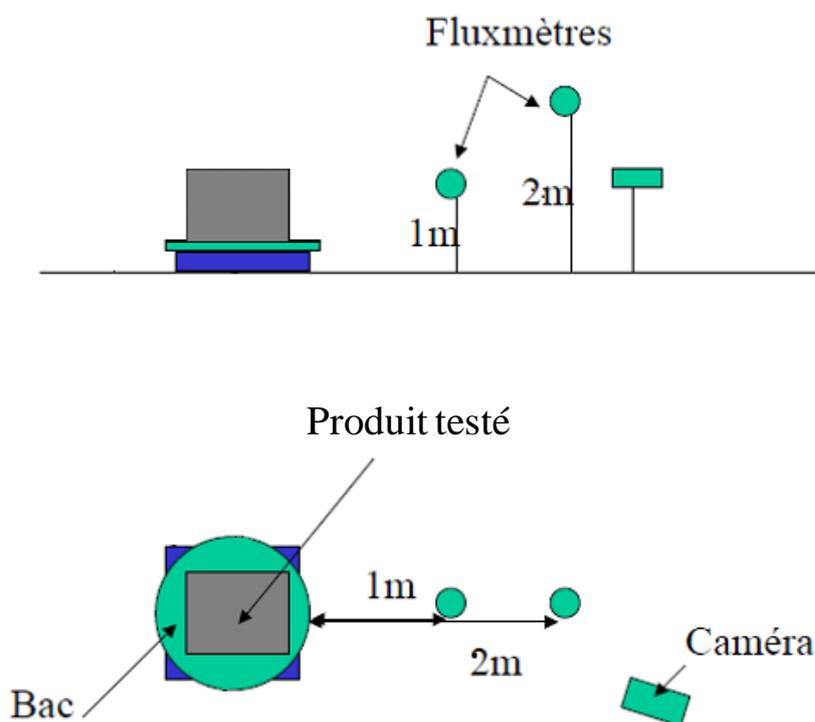


Figure 107 : Représentation schématique de la métrologie des essais

L'instrumentation mise en œuvre est donc constituée :

- de deux fluxmètres permettant de mesurer le flux thermique à 1 et 2 m de hauteur, placés respectivement à une distance de 1 et 3 m de l'échantillon sur la même face (gamme de flux 0-50 kW/m²) ;
- de mesures de concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) permettant la détermination de la puissance du feu ;
- de plusieurs caméras, dont une caméra thermique, filmant les essais et permettant, le cas échéant, de déterminer la hauteur de flamme.

12.1.2. Essais réalisés

Conformément au protocole Flumilog, décrit sur le document DRA-13-133881-07549A, 3 essais ont été réalisés :

- essai N°1 : essai de combustion de la palette seule avec pour seule source d'agression deux brûleurs gaz,
- essai N°2 : essai de combustion d'une charge calorifique calibrée,
- essai N°3 : essai de combustion de la palette agressée par la charge calibrée.

12.2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

12.2.1. Description des palettes

Chacun des échantillons testés était constitué de 112 packs comprenant 6 bouteilles plastiques de 1,5 litres remplies d'eau chacun placé sur deux palettes en bois de dimensions 1 X 1,2 m². La hauteur totale des échantillons était de 1,5 m soit un volume total par échantillon de 1,8 m³.

Les masses totales des 2 échantillons et les masses des différents constituants sont synthétisées dans le Tableau 13.

Masse des produits [kg]	Palette Essai 1	Palette Essai 3
Palette bois	52	52
Plastique	34	34
112 packs d'eau	1008	1008
Masse totale	1094	1094
bois pour agression	-	104

Tableau 13 : Composition des palettes de bouteilles d'eau.

12.2.2. Essai n°1 : Palette seule

Cet essai a consisté à étudier la combustion d'une palette isolée afin de caractériser l'agression thermique qui devra être utilisée pour déterminer la puissance dégagée par la palette prise dans un incendie généralisé.

Pour cet essai, l'allumage a été réalisé par deux brûleurs orientés vers la base de la palette et fonctionnant pendant 10 minutes. La position des différents éléments est schématisée sur la Figure 108.

