

RAPPORT D'ÉTUDE
N°DRA-13-133881-07549A

19/03/2014

**Protocoles d'essais de caractérisation de
l'incendie d'une palette**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Protocoles d'essais incendie à l'échelle de la palette

Client : MEDDE

Liste des personnes ayant participé à l'étude : B. TRUCHOT

PRÉAMBULE

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 équivalent 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.

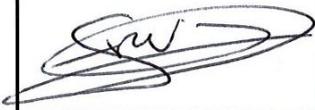
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	B. TRUCHOT	E. LEPRETTE	S. DUPLANTIER
Qualité	Responsable de l'unité Dispersion Incendie Expérimentation et Modélisation	Responsable de l'unité Expérimentation et Modélisation en Explosion	Responsable du pôle Phénomène Dangereux et résistance des Structure
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	5
1.1 Objectif.....	5
1.2 Notation.....	6
1.3 observation.....	6
2. PROTOCOLE D'ESSAI "PALETTE" DE PRODUITS COMBUSTIBLES	9
2.1 Conditions expérimentales	9
2.2 Détermination de la puissance du foyer	11
2.2.1 Méthode 1 : Consommation d'oxygène (OC : Oxygen Consumption)	11
2.2.2 Méthode 2 : bilan carbone (CDG : Carbon Dioxide Generation).....	11
2.2.3 Synthèse.....	11
2.2.4 Calcul de l'énergie dégagée	12
2.3 Produits de sortie	12
2.3.1 Puissance et durée de combustion pour le logiciel Flumilog	13
2.3.1.1 Détermination de la puissance	13
2.3.1.2 Détermination de la durée	13
2.3.2 Illustration : cas d'une palette idéale.....	14
2.3.3 Illustration : cas d'une palette réelle.....	15
2.3.4 Contenu du rapport.....	17
3. PROTOCOLE D'ESSAI POUR PRODUITS NON COMBUSTIBLES AU SENS DE LA 1510	19
3.1 Objectifs et définitions des critères.....	19
3.2 Descriptif des essais et des caractéristiques nécessaires aux critères	21
3.3 Détermination de la puissance du foyer	23
3.3.1 Méthode 1 : Consommation d'oxygène (OC : Oxygen Consumption)	23
3.3.2 Méthode 2 : bilan carbone (CDG : Carbon Dioxide Generation).....	23
3.3.3 Synthèse.....	23
3.3.4 Calcul de l'énergie dégagée	24
3.4 Exploitation des essais pour Répondre aux critères.....	25
3.5 Contenu du rapport	25
4. BIBLIOGRAPHIES	27

1. INTRODUCTION

1.1 OBJECTIF

L'objectif de ce document est d'expliciter :

1. le protocole d'essais de caractérisation de l'incendie d'une palette de combustibles. Il permet d'évaluer la puissance et de la durée de combustion à utiliser dans le cadre de l'évaluation des distances d'effets thermiques au moyen de la méthode Flumilog ;
2. le protocole d'essais permettant de démontrer le caractère non combustible pour classement en 1510 d'une palette, comme indiqué dans le chapitre 3 de la note de doctrine générale n°BRTICP/2011-331/AL-PB du 28/11/11 relative au classement des stockages associés à certaines activités de production alimentaire.

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.

Le premier essai doit permettre de se positionner entre les deux protocoles. Le résultat est ensuite, soit la détermination de la puissance et de la durée de combustion de la palette, soit la démonstration de sa non combustibilité au sens de la rubrique 1510. L'articulation entre les deux protocoles est schématisée sur la Figure 1.

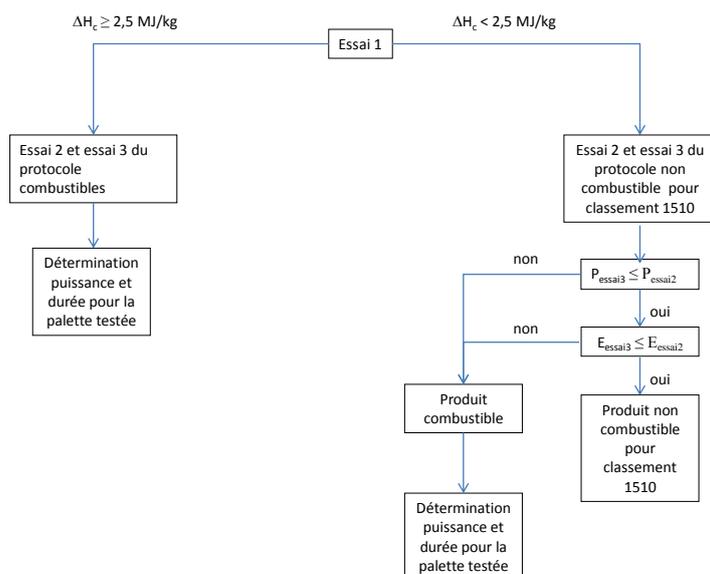


Figure 1 : Articulation des protocoles expérimentaux

Sur cette figure, ΔH_c est la chaleur de combustion du produit, P la puissance dégagée et E l'énergie totale libérée.

1.2 NOTATION

Ces notations seront utilisées pour la suite du rapport, comme précisé dans le tableau ci-dessous :

Symbole	Signification	Unité
ΔH_c	Chaleur de combustion	MJ/kg
E	Énergie	MJ
P	Puissance	kW

1.3 OBSERVATION

Les essais d'application de ces protocoles montrent que l'articulation des protocoles présentée en Figure 1 est à compléter en pratique par une étape complémentaire à l'issue de chacun des protocoles comme rajouté sur la représentation suivante en *Figure 2*.

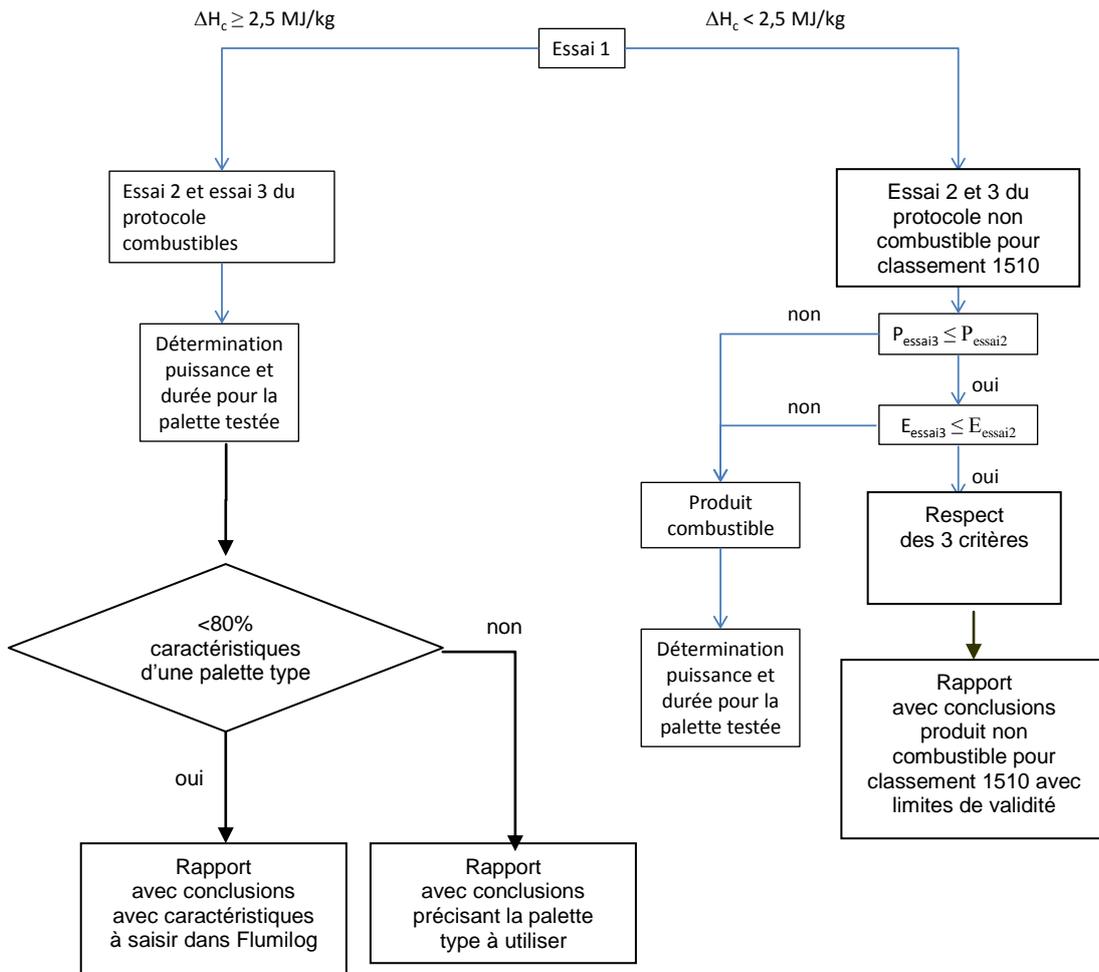


Figure 2 : Articulation complétée des protocoles expérimentaux

A titre d'illustration sont donnés en annexe :

- un exemple de Rapport avec conclusions avec caractéristiques à saisir dans Flumilog (Annexe 1),
- un exemple de rapport avec conclusions précisant la palette type à utiliser (Annexe 2),
- un exemple de rapport pour un produit non combustible pour classement 1510 (Annexe 3).

2. PROTOCOLE D'ESSAI "PALETTE" DE PRODUITS COMBUSTIBLES

2.1 CONDITIONS EXPERIMENTALES

3 essais sont à réaliser :

- un sans agression thermique autre que l'allumage (durée et puissance limitées) Cet essai a pour but d'évaluer la puissance dégagée par la palette prise de manière isolée et sert à déterminer l'agression thermique représentée par cette palette pour ces voisines. Ce premier essai sert ainsi à calibrer la charge utilisée lors de l'essai avec agression.
- un essai de calibration de la charge pouvant être réalisé au moyen de rampes gaz, panneaux rayonnants, feu de bac (alcool ou autres), feu de solides de sorte que la puissance et la durée soient reproductibles,
- un essai avec agression thermique "calibrée" sur 3 faces latérales. L'objectif est de reproduire le feu observé lors du premier essai avec la palette seule sur chacune des faces.

La palette est placée sur un bac lui-même placé sur la balance. Dans l'hypothèse où des projections sont envisagées, il convient de prévoir la présence d'un grillage placé dans le bac pour les contenir.

Conditions de ventilation : l'échantillon sera placé sous une hotte pour canaliser les fumées et ainsi permettre la mesure des concentrations de fumées émises. Si l'essai se déroule en présence d'une ventilation mécanique, il sera vérifié que les vitesses résultantes au niveau du foyer ne sont pas trop grandes (afin notamment de ne pas coucher la flamme).

Concernant l'essai, les mesures suivantes seront réalisées en continu :

- pour la détermination de la puissance du feu :
 - perte de masse : balance 500 kg (ou plus en fonction de la masse de la palette)
 - concentration des fumées dans le panache (CO, CO₂ et O₂) en deux points différents,
- pour la détermination de l'émittance :
 - flux à 1 et 2 m de hauteur et respectivement à une distance de 1 m et 2 m de la palette sur la même face (gamme de flux 0-20 kW/m²)
- pour la hauteur des flammes
 - film des essais avec un repère à proximité

A noter que si les deux points de mesure en CO, CO₂ et O₂ indiquent des valeurs différents, cela signifie que le mélange n'est pas homogène et l'essai ne sera pas recevable.

La *Figure 1* présente de façon schématique la position des différents éléments.

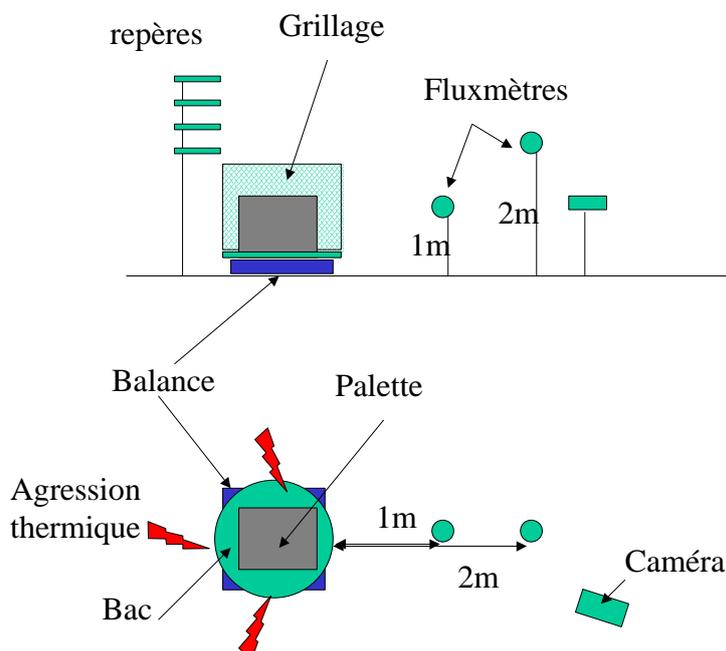


Figure 1 : Schéma d'instrumentation

Après essai, il faut déterminer la nature des résidus :

- pour les combustibles, rechercher ce qui n'a pas brûlé, ce qui est partiellement brûlé (le but étant de déterminer la fraction résiduelle) et la quantité de cendres
- pour les produits non combustibles au sens de la 1510, rechercher ce qui est intact et ce qui a pu absorber une quantité d'énergie (changement de phase : évaporation ou liquéfaction).

L'ensemble des appareils utilisés devront disposer de certificat d'étalonnage en cours de validité. L'incertitude de mesure devra être indiquée pour chacun des moyens de mesure utilisés. Les critères d'acceptabilité d'un essai étant basés sur un écart inférieur à 10% entre la puissance calculée par chacune des deux méthodes de calorimétrie, l'incertitude globale de la chaîne de mesure ne devra pas excéder cette même valeur de 10%.

2.2 DETERMINATION DE LA PUISSANCE DU FOYER

2.2.1 METHODE 1 : CONSOMMATION D'OXYGENE (OC : OXYGEN CONSUMPTION)

Afin de déterminer la puissance de l'incendie à partir de la consommation en O₂, il est possible de retenir la valeur moyenne de $\alpha_{O_2} = 13,1$ MJ/(kg de O₂ consommé). Cette valeur est une moyenne pour différents combustibles cités notamment par Janssens [1] ou encore dans les guides du CETU [2]. Il est important, lors du calcul du taux d'oxygène, de tenir compte de la production de CO et de CO₂ par le foyer. Les trois mesures étant disponibles, il conviendra de corriger la mesure de la concentration en oxygène pour la ramener à un taux de consommation par rapport à l'air ambiant, dans lequel la concentration en CO₂ peut être négligée [1]. La puissance instantanée est alors obtenue par :

$$P(t) = \alpha_{O_2} \cdot \left[\frac{X_{O_2}^{A_0} - X_{O_2}^A}{1 - X_{O_2}^A} \right] \cdot \dot{m}_a \cdot \frac{M_{O_2}}{M_a} (1 - X_{H_2O}^0 - X_{CO_2}^0) \text{ d'après [1]}$$

X_G représente la fraction molaire de l'espèce G, \dot{m}_a est le débit d'air incident et M_{O_2} et M_a sont les masses molaires respectives de l'oxygène et de l'air.

2.2.2 METHODE 2 : BILAN CARBONE (CDG : CARBON DIOXIDE GENERATION)

La seconde mesure utilise la production de CO et CO₂ dans les fumées d'incendie. Les valeurs moyennes utilisées pour en déduire la puissance de l'incendie sont de $\alpha_{CO_2} = 13,3$ MJ/(kg de CO₂ produit) et $\alpha_{CO} = 11,1$ MJ/(kg de CO produit) [3]. Ces valeurs moyennes sont toutefois plus fortement dépendantes aux produits brûlés que les valeurs utilisées pour la consommation d'oxygène. Il est important de noter que pour des feux bien ventilés, la part de CO est très faible. La part de CO₂ dans l'air frais peut être négligée. La relation donnant la puissance est ainsi plus simple que celle utilisée pour l'oxygène :

$$P(t) = \alpha_{CO_2} \cdot \dot{m}_{CO_2} + \alpha_{CO} \cdot \dot{m}_{CO}, \text{ d'après [3]}$$

\dot{m}_{CO_2} et \dot{m}_{CO} sont respectivement les débits massiques de CO₂ et de CO dans l'air vicié.

2.2.3 SYNTHÈSE

A ce stade, l'expérimentateur dispose donc de la courbe de puissance en fonction du temps obtenue avec chacune des méthodes décrites ci-dessus. Ce point permet de vérifier la pertinence de chacun des moyens de mesures. Ainsi, en cas d'incohérence entre les deux courbes de puissance obtenues, écart supérieur à 10%, il conviendra, soit de justifier au travers de l'incertitude sur les coefficients notamment pour la méthode CDG, soit de réaliser un nouvel essai.

A titre d'illustration des incertitudes sur les coefficients de calorimétrie, quelques valeurs des coefficients α_{CO_2} et α_{CO} sont indiquées dans le Tableau 1. La valeur du coefficient α_{O_2} est également indiquée dans ce tableau.

Produit	α_{CO_2}	α_{CO}	α_{O_2}
Polyéthylène	13,9	11,8	12,8
Polystyrène	12,2	9,2	12,7
Polycarbonate	10,8	6,9	13,1
bois (Pin Douglas)	9,5	5,0	12,4
Coefficients moyens	13,3	11,1	13,1

Tableau 1 : Coefficient CDG pour différents produits.

Ce tableau montre que l'écart sur les coefficients CDG est important d'un matériau à l'autre, l'écart à la moyenne peut atteindre près de 30%. Les valeurs de α_{O_2} , utilisé en calorimétrie OC reste plus proche de la moyenne, de l'ordre de 5 à 10% au maximum. Ainsi, un écart significatif (plus de 10%) entre les courbes de puissance devra être expliqué par le choix des valeurs retenues pour les coefficients utilisés pour la méthode CDG. Cette analyse pourra le cas échéant faire l'objet d'une expertise.

2.2.4 CALCUL DE L'ENERGIE DEGAGEE

La puissance de l'incendie représente le taux de dégagement d'énergie par unité de temps :

$$P(t) = \frac{dE(t)}{dt}$$

Aussi, pour obtenir l'énergie totale dégagée par l'incendie, il suffit d'intégrer la courbe de puissance, depuis l'instant d'allumage du foyer jusqu'à l'extinction complète de celui-ci :

$$E_{tot} = \int_{t_{ign}}^{t_{ext}} P(t) dt$$

Les bornes d'intégration correspondent à la durée de l'incendie, soit à partir de l'instant d'allumage jusqu'à l'extinction de l'incendie correspondant au moment où la perte de masse s'annule sans aucune intervention extérieure, cf 2.3.1.

