



Efectis France
Espace Technologique
Bâtiment Apollo
Route de l'Orme des Merisiers
F-91193 Saint-Aubin
Tél : 33 (0)1 60 13 83 80

RAPPORT D'ESSAI

Référence : 23-000033-MBU
Affaire : 22-004963-ME

ESSAI DE CARACTERISATION SOUS HOTTE CALORIMETRIQUE DE LA COMBUSTION DE PALETTES SELON LE PROTOCOLE FLUMILOG

PALETTES DE DONUTS SURGELES

Client demandeur VANDEMOORTELE BAKERY PRODUCTS
Référence et date de commande Commande n°4502547137 du 02 Janvier 2023
Projet Essai de caractérisation d'une référence de palette

Date : 23/01/2023
Indice de révision : A
Nombre de pages : 50

Auteur(s) :
Mathilde Brun

SUIVI DES MODIFICATIONS

Indice de révision	Date	Modifications
A	23/01/2023	Version initiale

SOMMAIRE

1. Introduction.....	5
2. Documents de référence	7
3. Description de la palette de produits testés	8
4. Installation des essais.....	9
4.1.Hotte calorimétrique	9
4.2.Disposition de la palette	10
4.3.Instrumentation.....	10
4.3.1.Cheminée (venturi)	10
4.3.2.Pesée.....	11
4.3.3.Flux thermique	11
4.3.4.Localisation des points de mesure de flux.....	11
5. Résultats expérimentaux.....	13
5.1.Conditions initiales.....	13
5.2.Essai n°1 : palette seule	13
5.2.1.Allumage	13
5.2.2.Observations.....	13
5.2.3.Principaux résultats	14
5.3.Essai n°2 : calibration de l'agression.....	15
5.4.Essai n°3 : palette en configuration de stockage	17
5.4.1.Observations.....	18
5.4.2.Principaux résultats	18
6. Analyse des essais en protocole combustible	21
7. Conclusion	23
ANNEXE A : Hotte calorimétrique.....	24
A.1 Plan de la hotte	24
A.2 Vues de la hotte	25
ANNEXE B : Prises de vue	27
B.1 Essai 1	27
B.2 Essai 2	28
B.3 Essai 3	29
ANNEXE C : Données métrologiques essai 1	30
C.1 Concentration O2.....	30
C.2 Concentration CO2	31
C.3 Débit de fumées	32
C.4 Débit calorifique	33
C.5 Perte de masse.....	34
C.6 Energie consommée.....	35
C.7 Flux thermiques	36
ANNEXE D : Données métrologiques essai 2	37
D.1 Concentration O2.....	37
D.2 Concentration CO2	38
D.3 Débit de fumées.....	39
D.4 Débit calorifique	40

D.5 Perte de masse.....	41
D.6 Energie consommée.....	42
D.7 Flux thermiques.....	43
ANNEXE E : Données métrologiques essai 3	44
E.1 Concentration O2.....	44
E.2 Concentration CO2.....	45
E.3 Débit de fumées.....	46
E.4 Débit calorifique.....	47
E.5 Perte de masse.....	48
E.6 Energie consommée.....	49
E.7 Flux thermiques.....	50

1. INTRODUCTION

Le présent document constitue le rapport d'essais de caractérisation sous hotte calorimétrique de la combustion d'une palette **de donuts surgelés**, pour le compte de la société **VANDEMOORTELE**, selon le protocole FLUMilog.

Ces essais se placent dans le contexte de la mise en application de la doctrine générale n°BRTICP/2011-331/AL-PB du 28/11/11 [1] : Prise en compte du caractère « combustible » pour le classement sous la rubrique 1510.

Une palette de produits est considérée comme non combustible si elle est constituée uniquement de produits réalisés en matériaux classés A1 ou A2-s1-d0 au sens de l'arrêté du 21/11/2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement [2]. Ces matériaux, à l'exception de ceux classés A1 en application du tableau du paragraphe I de l'annexe 3, (« classement conventionnel sans essais préalables »), disposent de procès-verbaux précisant ce classement.

Dans les autres cas, les palettes de produits sont à prendre en compte en tant que « combustibles » pour le classement de l'activité d'entreposage, sauf si des essais réalisés selon un protocole reconnu par la DGPR [4] démontrent que les trois critères suivants sont tous respectés :

- **Critère 1** : 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 ;
- **Critère 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 ;
- **Critère 3** : 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.

Ces critères sont déterminés sur la base de trois essais qui se déclinent ainsi :

- **Essai 1** : essai avec la palette complète avec pour source d'ignition un bac d'heptane ayant une courte durée de combustion dans le but de vérifier le premier critère énoncé ;
- **Essai 2** : essai avec une charge calorifique équivalente à celle des produits combustibles identifiés sur la palette testée ;
- **Essai 3** : essai avec la palette complète agressée sur trois faces par la charge calibrée lors de l'essai 2.

La comparaison des essais 2 et 3 permet de vérifier les deux critères restants du protocole.

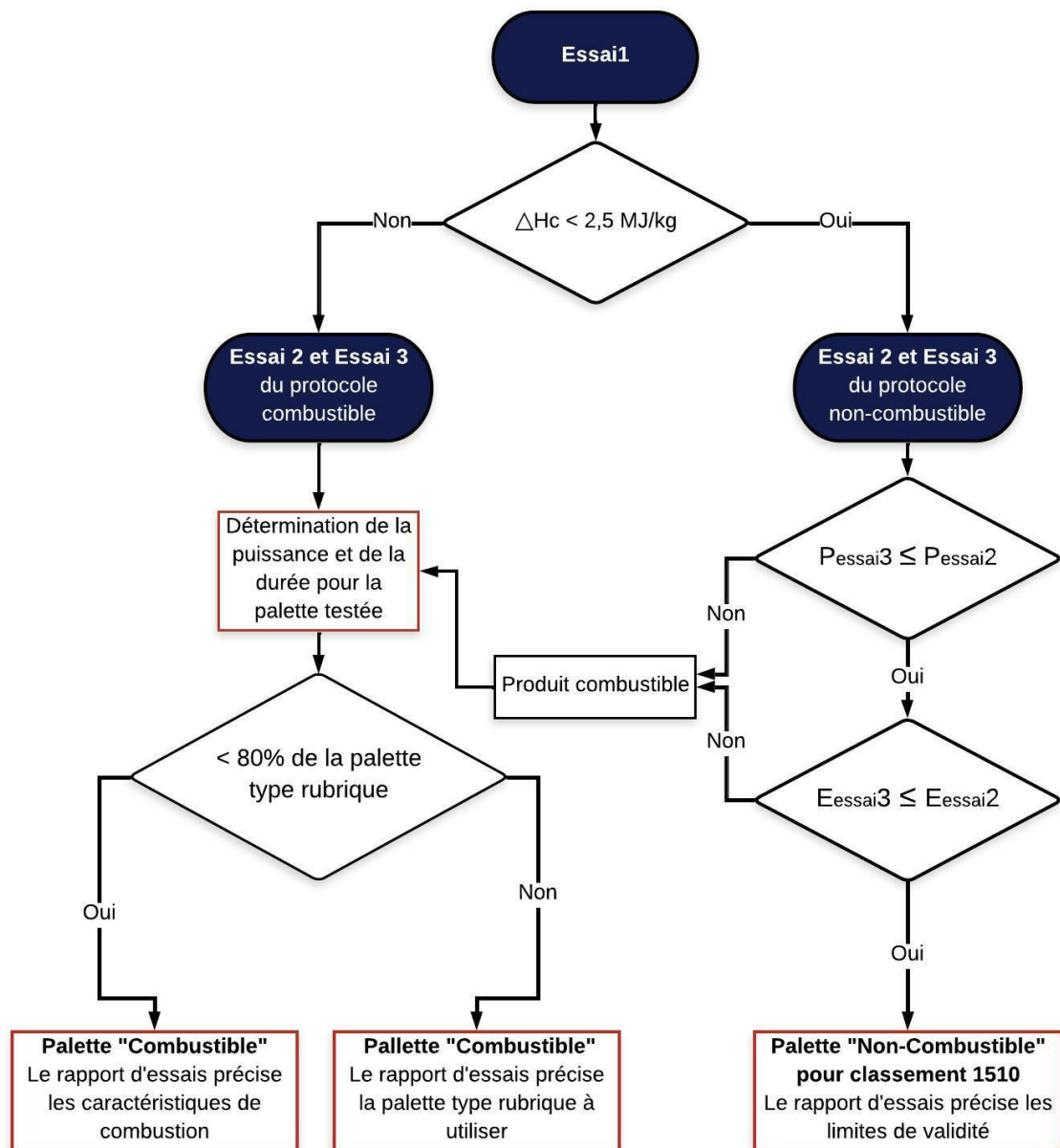


Figure 1-1: Synoptique du protocole Flumilog [4]

2. DOCUMENTS DE REFERENCE

- [1] Note de doctrine Générale BRTICP/2011-331/AL-PB du 28 novembre 2011
- [2] Arrêté du 21 Novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction et d'aménagement (publié au JORF du 31 décembre 2002)
- [3] FLUMILOG : Description de la méthode de calcul des effets thermiques produits par un feu d'entrepôt. Rapport INERIS/CTIM/CNPP/IRSN/EFFECTIS France DRA-09-90977-14553A, Version 2.04/08/2011
- [4] FLUMILOG : Protocole d'essais de caractérisation de l'incendie d'une palette – Rapport INERIS DRA-13-133881-07549A, Mars 2014
- [5] The relation of oxygen to the heat of combustion of organic compounds, M. Thornton. Phil. Mag. 3., 1917
- [6] The Measurement of Heat Release Rates by Oxygen Consumption Calorimetry in Fires Under Suppression. B. Z. Dlugogorski, J. R. Mawhinney and V. Huu Duc Fire safety Science proceeding of the 4th Int. Symp., Ottawa, 1994
- [7] Generation of Heat and Fire Products. A. TEWARSON, Technical report of Factory Mutual, May 1995.
- [8] Heats of combustion representative of the carbohydrate mass contained in fruits, vegetables, or cereals. Food Sci Nutr. 2019 ; 7:3119–3127Martínez-Navarro A-G, Orozco- Guareño E, Sánchez-Peña M-J, López-Naranjo E-J, Muñoz-Mendoza P, González-Ortiz L-J.
- [9] Fire Safety in cold stores "La sécurité incendie dans les entrepôts frigorifiques", Institut International du Froid, 1987.
- [10] Rapport Intermédiaire – Spécificités des entrepôts au regard de l'incendie – DRA-03, INERIS, Juin 2000
- [11] Evaluation des phénomènes dangereux (incendie, explosion, dispersion) et de leurs conséquences – Programme DRA 72 - Opération I1 : Base de Données Produits FLUMILOG
- [12] Fiche technique de palettisation transmise par email de Madame Corinne RINGUET (VANDEMOORTELE) le 06/01/2023

3. DESCRIPTION DE LA PALETTE DE PRODUITS TESTES

La palette de donuts surgelés, de dimensions totales 1200 cm x 800 cm x 1921 cm est composée :

- De donuts en vrac
- De sachets plastique de conditionnement et film de palettisation ;
- D'emballages en carton ;
- Et d'une palette support en bois de dimensions 80 cm x 120 cm.

La palette totale est composée de 8 couches de 8 cartons comprenant chacun 72 donuts. La masse totale mesurée de la palette testée est d'environ 250 kg. Les masses totales de plastique et de carton composant l'emballage, ainsi que de donuts, sont déterminées sur la base des informations fournies dans la fiche de palettisation [12] et sur la base de pesées unitaires réalisées avant les essais.

La chaleur de combustion des donuts n'est pas connue en l'état. Les données disponibles dans la littérature [8][9][10][11] concernant par exemple le pain (10 MJ/kg), la farine (~4,1 MJ/kg), et le beurre (35 à 38 MJ/kg) permettent d'estimer de façon sécuritaire la chaleur de combustion des donuts entre 10 et 20 MJ/kg. Dans le cadre de la présente analyse, on retiendra une valeur moyenne de 15 MJ/kg.

Sur cette base, la chaleur de combustion moyenne théorique, déterminée à partir des chaleurs de combustion issues de la littérature [7][8][9][10][11], serait de l'ordre de **15,7 MJ/kg**.

Description	Masse (kg)	Chaleur combustion (MJ/kg)	Énergie (MJ)
Palette Bois	23,0	18	414
Carton (emballage)	22,0	18	395
Plastique (emballage et produit)	2,0	40	80,0
Produit (donuts)	203	15	3045
Total	250	15,7	3934

Tableau 3-1 : Estimation des masses élémentaires et chaleurs de combustion des produits stockés sur la palette de produit

On donne ci-dessous des illustrations des éléments composant la palette testée.



Figure 3-1 : Palette de donuts (gauche) et aperçu des produits stockés (droite)

4. INSTALLATION DES ESSAIS

4.1. HOTTE CALORIMETRIQUE

L'essai a été réalisé dans la hotte calorimétrique du laboratoire d'Efectis France implanté à Maizières-lès-Metz (57). Il s'agit d'une enceinte fermée, d'une surface au sol de 8 m x 8 m, surmontée d'une hotte et d'une cheminée centrale.

L'évacuation des fumées produites par le foyer situé à l'intérieur se fait naturellement par une cheminée d'une hauteur de 7,1 m, qui est un conduit métallique non protégé thermiquement. Celle-ci est munie d'un venturi (\varnothing 1200 / 840 mm) permettant une prise de données sur des fumées bien homogène et stable. La hauteur d'entraînement des fumées en dessous de la cheminée est de 6,2 m par rapport au sol.

L'amenée d'air frais dans la hotte est réalisée par quatre (4) trappes de ventilation basse, présentant un passage libre unitaire de 1000 x 700 mm (l x h), réparties sur deux faces : Est et Ouest. La face Nord est mitoyenne au bâtiment 4 et plus particulièrement au local de pilotage.

L'accès à la hotte par l'extérieur est réalisé par une porte à deux vantaux de passage libre 2000 x 3000 mm (l x h). Une porte d'accès de 2000 x 2500 mm (l x h) connecte la hotte au local de pilotage.

Sur les faces intérieures, l'enceinte est habillée sur une hauteur de 2,5 m d'une maçonnerie en béton cellulaire. Au-dessus, la hotte en inox est protégée par des plaques silico-calcaire ou de la laine minérale. Un bardage métallique a été disposé à l'extérieur.

Le détail de la hotte est présenté en ANNEXE A.



Figure 4-1 : Hotte calorimétrique d'Efectis France à Maizières-lès-Metz (57)

4.2. DISPOSITION DE LA PALETTE

La palette a été disposée sur des blocs de béton cellulaire afin de permettre la mise en place des bacs de foyer de départ de feu sous la palette, eux-mêmes positionnés au sein d'un bac de rétention au centre de la hotte. Cet ensemble est posé sur la balance. Le bac de rétention doit permettre de contenir la chute de produits sur la balance.

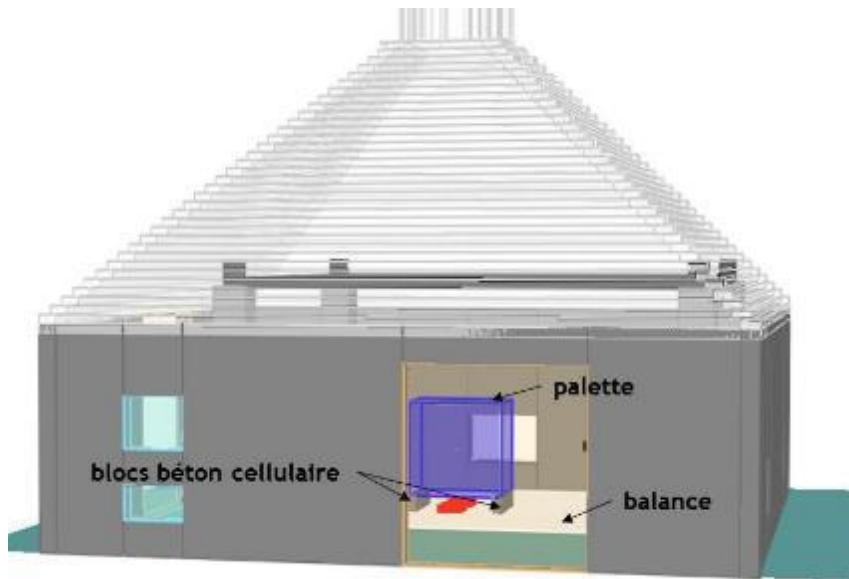


Figure 4-2 : Représentation de la disposition de la palette depuis l'entrée Nord de la hotte (local de pilotage)

4.3. INSTRUMENTATION

L'instrumentation pour cet essai comprend :

- Une balance pour la perte de masse de la palette avec une pesée en continu ;
- Un analyseur de gaz O₂, CO₂, CO pour la mesure des concentrations en gaz dans le venturi de la cheminée ;
- Un capteur de pression et un thermocouple pour la mesure du débit et température des fumées dans le venturi de la cheminée ;
- Deux fluxmètres devant la palette ;
- Une caméra pour l'enregistrement vidéo de l'essai.

L'acquisition a été réalisée par un enregistreur AOIP avec une fréquence de scrutation de 10 secondes.

4.3.1. Cheminée (venturi)

La pression différentielle au passage du tube Venturi était mesurée par un micro manomètre FURNACE CONTROL FCO 318, 0-200 Pa, utilisé sur sa plage de mesure 0 - 100 %.

Le débit volumique des fumées est ainsi calculé en fonction de la pression différentielle au passage du venturi et de la température des fumées qui permet de définir la masse volumique.

Les concentrations en O₂, CO₂ et CO étaient mesurées par prélèvement dans le venturi et un analyseur de gaz, muni d'une boucle de prélèvement rapide. Les plages de mesure des cellules de l'analyseur étaient les suivantes :

- O₂ : 0 à 25 %.
- CO₂ : 0 à 25 %.
- CO : 0 à 10 000 ppm.