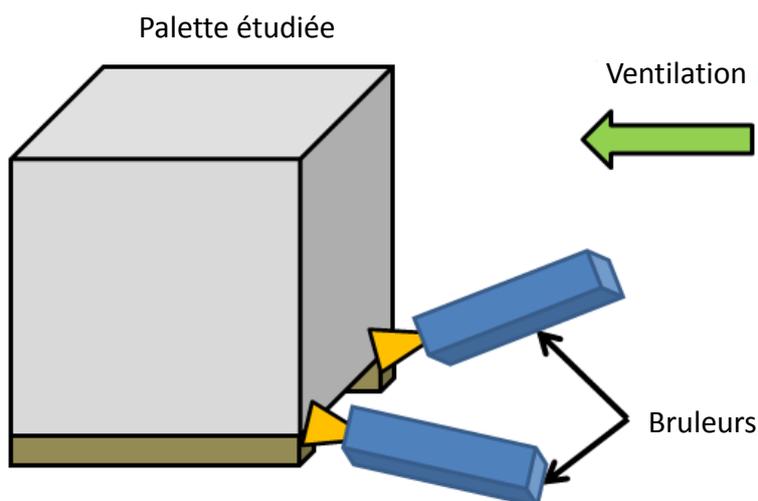


Figure 108 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai N°1

Cet essai a permis de déterminer l'évolution de la puissance de la palette brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance est présentée sur la Figure 109 avec la méthode de calorimétrie par consommation d'oxygène (OC).

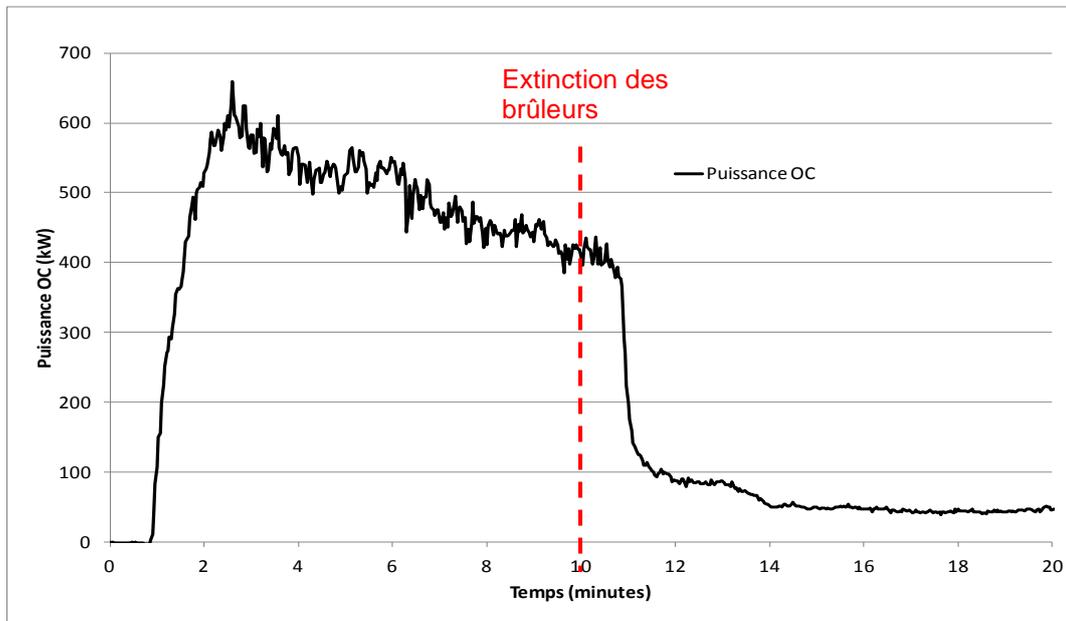


Figure 109 : Puissance développée par la palette obtenue lors de l'essai N°1

La puissance maximale mesurée lors de cet essai est de 600 kW et le dégagement de puissance diminue fortement dès l'extinction des brûleurs. L'énergie totale dégagée lors de l'essai est d'environ 160 MJ, en retirant l'énergie dégagée par les brûleurs. La chaleur de combustion ramenée à la masse de la palette est donc de 0,15 MJ/kg. Cette valeur est bien inférieure à 2,5 MJ/kg, premier critère de la note de doctrine générale n°BRTICP/2011-331/AL-PB du 28/11/11. Les essais 2 et 3 sont donc réalisés selon le protocole visant à démontrer la non combustibilité du produit pour classement sous la rubrique 1510. La vision schématique de ce protocole est rappelée sur la Figure 110.

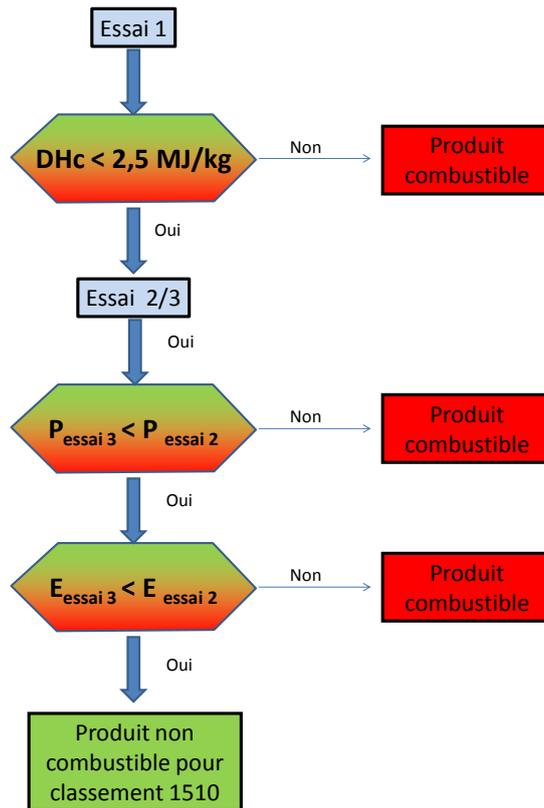


Figure 110 : Schéma des étapes pouvant conduire à l'exclusion d'un produit de la rubrique 1510.