A noter que l'énergie E_{tot} est divisée par la masse totale m_{pal} de la palette complète pour déterminer la chaleur massique de combustion de la palette.

2.3 PRODUITS DE SORTIE

Le rapport d'essais standardisé précise les conditions opératoires et le protocole, et fournit l'évolution des différentes grandeurs en fonction du temps ainsi que le film de l'ensemble des essais. Son contenu est détaillé au 2.3.4. En conclusion du rapport, les valeurs à retenir pour une intégration dans la méthode sont :

- les caractéristiques précises de la palette en termes de
 - dimensions (Longueur x largeur x hauteur)

- masse totale
- masse élémentaire de chaque élément
- la puissance dégagée par la palette,
- sa durée de combustion.

Ces valeurs sont valables pour une utilisation dans l'outil Flumilog pour le calcul des distances d'effet pour un stockage de produits en rack ou en masse en entrepôt couvert ou en extérieur. Une telle utilisation imposera à l'utilisateur de renseigner non seulement la puissance et la durée mais également les dimensions de la palette et sa composition¹.

2.3.1 PUISSANCE ET DUREE DE COMBUSTION POUR LE LOGICIEL FLUMILOG

L'utilisation du logiciel Flumilog pour déterminer les distances d'effet en cas d'incendie d'entrepôt avec le module palette expérimentale nécessite de connaître, pour une palette de masse et dimensions données, la puissance et la durée de combustion. Ce couple de valeurs doit ainsi être déterminé à partir de l'évolution de la puissance telle que mesurée lors de l'essai avec agression.

Le créneau obtenu devra par ailleurs être comparé aux valeurs correspondant à une palette type. Pour les palettes développant une puissance supérieure à 80% de la valeur indiquée pour une palette type, les valeurs à retenir sont celles d'une palette type.

2.3.1.1 DETERMINATION DE LA PUISSANCE

Le logiciel Flumilog utilisant une valeur constante de la puissance pendant la durée de combustion indiquée, il est nécessaire de convertir la courbe obtenue lors de l'essai en un créneau.

Il convient pour ce faire de conserver la valeur maximale atteinte lors de l'essai avec agression.

2.3.1.2 DETERMINATION DE LA DUREE

Afin de déterminer la durée de l'incendie, il convient de conserver l'énergie totale libérée lors de l'essai. Ce critère n'est toutefois pas suffisant. En effet, pour des palettes présentant, par exemple, un pic de puissance important suivi d'une valeur résiduelle non faible, la durée déterminée par la conservation de l'énergie peut ne pas être suffisante. Il convient ainsi de s'assurer que le flux mesuré à 1 m du foyer est inférieur à 1,5 kW/m². Un tel flux de 1,5 kW/m² à 1 m du foyer indique en effet que l'énergie rayonnée par la flamme ne produit plus d'effet susceptible de propager l'incendie².

La durée à retenir est ainsi le maximum de :

- la durée nécessaire pour conserver l'énergie,

¹ 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.

² Cette valeur de 1,5 kW/m² est correspond au seuil des effets domino à 8 kW/m² dans l'arrêté du 29/09/2005.

- la durée au-delà de laquelle le flux est inférieur à 1,5 kW/m².

Le cheminement permettant d'obtenir puissance et durée est représenté de façon schématique sur le logigramme de la Figure 3.

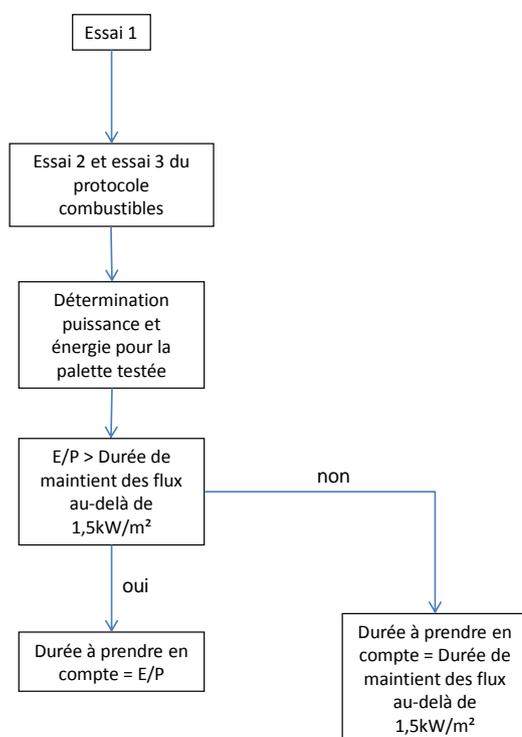


Figure 3 : Logigramme pour la détermination de la puissance et durée de combustion d'une palette

2.3.2 ILLUSTRATION : CAS D'UNE PALETTE IDEALE

Afin d'illustrer simplement la méthode précédente, son application est présentée ici pour une palette idéalisée. L'évolution de la puissance et de l'énergie totale dégagée pour l'essai avec agression, type 3, avec une telle palette idéalisée est présentée Figure 4. Cette courbe de puissance montre ainsi une phase de croissance, une phase de combustion à puissance constante et une brève décroissance.

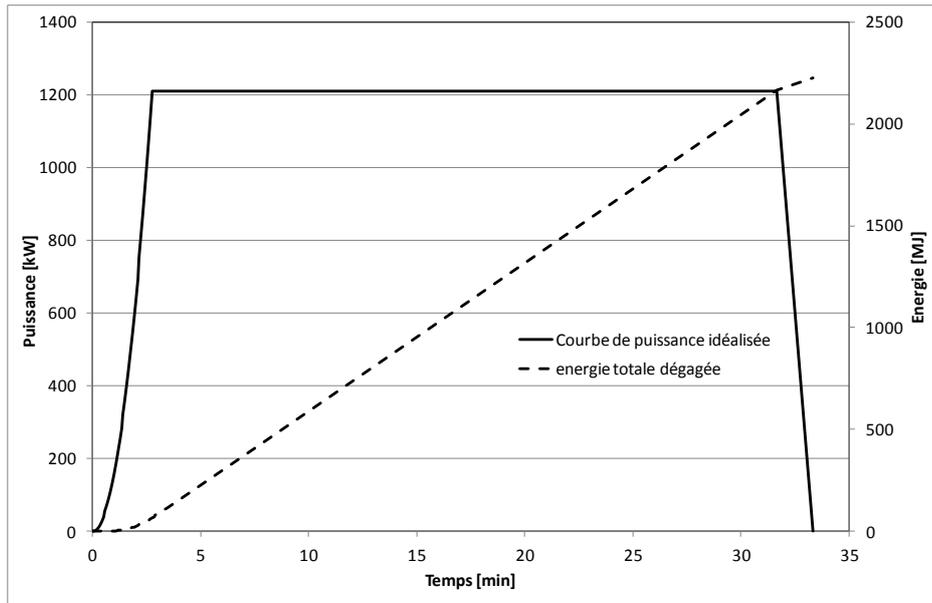


Figure 4 : Courbe de puissance d'un feu de palette idéalisé

La valeur de puissance à retenir dans un tel cas serait de 1 210 kW. L'énergie totale dégagée est de 2 226 MJ, la durée théorique serait ainsi de 1 840 s, soit 31 minutes. Cette valeur est bien en accord avec la courbe de puissance idéalisée.

2.3.3 ILLUSTRATION : CAS D'UNE PALETTE REELLE

Cette méthode est illustrée ci-après pour l'incendie d'une palette de charcuterie. Pour une telle palette, la Figure 5 représente l'évolution de la puissance au cours du temps pour l'essai avec agression sur une palette de charcuterie.

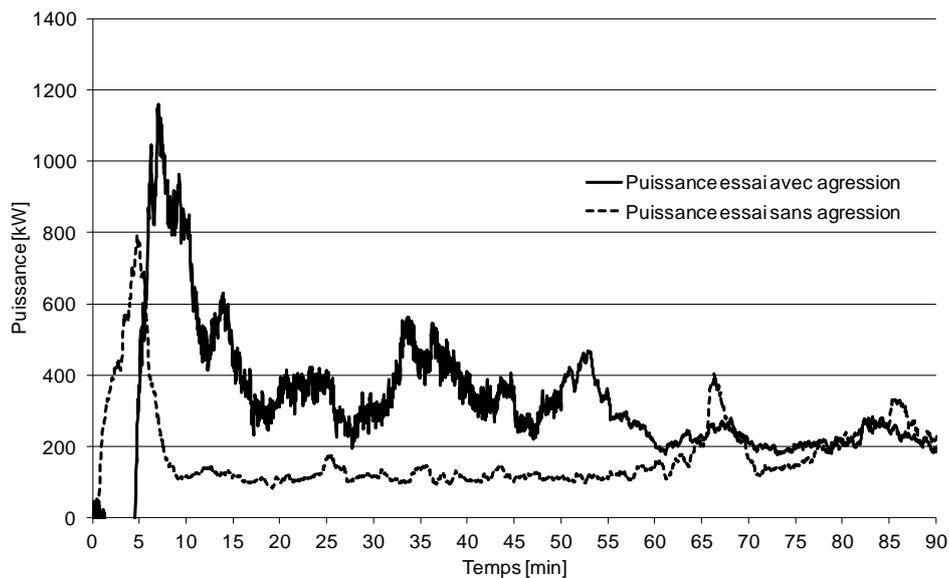


Figure 5 : Evolution de la puissance pour une palette de charcuterie, sans (essai 1) et avec (essai 3) agression

La puissance maximale atteinte par la palette de charcuterie lors de cet essai est de 1159 kW. L'énergie totale dégagée par la combustion lors de cet essai de type 3 est de 1 931 MJ.

Afin de reconstruire le créneau de puissance utilisable dans la méthode Flumilog il convient de déterminer à partir de cette courbe une puissance et une durée. 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 en utilisant le rapport E/P, soit ici une durée nécessaire d'environ 28 minutes
- 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, c'est à dire 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 6 montre l'évolution des flux en parallèle de la puissance du foyer.

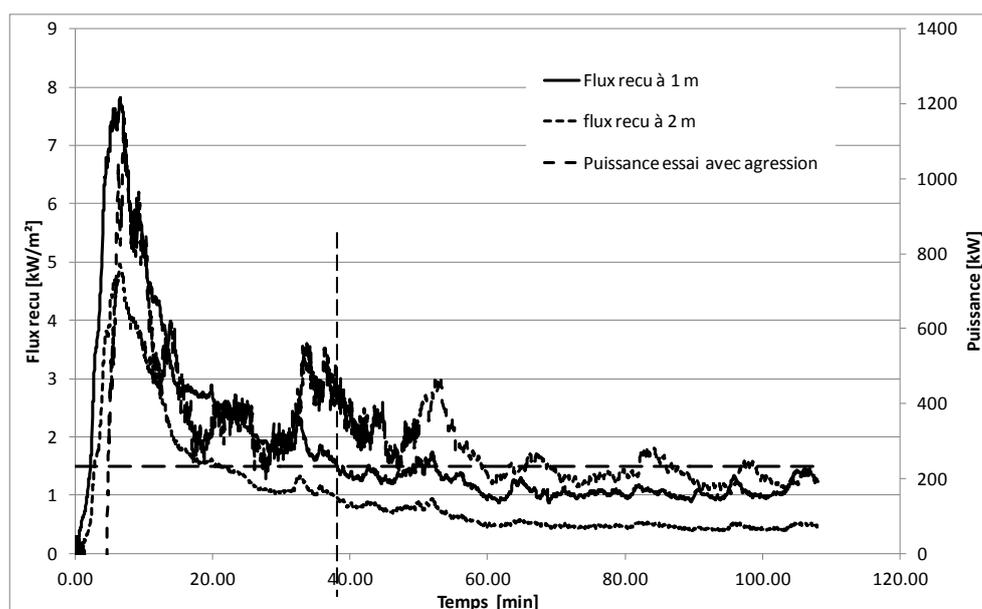


Figure 6 : Evolution des flux thermiques reçus à 1 et 2 m du foyer et de la puissance

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

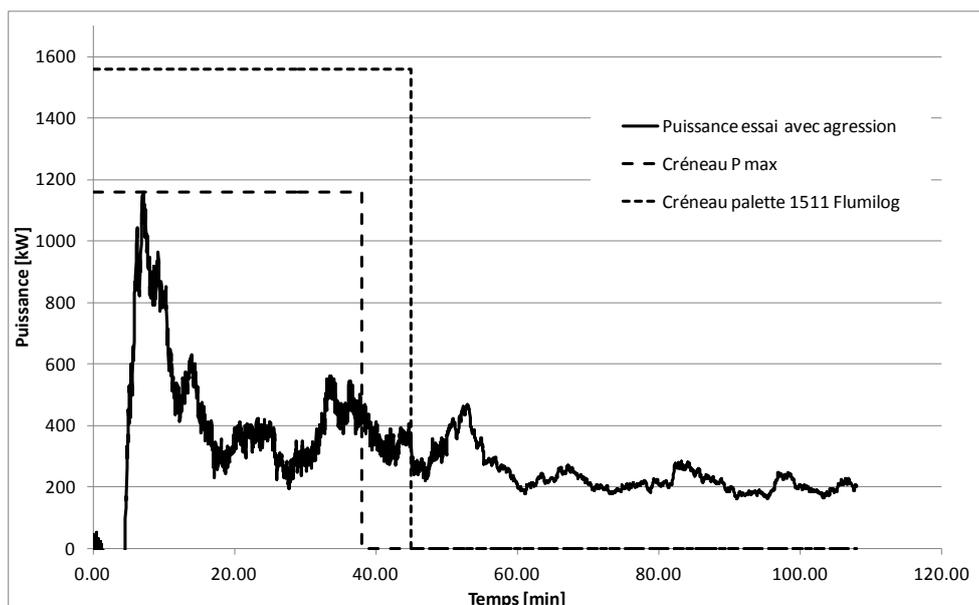


Figure 7 : Comparaison de l'évolution de la puissance dégagée par une palette de charcuterie et puissance d'une palette type équivalente et de la palette 1511 intégrée dans la méthode Flumilog

La puissance expérimentale est d'environ 75% de la valeur indiquée pour une palette type, telle que définie dans le rapport INERIS DRA-09-90977-14553A Version 2. La valeur expérimentale peut donc être prise en compte dans les modélisations.

2.3.4 CONTENU DU RAPPORT

Ce rapport devra contenir a minima :

- un descriptif détaillé de l'installation permettant de justifier notamment
 - la canalisation de l'ensemble des fumées
 - la pertinence du choix des points de mesure pour le bilan O₂ et/ou CO/CO₂
 - la description des moyens de mesure utilisés incluant la précision de ces différents instruments
- les courbes expérimentales de
 - concentration O₂ et CO/CO₂
 - débit
 - puissance et évolution d'énergie
 - perte en masse
 - évolution des flux mesurés à 1 et 2 m.

Ce rapport indiquera en conclusion les éléments à renseigner dans l'outil Flumilog. Un DVD contenant les enregistrements video des essais sera joint au rapport.

2 cas de figure seront alors possibles :

- cas n°1 : les essais montrent que la puissance développée par la palette est supérieure à 80 % de celle de la palette type correspondant dans Flumilog, la conclusion précise alors la palette type à considérer dans le logiciel Flumilog. Voir exemple en annexe 2, il concerne une palette de DVD, qui sera assimilée à la palette type 2662.
- cas n°2 : les essais montrent que la puissance développée par la palette essayée est strictement inférieure à 80% de celle de la palette type correspondant dans Flumilog, la conclusion précise alors d'une part les informations à saisir dans le logiciel Flumilog :
 - les caractéristiques précises de la palette en termes de
 - dimensions (Longueur x largeur x hauteur)
 - composition : masse des différents composés
 - la puissance dégagée par la palette,
 - sa durée de combustion.

D'autre part, un nota indique que 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 le respect de ces conditions de stockage sera vérifié.

Un exemple de rapport pour une série d'essais sur des produits combustibles, correspondant au cas n°2, est reproduit en annexe 1. Il concerne une palette de salades fraîches.

A noter que les puissances et durées de combustion devront être comparées à celles retenues pour les palettes types définies dans la méthode Flumilog, rapport INERIS DRA-09-90977-14553A Version 2.

3. PROTOCOLE D'ESSAI POUR PRODUITS NON COMBUSTIBLES AU SENS DE LA 1510

3.1 OBJECTIFS ET DEFINITIONS DES CRITERES

Comme indiqué dans la note du 28 novembre 2011 citée au chapitre 1, le caractère « non combustible » d'une palette doit être évalué par le respect des 3 critères soulignés suivants :

- une énergie très faible libérée lors de l'incendie de la palette complète (essai 1); l'idée est de comparer cette énergie à celle utilisée pour caractériser comme « incombustible » un produit de fabrication selon la norme EN 13501-1 (classement « euroclasses »). Pour cela, le rapport entre l'énergie libérée par la combustion de la palette et la masse totale de celle-ci est inférieure à 2,5 MJ/kg ;
- l'agencement particulier des produits combustibles par rapport aux produits non combustibles sur la palette, afin d'apprécier l'influence de la répartition de ces derniers sur la palette pour limiter l'incendie des combustibles. Pour cela, on compare la combustion des seuls produits combustibles présents sur la palette (essai 2) avec celle de la palette complète (essai 3), en simulant une propagation d'incendie via une agression thermique extérieure. 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;
- la présence massive sur la palette de produits ayant la capacité d'absorber la chaleur dégagée par la combustion des produits combustibles, comme par exemple des bouteilles de jus d'orange. Ce critère est apprécié via les essais réalisés pour apprécier le critère précédent. Ces produits ont une influence, si 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 (au sens inférieur ou égal)

Afin de déterminer les caractéristiques nécessaires aux trois critères, il est indispensable de réaliser trois essais :

- essai 1 : un essai avec la palette complète : l'objectif de cet essai est de déterminer le rapport entre l'énergie libérée par le feu de la palette complète et la masse totale de celle-ci (1^{er} critère) ;
- essai 2 : un essai avec une charge combustible équivalente à celle identifiée sur la palette testée. Cette charge est constituée soit de palettes bois, soit des produits réellement présents sur la palette. Cette charge calorifique est positionnée sur chacune des trois faces d'un masque représentant la palette.
- essai 3 : un essai avec la palette complète et une agression thermique calibrée correspondant à la combustion des produits combustibles (Essai

2). L'essai 3 est ainsi parfaitement identique à l'essai 2 à la seule différence que le masque présent pour l'essai 2 est remplacé par la palette testée.