Le débit calorifique a été calculé suivant les deux méthodes indiquées dans le document [2], à savoir :

- La méthode de consommation d'oxygène (OC) définie par Thornton [5]. Une correction de la valeur par les concentrations en dioxyde et monoxyde de carbone est employée [6].
- La méthode de production de dioxyde de carbone et monoxyde de carbone dans les fumées (CDG) initiée par Tewarson [7].

Implantation	Repères	Planche de résultats n°
Pression différentielle au passage du Venturi	Pr1	-
Concentration en oxygène O ₂	Gaz2	1
Concentration en dioxyde de carbone CO ₂	Gaz3	2
Concentration en monoxyde de carbone CO	Gaz4	-
Température des fumées (section basse Venturi)	Tc5	-
Température des fumées (section centrale Venturi)	Tc6	-
Débit volumique des fumées	Qv9	3

Tableau 4-1 : repérage des voies de mesures dans la cheminée et des planches de résultats en ANNEXE C, ANNEXE D et ANNEXE E

4.3.2. Pesée

La pesée en continu de l'échantillon d'essai était assurée par une plateforme de pesée réf. GIB4C3008 (PMA), muni de 4 pesons, de dimensions 3 000 x 2 000 mm, de portée 3000 kg, et de précision 500 g. La plateforme était reliée à un terminal de pesage analogique IT3000A, réf. SY13SYS501 avec une sortie analogique.

Implantation	Repères	Planche de résultats n°
Pesée de la palette et des bacs d'ignition et blocs béton de support	M4	5

Tableau 4-2 : repérage de la voie de mesure de pesée et de la planche de résultats en ANNEXE C, ANNEXE D et ANNEXE E

4.3.3. Flux thermique

Le flux thermique a été mesuré par deux fluxmètres.

Implantation	Repères	Planche de résultats n°
Fluxmètre à une hauteur de 1 m et une distance de 1 m de la face Nord de la palette	Fx15	7
Fluxmètre à une hauteur de 2 m et une distance de 2 m de la face Nord de la palette	Fx16	7

Tableau 4-3 : repérage de la voie de mesure de flux et de la planche de résultats en ANNEXE C, ANNEXE D et ANNEXE E

4.3.4. Localisation des points de mesure de flux

Les fluxmètres ont été placés pour l'un à une distance de 1 m de la face Nord de la palette et une hauteur de 1 m et pour l'autre à une distance de 2 m et une hauteur de 2 m.

■ Fluxmètres

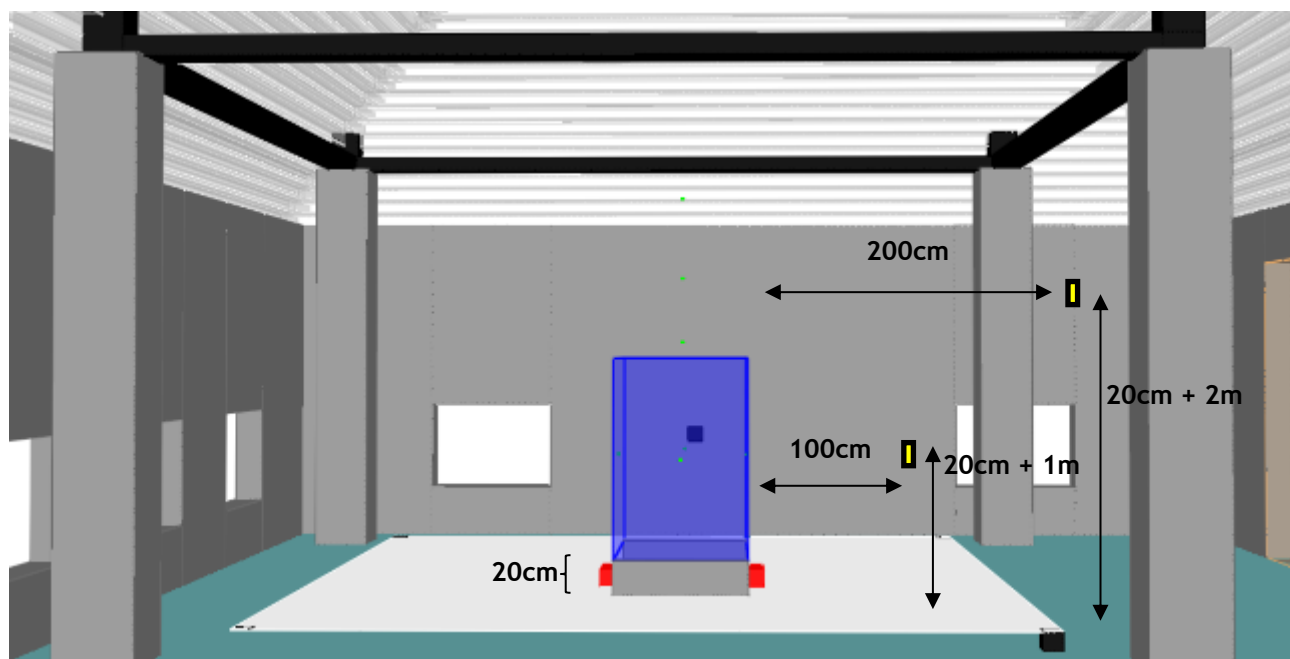


Figure 4-3 : Plan d'instrumentation depuis la face Est (entrée depuis l'extérieur)

5. RESULTATS EXPERIMENTAUX

5.1. CONDITIONS INITIALES

Les conditions météorologiques extérieures lors des essais réalisés les **10 et 11 janvier 2023** furent les suivantes :

Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Température [°C]	5,4	6	9,7
Pression atmosphérique [hPa]	1024,3	1022,1	1017
Humidité relative [%]	84	82	83
Point de rosée [°C]	2,9	3,2	7,1
Vitesse du vent [km/h]	25	18	18
Direction du vent	SSO	S	O

Tableau 5-1 : Caractéristiques météorologiques pendant les essais

5.2. ESSAI N°1 : PALETTE SEULE

L'ensemble des planches de données métrologiques est présenté en ANNEXE C.

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.

Cet essai permet de déterminer l'évolution de la puissance (débit calorifique) de la palette de produits brûlant de manière isolée et l'énergie totale dégagée par cette combustion. L'évaluation de la puissance se fera à l'aide des deux méthodes (OC et CDG).

On note que les essais ont été réalisés peu de temps après livraison de la palette surgelée, afin de garantir la représentativité des conditions par rapport aux palettes qui seront réellement stockées.

5.2.1. Allumage

Pour le démarrage de la palette de produits, un bac de 30 x 30 cm² avec 3 cm d'heptane a été disposé sous la palette, surélevée de 20 cm. La puissance dégagée par ce bac est d'environ 150 kW.

5.2.2. Observations

Les observations qualitatives relevées lors de l'essai 1 de palette de plats sont indiquées ci-dessous :

Temps [min]	Temps [hh:mm:ss]	Observations	Photos
0.00	00:00:00	Allumage	
2.28	00:02:17	Combustion rapide de l'emballage carton et effondrement progressif des premiers cartons de donuts	Photo B-1
4.83	00:04:50	Pic de puissance	
5.50	00:05:30	Poursuite de l'effondrement progressif des cartons et donuts	
6.03	00:06:02	Effondrement massif d'une partie de la palette	Photo B-2
7.02	00:07:01	Effondrement massif du reste de la palette provoquant une baisse de la puissance	Photo B-3
30.00	00:30:00	La combustion progressive des derniers cartons entraîne une augmentation relative de la puissance	
50.00	00:50:00	La combustion se poursuit, les donuts effondrés forment un tas, avec une puissance assez stable, qui tend à la décroissance	
70.00	01:10:00	La puissance est toujours en décroissance, au gré de la combustion des donuts restants.	Photo B-4
120.00	02:00:00	Les flammes commencent à diminuer	
164.50	02:44:30	Fin d'essai	

Tableau 5-2 : Observations au cours de l'essai 1 pour la palette de produits

5.2.3. Principaux résultats

L'évolution de la puissance est présentée sur la Figure 5-1 avec chacune des deux méthodes de calorimétrie (OC et CDG), les deux approches donnant des résultats similaires.

La puissance maximale (débit calorifique) mesurée lors de cet essai est de **1 160 kW (méthode consommation d'O₂)**. L'énergie totale dégagée durant cet essai est d'environ **2 836 MJ**.

La chaleur de combustion calculée à partir de l'énergie totale dégagée ramenée à la masse de la palette (250 kg) est de **11,34 MJ/kg**. Cette valeur est cohérente avec l'ordre grandeur estimé de **15,7 MJ/kg** (cf. Tableau 3-1), tenant compte de l'incertitude sur la chaleur de combustion des donuts, et de la quantité de produits n'ayant pas brûlé avant arrêt de l'essai (une cinquantaine de kilogrammes restants après 2h30 d'essai).

La chaleur de combustion déterminée est bien supérieure à 2.5 MJ/kg et ne **répond pas au premier critère défini dans le protocole FLUMilog [4]** permettant le choix de protocole (voir Figure 1-1). Les essais 2 et 3 sont donc réalisés selon le protocole d'essai « combustible » visant à déterminer la puissance et la durée de combustion de la palette.

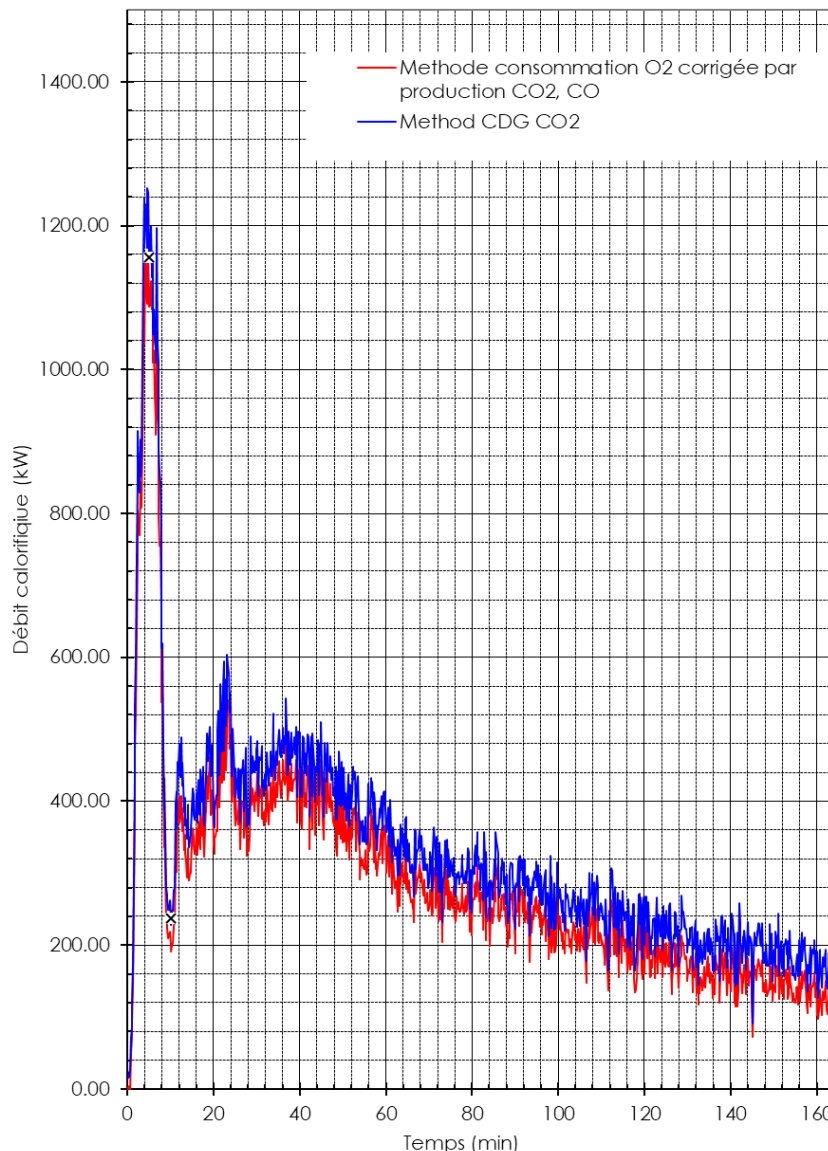


Figure 5-1 : Évolution du débit calorifique de l'essai 1

5.3. ESSAI N°2 : CALIBRATION DE L'AGRESSION

L'ensemble des planches de données métrologiques est présenté en ANNEXE D.

Il s'agit dans le cas d'un produit testé selon le protocole combustible, de générer une agression représentative de l'incendie de la palette seule, sur chacune des trois faces en reproduisant le pic de puissance observé lors de l'essais 1, soit 1 160 kW.

Une masse de bois de 3 palettes Europe par face est conséquente et permet de représenter le pic de puissance réaliste tout en maintenant des conditions de sécurité acceptables vis-à-vis des personnes et des installations. On considère ainsi un essai avec 9 palettes Europe de masse unitaire environ égale à 20 kg.

Un masque inerte, en bloc de Siporex, est positionné en lieu et place de la palette de produits. Il permet de limiter le rayonnement de l'incendie des palettes les unes sur les autres, pour reproduire de façon la plus fidèle possible les conditions de l'Essai 3 suivant, avec la palette de produits.



Figure 5-2 : Photo du dispositif de l'essai 2

Des observations de l'essai 2 sont données en Annexe B.2, à travers les Photos B-5 à B-8.

La Figure 5-3 montre l'évolution de la puissance totale d'une agression sur 3 faces correspondant à l'essai n°2. On observe un pic de puissance à **2 846 kW** environ (*méthode consommation O₂, corrigée par production de CO₂, CO*).

L'énergie dégagée pendant cet essai est de **3 229 MJ**.

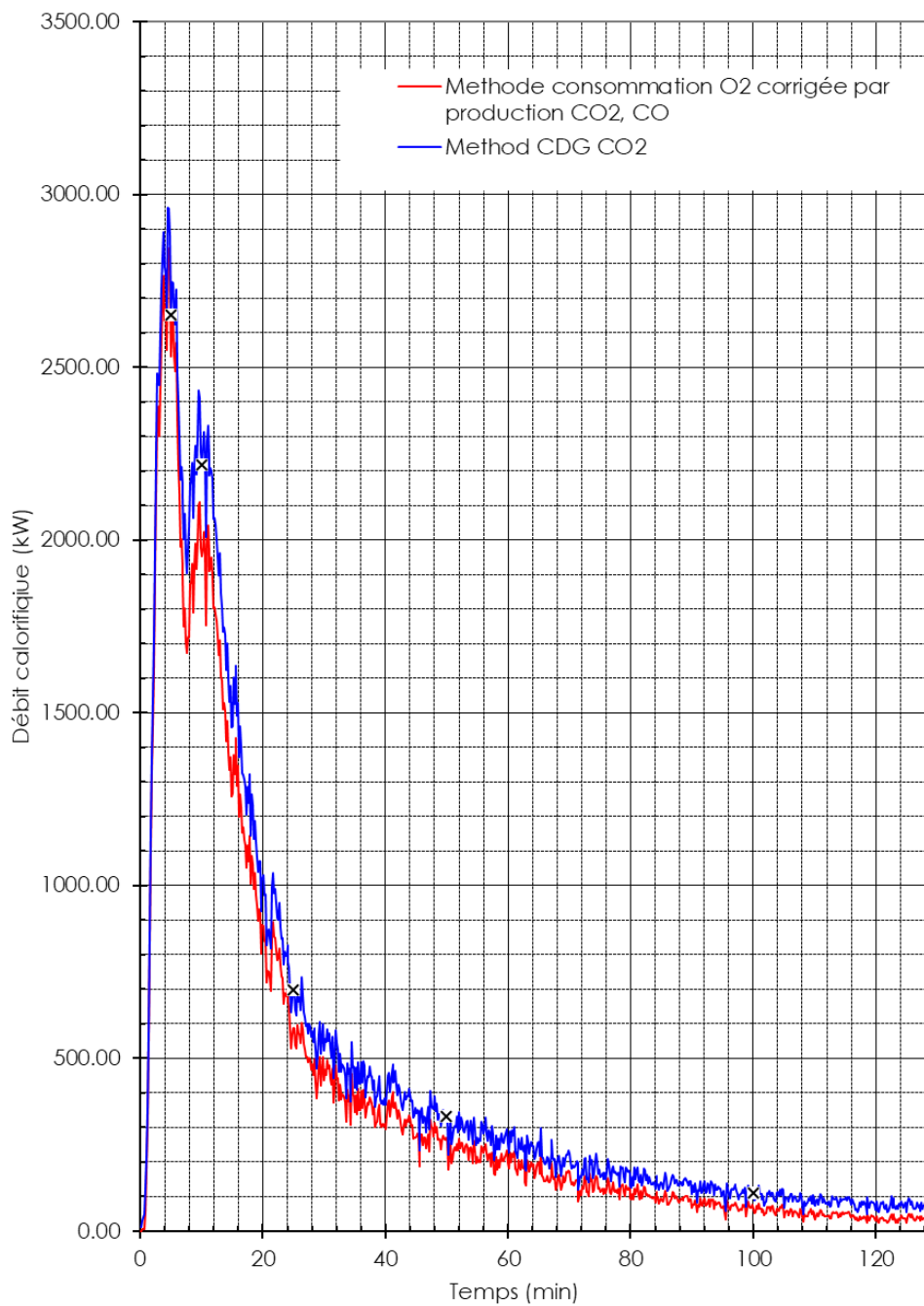
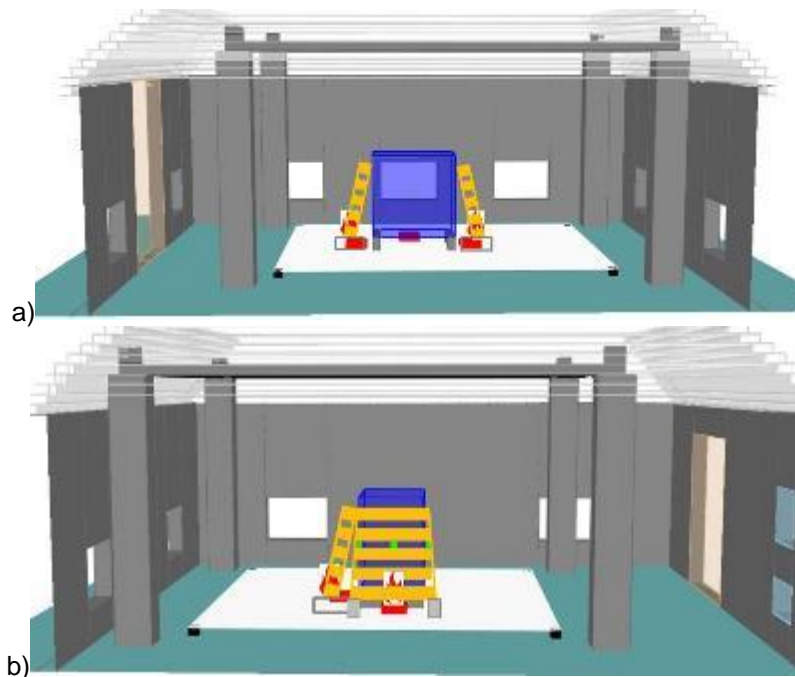


Figure 5-3 : Évolution de la puissance de l'agression retenue

5.4. ESSAI N°3 : PALETTE EN CONFIGURATION DE STOCKAGE

L'essai 3 est réalisé afin de reproduire la proximité de palettes voisines lors du stockage en entrepôt. L'influence de ces palettes est reproduite par l'agression déterminée lors de l'essai 2 et appliquée sur 3 faces de la palette testée.