Cet essai permet de plus de démontrer la cohérence de l'instrumentation en montrant l'homogénéité des valeurs de concentration mesurée.

La Figure 111 montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ mesurées dans la tour lors de l'essai N°1.

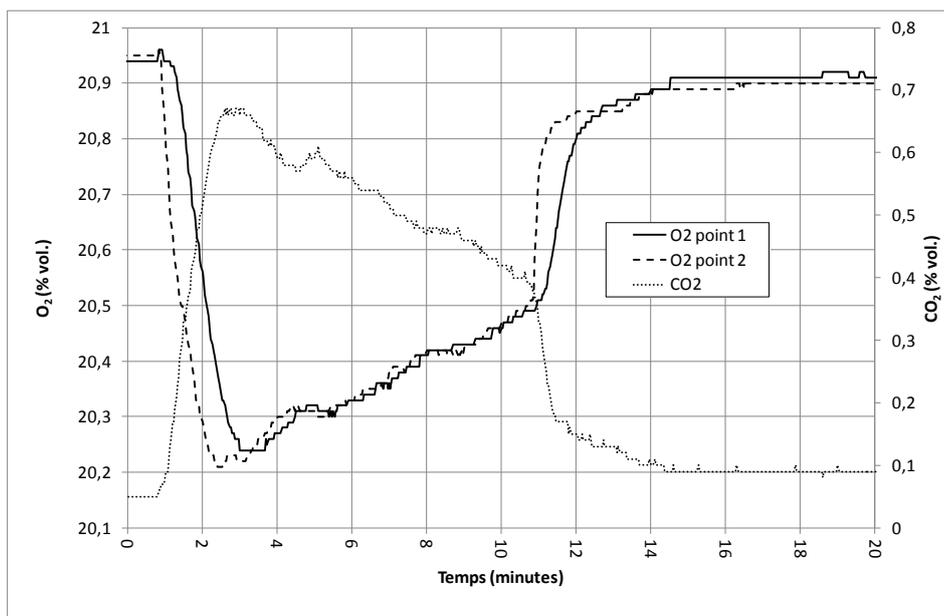


Figure 111 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure

Cette courbe montre un excellent accord entre les 2 points de mesure témoignant de l'homogénéité du mélange gazeux dans les fumées.

12.2.3. Essai n°2 : Calibration de l'agression

Les packs d'eau étant un produit pouvant prétendre au caractère non combustible, d'après l'essai N°1, il s'agit dans l'essai N°2 de générer une agression thermique représentative de l'incendie des produits combustibles présents sur la palette. L'agression sera réalisée au moyen de 3 palettes sur chacune des faces, soit une masse de 35 kg de bois par face.

L'inflammation est réalisée à l'aide de trois petits brûleurs au propane d'une puissance unitaire de 20 kW. La puissance et l'énergie développées par l'allumage sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La Figure 112 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