L'agencement des essais et les critères à atteindre sont regroupés dans le schéma suivant, schéma montrant en particulier la séquence conduisant au caractère non combustible du produit pour classement sous la rubrique 1510.

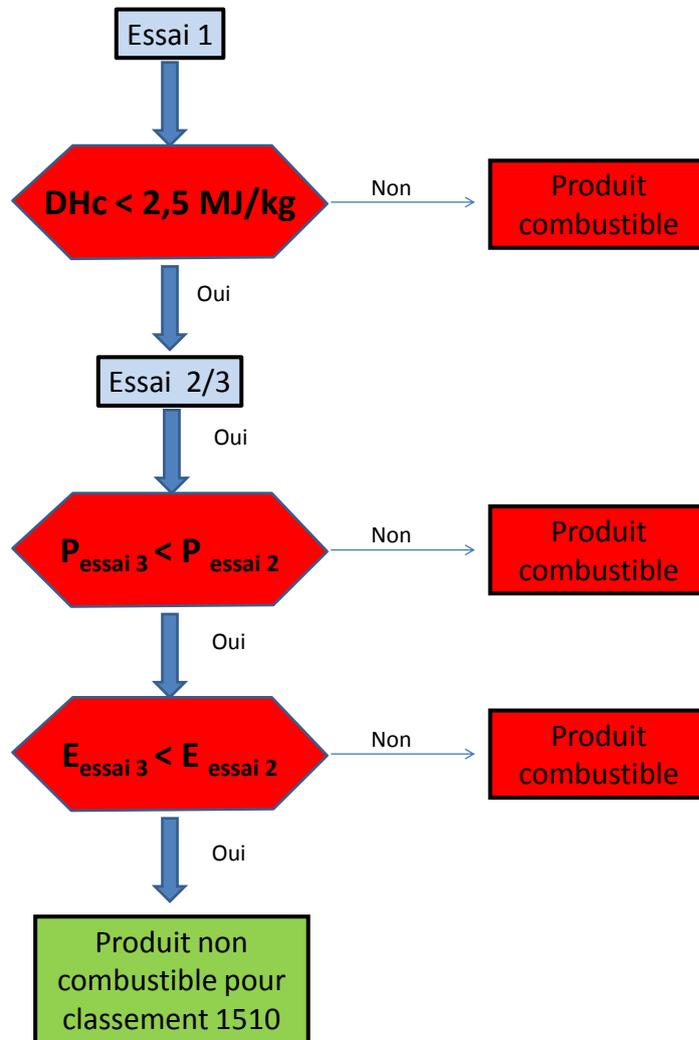


Figure 8 : Logigramme conduisant à la notion de non combustibilité d'un produit

A noter que le caractère non combustible pour classement 1510 se rapportera à la palette caractérisée expérimentalement et en particulier pour ce qui concerne la distribution massique des différents constituants et le conditionnement. D'autres points spécifiques devront le cas échéant être précisés dans le rapport d'essai s'ils influencent le caractère non combustible.

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

3.2 DESCRIPTIF DES ESSAIS ET DES CARACTERISTIQUES NECESSAIRES AUX CRITERES

Préalablement, il sera procédé au recensement des différents constituants de la palette complète, si possible sous la forme de masse de produits élémentaires (bois, carton, PE, papier, coton,...) pour les produits combustibles et (eau, acier,...) pour les non combustibles pour classement en 1510. Cet inventaire permettra d'identifier la masse de chaque combustible présent sur la palette, information nécessaire à la réalisation de l'essai impliquant les combustibles seuls.

3 essais sont à réaliser :

- un sans agression thermique autre que l'allumage (durée et puissance limitées) Cet essai a pour but d'évaluer la puissance dégagée par la palette prise de manière isolée et sert à déterminer l'agression thermique représentée par cette palette pour ces voisines. Ce premier essai sert ainsi à calibrer la charge utilisée lors de l'essai avec agression.
- un essai de calibration de la charge pouvant être réalisé au moyen de rampes gaz, panneaux rayonnants, feu de bac (alcool ou autres), feu de solides de sorte que la puissance et la durée soient reproductibles,
- un essai avec agression thermique "calibrée" sur 3 faces latérales. L'objectif est de reproduire le feu observé lors du premier essai avec la palette seule sur chacune des faces.

La palette est placée sur un bac lui-même placé sur la balance. Dans l'hypothèse où des projections sont envisagées, il convient de prévoir la présence d'un grillage placé dans le bac pour les contenir.

Conditions de ventilation : l'échantillon sera placé sous une hotte pour canaliser les fumées et ainsi permettre la mesure des concentrations de fumées émises. Si l'essai se déroule en présence d'une ventilation mécanique, il sera vérifié que les vitesses résultantes au niveau du foyer ne sont pas trop grandes (afin notamment de ne pas coucher la flamme).

Concernant l'essai, les mesures suivantes seront réalisées en continu :

- pour la détermination de la puissance du feu :
 - perte de masse : balance 500 kg (ou plus en fonction de la masse de la palette)
 - concentration des fumées dans le panache (CO , CO_2 et O_2) en deux points différents,
- pour la détermination de l'émittance :
 - flux à 1 et 2 m de hauteur et respectivement à une distance de 1 m et 2 m de la palette sur la même face (gamme de flux 0-20 kW/m^2)
- pour la hauteur des flammes
 - film des essais avec un repère à proximité

A noter que si les deux points de mesure en CO, CO₂ et O₂ indiquent des valeurs différents, cela signifie que le mélange n'est pas homogène et l'essai ne sera pas recevable.

La Figure 9 présente de façon schématique la position des différents éléments.

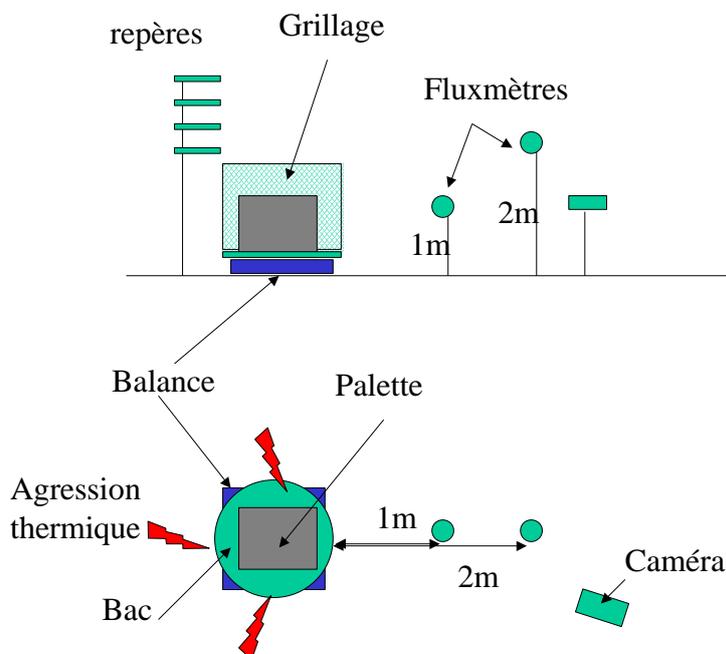


Figure 9 : Schéma d'instrumentation

Après essai, il faut déterminer la nature des résidus :

- pour les combustibles, rechercher ce qui n'a pas brûlé, ce qui est partiellement brûlé (le but étant de déterminer la fraction résiduelle) et la quantité de cendres
- pour les produits non combustibles, rechercher ce qui est intact et ce qui a pu absorber une quantité d'énergie (changement de phase : évaporation ou liquéfaction).

L'ensemble des appareils utilisés devront disposer de certificat d'étalonnage en cours de validité. L'incertitude de mesure devra être indiquée pour chacun des moyens de mesure utilisés. Les critères d'acceptabilité d'un essai étant basés sur un écart inférieur à 10% entre la puissance calculée par chacune des deux méthodes de calorimétrie, l'incertitude globale de la chaîne de mesure ne devra pas excéder cette même valeur de 10%.

3.3 DETERMINATION DE LA PUISSANCE DU FOYER

3.3.1 METHODE 1 : CONSOMMATION D'OXYGENE (OC : OXYGEN CONSUMPTION)

Afin de déterminer la puissance de l'incendie à partir de la consommation en O₂, il est possible de retenir la valeur moyenne de $\alpha_{O_2} = 13,1$ MJ/(kg de O₂ consommé). Cette valeur est une moyenne pour différents combustibles cités notamment par Janssens [1] ou encore dans les guides du CETU [2]. Il est important, lors du calcul du taux d'oxygène, de tenir compte de la production de CO et de CO₂ par le foyer. Les trois mesures étant disponibles, il conviendra de corriger la mesure de la concentration en oxygène pour la ramener à un taux de consommation par rapport à l'air ambiant, dans lequel la concentration en CO₂ peut être négligée [1]. La puissance instantanée est alors obtenue par :

$$P(t) = \alpha_{O_2} \cdot \left[\frac{X_{O_2}^{A_0} - X_{O_2}^A}{1 - X_{O_2}^A} \right] \cdot \dot{m}_a \cdot \frac{M_{O_2}}{M_a} (1 - X_{H_2O}^0 - X_{CO_2}^0) \text{ d'après [1]}$$

X_G représente la fraction molaire de l'espèce G, \dot{m}_a est le débit d'air incident et M_{O_2} et M_a sont les masses molaires respectives de l'oxygène et de l'air.

3.3.2 METHODE 2 : BILAN CARBONE (CDG : CARBON DIOXIDE GENERATION)

La seconde mesure utilise la production de CO et CO₂ dans les fumées d'incendie. Les valeurs moyennes utilisées pour en déduire la puissance de l'incendie sont de $\alpha_{CO_2} = 13,3$ MJ/(kg de CO₂ produit) et $\alpha_{CO} = 11,1$ MJ/(kg de CO produit) [3]. Ces valeurs moyennes sont toutefois plus fortement dépendantes aux produits brûlés que les valeurs utilisées pour la consommation d'oxygène. Il est important de noter que pour des feux bien ventilés, la part de CO est très faible. La part de CO₂ dans l'air frais peut être négligée. La relation donnant la puissance est ainsi plus simple que celle utilisée pour l'oxygène :

$$P(t) = \alpha_{CO_2} \cdot \dot{m}_{CO_2} + \alpha_{CO} \cdot \dot{m}_{CO}, \text{ d'après [3]}$$

\dot{m}_{CO_2} et \dot{m}_{CO} sont respectivement les débits massiques de CO₂ et de CO dans l'air vicié.

3.3.3 SYNTHÈSE

A ce stade, l'expérimentateur dispose donc de la courbe de puissance en fonction du temps obtenue avec chacune des méthodes décrites ci-dessus. Ce point permet de vérifier la pertinence de chacun des moyens de mesures. Ainsi, en cas d'incohérence entre les deux courbes de puissance obtenues, écart supérieur à 10%, il conviendra, soit de justifier au travers de l'incertitude sur les coefficients notamment pour la méthode CDG, soit de réaliser un nouvel essai.

A titre d'illustration des incertitudes sur les coefficients de calorimétrie, quelques valeurs des coefficients α_{CO_2} et α_{CO} sont indiquées dans le Tableau 1. La valeur du coefficient α_{O_2} est également indiquée dans ce tableau.

Produit	α_{CO_2}	α_{CO}	α_{O_2}
Polyéthylène	13,9	11,8	12,8
Polystyrène	12,2	9,2	12,7
Polycarbonate	10,8	6,9	13,1
bois (Pin Douglas)	9,5	5,0	12,4
Coefficients moyens	13,3	11,1	13,1

Tableau 2 : Coefficient CDG pour différents produits

Ce tableau montre que l'écart sur les coefficients CDG est important d'un matériau à l'autre, l'écart à la moyenne peut atteindre près de 30%. Les valeurs de α_{O_2} , utilisé en calorimétrie OC reste plus proche de la moyenne, de l'ordre de 5 à 10% au maximum. Ainsi, un écart significatif (plus de 10%) entre les courbes de puissance devra être expliqué par le choix des valeurs retenues pour les coefficients utilisés pour la méthode CDG. Cette analyse pourra le cas échéant faire l'objet d'une expertise.

3.3.4 CALCUL DE L'ENERGIE DEGAGEE

La puissance de l'incendie représente le taux de dégagement d'énergie par unité de temps :

$$P(t) = \frac{dE(t)}{dt}$$

Aussi, pour obtenir l'énergie totale dégagée par l'incendie, il suffit d'intégrer la courbe de puissance, depuis l'instant d'allumage du foyer jusqu'à l'extinction complète de celui-ci :

$$E_{tot} = \int_{t_{ign}}^{t_{ext}} P(t) dt$$

Les bornes d'intégration correspondent à la durée de l'incendie, soit à partir de l'instant d'allumage jusqu'à l'extinction de l'incendie correspondant au moment où la perte de masse s'annule sans aucune intervention extérieure, cf 2.3.1.

A noter que l'énergie E_{tot} est divisée par la masse totale m_{pal} de la palette complète pour déterminer la chaleur massique de combustion de la palette.

3.4 EXPLOITATION DES ESSAIS POUR REpondre AUX CRITERES

Les données ont été extraites pour les 3 essais :

- essai 1 : un essai avec la palette complète : l'objectif de cet essai est de déterminer le rapport entre l'énergie libérée par le feu de la palette complète et la masse totale de celle-ci (1^{er} critère) ;
- essai 2 : un essai avec exclusivement les produits combustibles présents sur trois palettes complètes. Les combustibles seront disposés de manière identique à la disposition de l'agression pour l'essai 3 ;
- essai 3 : un essai avec la palette complète et une agression thermique calibrée correspondant à la combustion des produits combustibles (Essai 2).

Le rapport d'essai contenant l'ensemble de ces données devra permettre de répondre aux critères :

- le rapport entre l'énergie libérée par la combustion de la palette et la masse totale de celle-ci est inférieure à 2,5 MJ/kg ;

L'énergie dégagée lors de l'essai de combustion de la palette seule, divisée par la masse totale de la palette doit être inférieure à 2,5 MJ/kg.

- 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'énergie dégagée lors de l'essai 3 est inférieure à celle dégagée lors de l'essai 2.

- 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.

La puissance maximale observée lors de l'essai 3 est inférieure à celle observée lors de l'essai 2.

Les résultats de ces essais devront être entièrement mis à disposition du législateur, de manière confidentielle le cas échéant.

A noter que le caractère non combustible pour classement 1510 se rapportera à la palette caractérisée expérimentalement et en particulier pour ce qui concerne la distribution massique des différents constituants et le conditionnement. Ces différents points devront être décrits dans le rapport. Par ailleurs, d'autres points spécifiques devront également, le cas échéant, être précisés dans le rapport d'essai s'ils influencent le caractère non combustible.

3.5 CONTENU DU RAPPORT

Le rapport d'essai devra contenir a minima :

- un descriptif détaillé de l'installation permettant de justifier notamment
 - la canalisation de l'ensemble des fumées
 - la pertinence du choix des points de mesure pour le bilan O₂ et/ou CO/CO₂

- la description des moyens de mesure utilisés incluant la précision de ces différents instruments
- les courbes expérimentales de
 - concentration O₂ et CO/CO₂
 - débit
 - puissance et évolution d'énergie
 - perte en masse
 - évolution des flux mesurés à 1 et 2 m.

Le rapport précisera l'ensemble des éléments pouvant influencer le caractère combustible de la palette : masse des différents constituants, conditionnement ou tous autres éléments influençant la combustibilité.

Un DVD contenant les enregistrements vidéo des essais sera joint au rapport.

4. BIBLIOGRAPHIES

[1]M. JANSSENS and W. PARKER, "Oxygen consumption calorimetry".

[2]CETU, « Guide des dossiers de sécurité dans les tunnels routiers,
Fascicule 4 : Les études spécifiques des dangers », Septembre 2003.

[3]A. TEWARSON, « Generation of Heat and Fire Products », Technical report
of Factory Mutual, May 1995.

ANNEXES

ANNEXE 1

EXEMPLE DE RAPPORT POUR UN PRODUIT COMBUSTIBLE : **ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE SALADES FRAICHES**

A-1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

A-1.1 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure A-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.

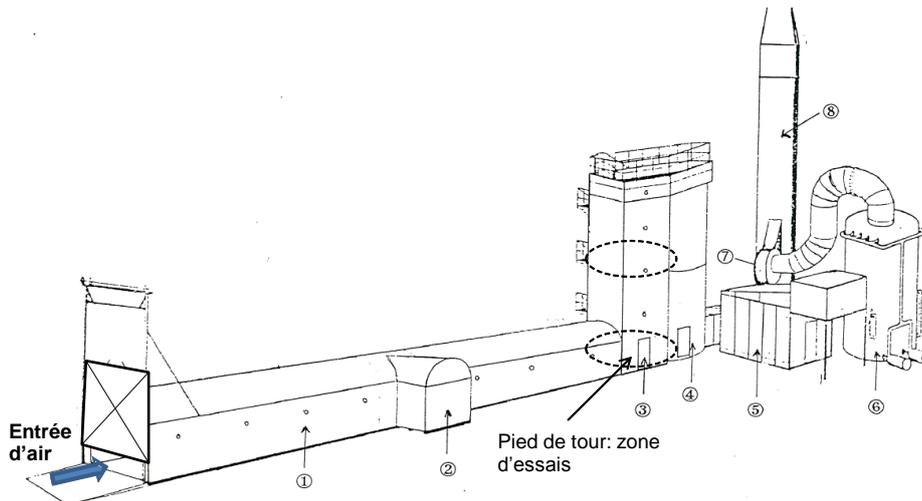


Figure A-1 : Schéma de la galerie incendie

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

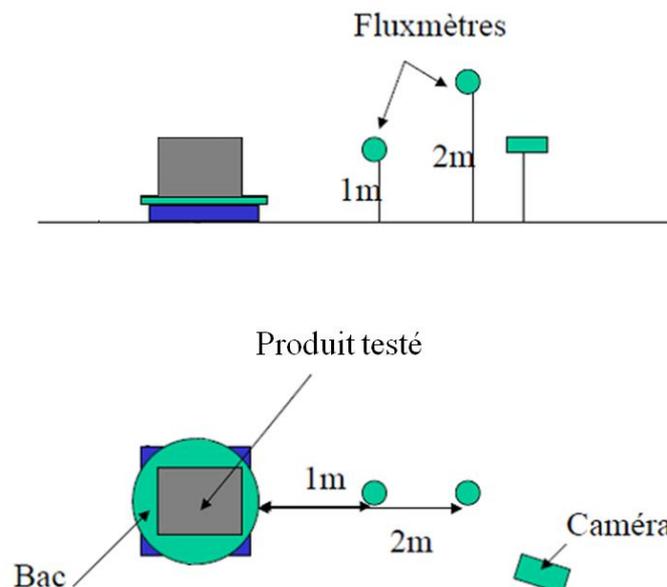


Figure A-2 : Représentation schématique de la métrologie des essais

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.