**Figure 5-4 : Principe de disposition des foyers calibrés autour de la palette de produits
a) vue de face b) vue de côté**

La palette est positionnée dans un bac grillagé afin d'éviter le plus possible toute chute de produits en dehors de la balance et d'assurer la combustion des produits présents sur la palette.



Figure 5-5 : Principe de disposition des foyers calibrés autour de la palette de produits - Essai 3

5.4.1. Observations

Temps [min]	Temps [hh:mm:ss]	Observations	Photos
0.00	00:00:00	Allumage	
2.50	00:02:30	Combustion rapide de l'emballage carton et effondrement progressif des premiers donuts	Photo B-9
5.92	00:05:55	Effondrement massif d'une partie de la palette	Photo B-10
13.67	00:13:40	Pic de puissance	Photo B-11
18.00	00:18:00	Les donuts effondrés forme un tas entre les palettes bois. Une combustion vive se maintient.	
19.50	00:19:30	Effondrement progressif des palettes bois	
33.43	00:33:26	Toutes les palettes bois sont effondrées, les flammes décroissent très progressivement. La combustion du tas formé par les cartons et donuts restants se poursuit	Photo B-12
62.00	01:02:00	Le tas formé par les produits restants au centre du bac poursuit sa combustion, à puissance stable, très progressivement décroissante	
95.00	01:35:00	La combustion se poursuit toujours avec décroissance progressive de la puissance	
130.00	02:10:00	Fin d'essai	

Tableau 5-3 : Observations au cours de l'essai 3 et repérage des photos

5.4.2. Principaux résultats

L'ensemble des planches de données métrologiques pour l'essai n°3 est présenté en ANNEXE E.

Les résultats de l'essai n°3 permettent de comparer la puissance maximale mesurée lors de la combustion de la palette complète (Essai 3) à la puissance maximale mesurée lors de la combustion d'un équivalent aux combustibles présents sur la palette (Essai 2).

Sur la Figure 5-6 est représentée l'évolution de la puissance dégagée au cours de cet essai, comparée à celle de l'essai 2. On note un premier **pic de puissance moins important pour l'essai 3** que pour l'essai 2 (**2 247 kW** contre 2 846 kW). A l'inverse, le second pic de puissance est plus important pour l'essai 3 (**2 511 kW** contre 2 022 kW), les valeurs de puissance de l'essais 3 restant ensuite plus importante que celles de l'essais 2.

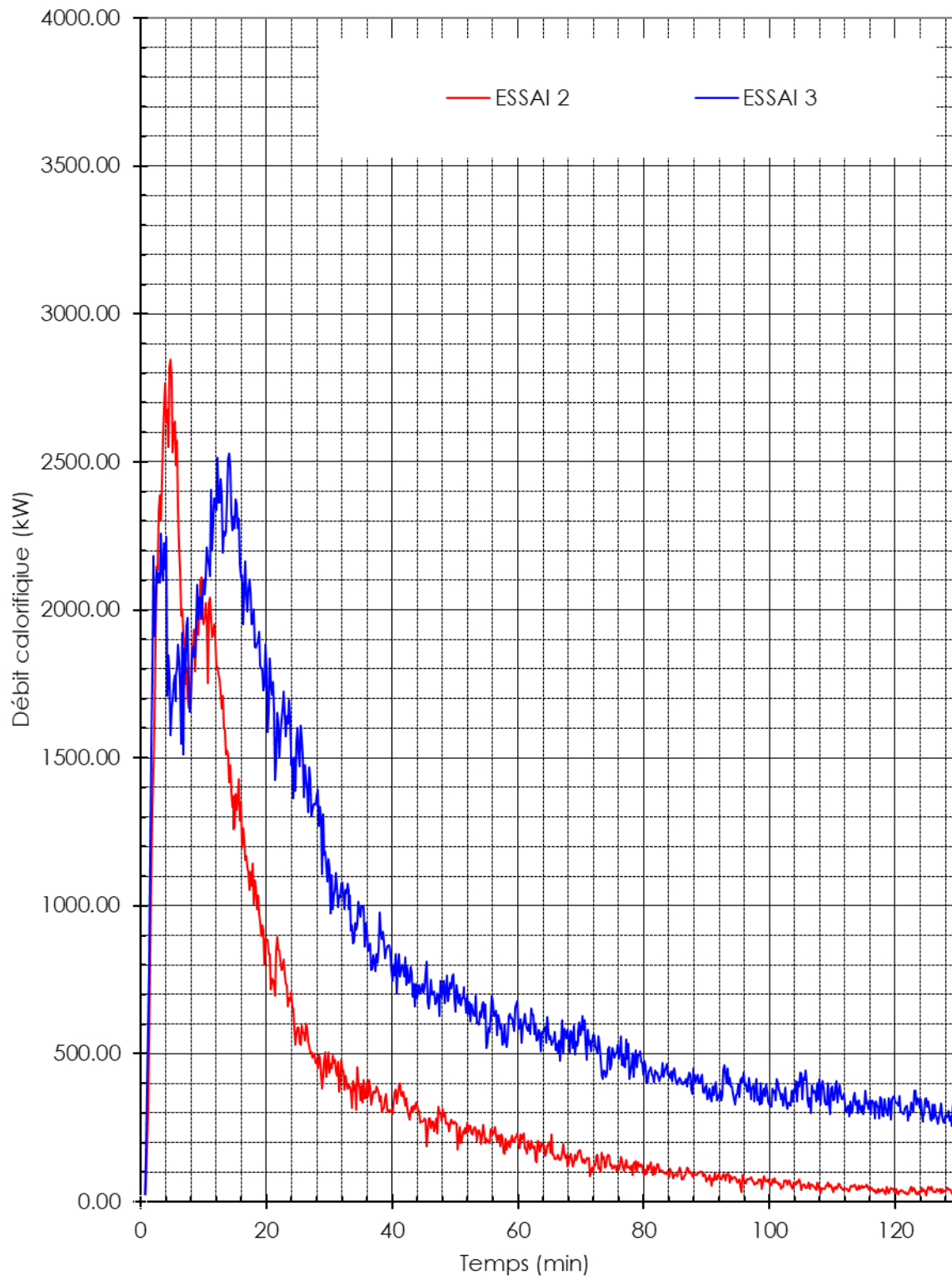


Figure 5-6 : Comparaison des courbes de puissance des essais 2 et 3

De même, comme le montre la figure suivante, l'énergie dégagée lors de l'essai 2 est inférieure à celle dégagée lors de l'essai 3.

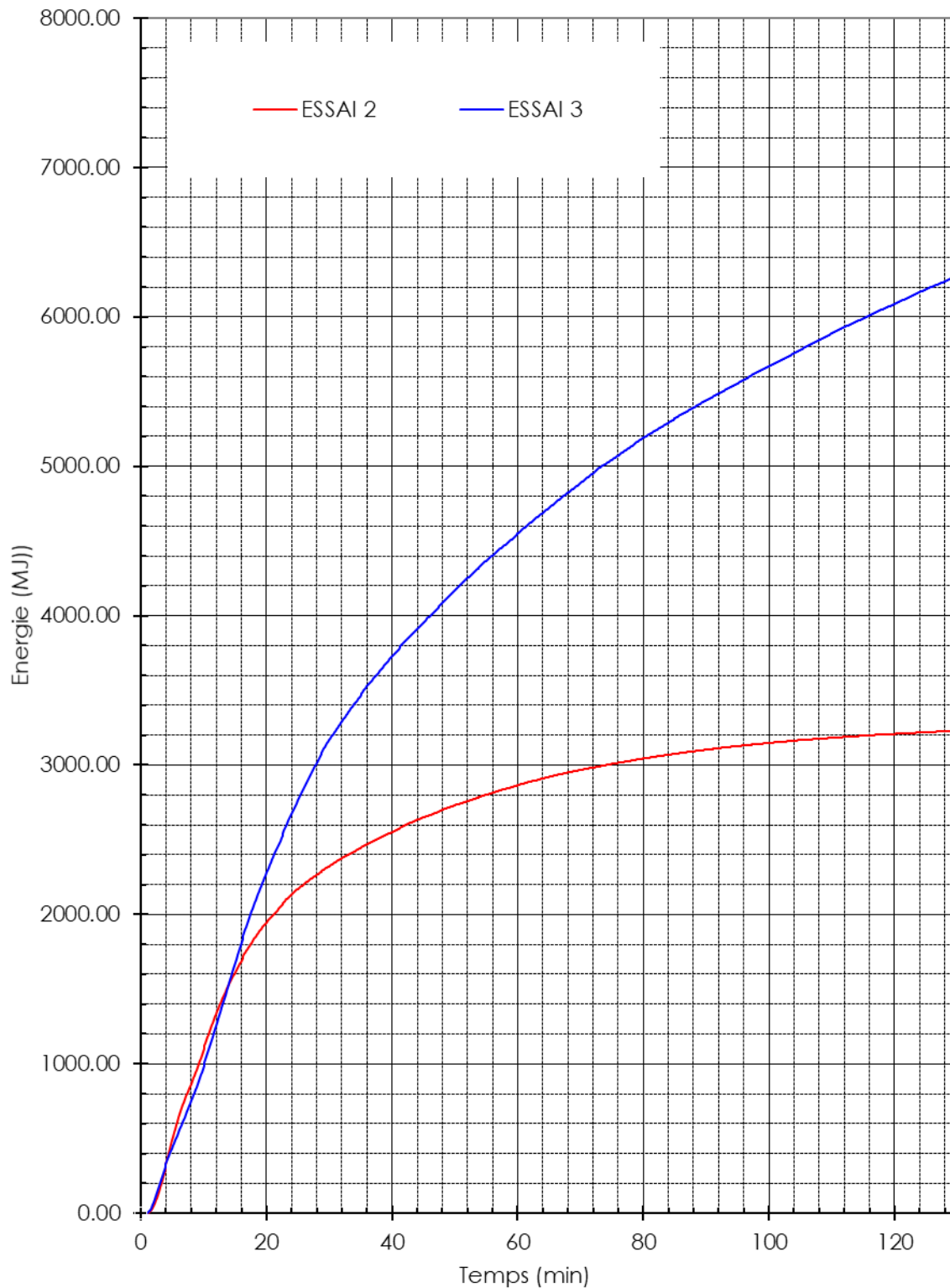


Figure 5-7 : Comparaison de l'évolution de l'énergie des essais 2 et 3

On constate une énergie dégagée par l'essai 2 très légèrement supérieure à l'essai 3 lors des 15 premières minutes. Ensuite, l'énergie dégagée par l'essai 3 devient **significativement supérieure** à celle dégagée par l'essai 2, traduisant une participation des produits présents sur la palette à l'incendie. L'énergie totale dégagée pendant l'essai 3 s'élève à **6 708 MJ**, contre 3229 MJ pour l'essai 2.

6. ANALYSE DES ESSAIS EN PROTOCOLE COMBUSTIBLE

Conformément au protocole FLUMilog [3], il s'agit ensuite de comparer les caractéristiques de combustion mesurées lors des essais à ceux d'une palette type rubrique 1511 (typique des entrepôts frigorifiques) [3] afin de déterminer les éléments à renseigner dans l'outil de calcul FLUMilog pour les études de flux thermiques.

La comparaison entre les pics de puissance des Essais 2 et 3 donne la contribution réelle de la palette de produit. La courbe ci-dessous présente cette comparaison. On note un pic de puissance de l'ordre de **1 110 kW**.

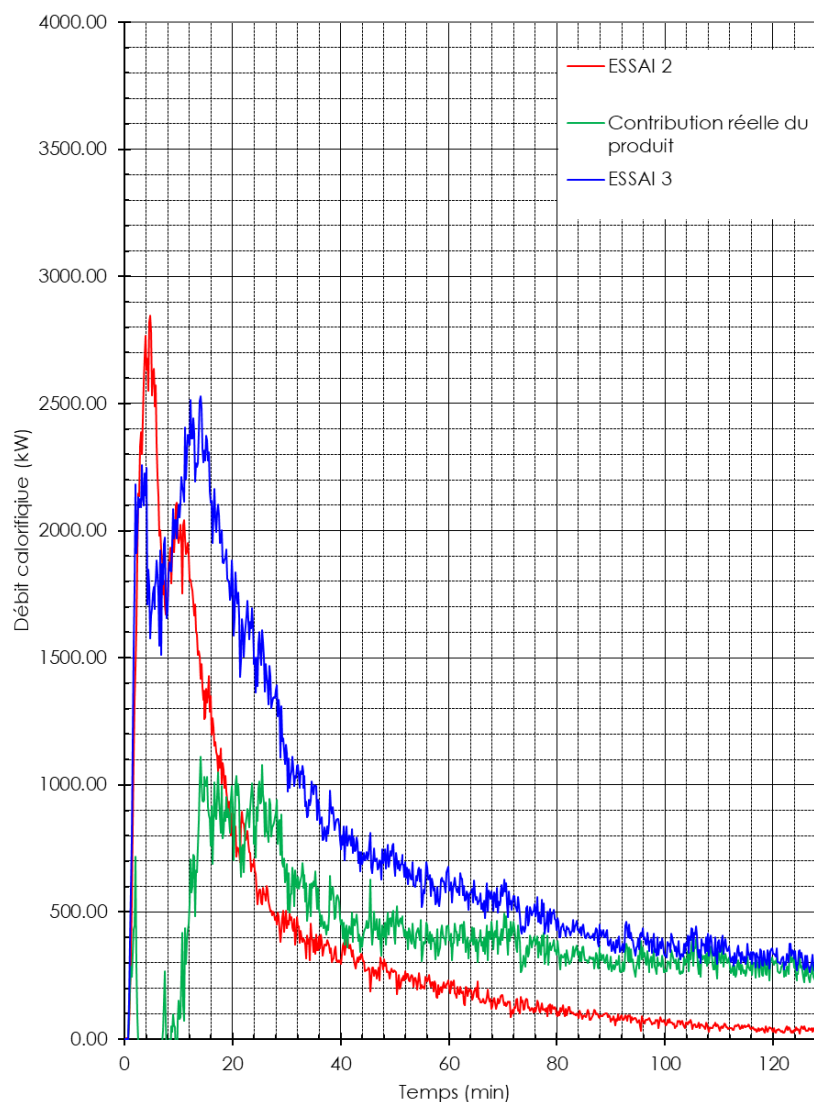


Figure 6-1 : Comparaison des courbes de puissance des Essais 2 et 3

La palette type rubrique 1511, aux dimensions standard (0,8 m x 1,2 m x 1,5 m ; soit 1,44 m³) dégage une puissance de 1 300 kW, pour une durée forfaitaire de 45 min. Proportionnellement aux dimensions de la palette de produits testés, de dimensions 0,8 m x 1,2 m x 1,8 m (soit 1,73 m³), une palette type rubrique 1511 équivalente dégagerait environ 1 560 kW.

La puissance pic mesurée pendant l'essai, et correspondant à la contribution réelle du produit est de l'ordre de 1 100 kW.

Le protocole d'essais indique ensuite que si la puissance dégagée par la palette testée est **inférieure à 80% de la puissance d'une palette type rubrique équivalente**, il convient de retenir les résultats expérimentaux. Ainsi, pour la palette de donuts testés, il faudra retenir la palette expérimentale présentant les caractéristiques suivantes :

- Puissance 1 100 kW
- Durée conservatoire de 53 min.

La figure ci-dessous présente la comparaison entre la puissance dégagée par la palette testée, par une palette type rubrique 1511 aux dimensions équivalentes, et enfin par une palette expérimentale ayant les caractéristiques déterminées ci-dessus.