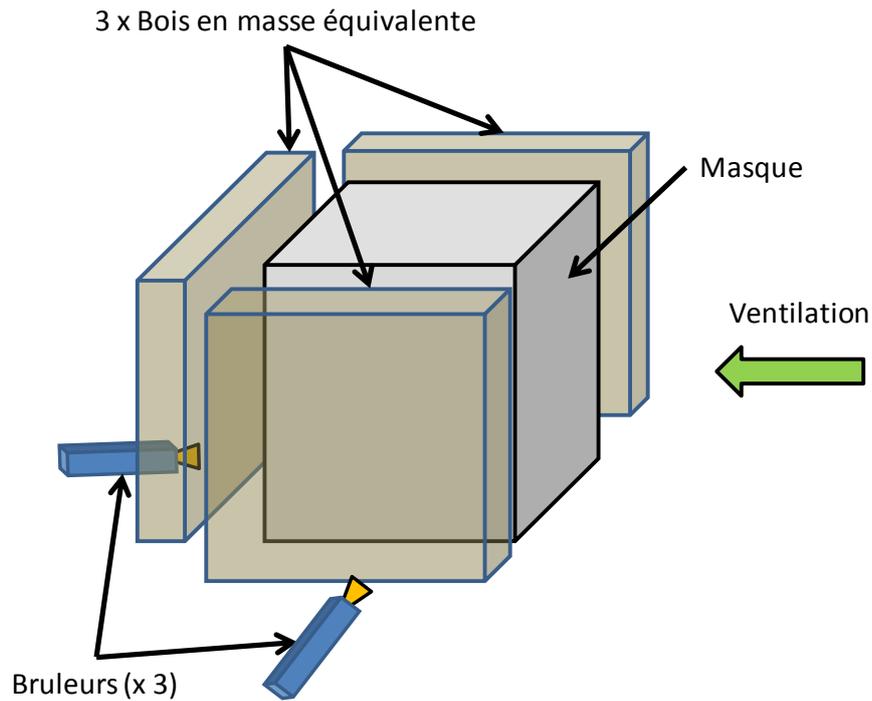


Figure 112 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

Afin de reproduire la proximité de palettes voisines lors de l'essai N°3, l'agression au moyen de 3 palettes par face a été retenue. La Figure 113 montre l'évolution de la puissance pour l'essai N°2 évaluée selon 2 méthodes :

- Calorimétrie par consommation d'oxygène (OC),
- Production de CO₂, CO (CDG).

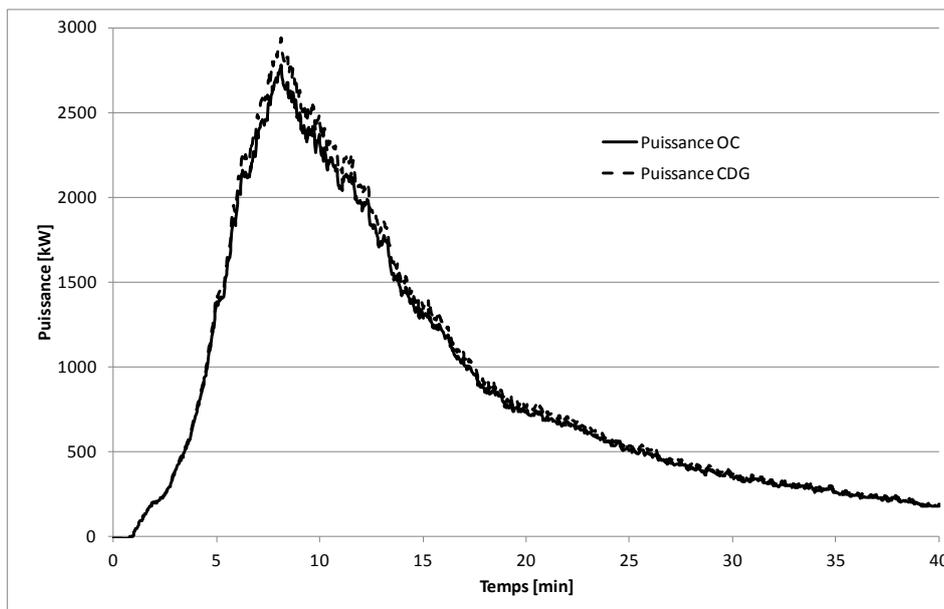


Figure 113 : Evolution de la puissance de l'agression retenue

12.2.4. Essai n°3 : Palette en configuration de stockage

Afin de démontrer le caractère non combustible au sens de la 1510, il convient à présent de vérifier les critères sur l'énergie et la puissance, à savoir :

- La puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète est inférieure à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette ;
- L'énergie libérée par la combustion de la palette complète est inférieure à l'énergie libérée par la combustion des combustibles présents sur la palette.

L'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai est indiquée par la courbe de la Figure 114. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai N°2.