A-1.2 ESSAIS REALISES

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.

A-2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

A-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 A-1. 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 3 : Composition des palettes de salades fraîches.

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



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

A-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 A-4.

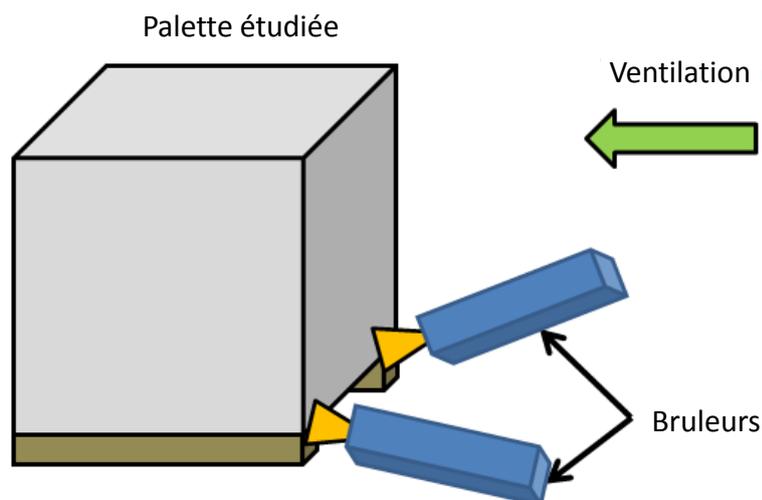


Figure A-4 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

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 A-5 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

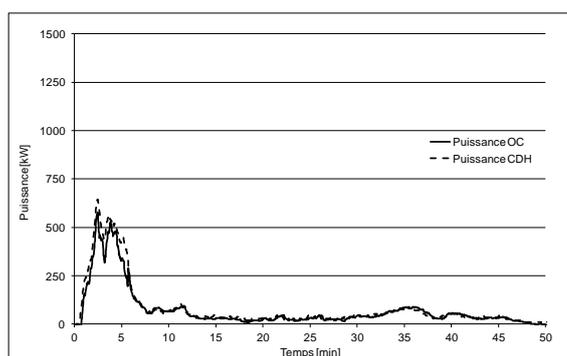


Figure A-5 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1.

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 A-6 montre les concentrations en O_2 et CO/CO_2 dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

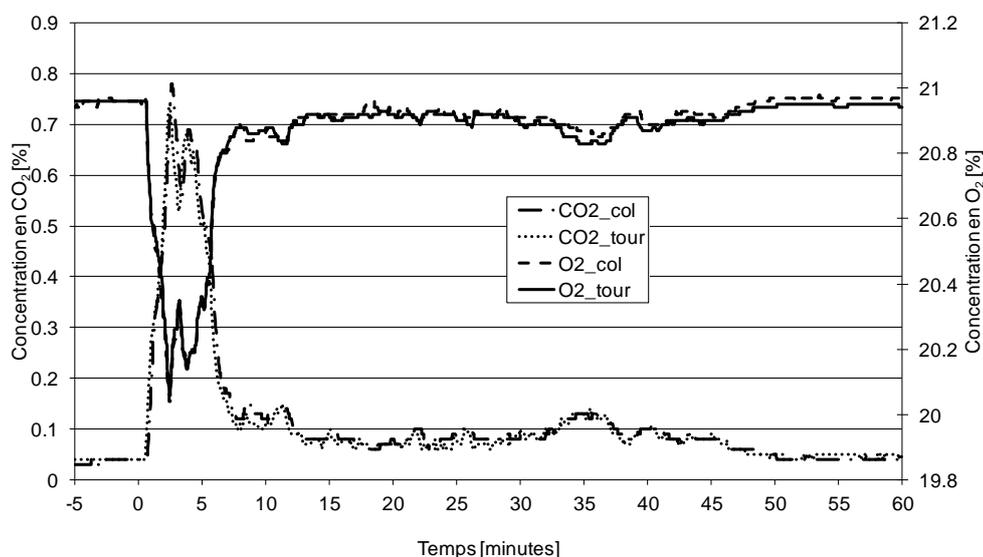


Figure A-6 : Comparaison des concentrations en O_2 et CO / CO_2 pour les 2 points de mesure.

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.

A-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 A-7 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

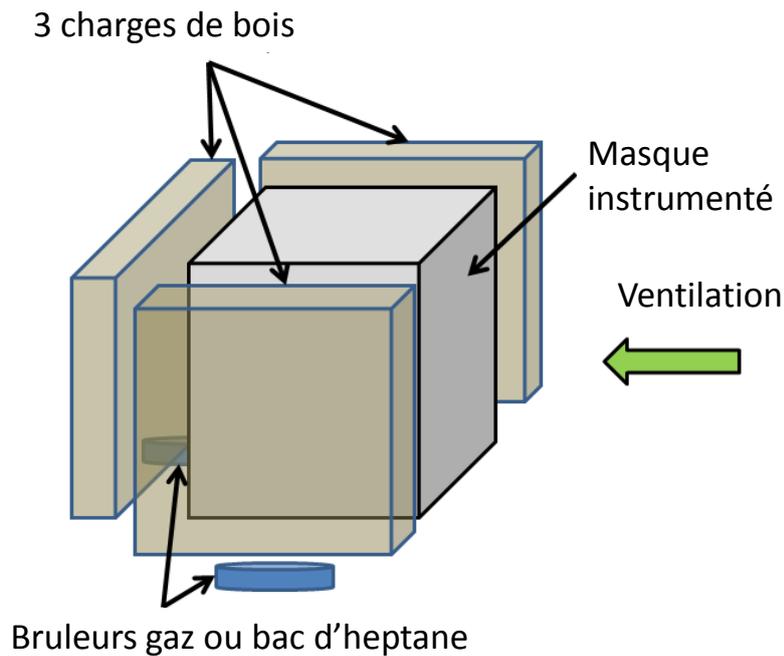


Figure A-7 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

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 A-8 montre l'évolution de la puissance mesurée lors de l'essai 1 avec la puissance individuelle des agressions pour l'essai n°2.

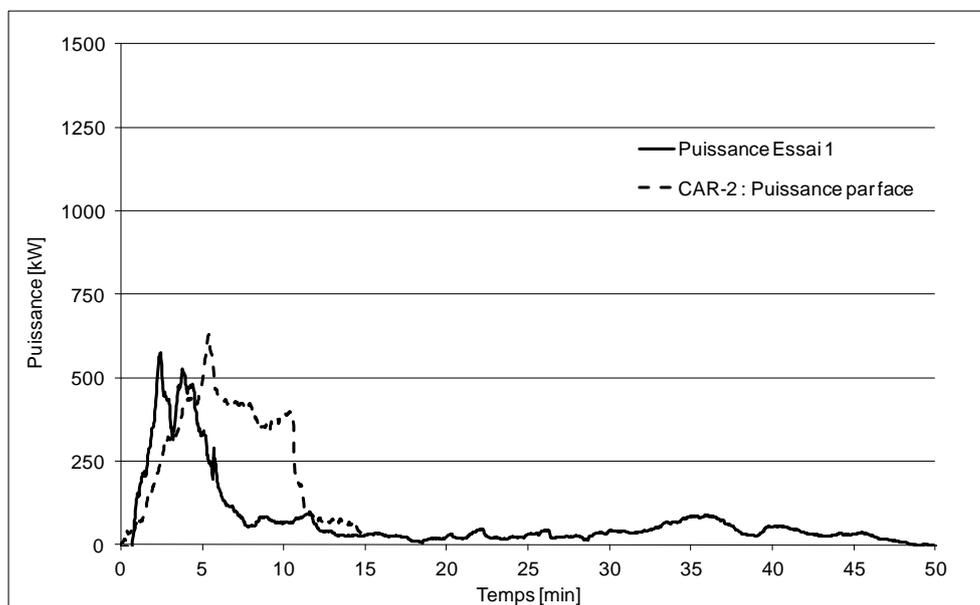


Figure A-8 : Evolution de la puissance palette essai 1 et de l'agression retenue.

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

A-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 A-9. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai CAR-2.

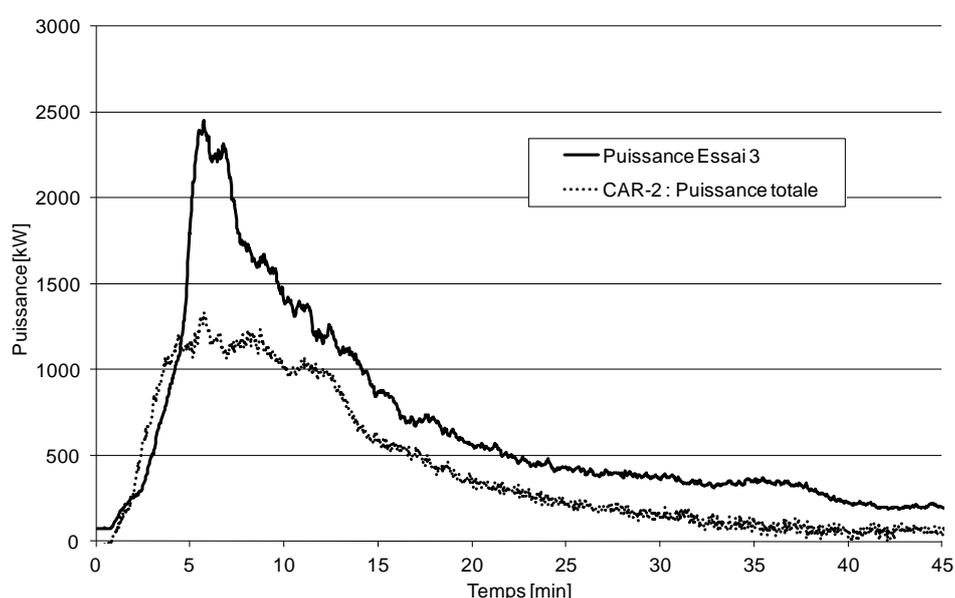


Figure A-9 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de salades fraiches

En retranchant la puissance du blanc à la puissance totale, cela permet d'obtenir la puissance dégagée par la palette de salades, figure A-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.

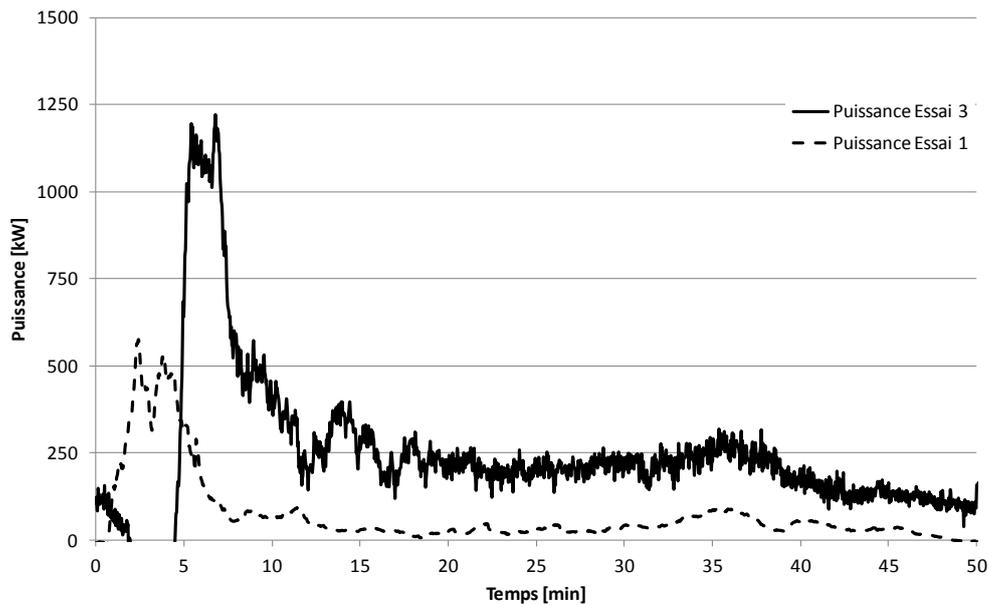


Figure A-10 : Evolution de la puissance mesurée pendant l'essai 3 sur la palette de salades fraîches

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.

A-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 A-11 montre l'évolution des flux en parallèle de la puissance du foyer.

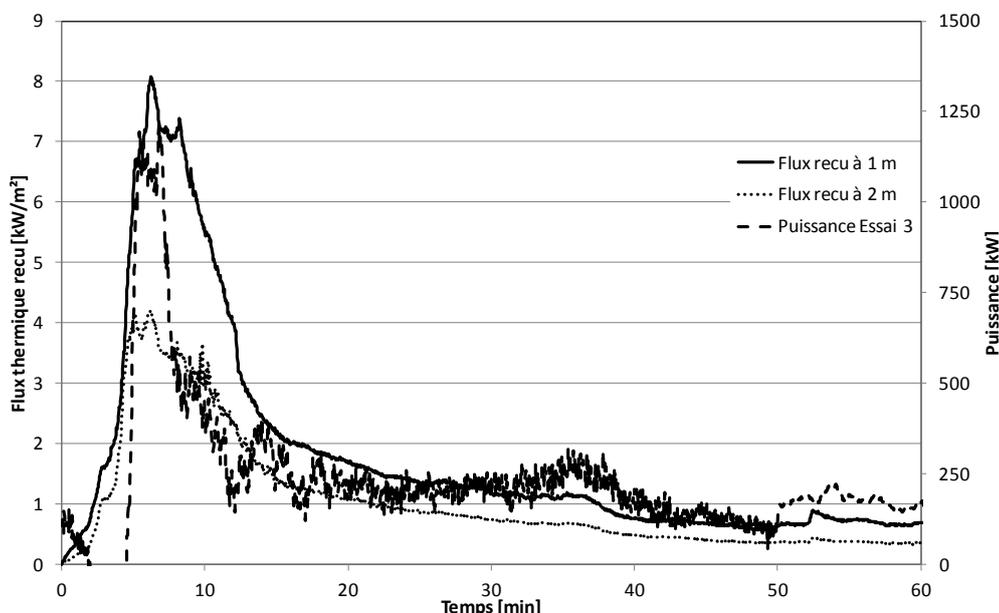


Figure A-11 : Evolution des flux thermiques reçus à 1 et 2 m du foyer et de la puissance

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 A-12.

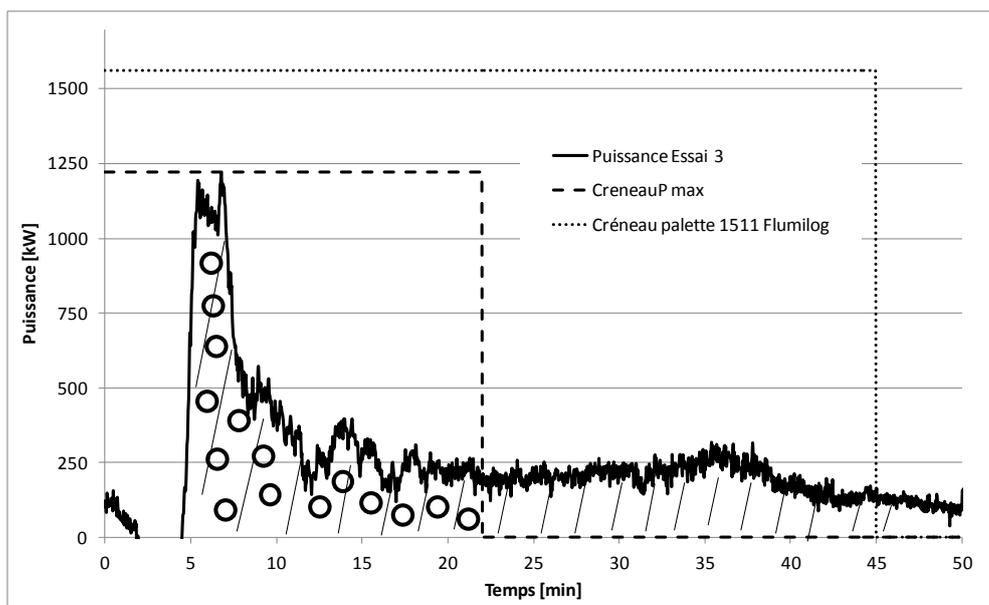


Figure A-12 : Comparaison de l'évolution de la puissance dégagée par une palette de salades fraiche et puissance d'une palette type équivalente

Les énergies correspondantes aux différentes courbes de puissance de cette courbe sont indiquées dans le Tableau 4.