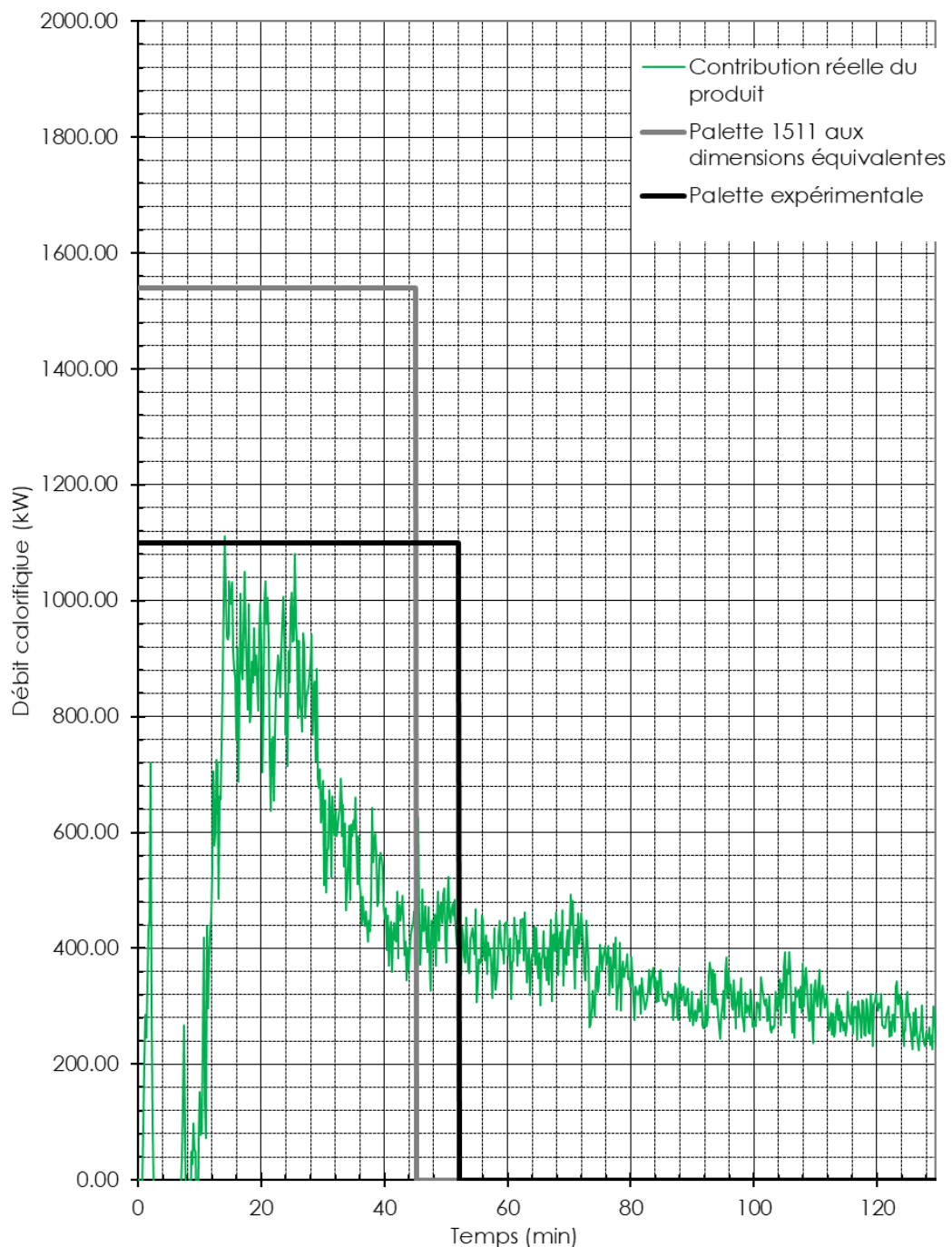


Figure 6-2 : Comparaison de l'évolution de la puissance dégagée par une palette de donuts et de la puissance d'une palette type 1511 équivalente

7. CONCLUSION

Les essais ont mis en évidence pour la palette de donuts, telle que décrite dans le Tableau 3-1, que :

- La chaleur de combustion produite sur la durée de l'essai est de 11,34 MJ/kg soit **supérieure à 2,5 MJ/kg** ;
- La puissance pic déterminée pour la palette en situation de stockage est de 1 100 kW et est donc **inférieure à 80% de la valeur théorique d'une palette rubrique 1511** ;
- L'énergie libérée lors de la combustion de la palette en conditions de stockage est de 6 708 MJ ;

Ainsi, les essais réalisés selon le protocole FLUMilog [4] ont montré que la palette de donuts **est à classer comme combustible sous la rubrique 1511** si elle est conforme à la description données dans le Tableau 3-1. Il faudra retenir la palette expérimentale présentant les caractéristiques suivantes :

- **Puissance de 1 100 kW**
- **Durée conservatoire de 53 min**

L'entrepôt concerné devra respecter toutes les préconisations de l'Arrêtés Ministériels 1511 correspondant au régime de classement.

Ces conclusions ne valent que pour les palettes de donuts présentant le même conditionnement que celui indiqué dans ce document, et dans le strict respect des documents en possession d'Efectis France, ainsi que des informations et palettes qui lui ont été fournies.

ANNEXE A : HOTTE CALORIMETRIQUE

A.1 PLAN DE LA HOTTE

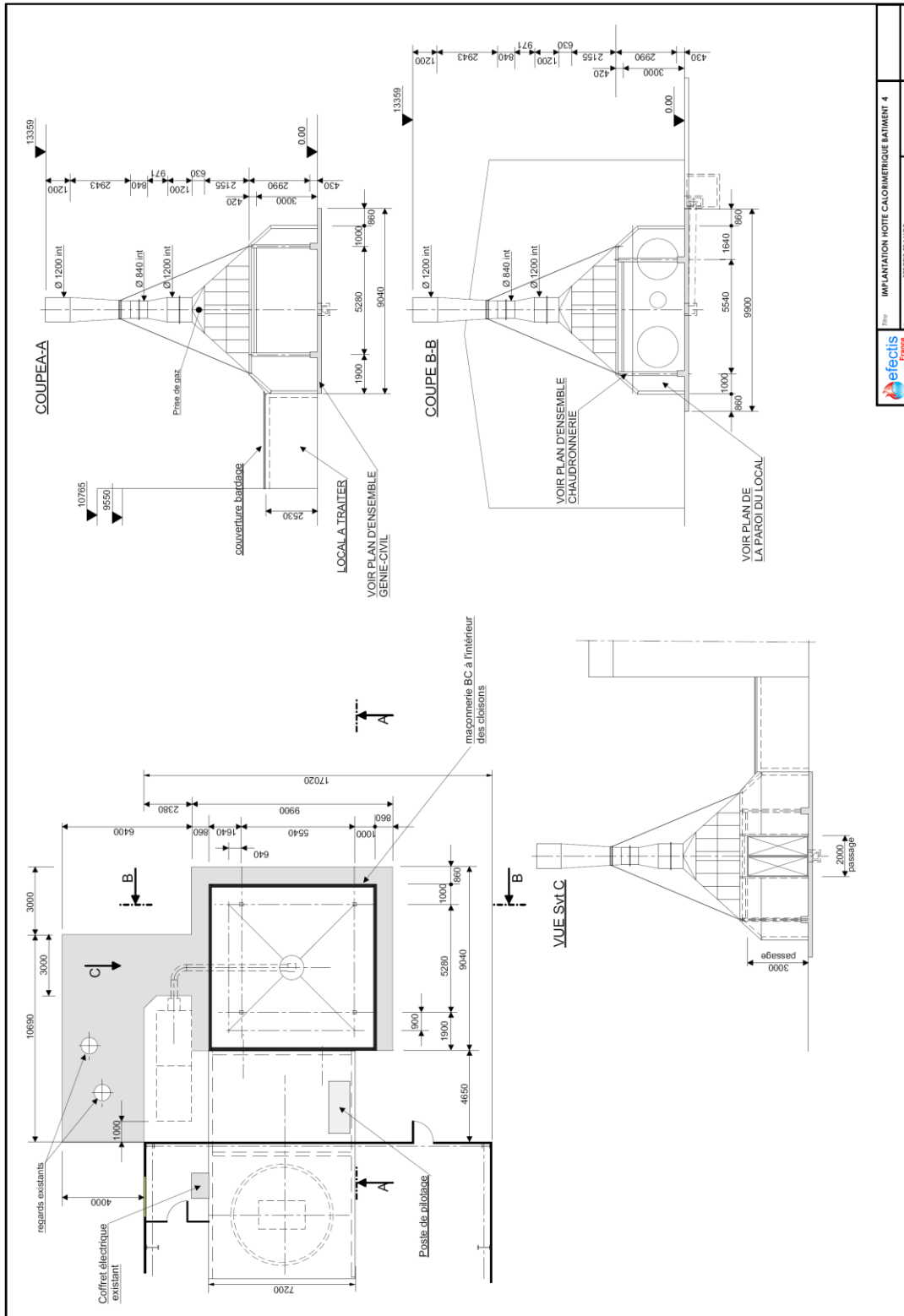


Figure A-7-1 : Plans de la hotte calorimétrique

A.2 VUES DE LA HOTTE

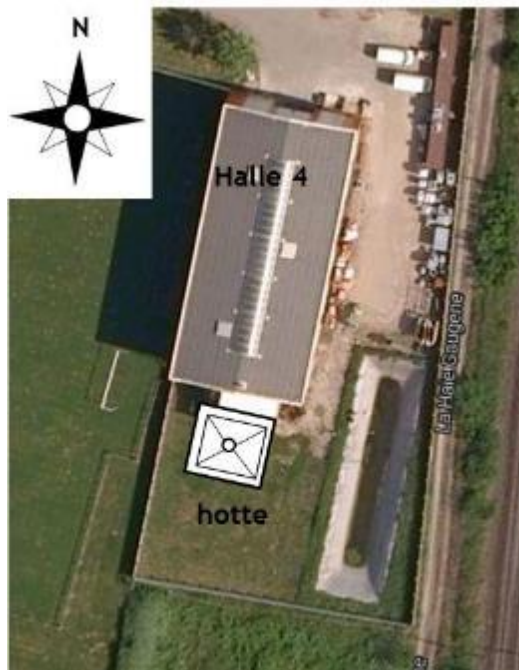


Figure A-7-2 : Implantation de la hotte au sud du bâtiment 4 et vue de la façade Sud



Figure A-7-3 : vues des façades Est et Ouest



Figure A-7-4 : vue du local de pilotage et des baies vitrées depuis la hotte

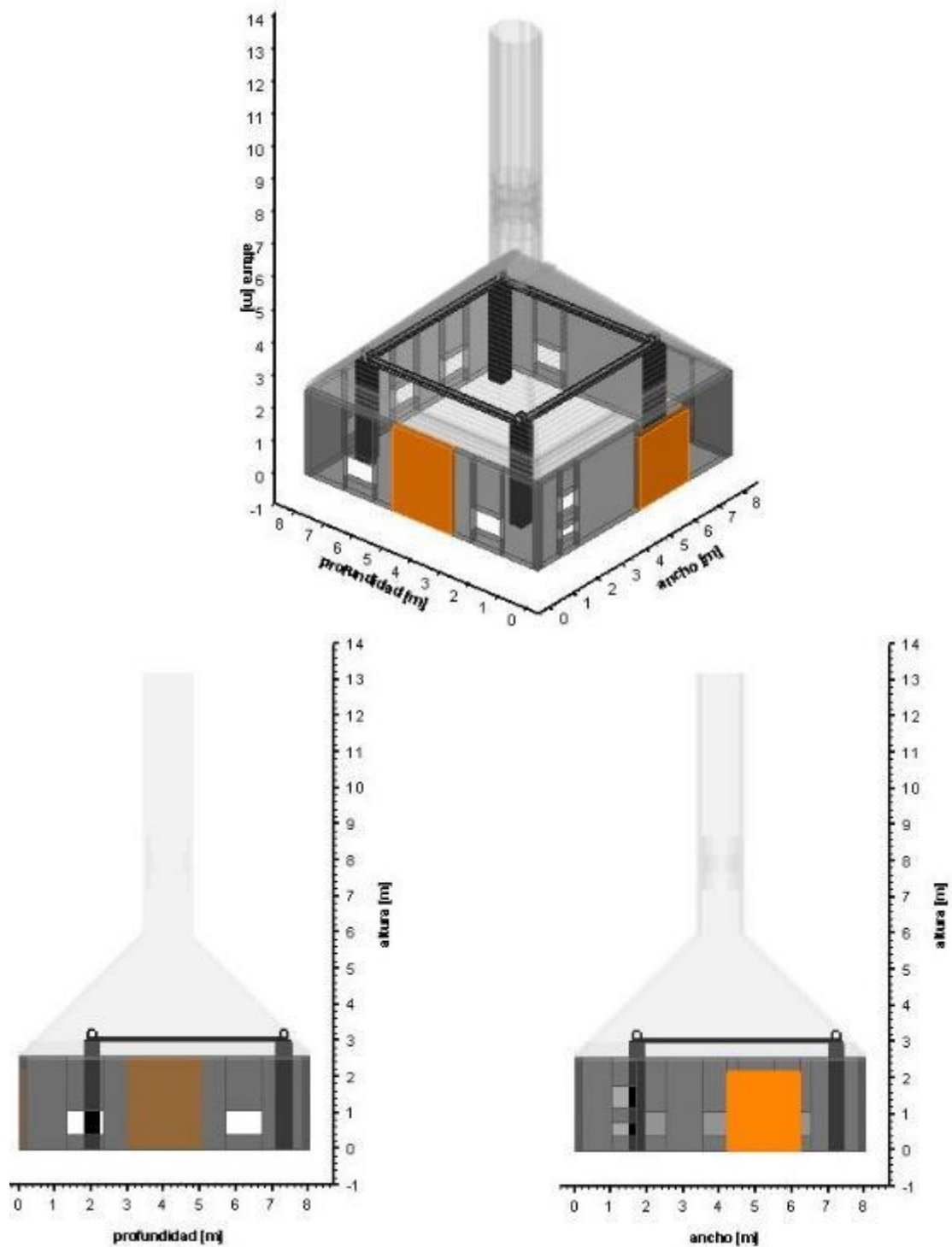


Figure A-7-5 : Représentation virtuelle de la hotte calorimétrique
Vues axonométrique, depuis la face Ouest et depuis la face Nord