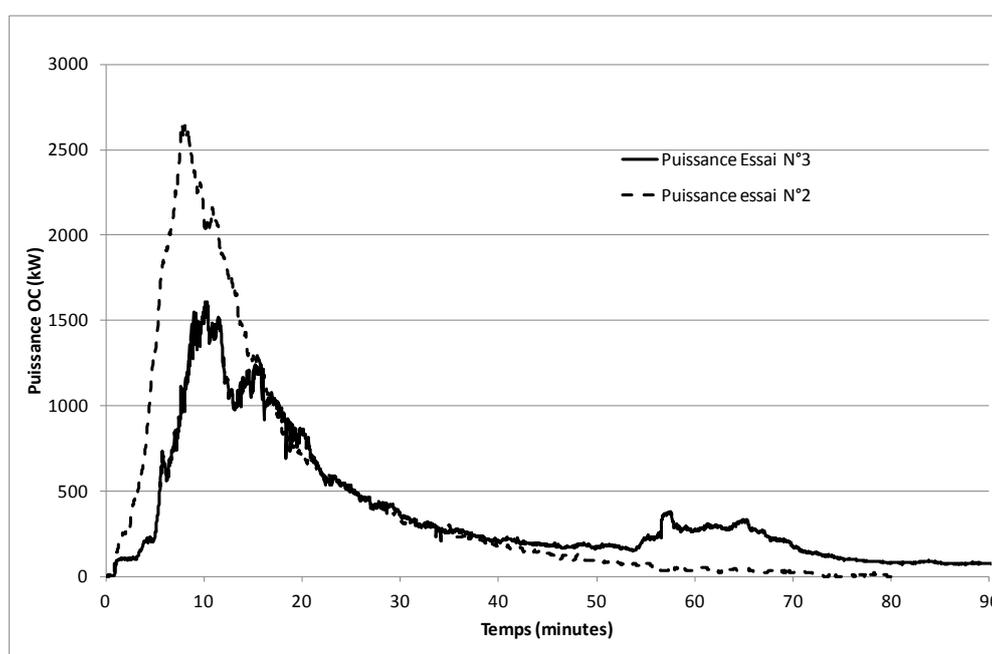


Figure 114 : Evolution de la puissance totale pour l'essai N°2 et N°3 avec une palette de packs de bouteilles d'eau

Ce graphe montre que le pic de puissance mesuré lors de cet essai est nettement inférieur à celui mesuré lors de la combustion de l'agression prise isolément. Ce point permet de valider le respect du critère n°2 du protocole.

La Figure 115 montre l'évolution de l'énergie dégagée pour ces deux essais.

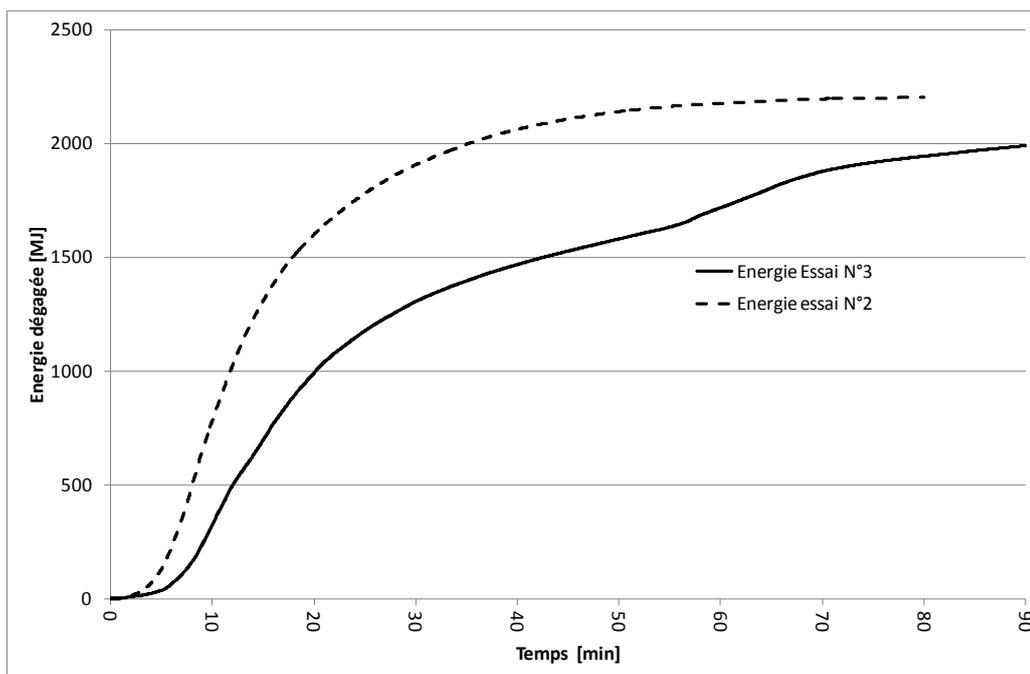


Figure 115 : Evolution de l'énergie totale dégagée lors de l'essai N° 2 et N°3

L'énergie totale dégagée lors de l'essai N°3 est donc bien inférieure à celle dégagée lors de l'essai N°2. Ce point permet de valider le respect du critère n°3 du protocole

12.2.5. Synthèse des essais

Les essais ont mis en évidence que la palette testée respectait les critères pour prétendre au caractère non combustible pour classement 1510 :

- une énergie très faible libérée lors de l'incendie de la palette complète (essai N°1), inférieure à 2,5 MJ/kg ;
- une puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète inférieure à la puissance maximale mesurée lors de la combustion des combustibles présents sur la palette;
- une énergie libérée par la combustion de la palette complète inférieure à l'énergie libérée par la combustion des combustibles présents sur la palette.

12.3. CONCLUSIONS

Les essais réalisés montrent qu'une palette telle que celle testée lors de la campagne n'est pas à classer comme un combustible sous la rubrique 1510 si elle est conforme à la description présentée dans le Tableau 14.