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 4 : Energie développée par les courbes de puissance de la Figure A-12

A-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

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

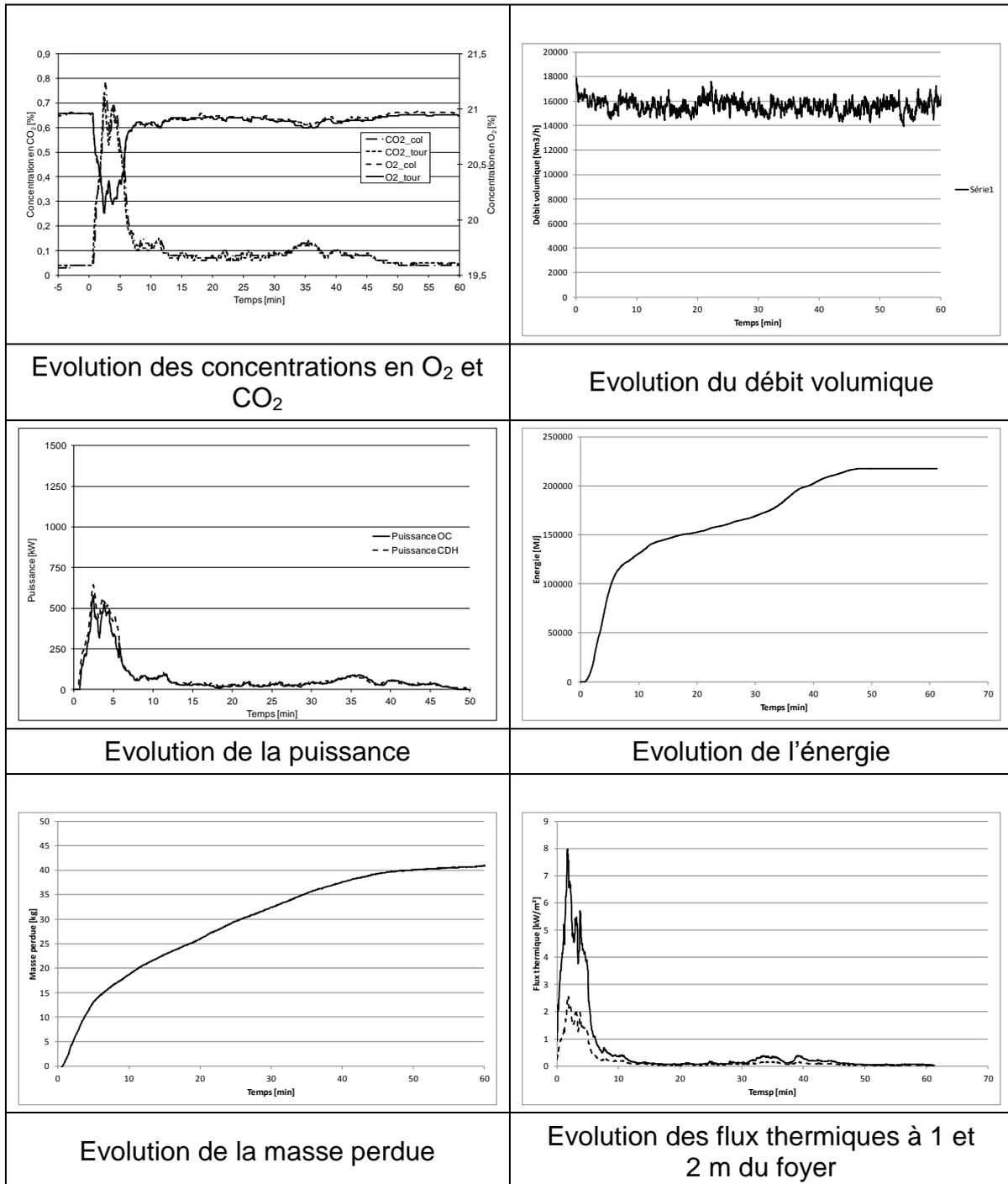
L'ensemble de ces valeurs sera à saisir dans le logiciel Flumilog pour le calcul des effets thermiques³.

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.

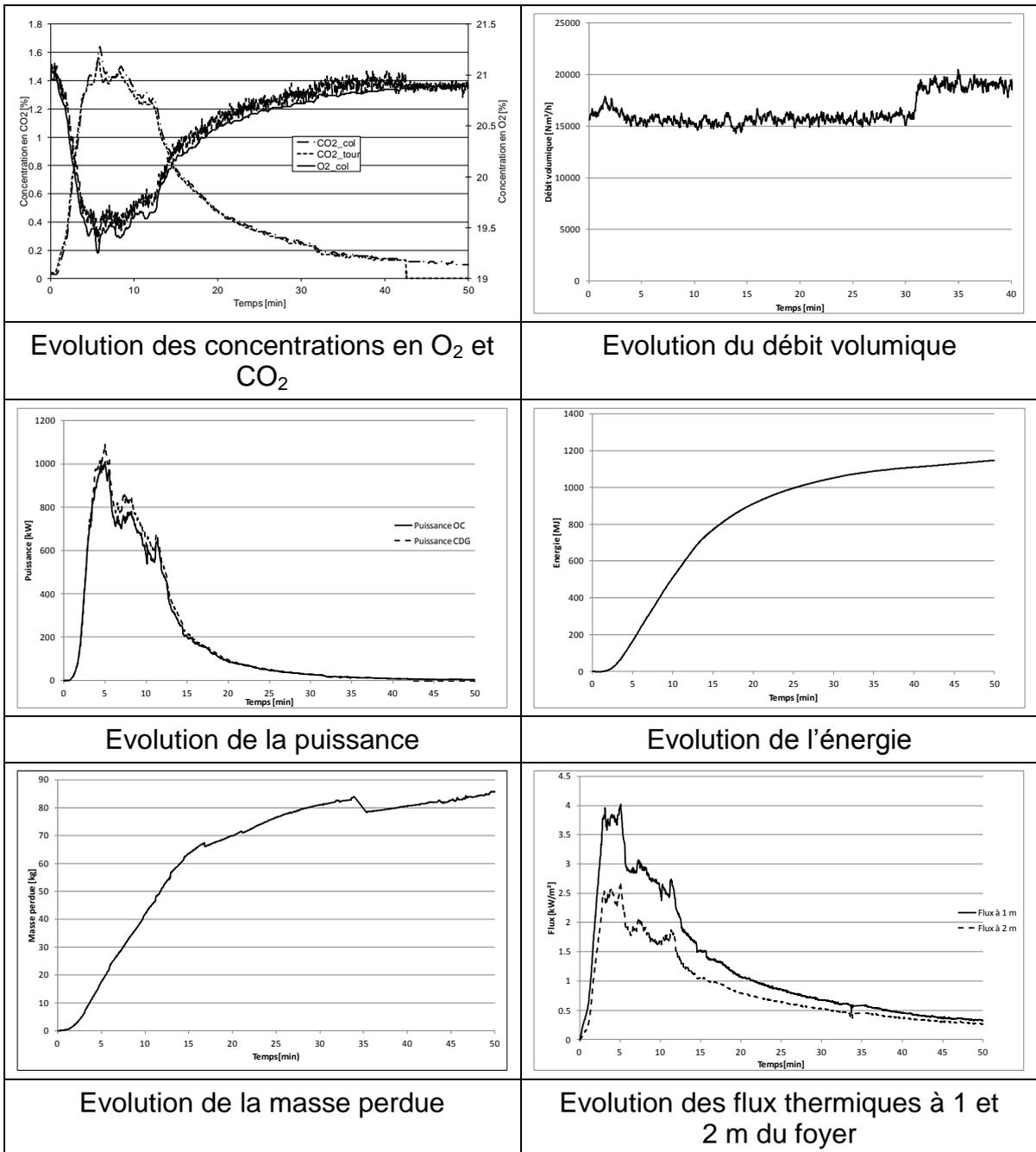
³ Ces valeurs pourront être utilisées, de façon prudente, pour des palettes contenant une proportion de salades plus importante.

A-4. ANNEXE : COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

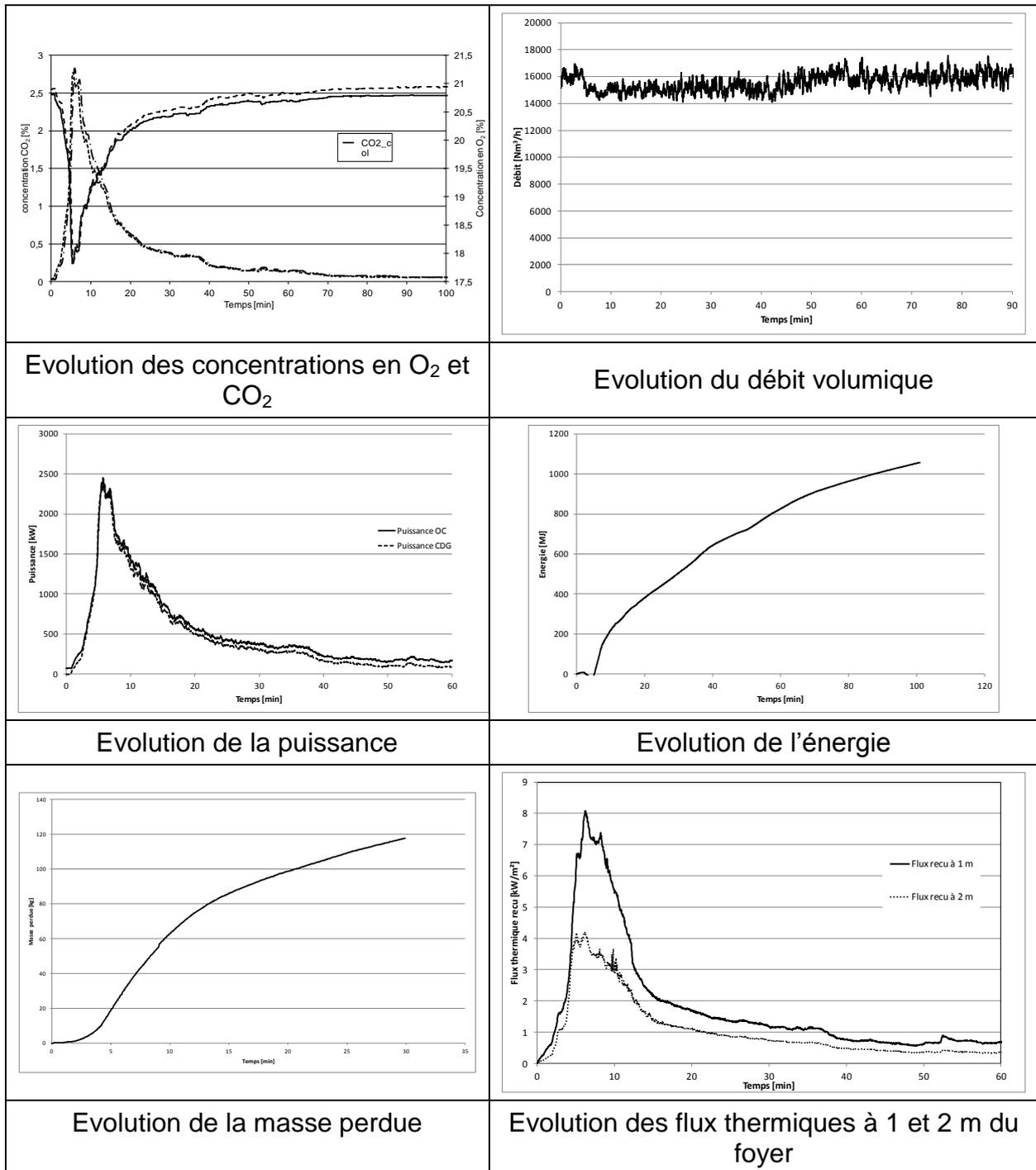
Courbes obtenues lors de l'essai n°1



Courbes obtenues lors de l'essai n°2



Courbes obtenues lors de l'essai n°3



ANNEXE 2

EXEMPLE DE RAPPORT POUR UN PRODUIT COMBUSTIBLE :
ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE DVD

A-1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

A-1.1 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure A-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.

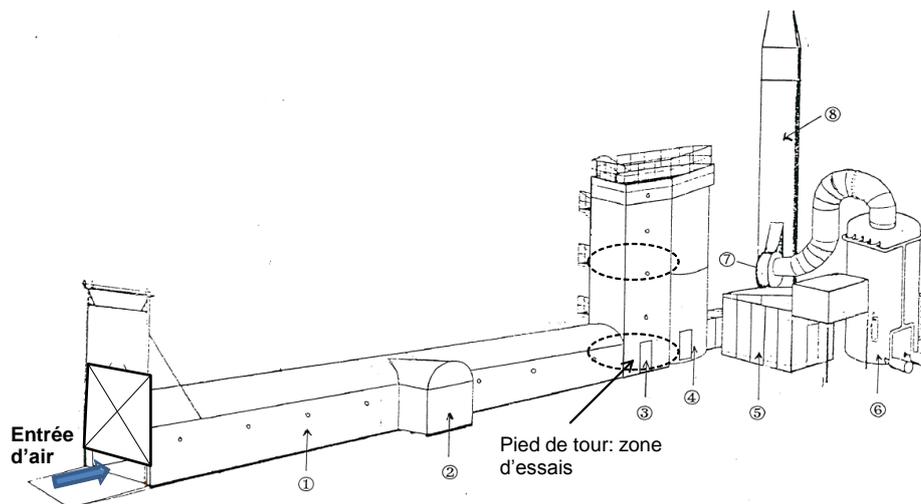


Figure A-1 : Schéma de la galerie incendie

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

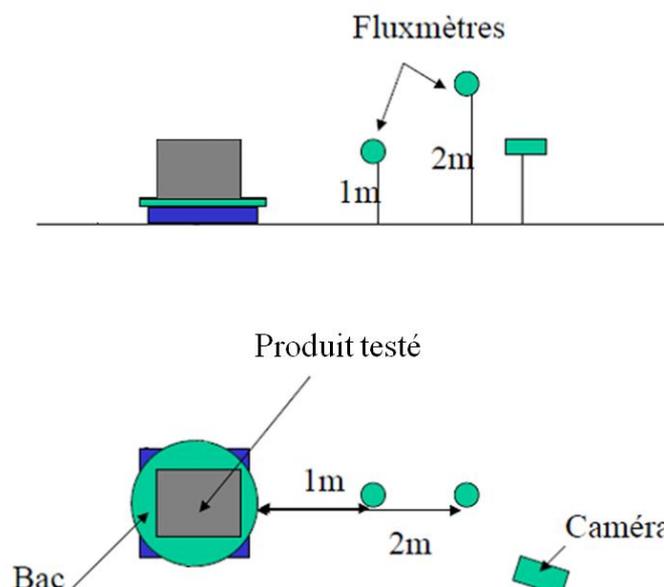


Figure A-2 : Représentation schématique de la métrologie des essais

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.

A-1.2 ESSAIS REALISES

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.

A-2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

A-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 A-1. 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	$\approx 34,6$
Charge de bois pour l'agression	0	137,6	≈ 18

Tableau A-1 : Composition des palettes de DVD

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



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

A-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 A-4.

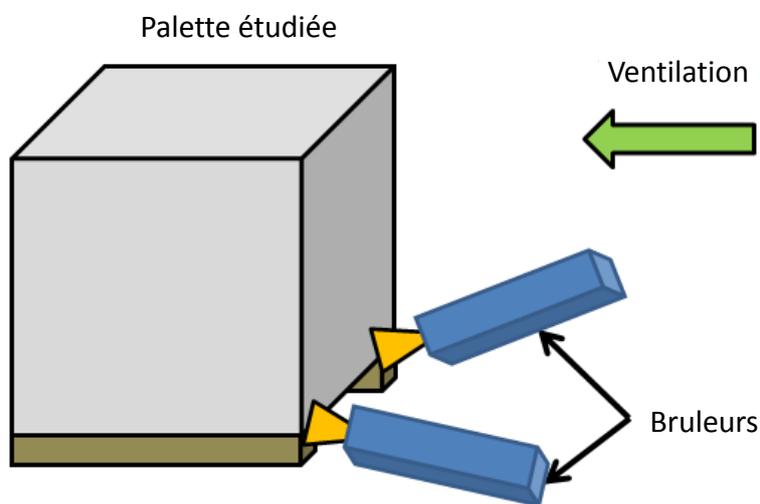


Figure A-4 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

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 A-5 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

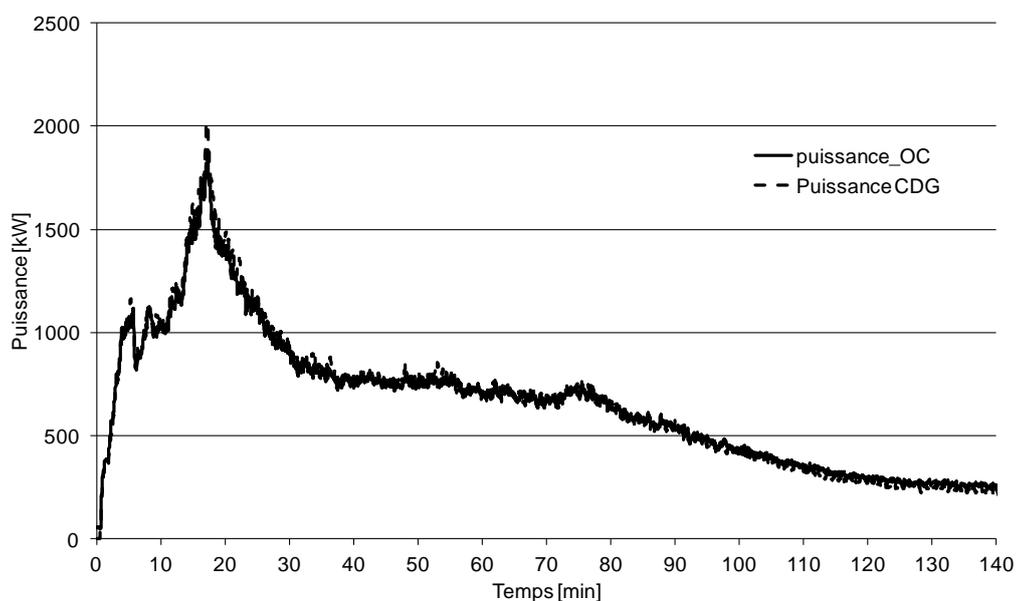


Figure A-5 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1, comparaison des méthodes OC et CDG

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

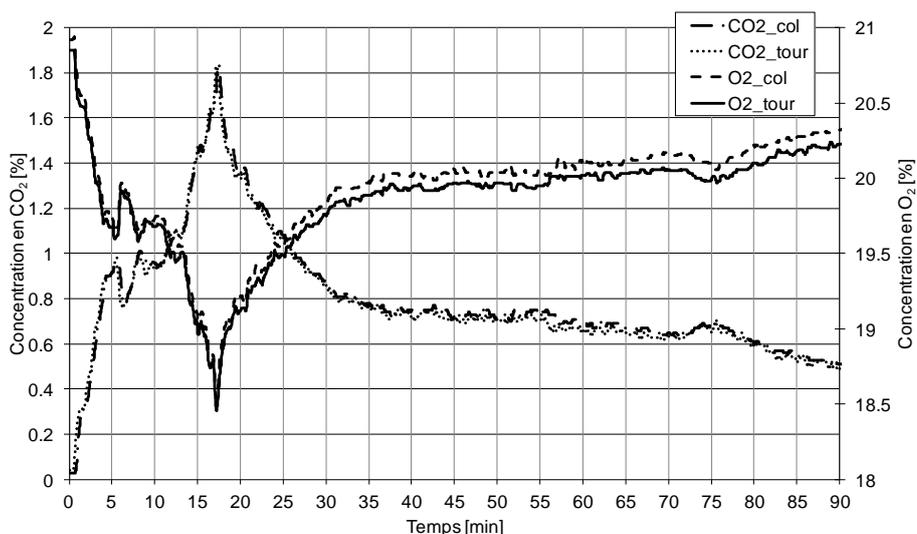


Figure A-6 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure

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

A-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 A-7 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

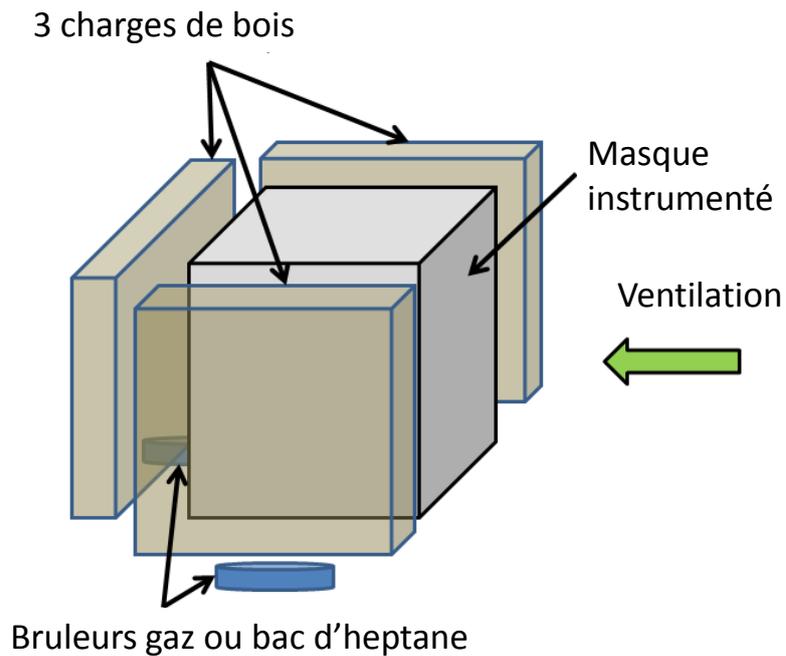


Figure A-7 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

Afin de reproduire la proximité de palettes voisines lors de l'essai 3, l'agression au moyen de 4 palettes par face a été retenue. La Figure A-8 montre l'évolution de la puissance mesurée lors de l'essai 1 avec la puissance individuelle des agressions pour l'essai n°2.

