

# **RAPPORT INFLAMMABILITÉ**

MATERIAU COMPOSITE VEGETAL  
KSB

## Introduction :

La maçonnerie est le moyen le plus utilisé dans la construction des bâtiments. Son utilisation nécessite donc une bonne connaissance du comportement des matériaux qui la sous différentes contraintes de son environnement qui sont essentiellement mécaniques et thermiques.

Dans ce chapitre, nous allons focaliser sur le comportement au feu des matériaux de construction. En effet, dans le cadre de la sécurité incendie, il est impératif d'étudier la résistance ainsi que la réaction au feu des matériaux de construction.

Ces recherches s'intéressent à la formule de ce matériau visant à optimiser ses caractéristiques mécaniques et thermiques. Etant fabriqué à base de végétaux, la question de sa réaction au feu se pose. Aussi, l'objectif de ce projet est d'étudier, de concevoir et de fabriquer un banc d'essai permettant d'observer le comportement à l'allumage d'éprouvettes exposées à des flammes spécifiées par la réglementation en vigueur.

## **Comportement au feu des matériaux de construction :**

### **Généralité sur le feu :**

Un incendie est un grand feu incontrôlé qui, en se répandant rapidement et sans contrôle, cause des dégâts considérables. À la base d'un feu, il y a toujours trois éléments formant un triangle de feu : comburant, combustible et source d'énergie. L'activation et le maintien du feu dépend de l'existence de ces trois constituants. L'absence de l'un des trois éléments mène à l'extinction du feu.

Le feu se développe en incendie en passant par les phases suivantes (voir figure 1) [1] et [2] :

1. Phase d'initiation et croissance : La température augmente et les fumées commencent à apparaître.

2. Phase de développement rapide : le feu est localisé, la température s'élève rapidement et on a un volume rempli par des gaz chauds et de fumée.

3. Phase d'embrassement généralisé : la température est de 1 000 à 1 200 ° C, on assiste au « Flash-over », le feu se propage soudainement, selon la circulation de l'air.

4. Phase de décroissance : Quand le combustible s'épuise, la température commence à décroître lentement et le feu disparaît.