		Masse des produits [kg]
Combustible	Palette bois	~ 52
	Plastiques (bouteilles + films)	~ 34
Non combustible	Eau	1008
Masse totale		~ 1094

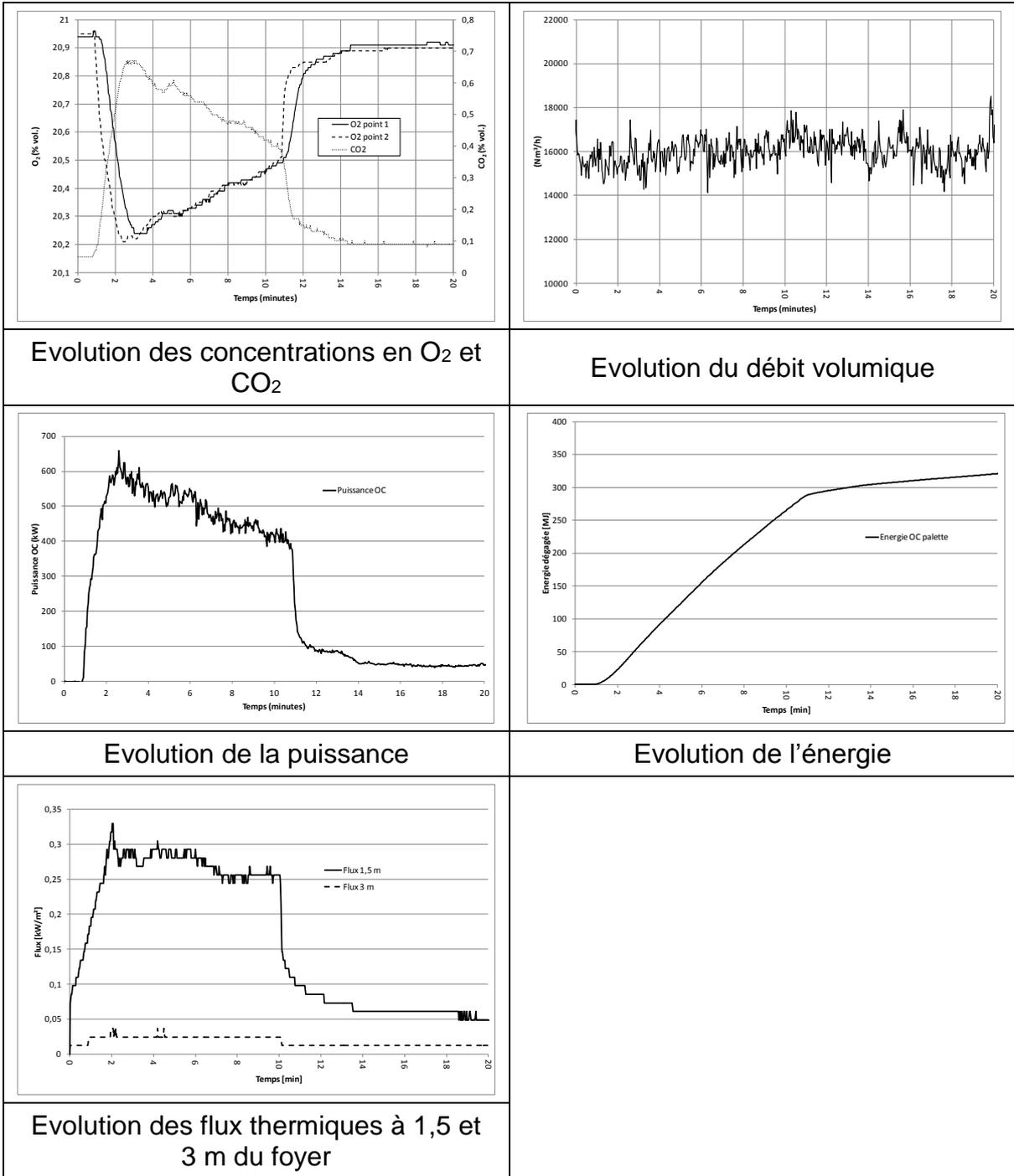
Tableau 14 : Composition d'une palette de bouteilles d'eau testée.

Pour des palettes ainsi conditionnées, c'est-à-dire 112 packs de bouteilles d'eau sur palette bois avec une masse maximale de 52 kg de bois et 34 kg de plastique sur la palette, elles pourront être considérées comme non classables en tant que combustible sous la rubrique 1510.