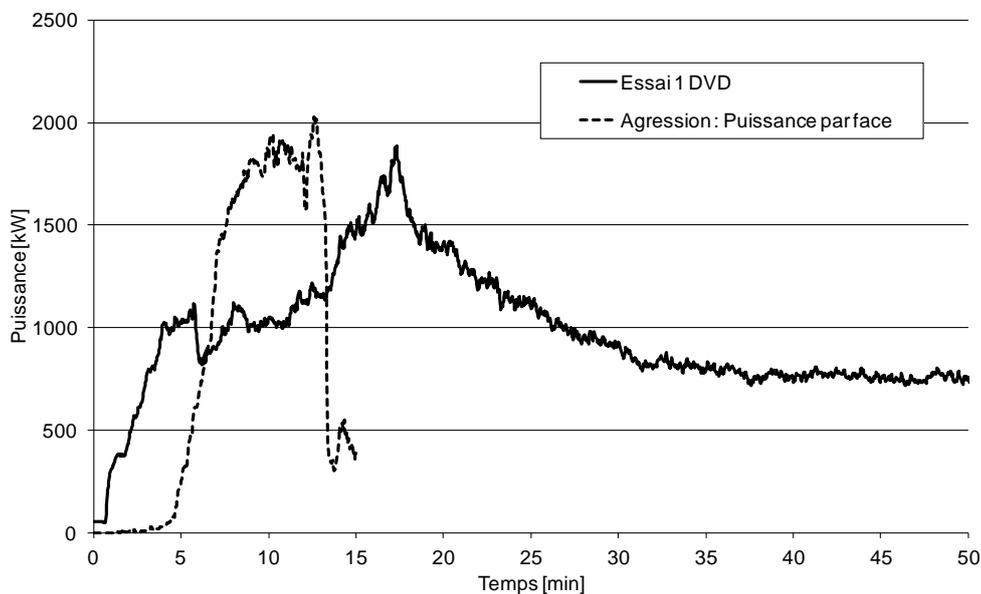


Figure A-8 : Evolution de la puissance palette essai 1 et de l'agression retenue

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

A-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 A-9. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai n°2, identifié essai CAR-4 sur cette courbe.

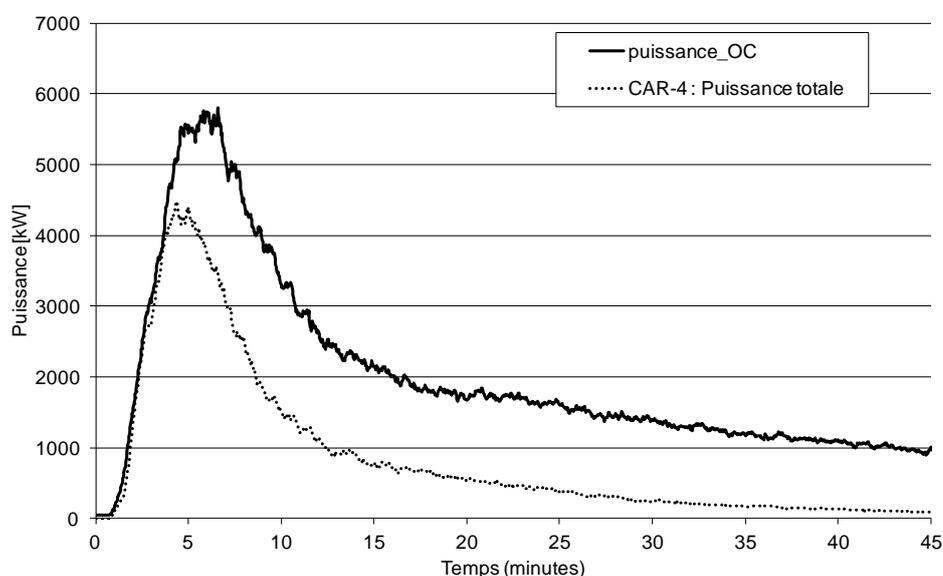


Figure A-9 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de DVD

En retranchant la puissance du blanc à la puissance totale, cela permet d'obtenir la puissance dégagée par la palette de DVD, Figure A-10. 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.

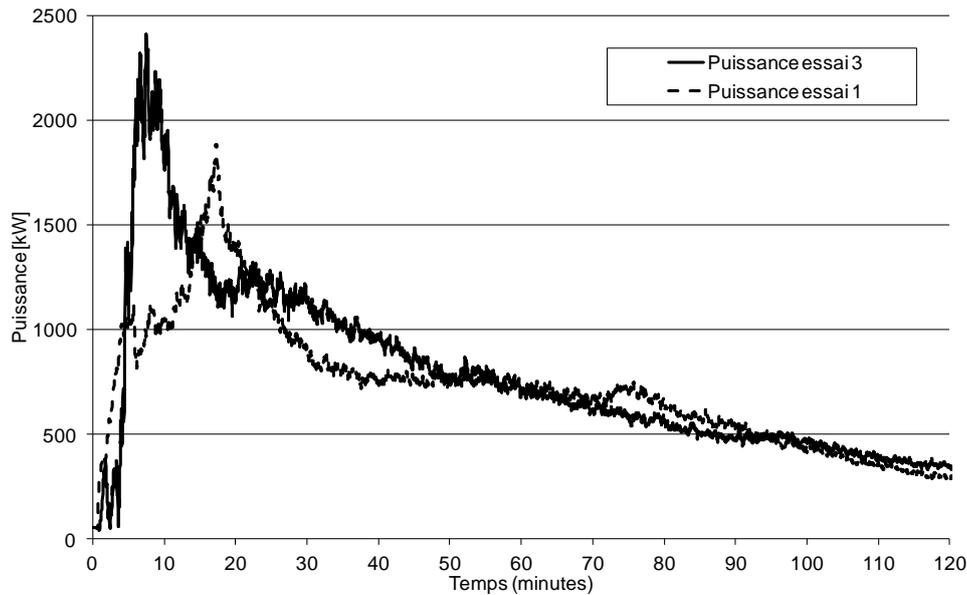


Figure A-10 : Evolution de la puissance mesurée pendant l'essai 3 sur la palette de DVD

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.

A-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 A-11 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.

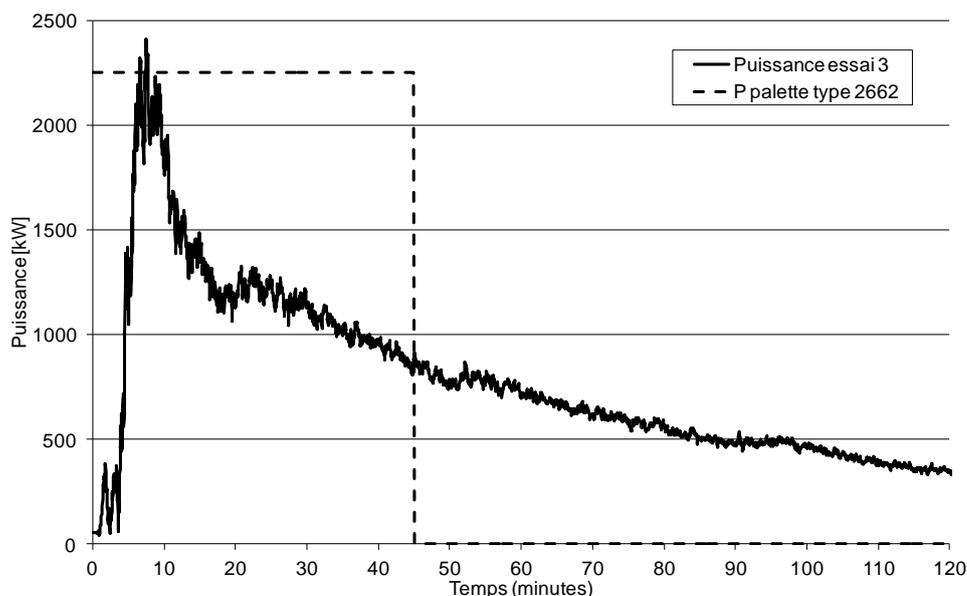


Figure A-11 : Comparaison de l'évolution de la puissance dégagée par une palette de DVD et puissance d'une palette type équivalente

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.

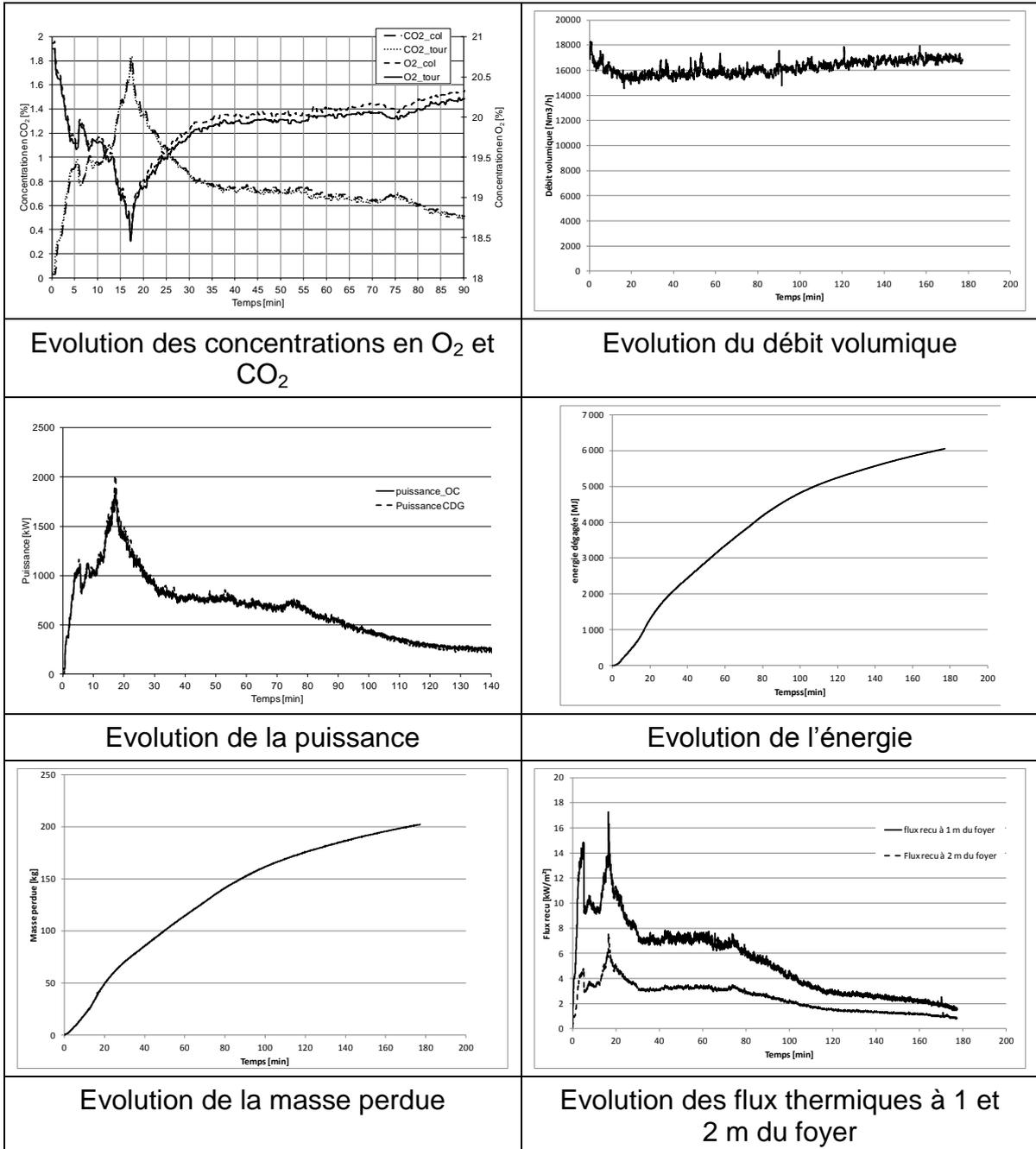
Les courbes des résultats des essais sont présentés en annexe de ce rapport d'essais.

A-3. CONCLUSION

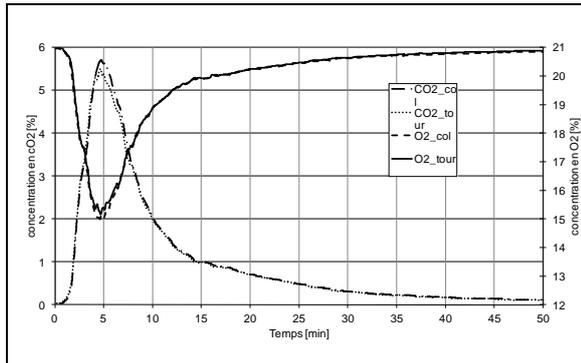
Les essais montrent qu'il n'y a pas d'intérêt à considérer des caractéristiques spécifiques de combustion relative à la palette de DVD car la palette type 2662 est représentative de ces caractéristiques pour le calcul des distances d'effet thermiques avec l'outil Flumilog.

A-4. ANNEXE : COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

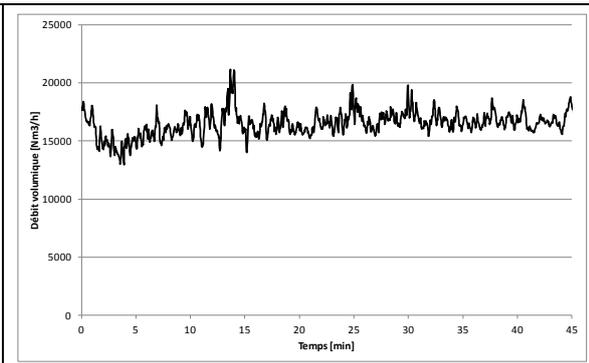
Courbes obtenues lors de l'essai n°1



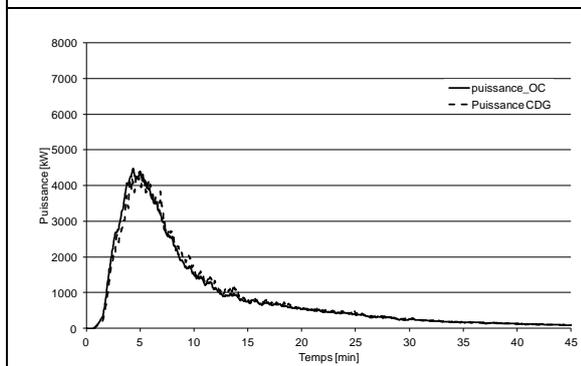
Courbes obtenues lors de l'essai n°2



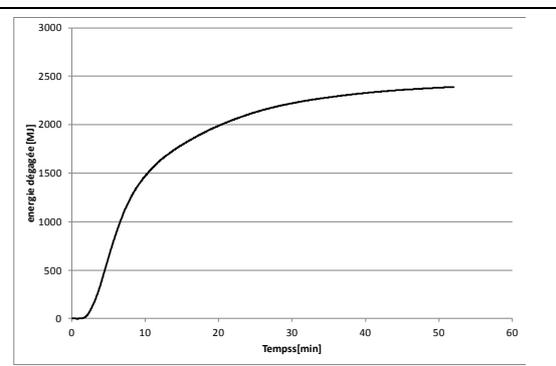
Evolution des concentrations en O₂ et CO₂