ANNEXE B: PRISES DE VUE

B.1 ESSAI 1



Photo B-1



Photo B-2



Photo B-3



Photo B-4

B.2 ESSAI 2



Photo B-5



Photo B-6



Photo B-7



Photo B-8

B.3 ESSAI 3



Photo B-9



Photo B-10



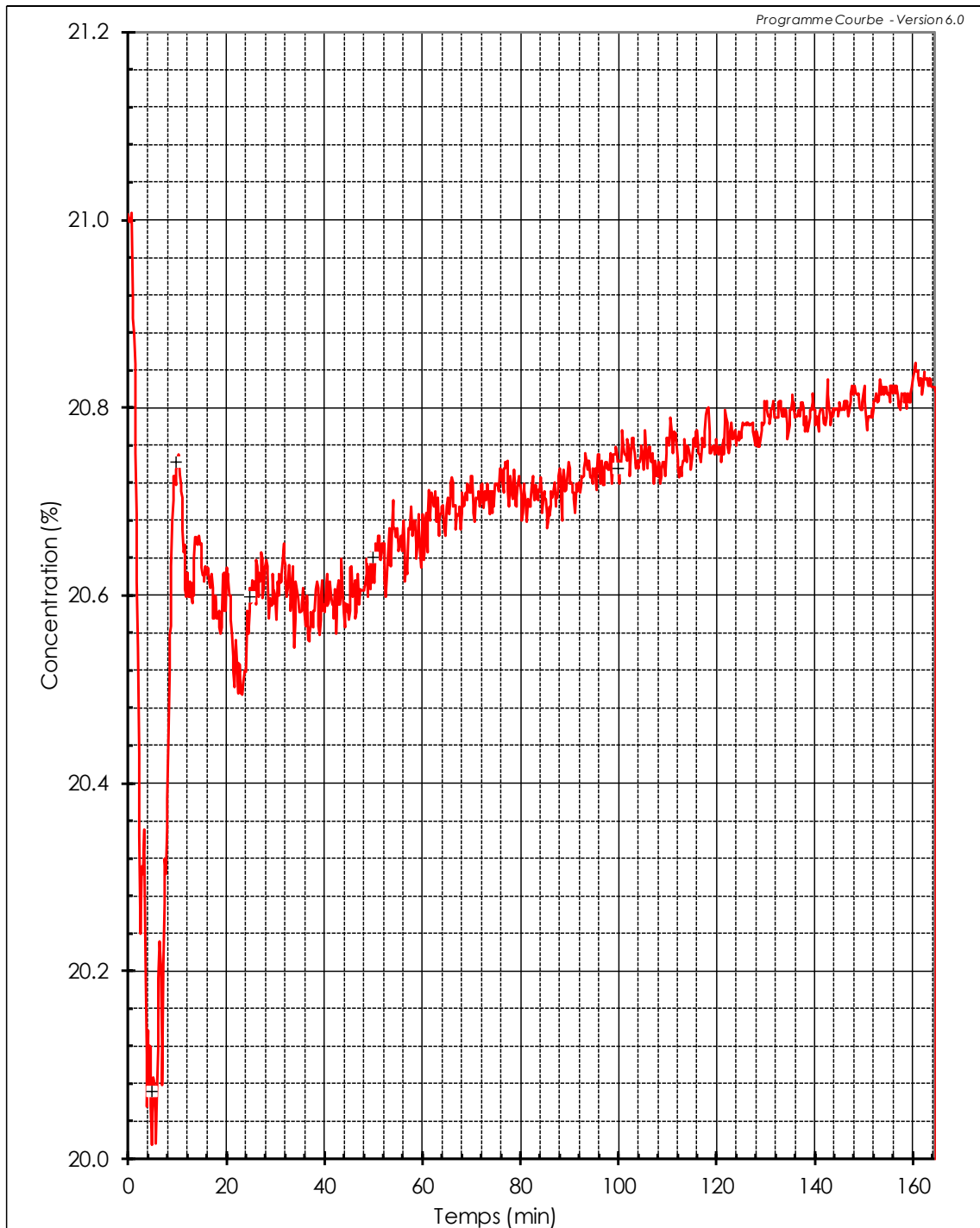
Photo B-11




Photo B-12

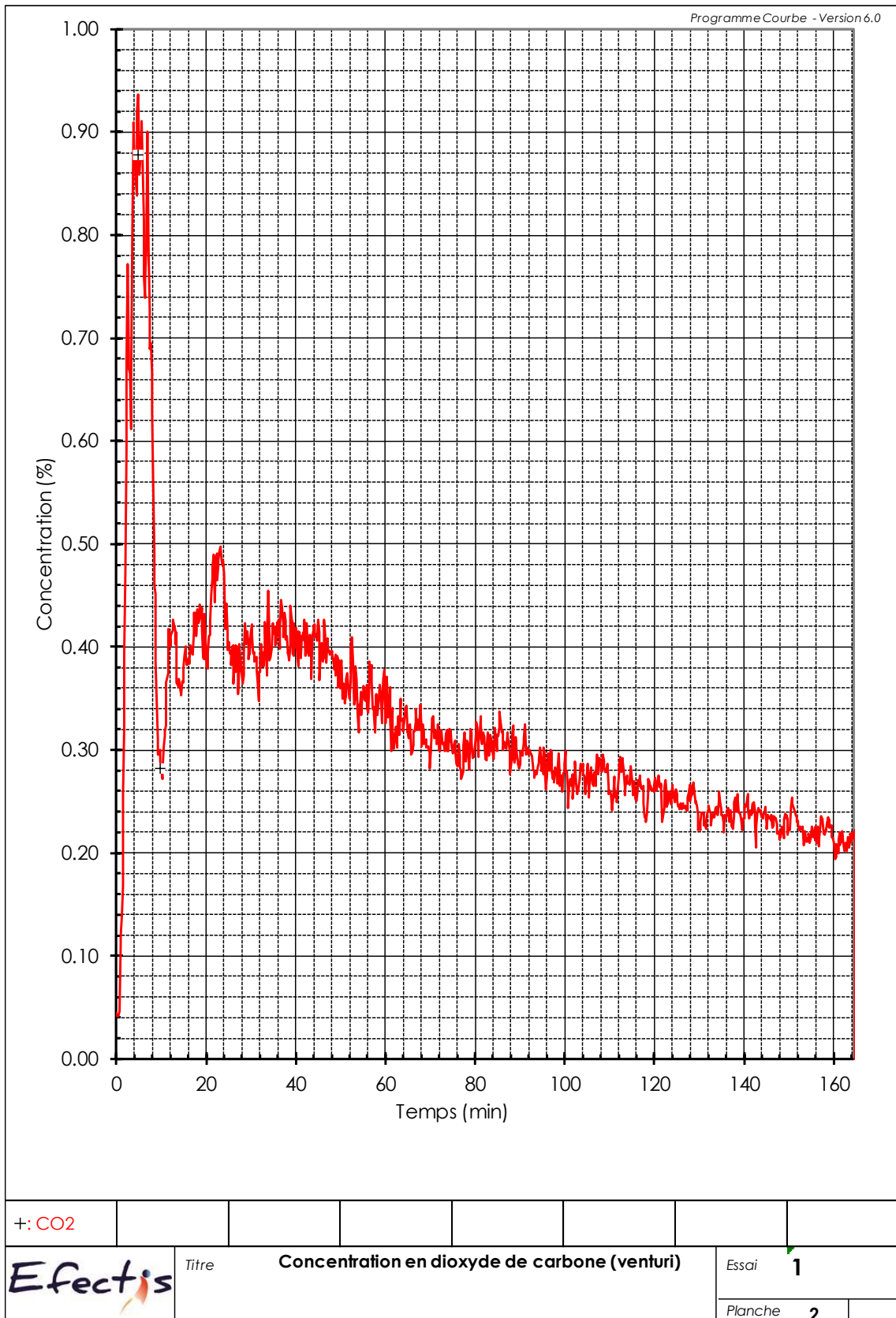
ANNEXE C : DONNEES METROLOGIQUES ESSAI 1

C.1 CONCENTRATION O2

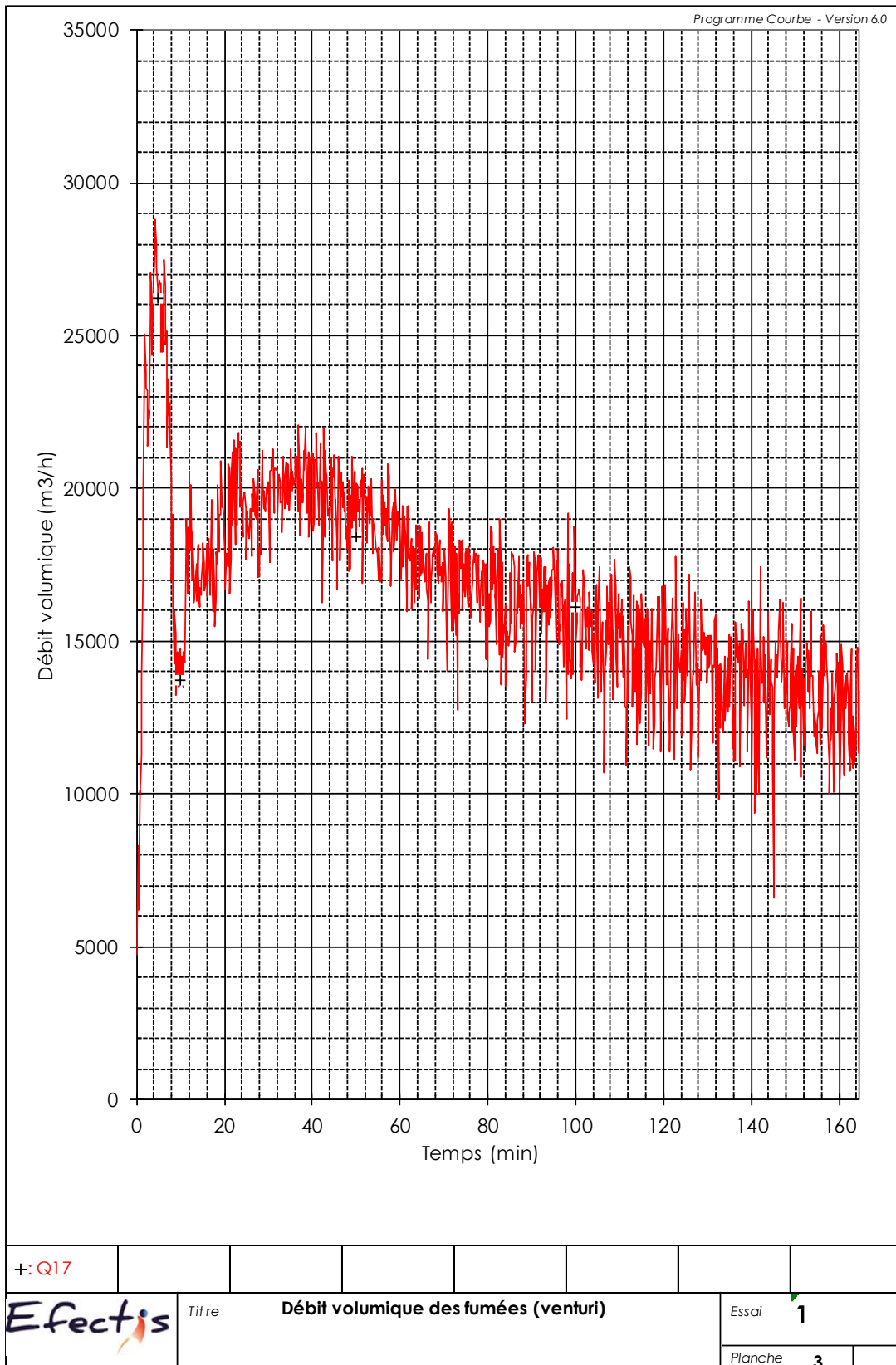


+: O2							
	Titre	Concentration en dioxygène (venturi)				Essai	1
						Planche	1