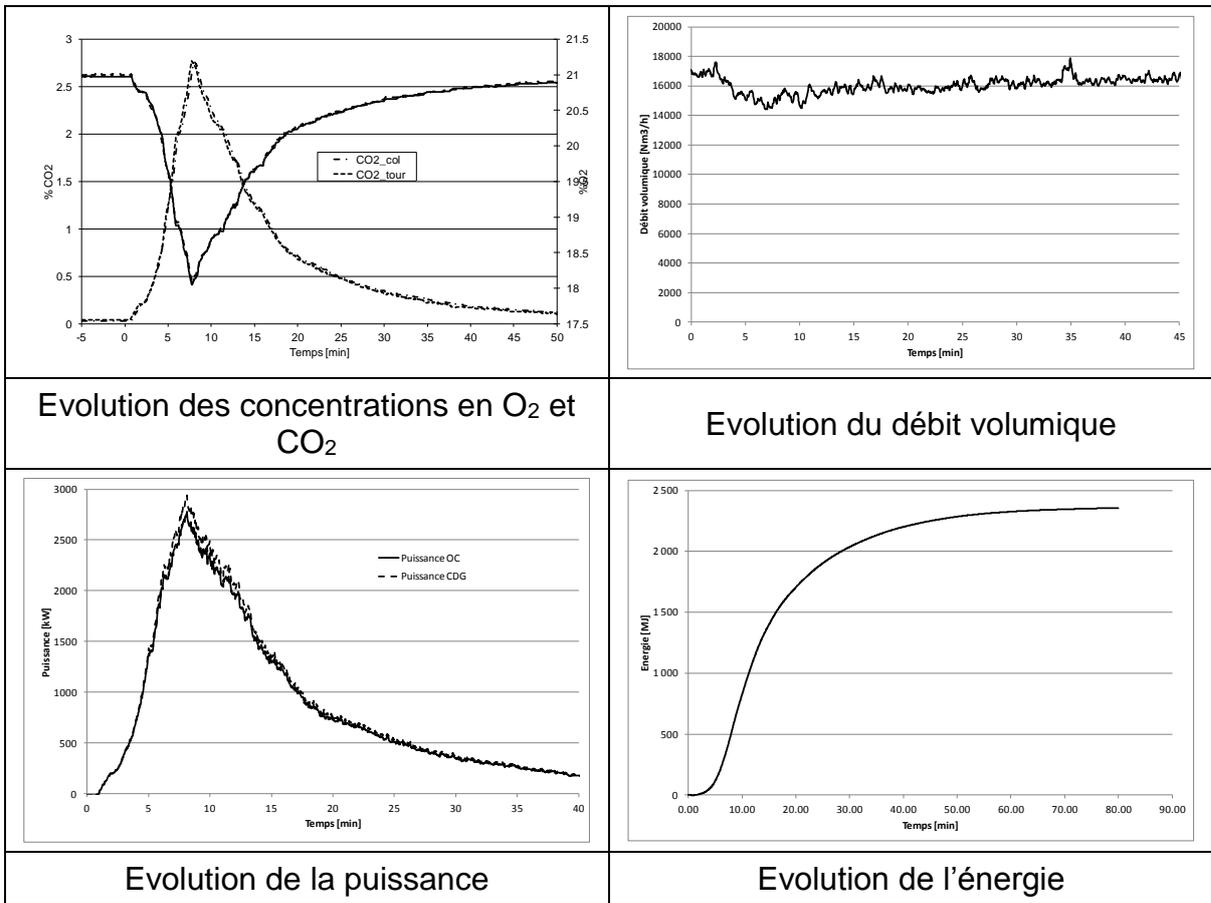
Pour pouvoir utiliser les conclusions de ce rapport, l'exploitant doit préciser par écrit et tenir à disposition sur le site d'utilisation, les dispositions permettant de mettre en œuvre et vérifier le respect de ces conditions de stockage. L'exploitant devra former les opérateurs pour cela.

Ce constat n'est valable que pour une palette remplissant l'ensemble de ces conditions ou contenant une proportion d'eau plus importante. Dans la négative, une expertise complémentaire pouvant nécessiter la réalisation de nouveaux essais est nécessaire pour justifier le classement ou non en combustible sous la rubrique 1510.