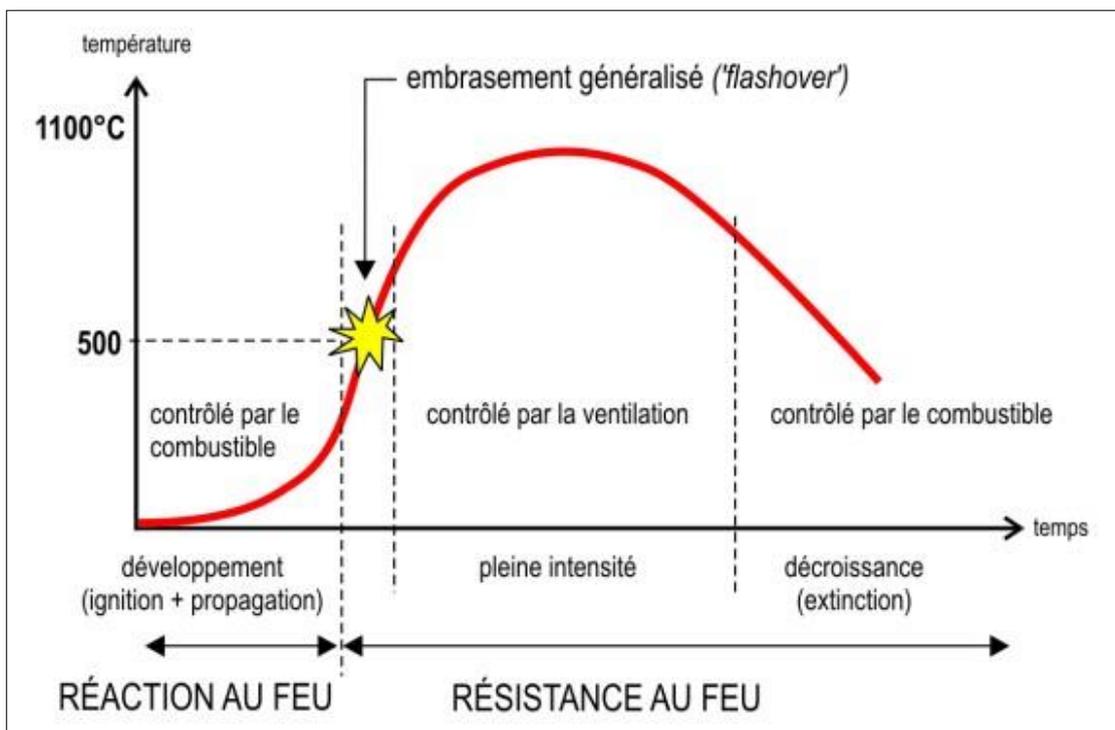


Figure 1 : Les différents phases de développement d'un incendie [2]

La tenue au feu des matériaux, des composants de construction, ainsi que des aménagements intérieurs, doit être de nature à assurer l'évacuation sûre et rapide du public. Ce comportement au feu est évalué selon deux critères fondamentaux :

- **La réaction au feu [3] :** c'est la manière dont le matériau réagit lors de l'incendie soit en le limitant, soit en le faisant avancer. Elle constitue une caractéristique intrinsèque d'un matériau identifiant les propriétés du matériau qui participent au développement d'un incendie : son inflammabilité, sa combustibilité, la libération de gaz et de fumées et la production de particules ou de gouttelettes enflammées.

- **La résistance au feu [4]**: c'est le temps durant lequel l'élément de construction va pouvoir continuer à jouer le rôle qui lui est attribué malgré l'incendie les éléments qui sont concernés par cette qualification : plafond, cloisons, éléments porteurs, conduits...

La classification « résistance au feu » des matériaux comporte trois classes de performance :

- **La stabilité au feu (R)** : Aptitude de l'élément de construction à assurer son rôle mécanique et sa stabilité pendant l'incendie.
- **Le degré pare-flammes (E)** : Étanchéité aux flammes : pas d'inflammation ni de gaz du côté non exposé au feu.
- **Le degré coupe-feu (I)** : les structures doivent être conçues et réalisées de façon à ce qu'elles ne produisent aucune perte d'isolation.

### **Essais de réaction au feu des matériaux de construction :**

Les matériaux de construction sont classés selon des essais normalisés ou d'autres procédures reconnues par l'AEAI (L'Association des Etablissements Cantonaux d'Assurance Incendie). Les critères déterminants sont en particulier la réaction au feu, la densité de fumée, la formation de gouttelettes ou de particules enflammées et la corrosivité.

Les principaux essais au feu permettant d'évaluer ces critères sont l'essai à la petite flamme, l'essai d'objet isolé au feu, la bombe calorimétrique, l'essai de réaction au feu et l'appareil d'essai au panneau radiant pour revêtements au sol.

#### **ESSAI À LA PETITE FLAMME (NBN EN ISO 11925-2) :**

L'essai utilise une seule source de flamme doit être réalisé conformément à la norme " ISO 11925 - 2 : Essais de réaction au feu pour des produits de construction - Partie 2 : Inflammabilité en exposition directe à la flamme "

Il est destiné à évaluer l'inflammabilité d'un échantillon placé verticalement et soumis à une petite flamme attaquant le bord et/ou la surface du matériau à un angle de 45 ° (voir Figure 7).

Un petit récipient contenant deux couches de papier filtre est placé sous le produit d'essai pour recueillir les gouttelettes et/ou les débris enflammés et pour déterminer l'inflammabilité du papier filtre. Six éprouvettes mesurant 250 mm x 90 mm doivent être testées à chaque

application de la flamme. Ce dernier est maintenu pendant 15 ou 30 secondes selon la classification européenne souhaitée. Pendant et après l'attaque de la flamme, on vérifie si la flamme atteint la marque de 150 mm pendant la période d'essai de 20 ou 60 secondes après l'exposition.