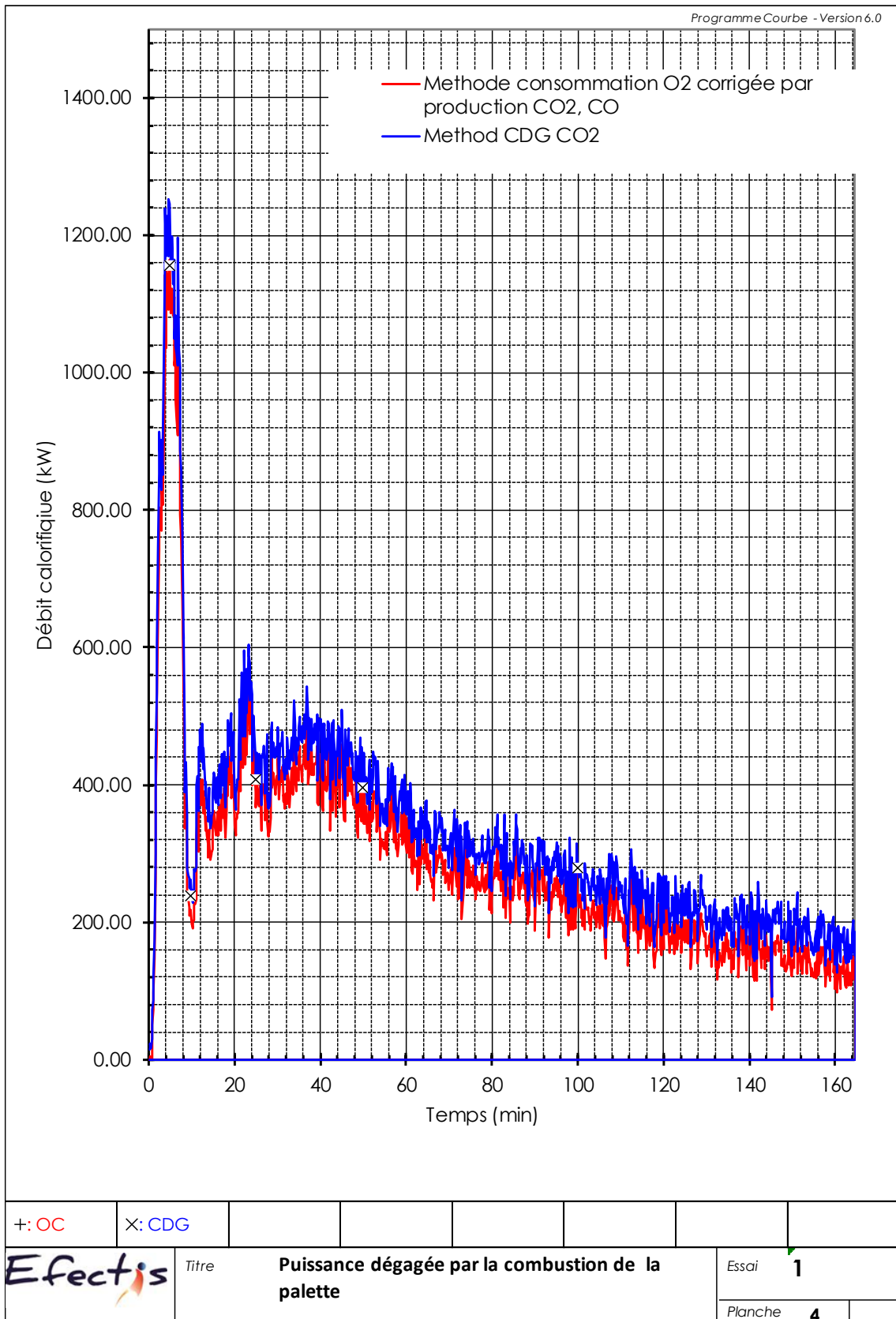
C.2 CONCENTRATION CO2



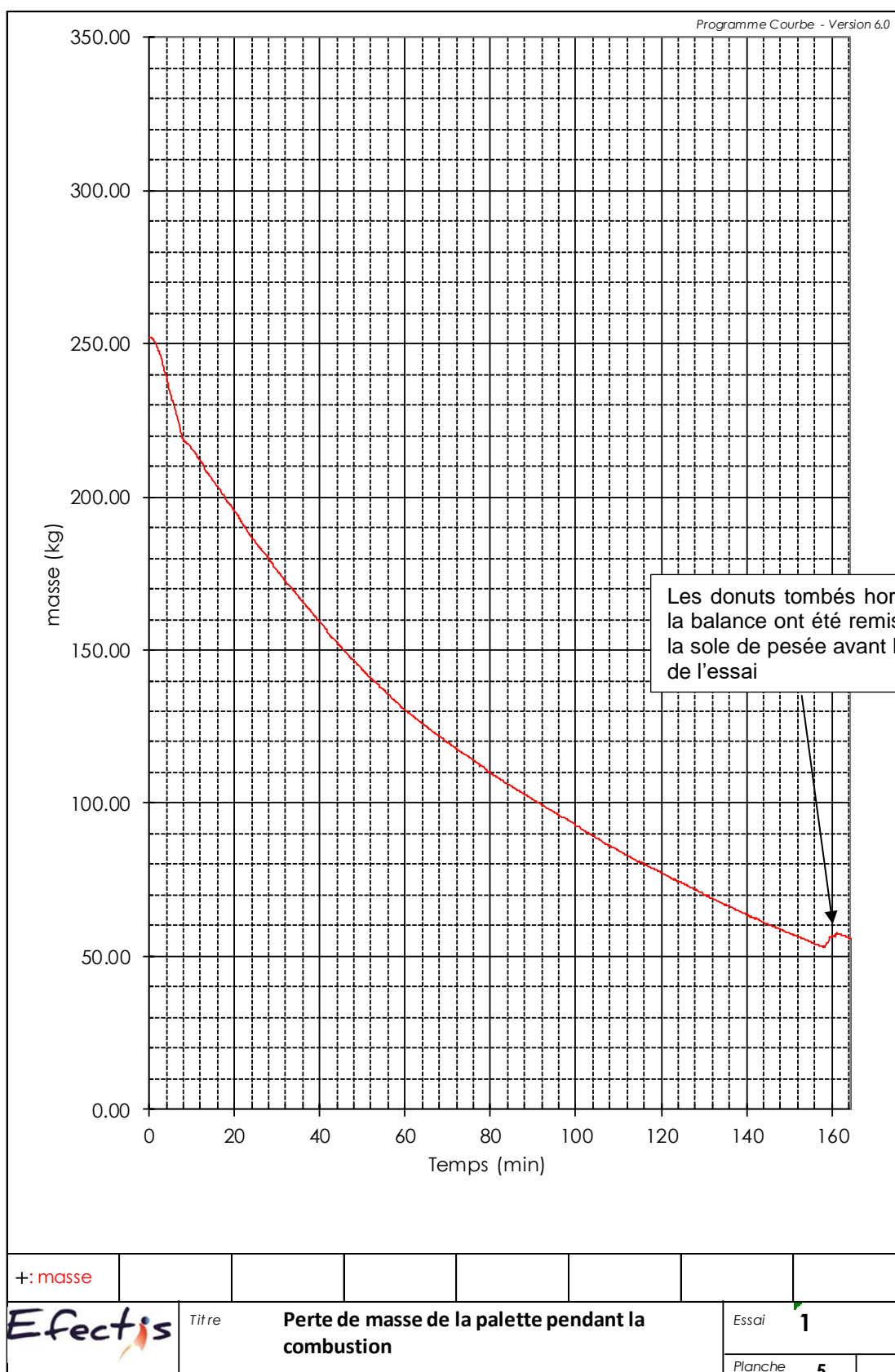
C.3 DEBIT DE FUMÉES



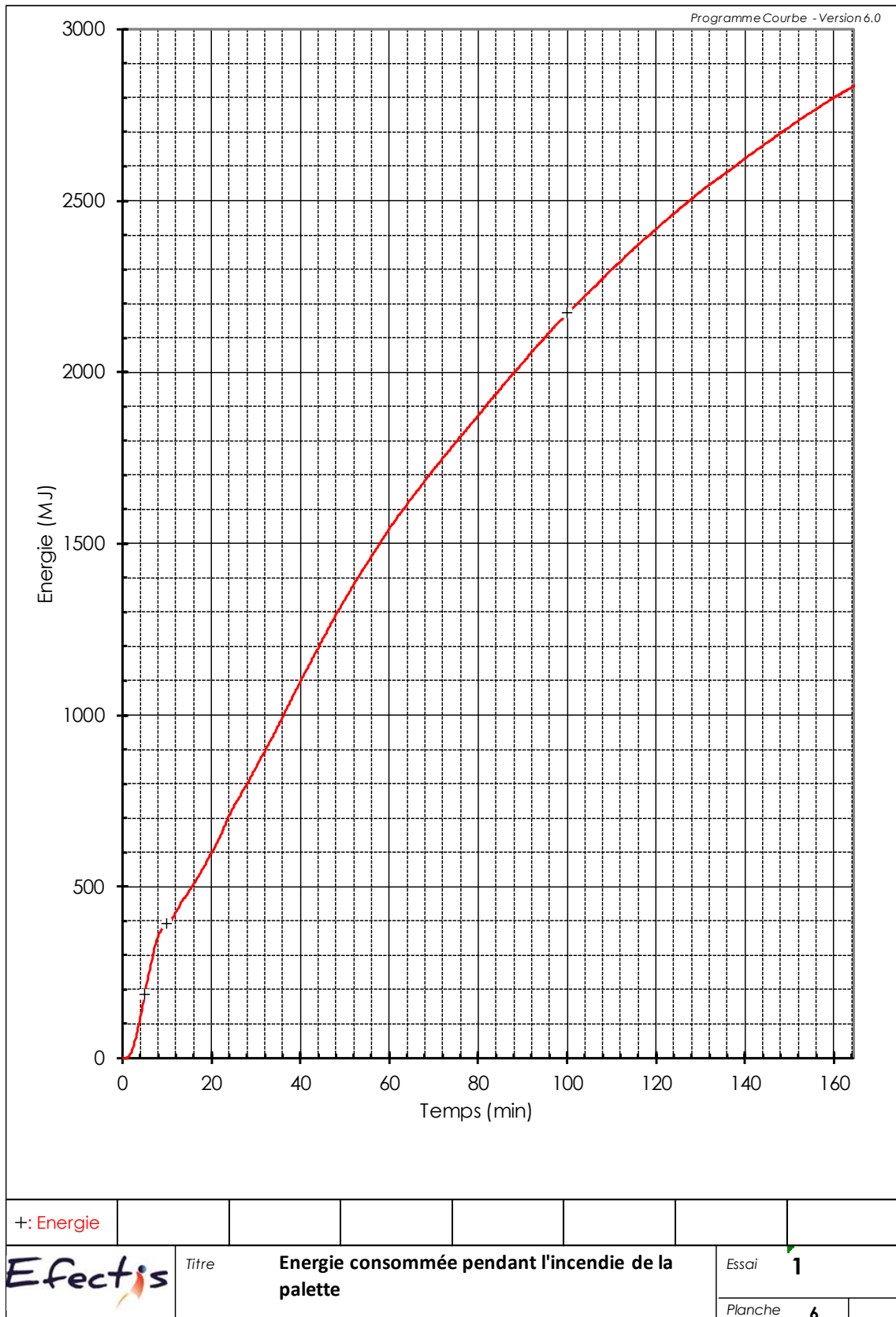
C.4 DEBIT CALORIFIQUE



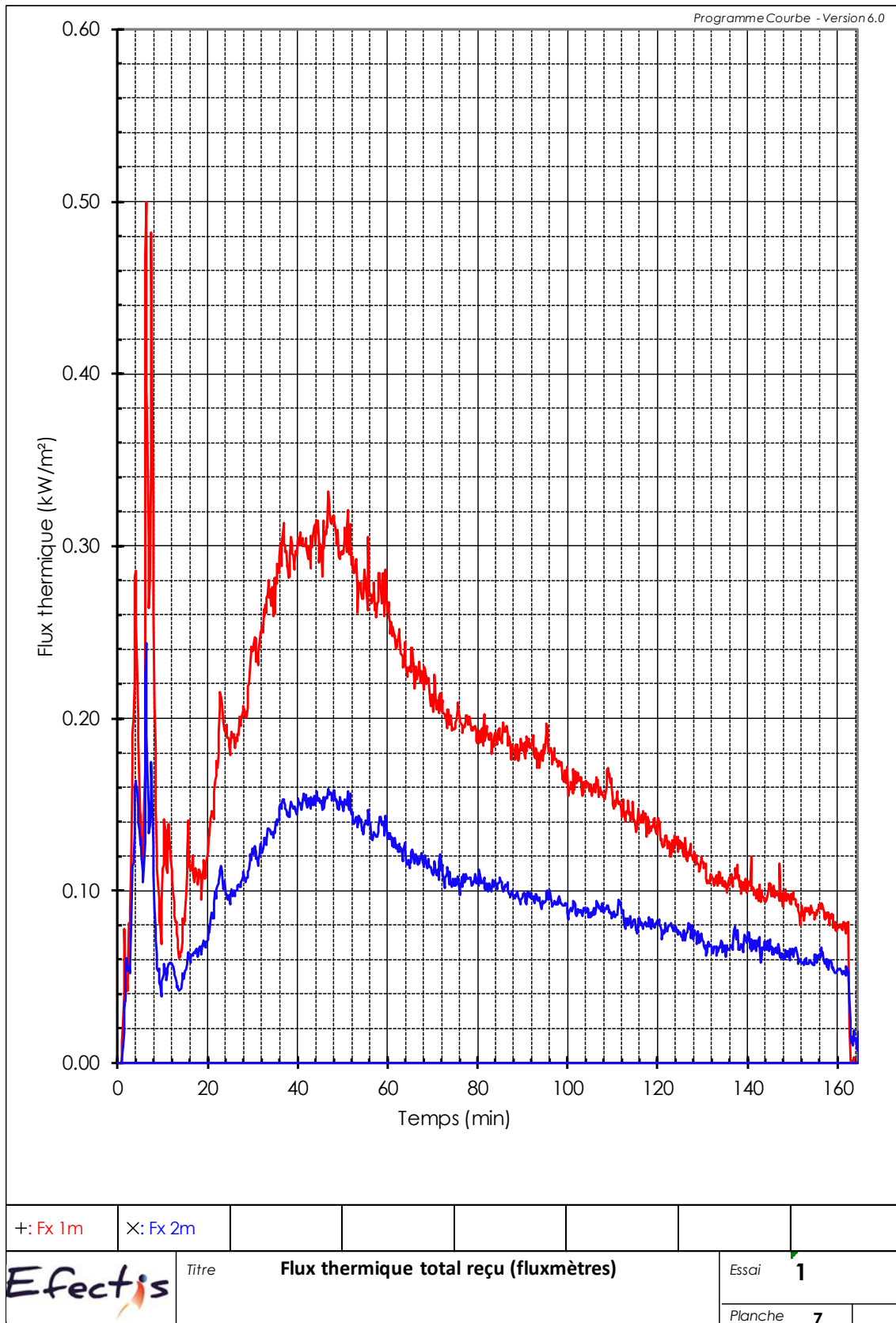
C.5 PERTE DE MASSE



C.6 ENERGIE CONSOMMEE

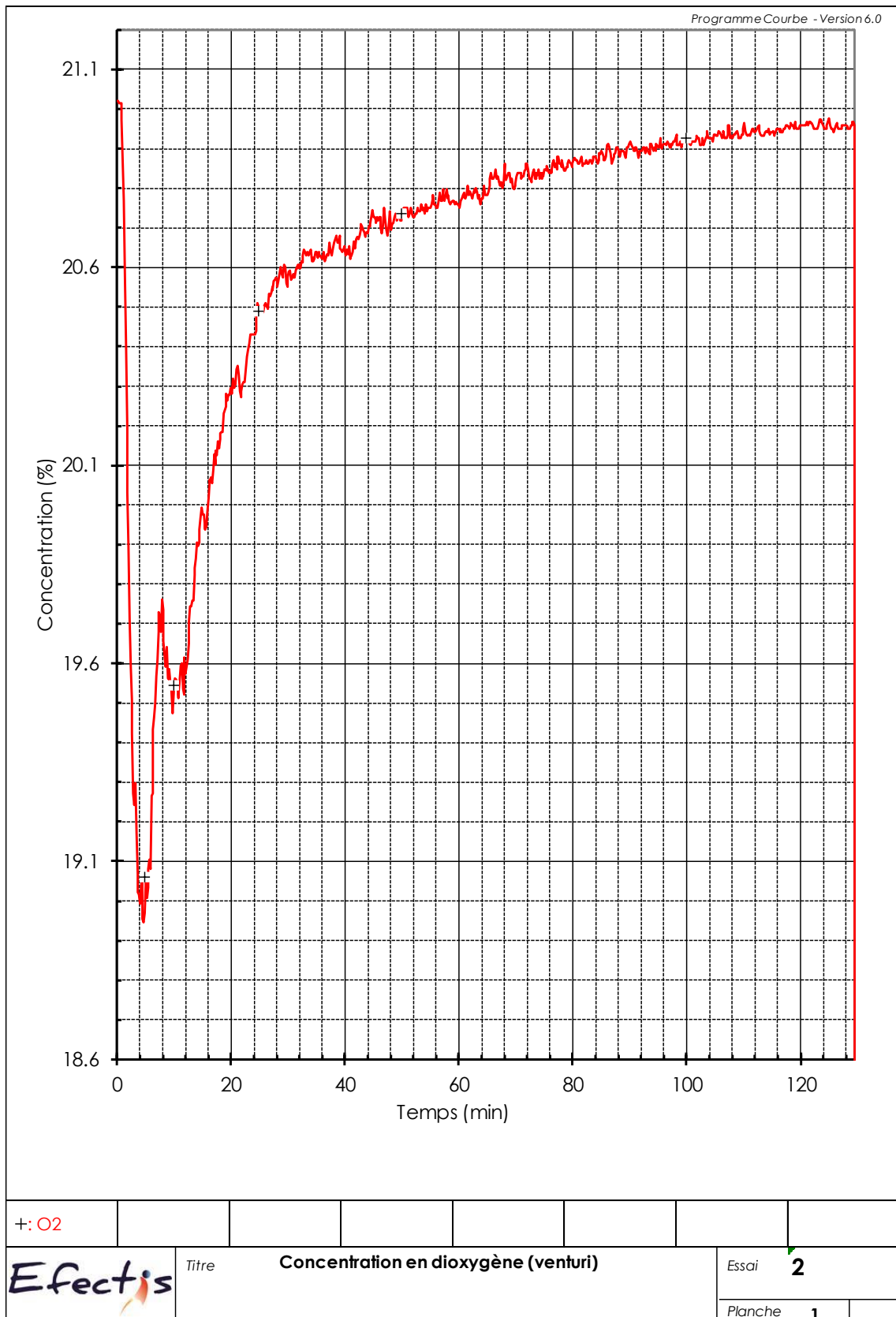


C.7 FLUX THERMIQUES

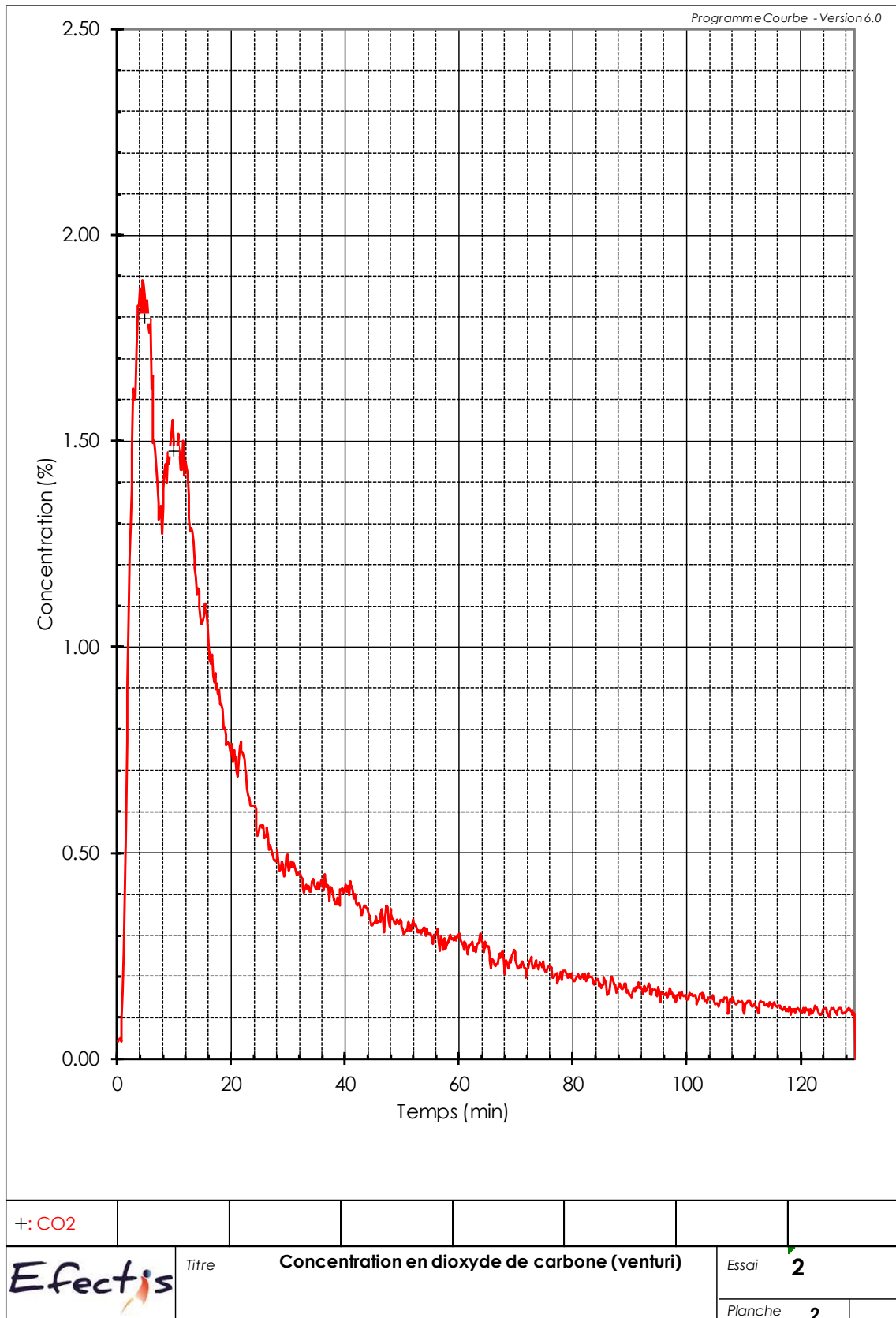


ANNEXE D: DONNEES METROLOGIQUES ESSAI 2

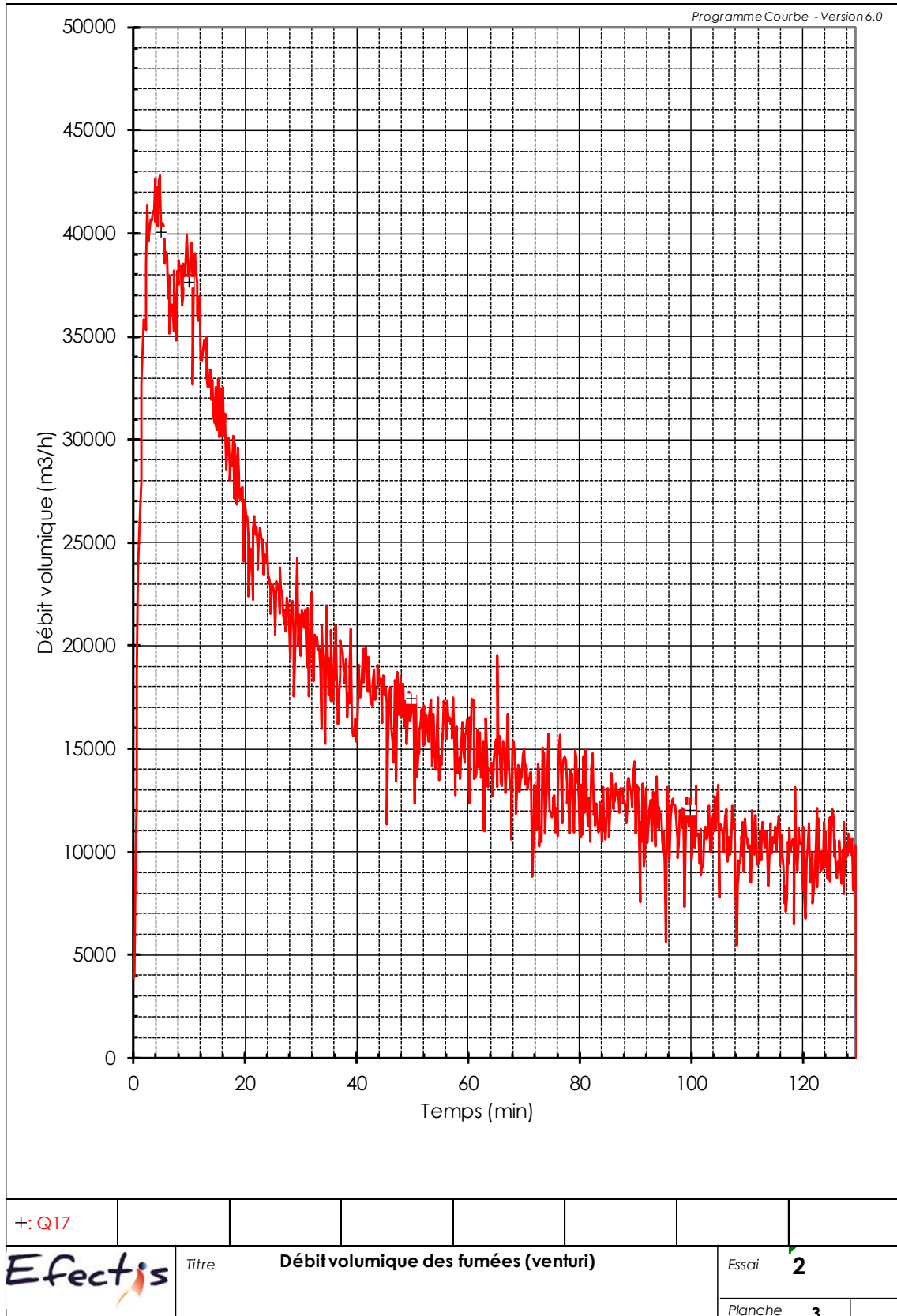