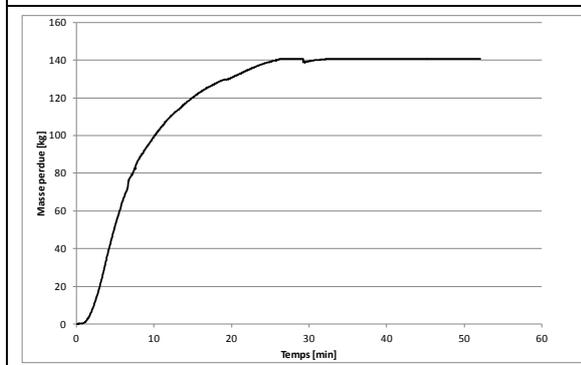
Evolution du débit volumique



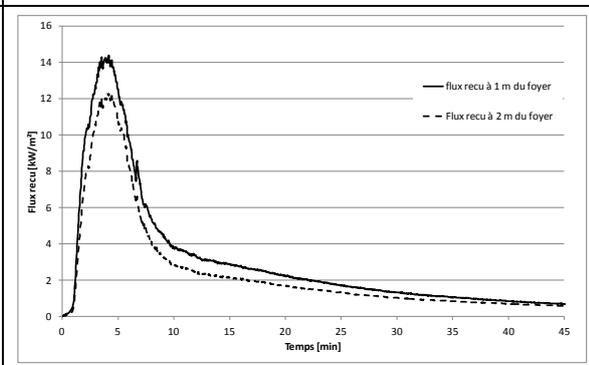
Evolution de la puissance



Evolution de l'énergie

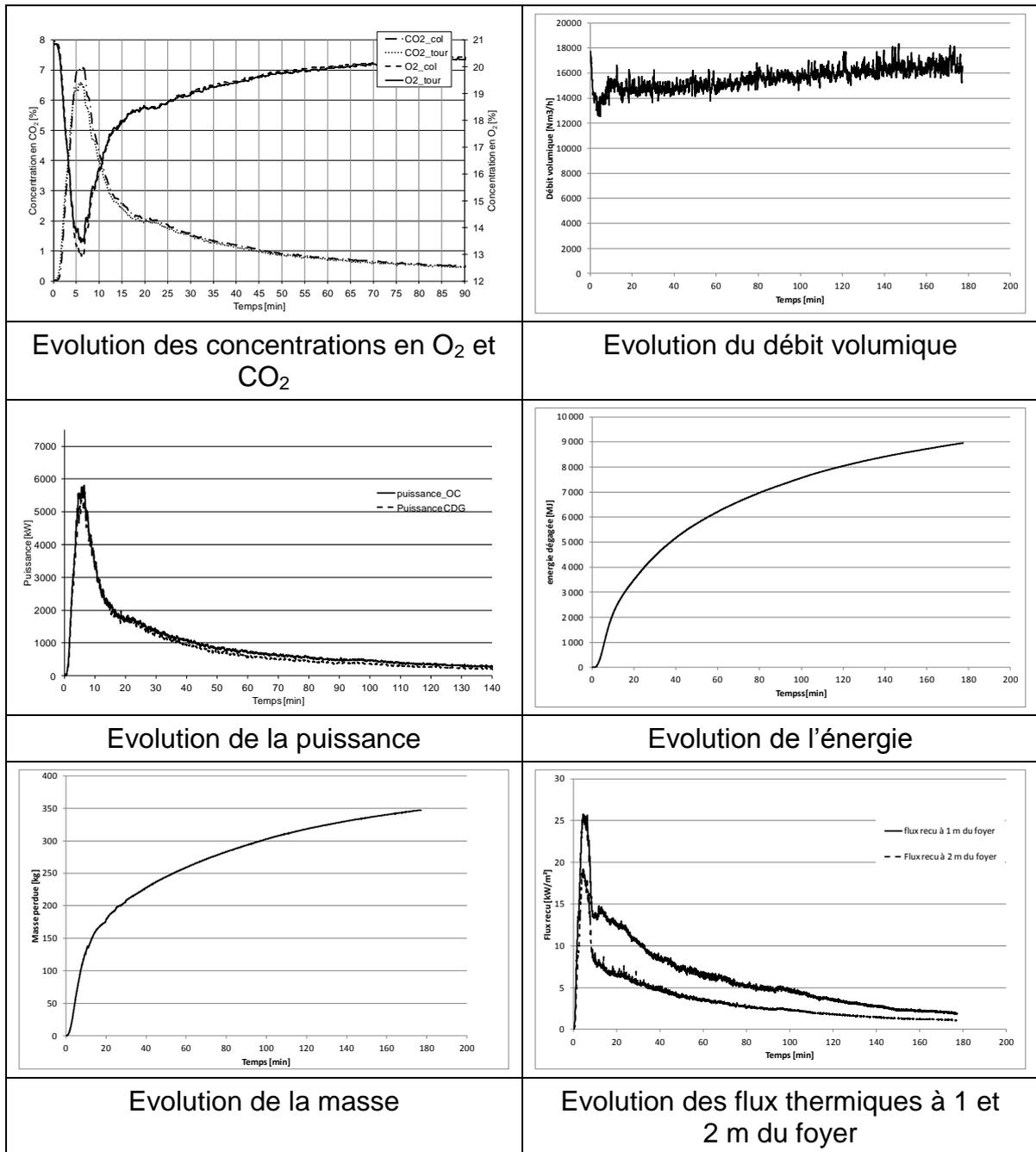


Evolution de la masse perdue



Evolution des flux thermiques à 1 et 2 m du foyer

Courbes obtenues lors de l'essai n°3



ANNEXE 3

**EXEMPLE DE RAPPORT POUR UN PRODUIT NON
COMBUSTIBLE AU SENS DE LA 1510 :
ESSAI INCENDIE D'UNE PALETTE DE CHAMPIGNONS ET
CHOUX DE BRUXELLES**

A-1. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION EXPERIMENTALE

A-1.1 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, schématisée sur la Figure A-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.

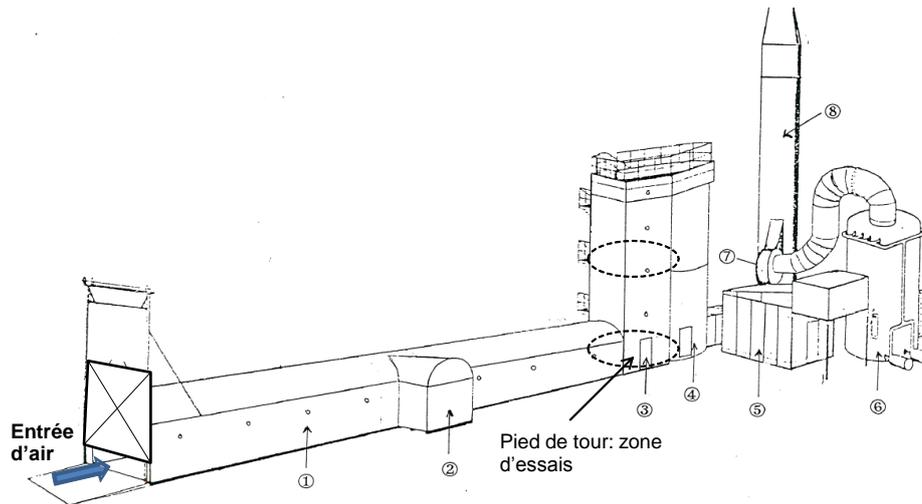


Figure A-1 : Schéma de la galerie incendie

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

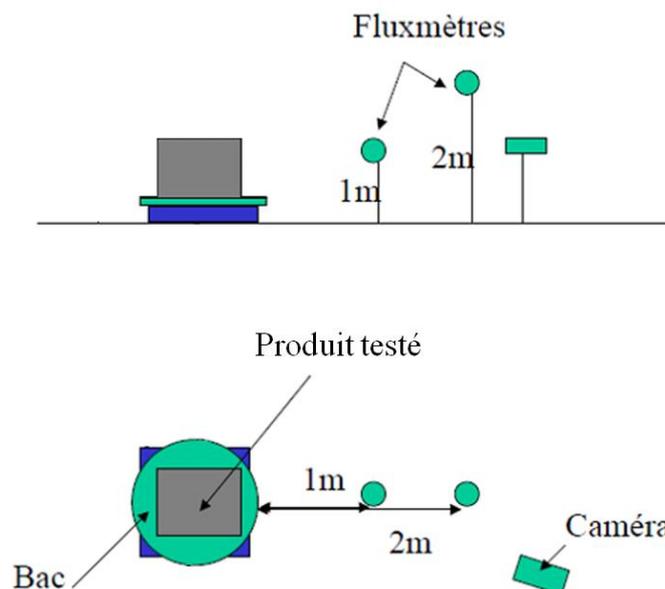


Figure A-2 : Représentation schématique de la métrologie des essais

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.

A-1-2 ESSAIS REALISES

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.

A-2. RESULTATS EXPERIMENTAUX

A-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 A-1. 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 A-1 : Composition des palettes de choux et champignons

A-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 A-3.

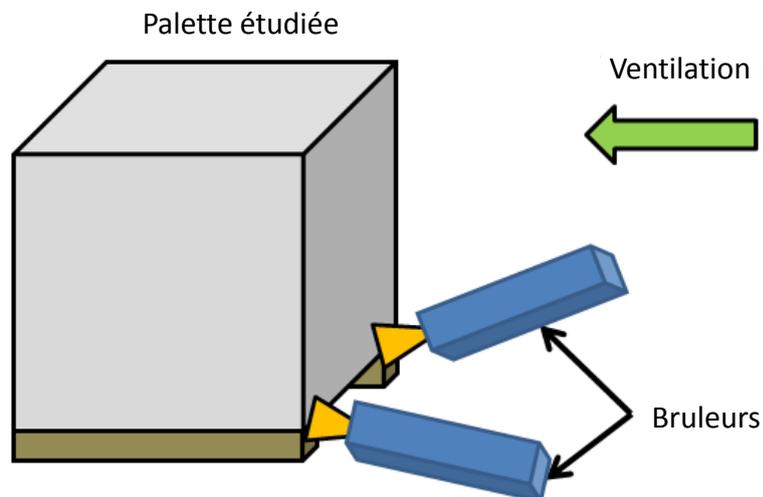


Figure A-3 : Position des brûleurs servant à l'allumage de l'essai 1

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 A-4 avec chacune des méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

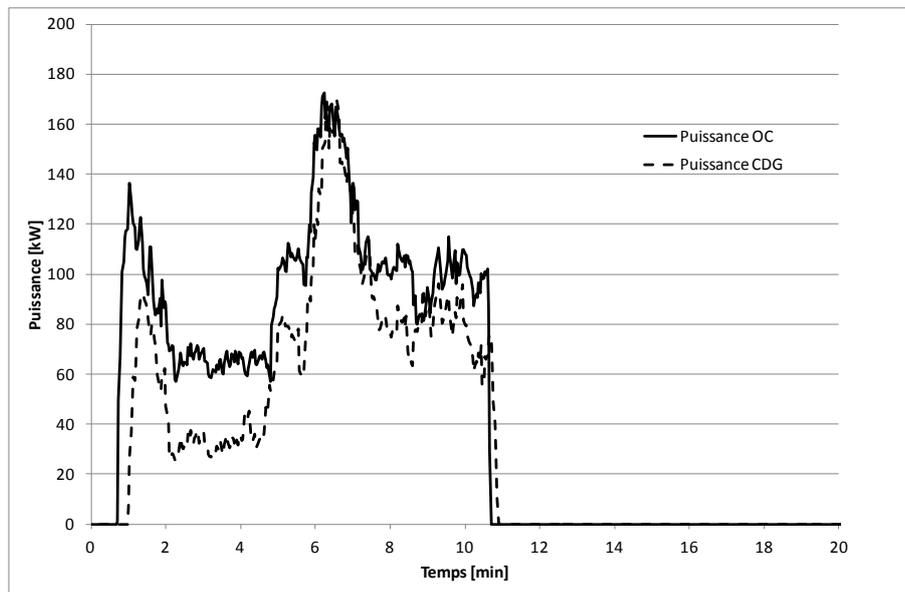
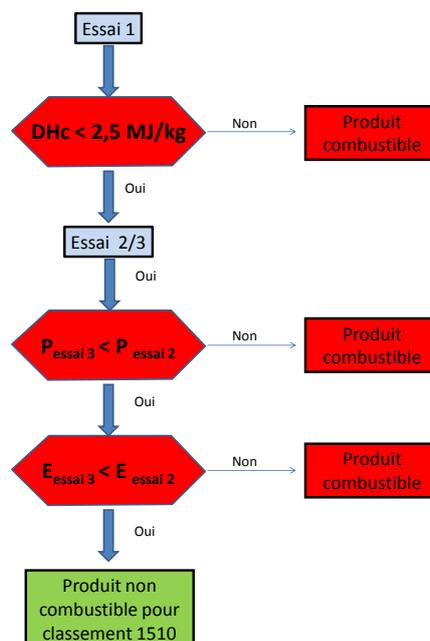


Figure A-4 : Puissance obtenue lors de l'essai n°1, comparaison des méthodes OC et CDG.

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 suivante.



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

La Figure A-5 montre les concentrations en O₂ et CO/CO₂ dans la tour et dans la colonne mesurée lors de l'essai n°1.

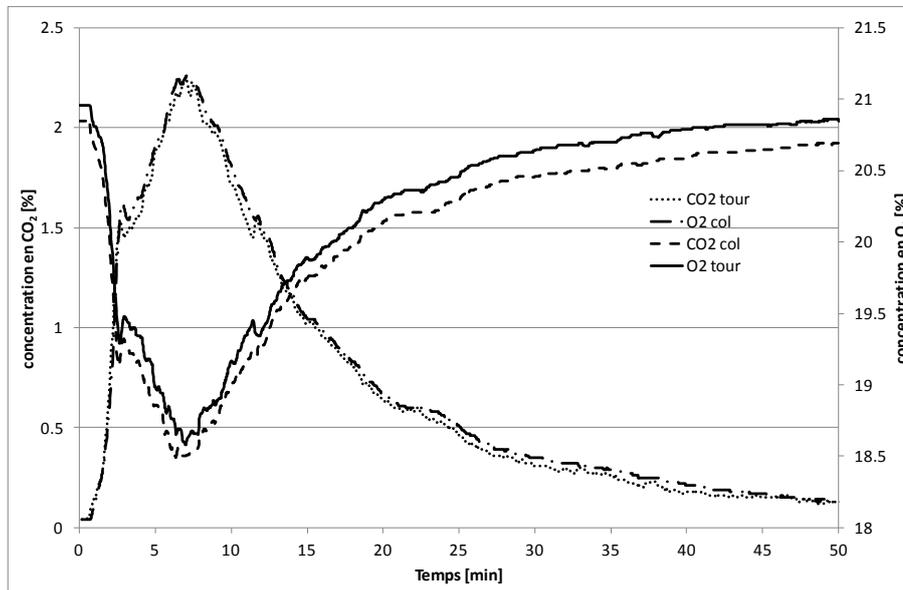


Figure A-5 : Comparaison des concentrations en O₂ et CO / CO₂ pour les 2 points de mesure

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.

A-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 développée par ce dernier sont comprises dans les courbes « à blanc ».

La Figure A-6 présente de manière schématique l'organisation de l'Essai 2.

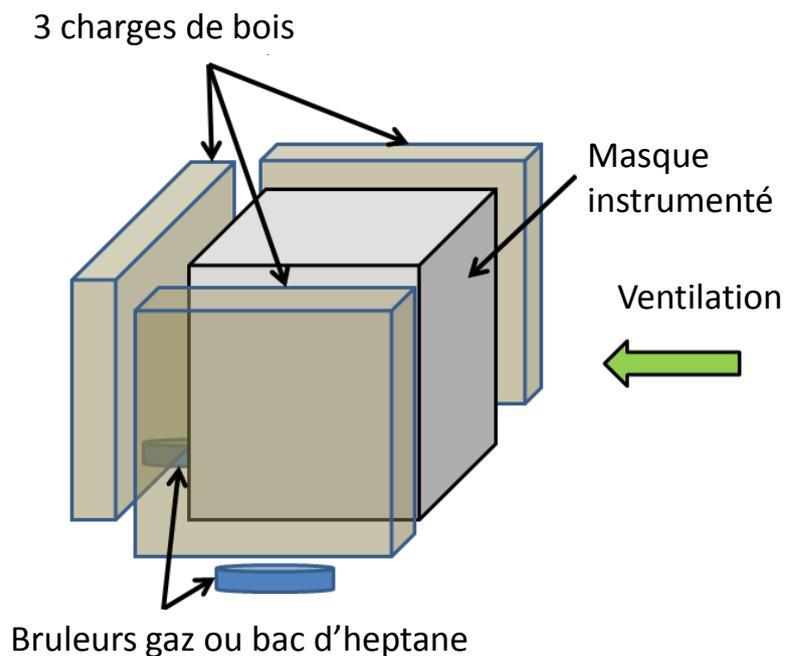


Figure A-6 : Schématisation de l'essai 2 avec bacs d'heptane

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 A-7 montre l'évolution de la puissance individuelle des agressions pour l'essai n°2.

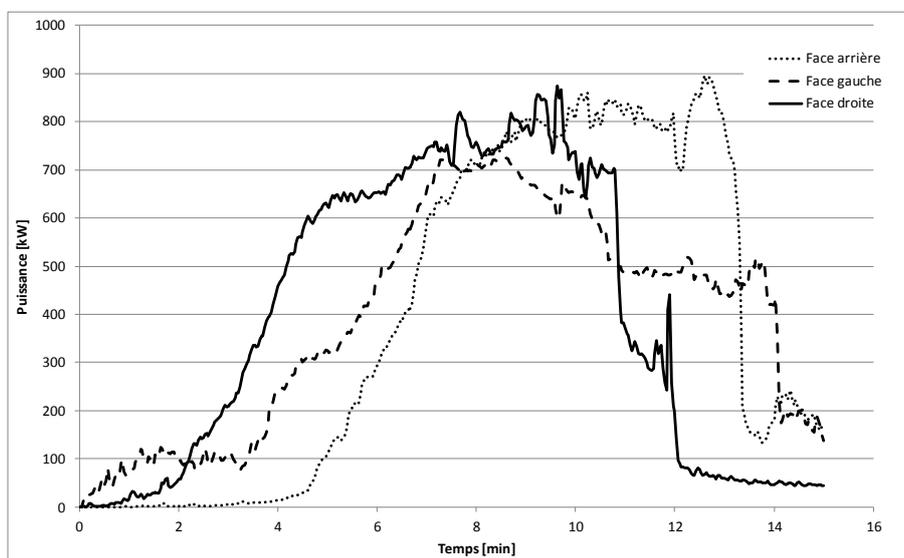


Figure A-7 : Evolution de la puissance de l'agression retenue.

A-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 A-8. Sur cette courbe est également représentée la courbe de puissance obtenue lors de l'essai n°2.

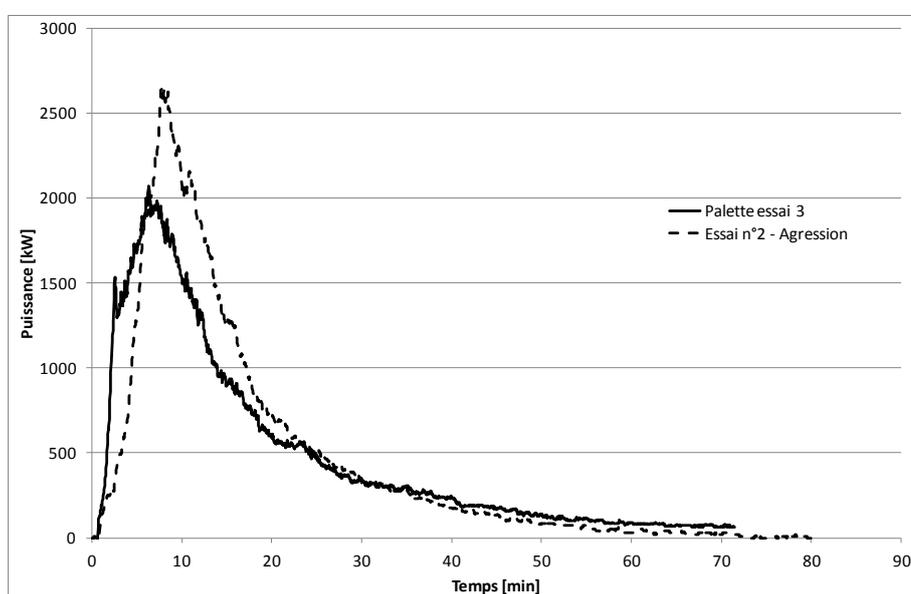


Figure A-8 : Evolution de la puissance totale pour l'essai 3 avec une palette de champignons et choux de Bruxelles.