### **Appareillages d'essai :**

Pour réussir l'essai de réaction au feu, nous avons besoin de préparer les outils de mesure et les éléments nécessaires. Ces éléments sont le combustible, les appareils de mesure de la température et les appareils photo et vidéo.

#### **Le combustible :**

Pour faire les essais, nous avons eu recours à une bouteille de gaz (butane) présentée dans la Figure 30.



Figure 30 : Bouteille de gaz (butane)

Avant de démarrer les essais, on a branché le chalumeau avec la bouteille de butane pour s'assurer de l'étanchéité de l'équipement et mesurer la température de la flamme à la sortie du brûleur.

La température mesurée est de l'ordre de 1000°C. C'est une température qui permet de mener les essais de comportement des matériaux au feu.

L'essai de réaction au feu sera réalisé en suivant les instructions de la norme

NT ISO 11925-3 :1997+TC : 1998 EDITION JANVIER 2012

Allumabilité des produits du bâtiment soumis à l'incidence directe de la flamme –

### **Les appareils de mesure de la température :**

Afin de mesurer la température de la flamme et de suivre l'évolution de la température de l'éprouvette au cours de l'essai sur les deux faces, exposée et non exposée au feu nous avons utilisé quatre thermocouples type k. Ces thermocouples sont branchés à un appareil de mesure de température : testo177-T4. Celui-ci permet d'enregistrer la température jusqu'à dans quatre différents endroits en fonction du temps d'application de la flamme.

De plus, il doit être relié à un ordinateur contenant le logiciel d'enregistrement TESTO, comme l'indique la Figure 31 :

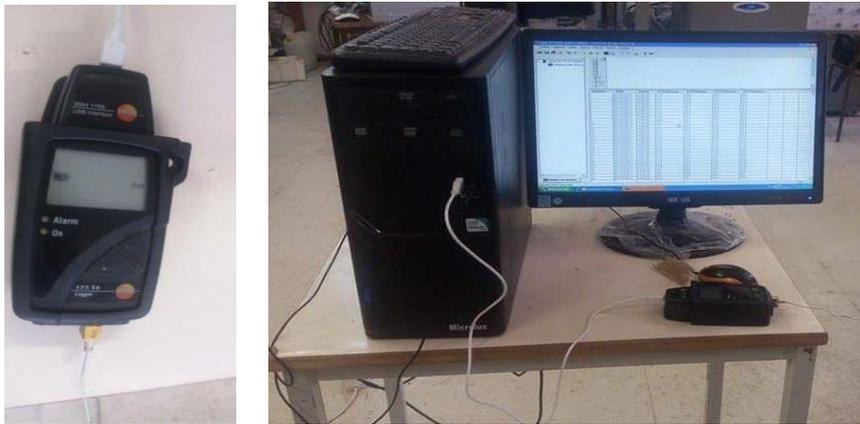


Figure 31 : Testo177-T4 et thermocouple type K

### **Les appareils photo et vidéo :**

En plus des enregistrements de mesure de température, il est intéressant de filmer l'essai et de prendre des photos pour enregistrer le déroulement de l'essai. Nous avons alors installé un trépied sur lequel est connectée une caméra pour enregistrer des vidéos et les convertir en une séquence d'images.



Figure 32 : Caméra sur trépied

## Réalisation des essais :

Les essais ont été réalisés au sein du Laboratoire de Génie Mécanique. La première étape a été la préparation du local en termes de libération d'espace et de positionnement du matériel. Ensuite, on a marqué les éprouvettes pour identifier la ligne médiane et la position de la flamme.

Après l'installation du banc d'essai, on a monté l'éprouvette dans les portes-éprouvette et on a vérifié son maintien dans une position verticale. Puis, on a installé le testo177-T4 et les thermocouples de manière à avoir un thermocouple dans les différentes positions suivantes (voir Figure 33 et 34):

- a. Devant la buse du chalumeau : pour mesurer la température de la flamme sortante du brûleur ;
- b. Dans la flamme, devant la face de l'éprouvette de quelques millimètres : pour mesurer la température de la flamme juste avant l'attaque de la face ;
- c. Sur la face de l'éprouvettes exposée au feu: pour mesurer la température de l'éprouvette au cours de l'essai ;
- d. Sur la face arrière de l'éprouvette : pour déterminer la conductivité du matériau.