D.1 CONCENTRATION O2



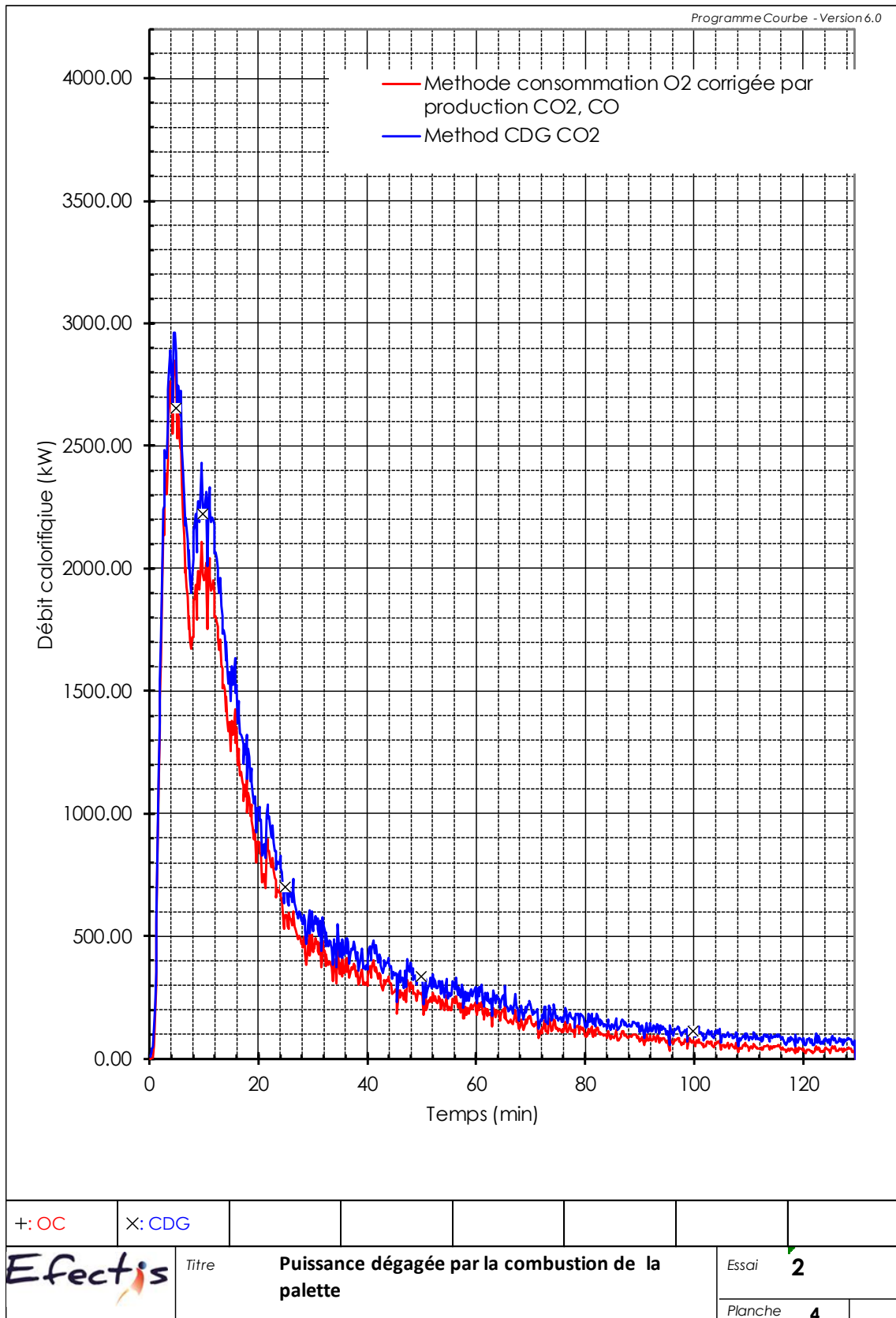
D.2 CONCENTRATION CO2



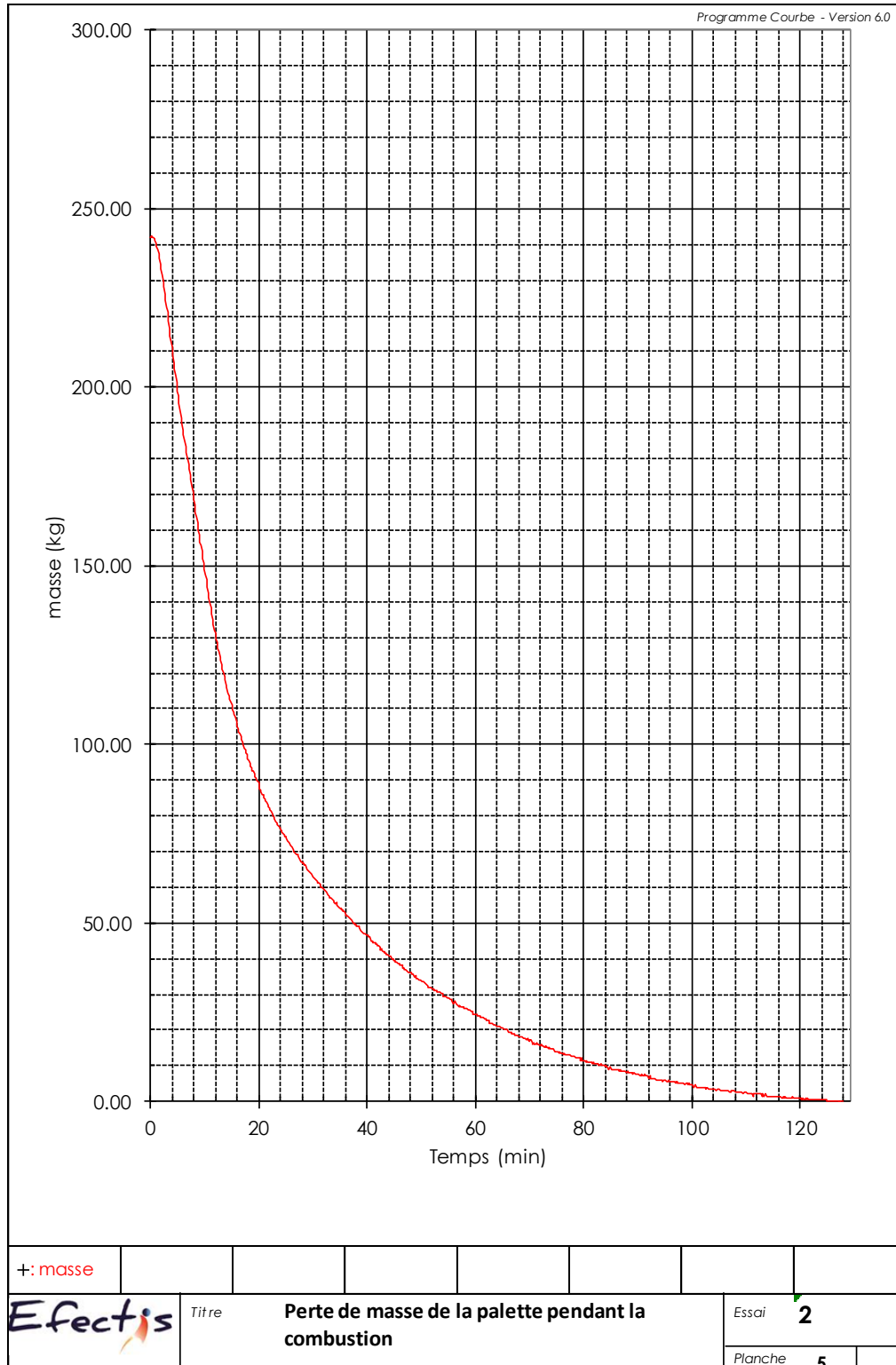
D.3 DEBIT DE FUMEEES



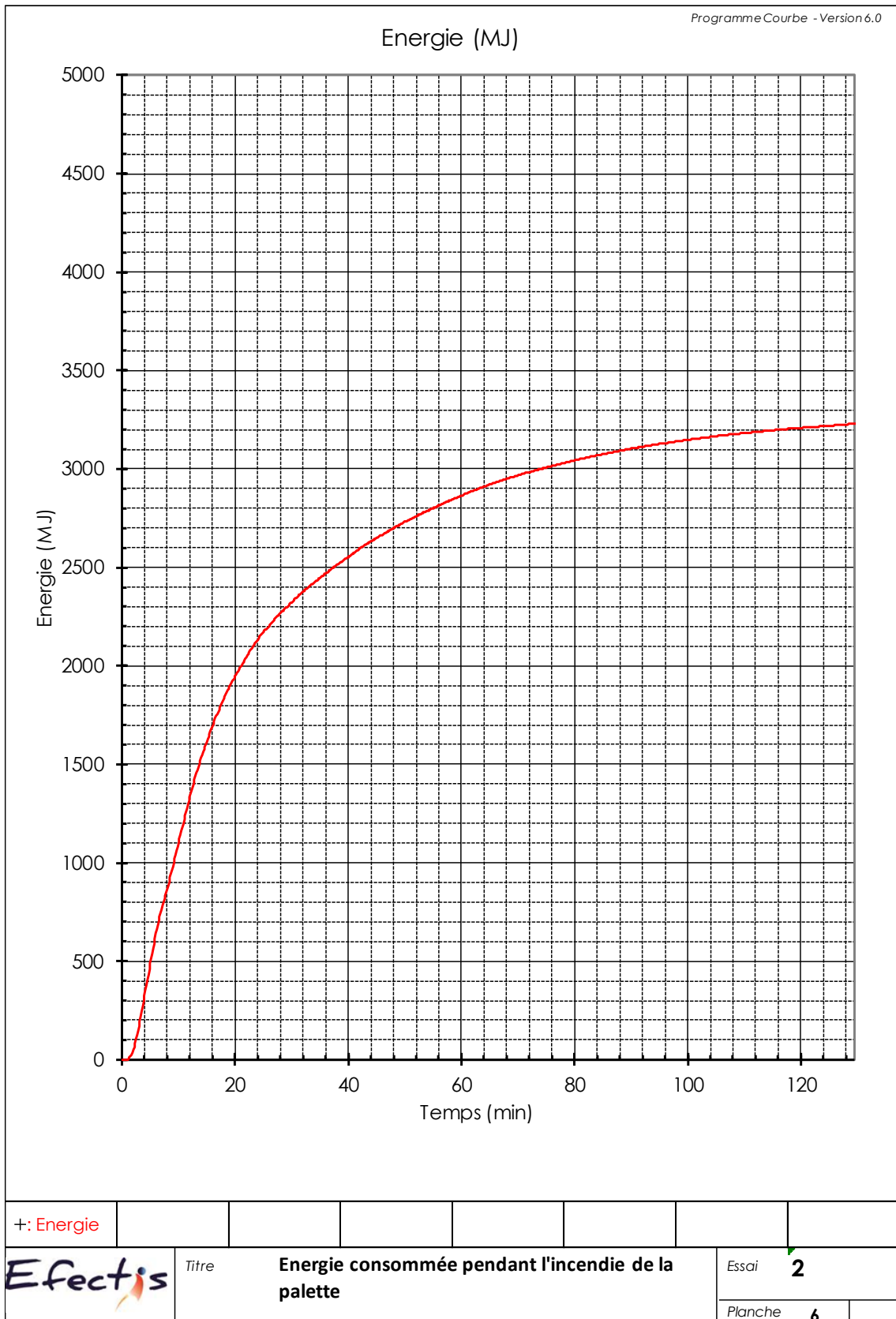
D.4 DEBIT CALORIFIQUE



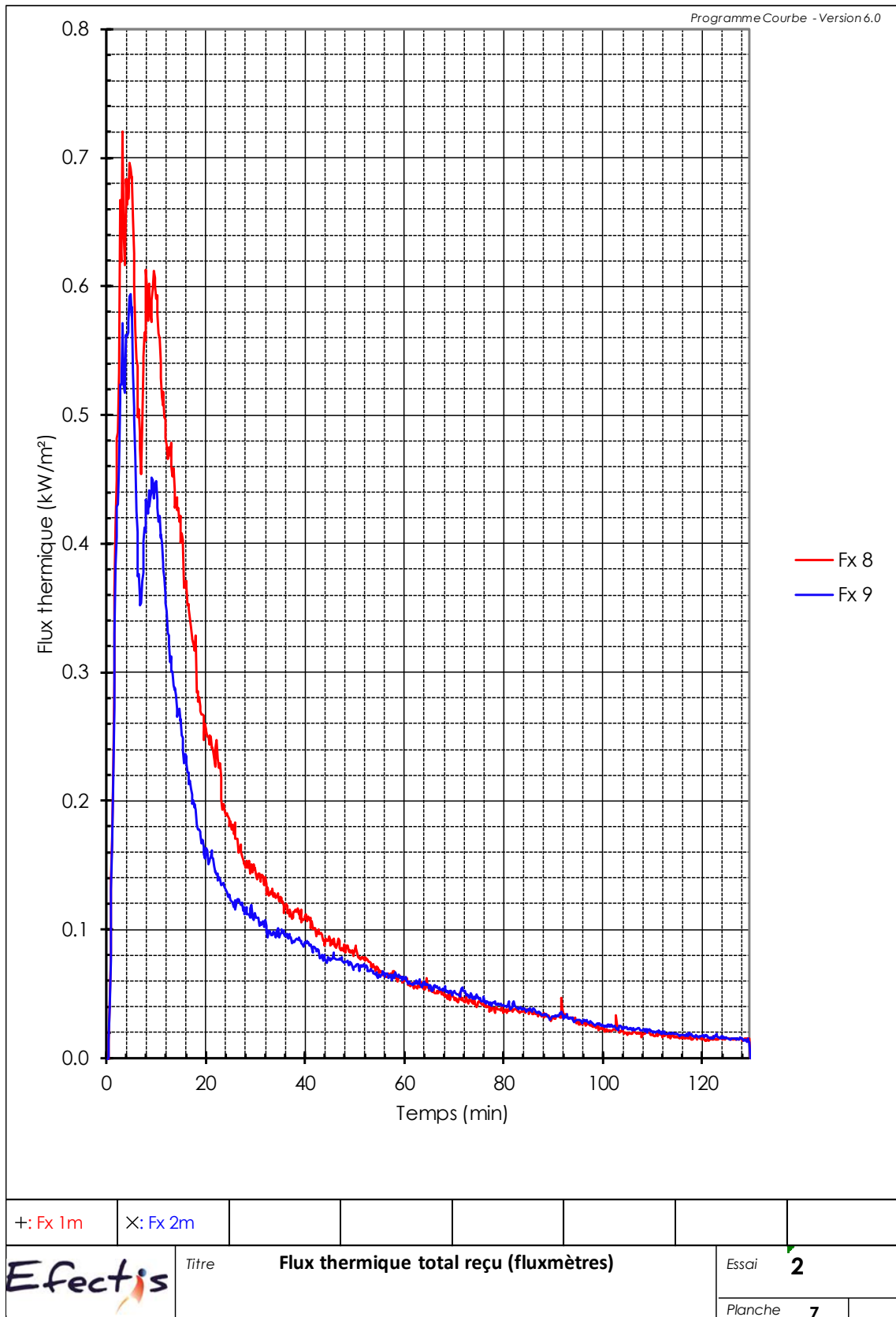
D.5 PERTE DE MASSE



D.6 ENERGIE CONSOMMEE

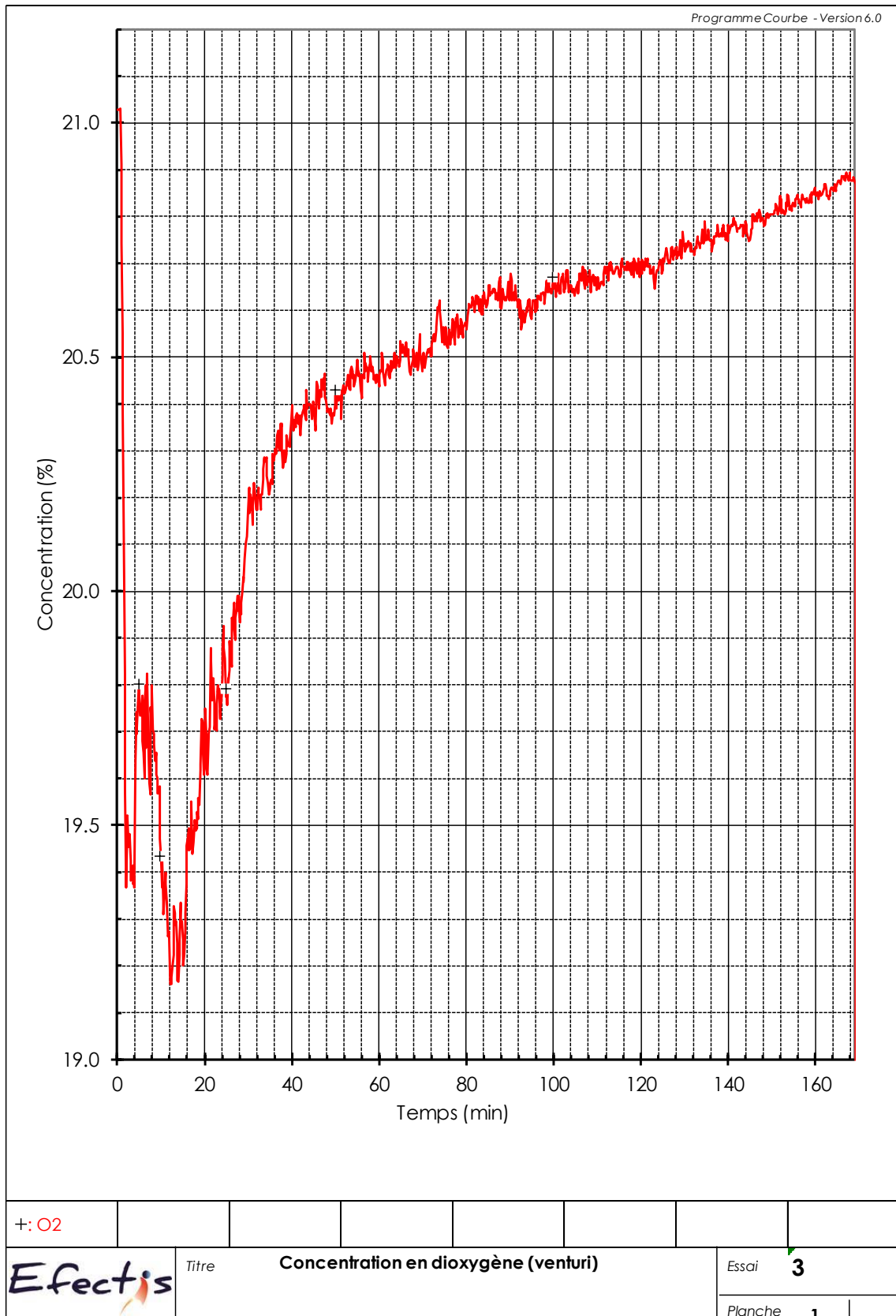


D.7 FLUX THERMIQUES

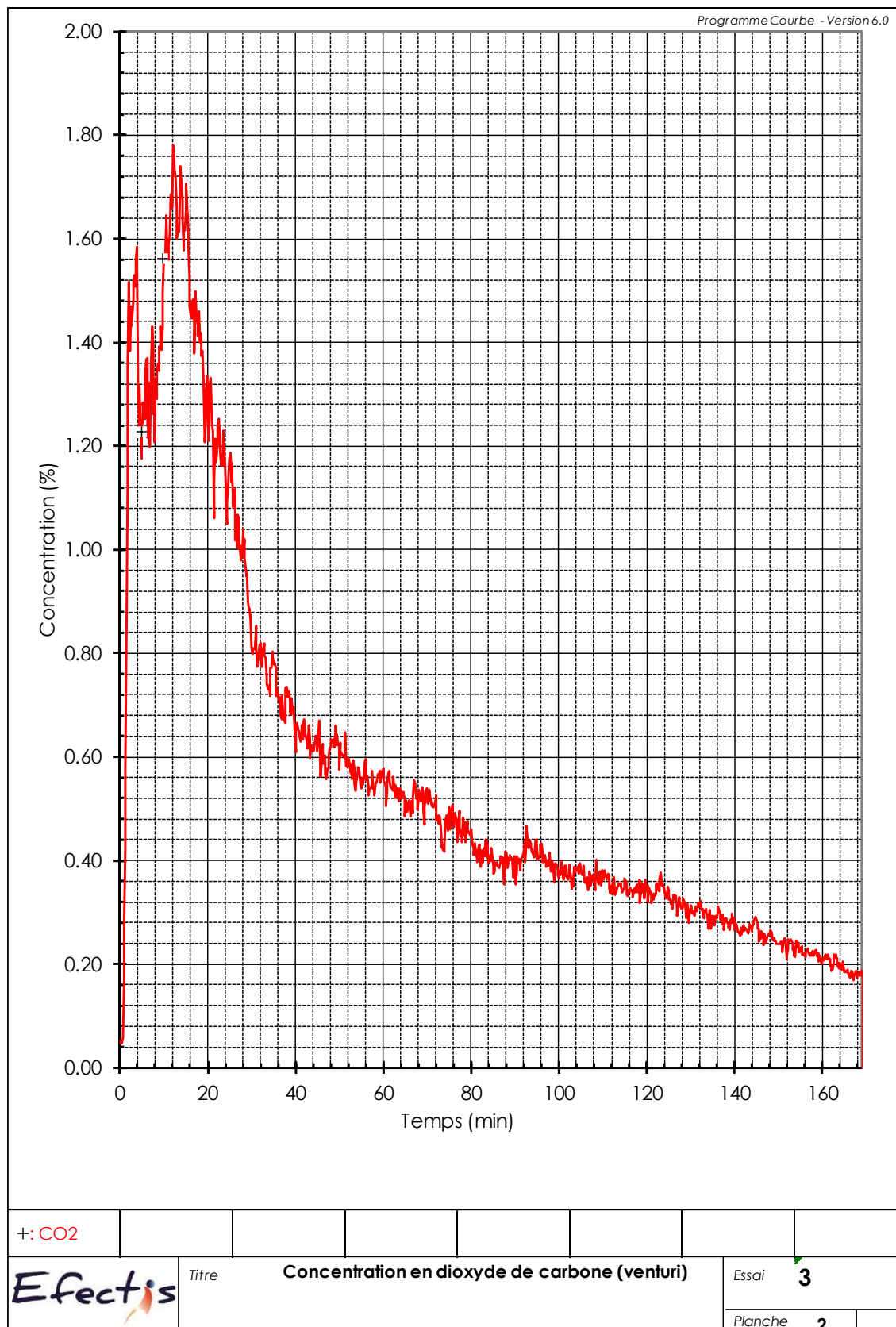


ANNEXE E: DONNEES METROLOGIQUES ESSAI 3