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 A-9 montre l'évolution de l'énergie dégagée pour ces deux essais.

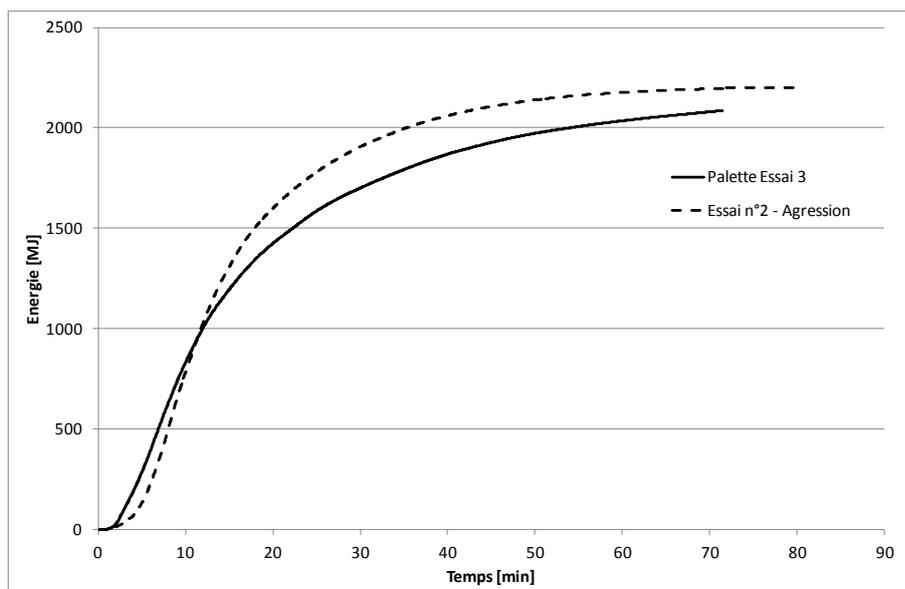


Figure A-9 : Evolution de l'énergie totale dégagée lors de l'essai 3 avec une palette de champignons et choux de Bruxelles

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

A-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.

A-2-6 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

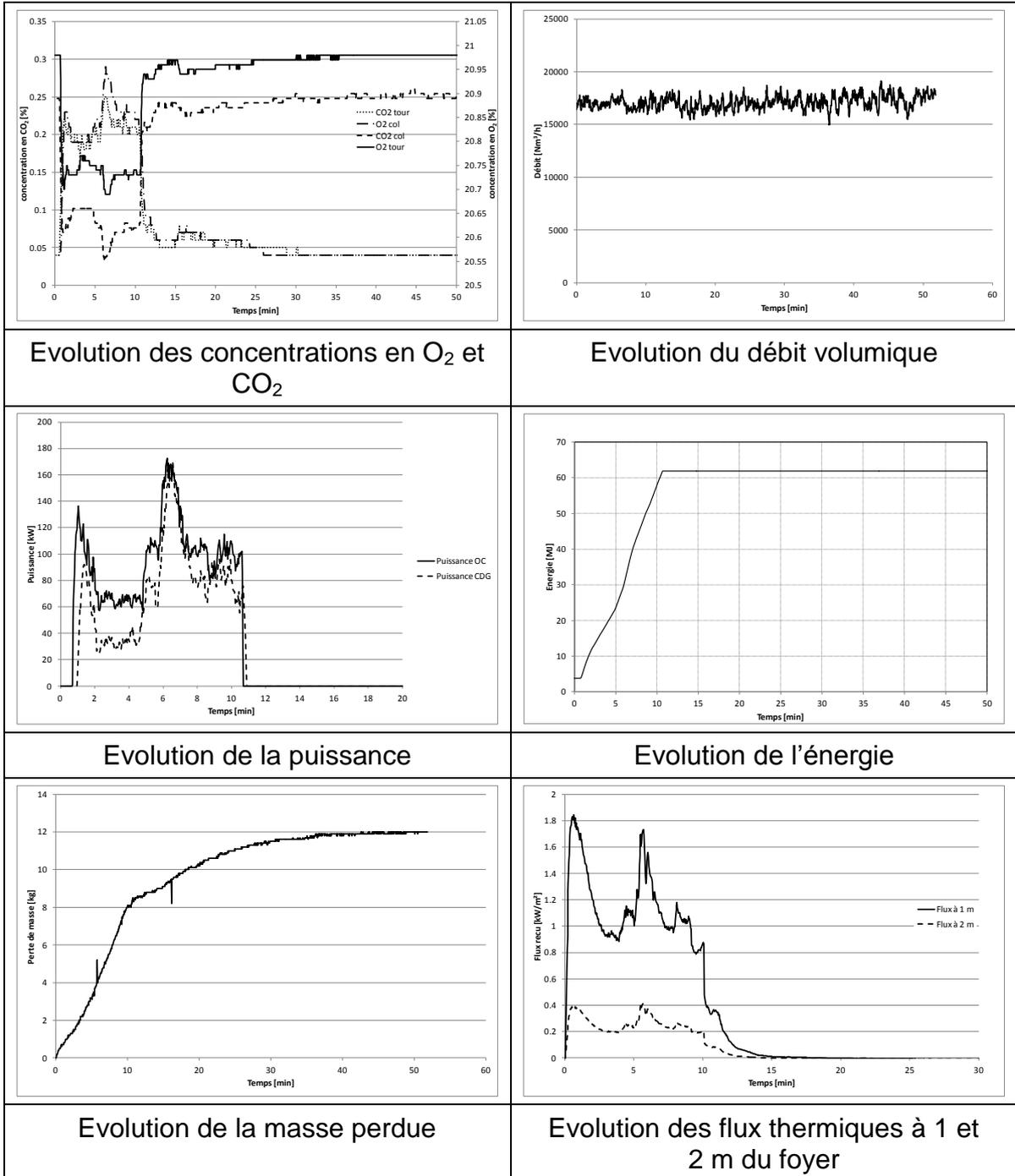
Ainsi, pour des palettes respectant une proportion minimale de choux de Bruxelles et Champignons, par rapport à la masse combustible totale, de 93%, les palettes pourront être considérées comme non classables en tant que combustible sous la rubrique 1510.

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.

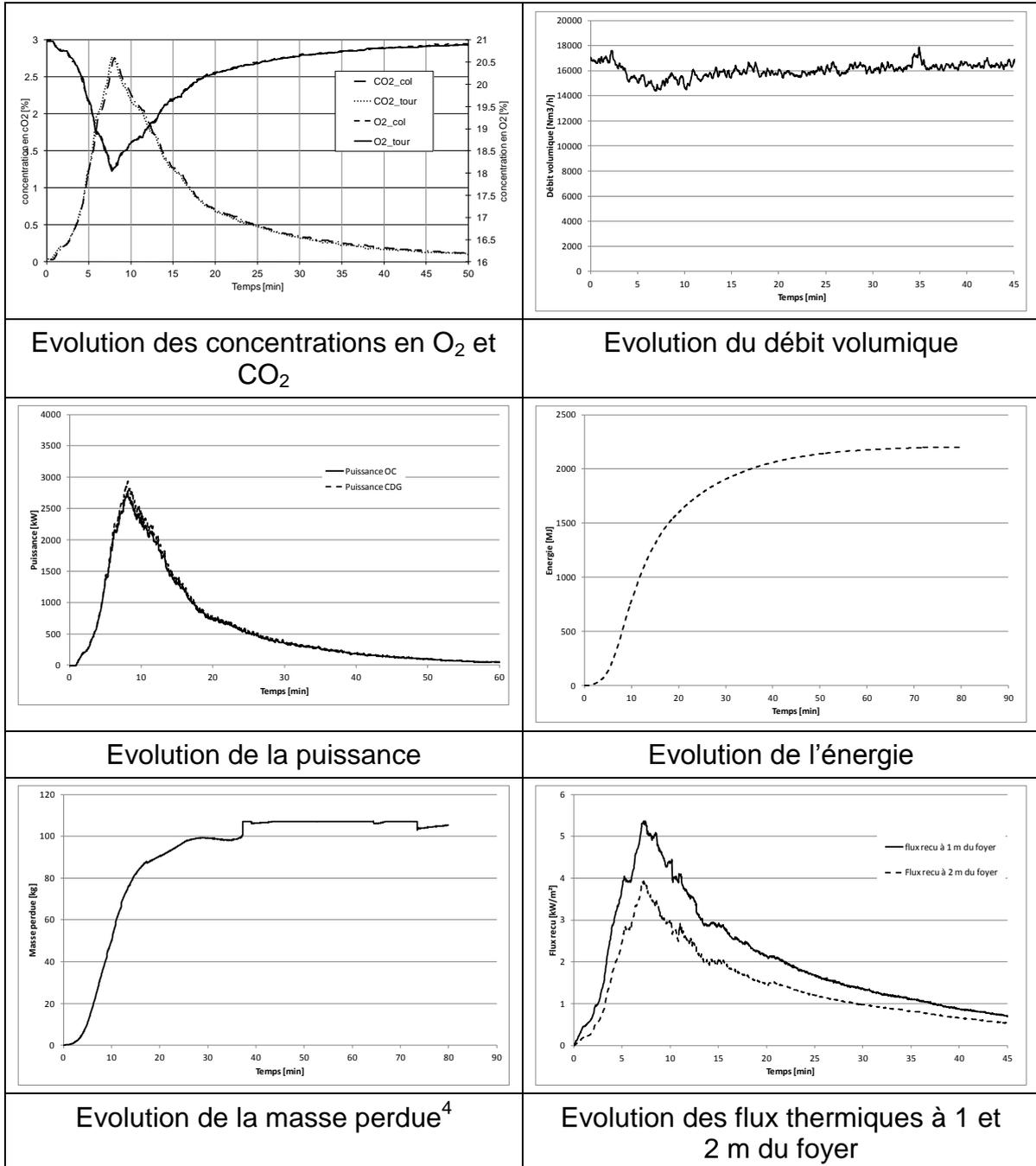
Ce constat n'est valable que pour une palette remplissant l'ensemble de ces conditions. Dans la négative, une expertise complémentaire pouvant nécessiter la réalisation de nouveaux essais est nécessaire pour justifier le classement ou non en combustible sous la rubrique 1510.

A-3. COURBES D'EVOLUTION DES GRANDEURS PHYSIQUES

A-3-1 COURBES OBTENUES LORS DE L'ESSAI N°1

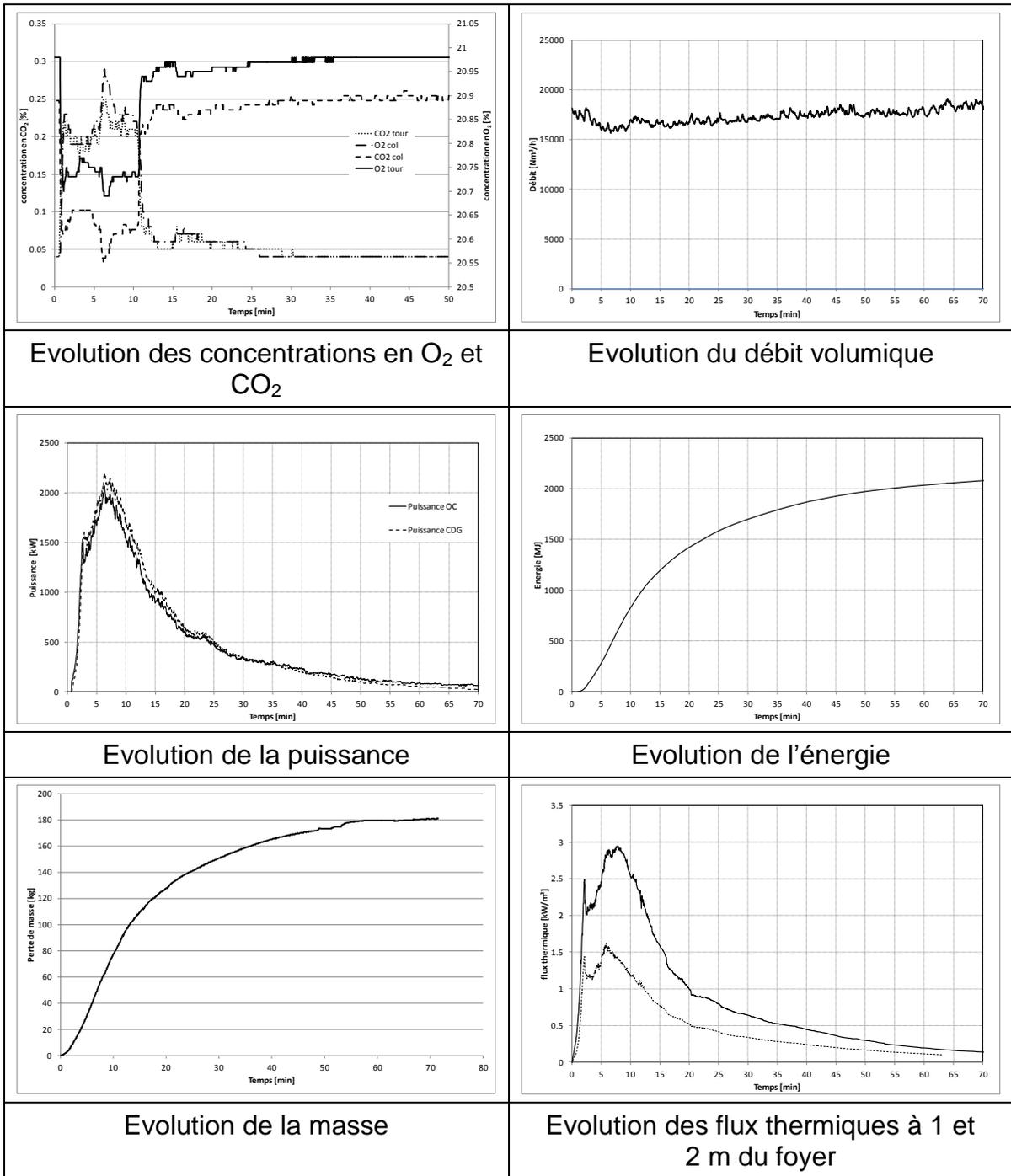


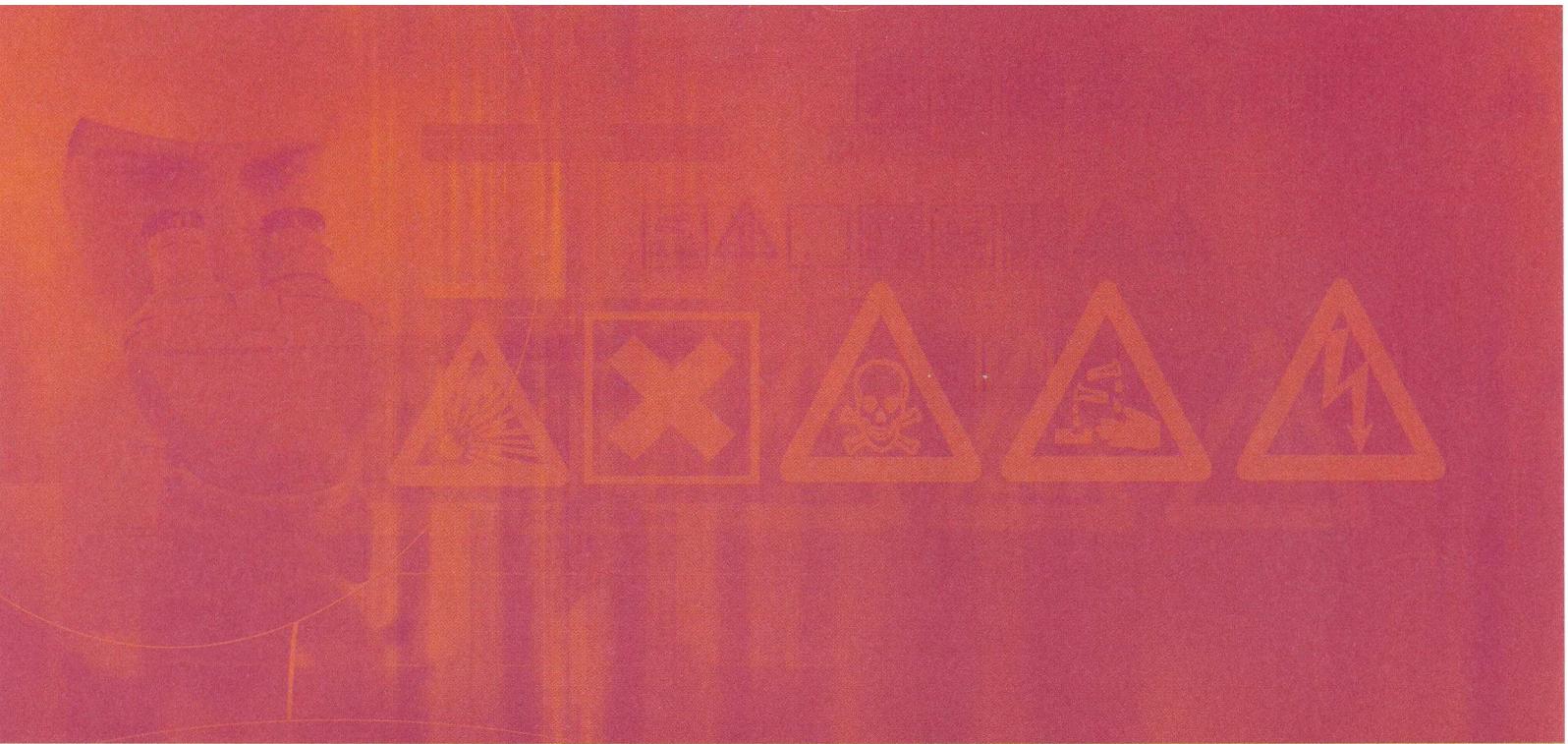
A-3.2 COURBES OBTENUES LORS DE L'ESSAI N°2



⁴ La mesure de masse a été faussée lors de l'essai, l'échantillon étant entré en contact avec les parois.

A3.3 COURBES OBTENUES LORS DE L'ESSAI N°3





*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet :** <http://www.ineris.fr>