Ensuite, le brûleur a été maintenu et orienté de manière à avoir une flamme perpendiculaire à la surface de l'éprouvette. La longueur de flamme qui est égale à 230mm a quant à elle été réglé avant le maintien du chalumeau.

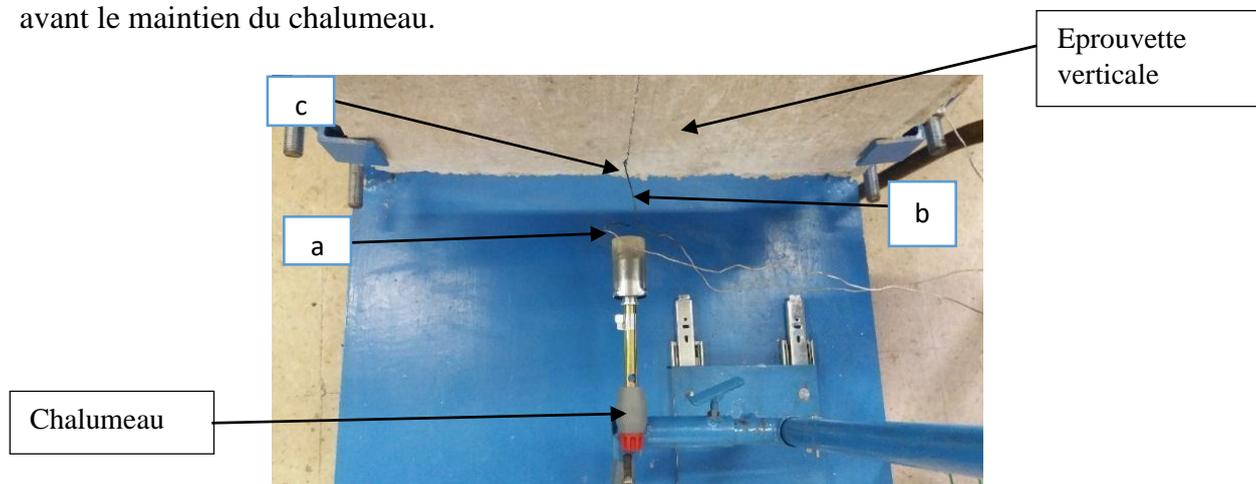




Figure 34 : (d) Thermocouple sur la face arrière

L'étape suivante a été l'installation des appareils d'enregistrement vidéo, temps et température. Puis, le bon fonctionnement de tous les éléments de l'essai a été vérifié (voir Figure 35).

Enfin, respectivement trois et deux essais ont été réalisés : celui du bord inférieur (voir Figure 36 et 37) et celui de la face (voir Figure 38).



Figure 35 : Le banc d'essai avant allumage



Figure 36 : Face avant l'allumage du bord inférieur      Figure 37 : Face arrière de l'allumage du bord inférieur

On note que pour l'allumage de la face, nous avons changé la position des portes éprouvette en les fixant sur les tiges filetées inférieures de sorte que le brûleur soit à 300 mm de hauteur par rapport au bord inférieur de l'éprouvette, comme indiqué dans la Figure 38:



Figure 38 : Allumage de la face

### **Résultats et interprétation :**

Les résultats des essais sont illustrés ci-après par le biais de photos à différents instants d'allumage et de courbes de variation de la température au cours du temps dans les quatre thermocouples, et ce pour les deux cas d'allumage : celui du bord inférieur et celui de la face.