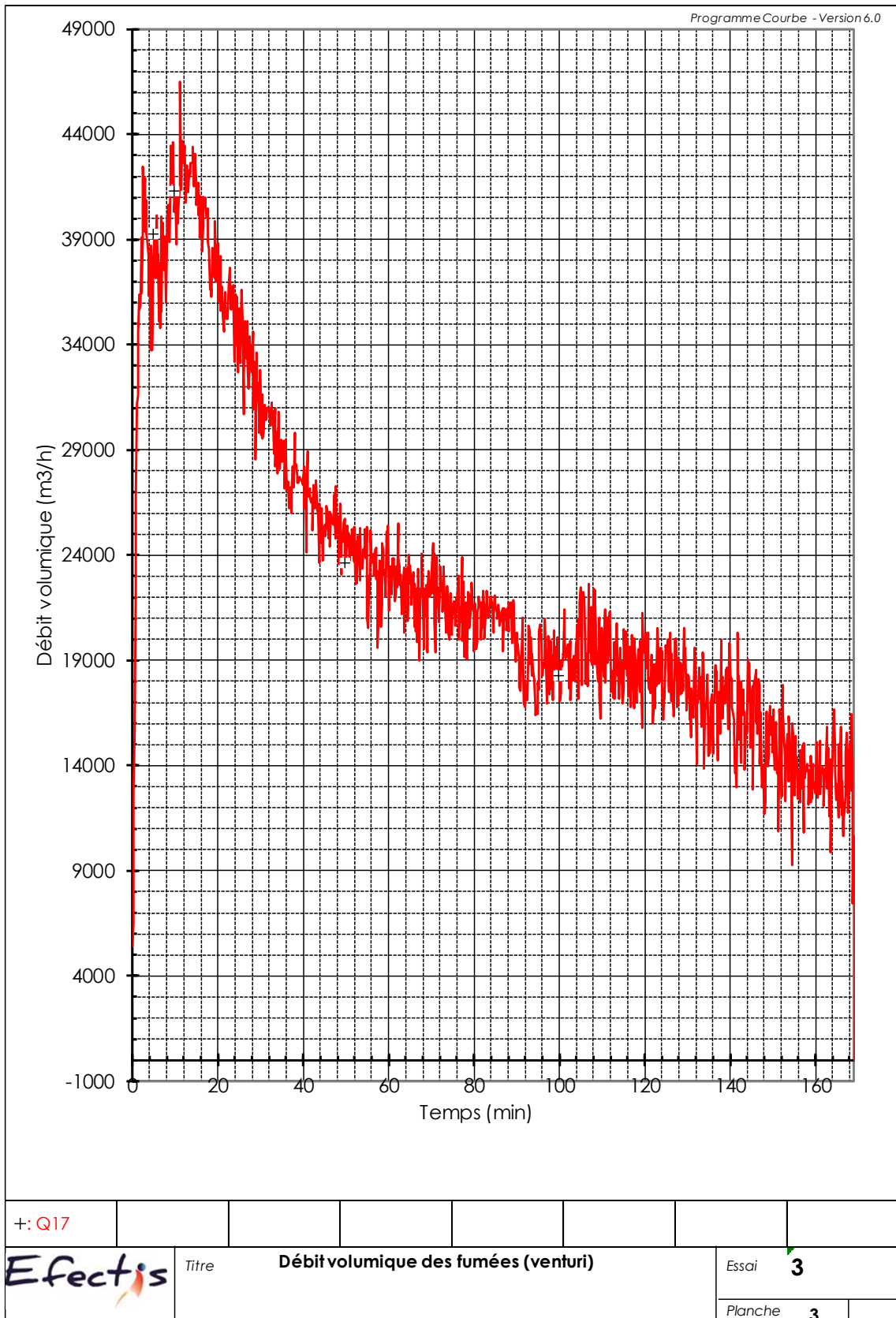
E.1 CONCENTRATION O2



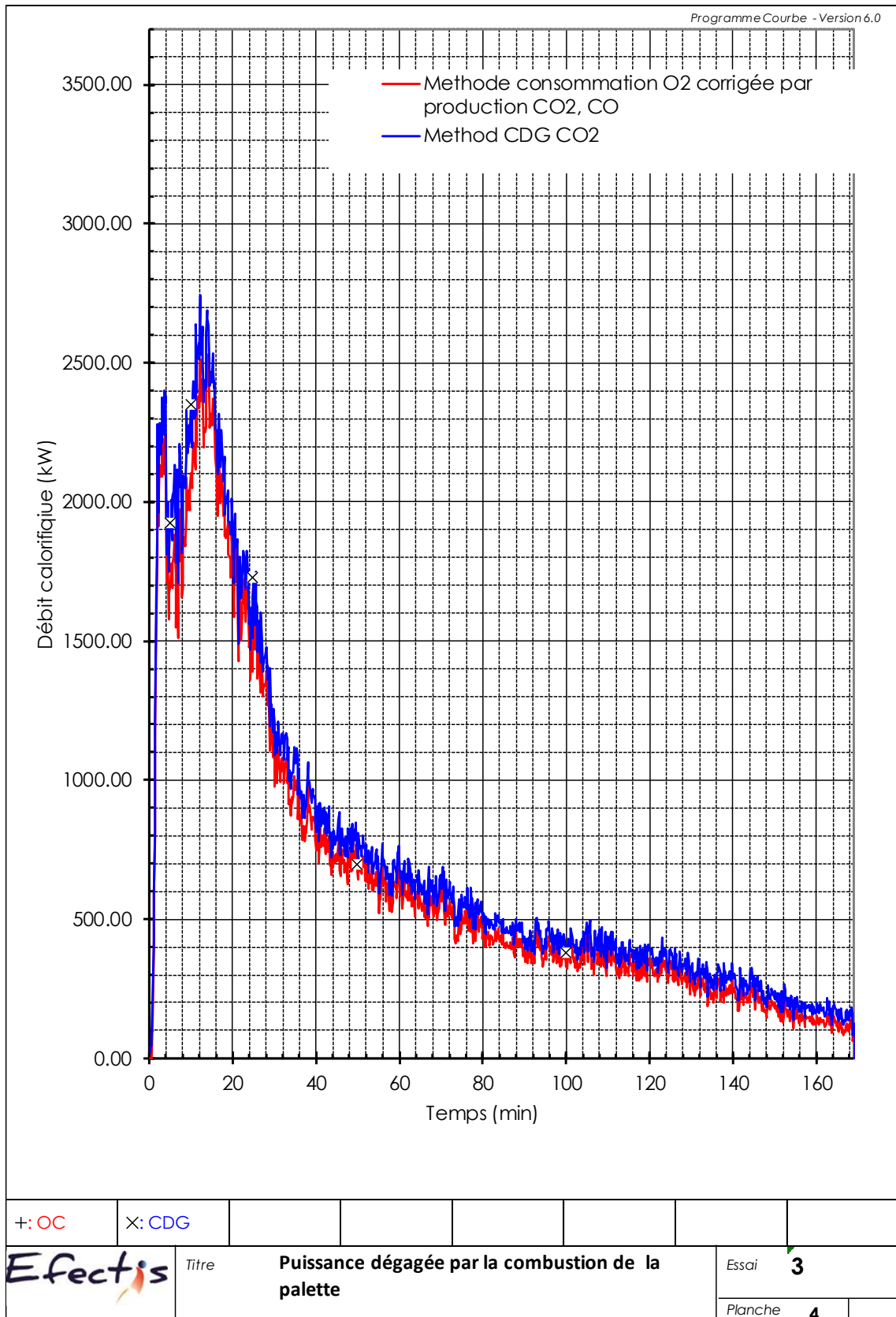
E.2 CONCENTRATION CO2



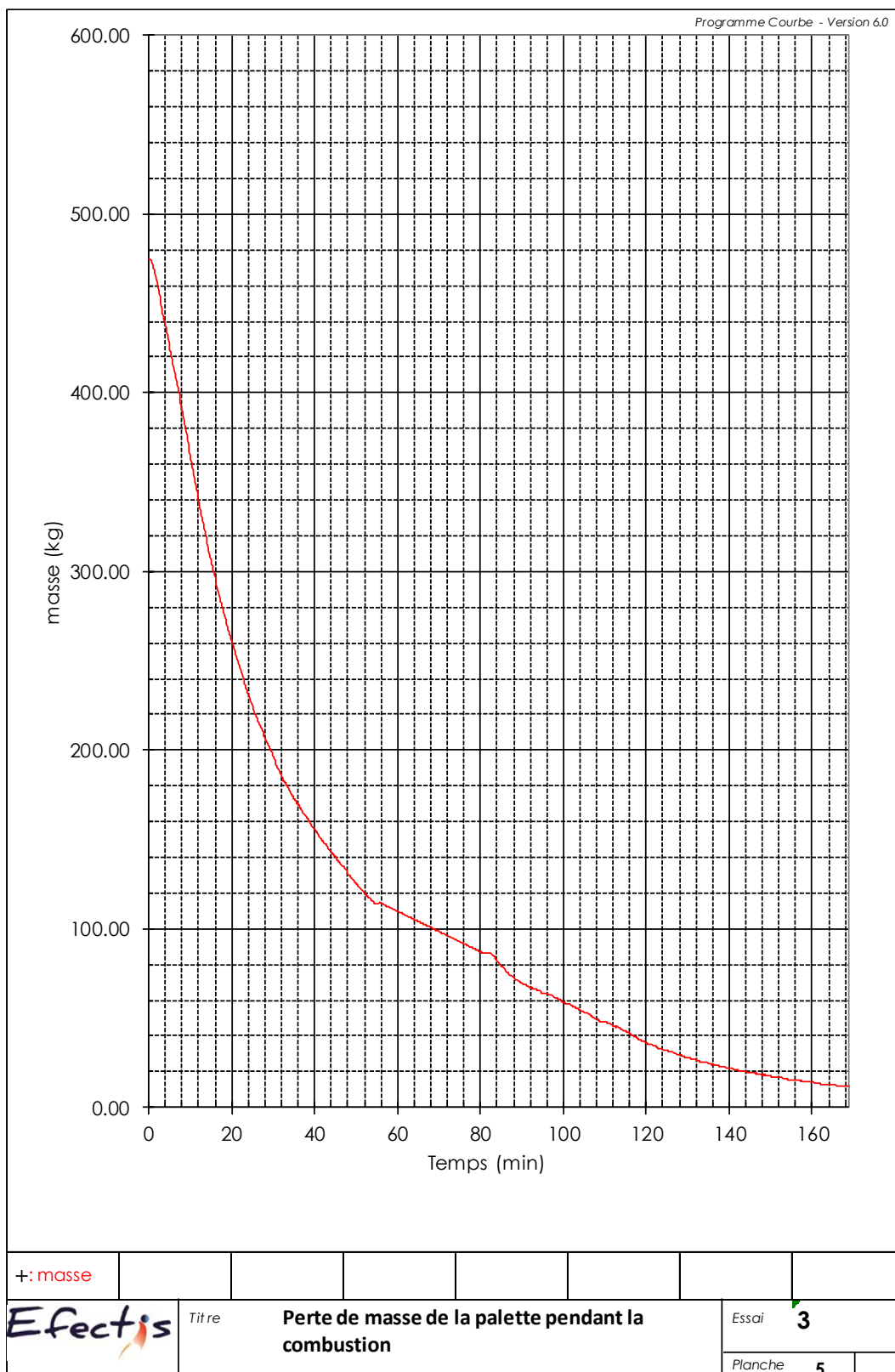
E.3 DEBIT DE FUMÉES



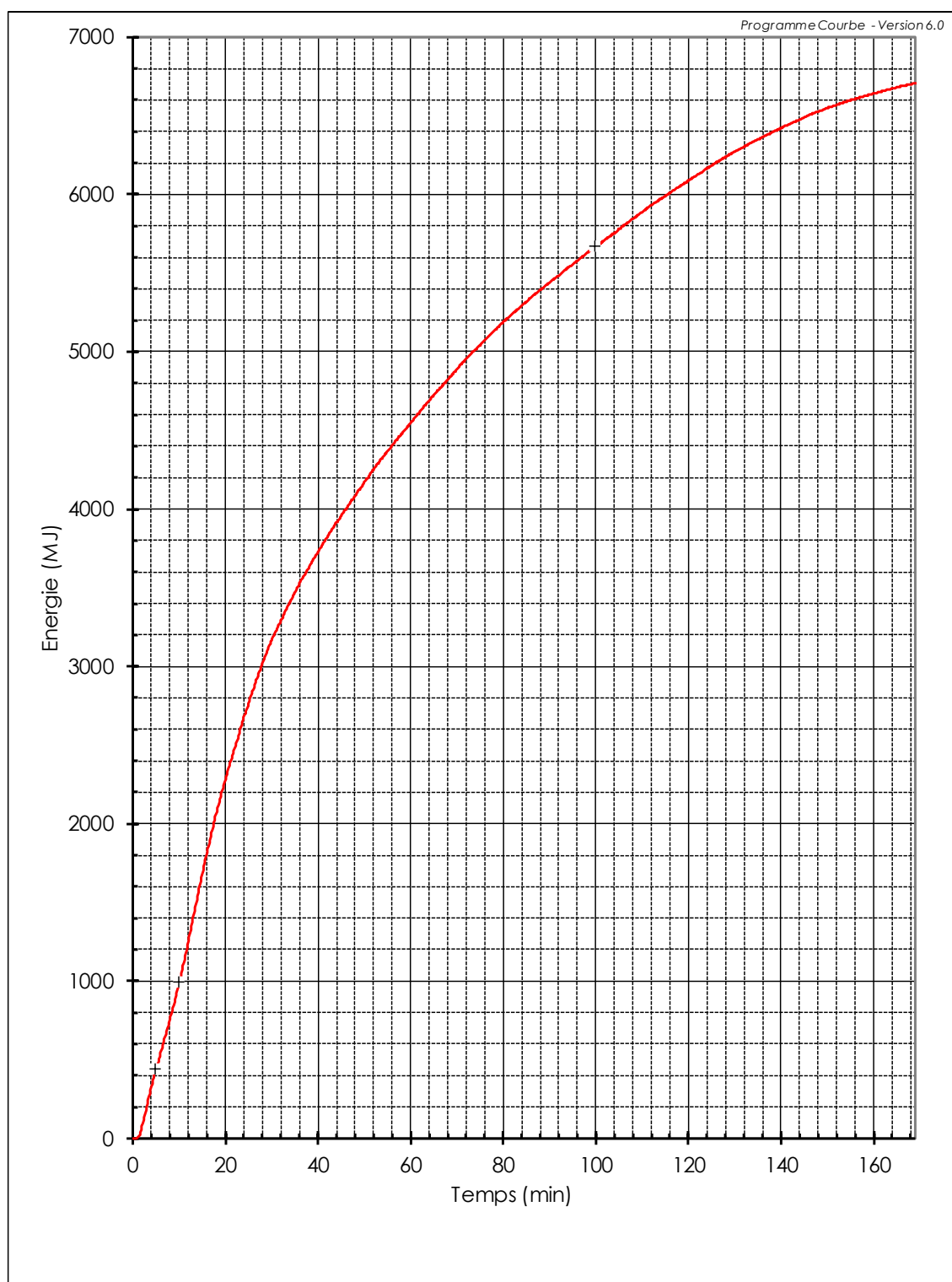
E.4 DEBIT CALORIFIQUE




E.5 PERTE DE MASSE



E.6 ENERGIE CONSOMMEE



+: Energie							
	Titre	Energie consommée pendant l'incendie de la palette				Essai	3
						Planche	6

E.7 FLUX THERMIQUES