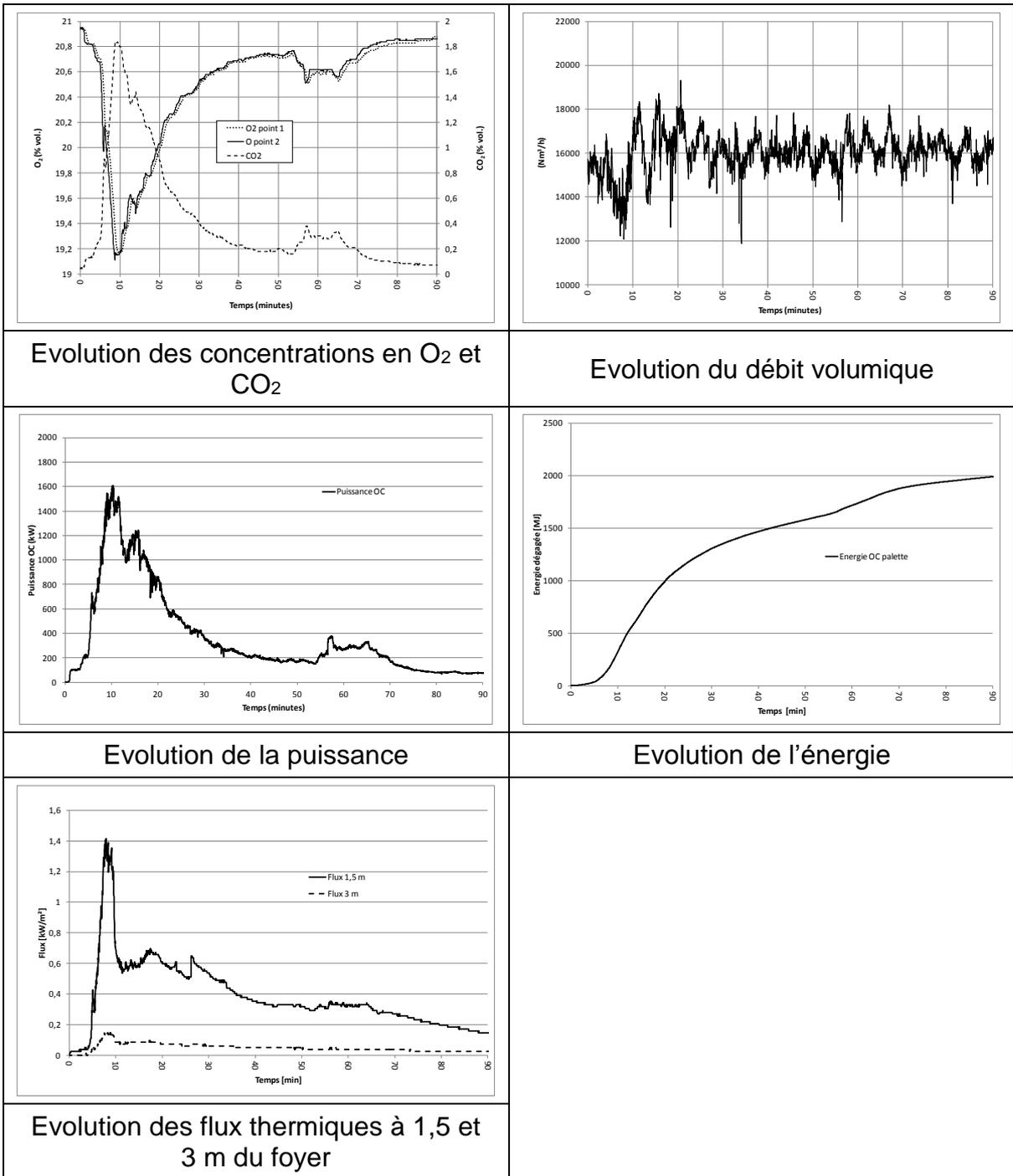
12.3.1. Courbes obtenues lors de l'essai N°1



12.3.2. Courbes obtenues lors de l'essai N°2



12.3.3. Courbes obtenues lors de l'essai N°3



13. SYNTHESE DES ESSAIS

Le Tableau 15 présente les résultats des essais et l'ensemble des données nécessaires à la réalisation d'un calcul au moyen du logiciel Flumilog.

Il respecte l'ordre chronologique des essais présentés dans le présent rapport, en commençant par la salade traité au chapitre 2.

Produit	Produit pouvant prétendre non classement 1510	Puissance [kW]	Durée [min]	Masse [kg] et dimensions [m] de la palette	Dimensions de la palette [m]	Masse de produits [kg]	Ratio masse de produit sur masse de la palette
Salade	Non	1 221	22	83	1,2x0,8x1,5	38	0,46
Charcuterie	Non	1 159	38	422	1,2x0,8x1,5	368	0,87
DVD	Non	2 250	45	Palette à considérer comme palette type 2662			
Beurre surgelé	Non	1 470	45	835	1,2x0,8,1,8		
Légumes surgelés (choux Bruxelles & Champignons)	Oui	0	0	732,5	1,2x0,8x1,8	684,8	0,93
Yaourts	Non	< 100 kW	45	700	1,2x0,8x1,8	611	0,87
Légumes surgelés (poêlée campagnarde & aubergines)	Oui	350	40	536,3	1,2x0,8x1,5	465,7	0,87
Poisson	Non	750	25	535	1,2x0,8x1,5	467	0,87
Viande	Non	500	15	879	1,2x0,8x1,5	835,9	0,95
Boîtes de conserve	Oui	0	0	1 555	1,2x0,8x1,8	1 531	0,98
Bouteilles plastiques remplies d'eau	Oui	0	0	1 094	1,2x0,8x1,5	1 008	0,92

Tableau 15 : Tableau de synthèse des résultats d'essais, valeurs à utiliser dans le logiciel Flumilog