### Allumage du bord inférieur :

Trois essais de durée 180s sont réalisés pour ce cas d'allumage.  
Essai N°1 :

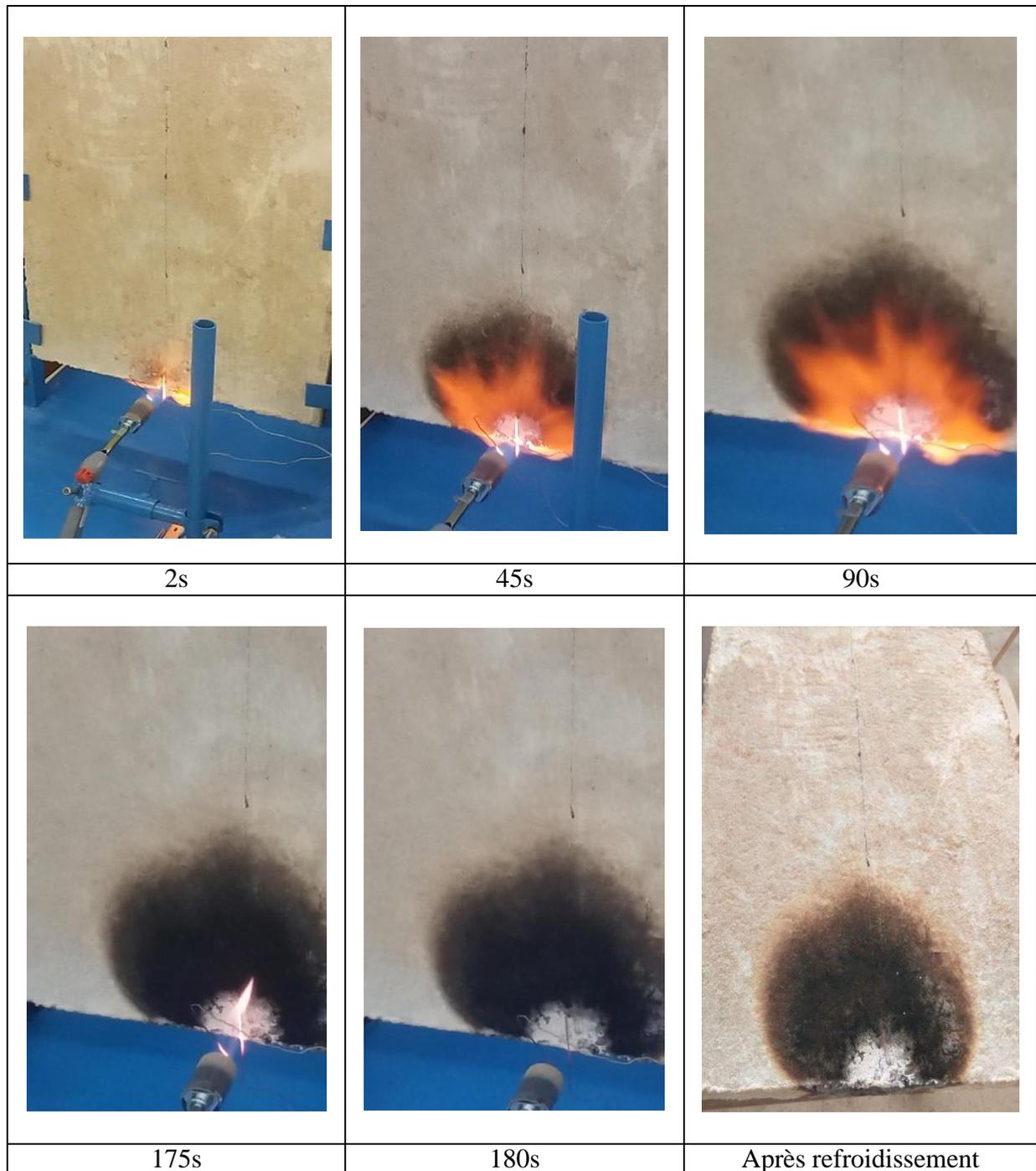


Figure 39 : Photos de l'essai n°1, d'allumage du bord inférieur

On note qu'il n'y a ni débris ou ni gouttes qui se séparent de l'éprouvette et que le matériau n'a pas pris feu, la zone d'attaque de la flamme a simplement noircie puis est devenue blanche (voir Figure 40). Cependant, il y a émission d'une odeur due à la combustion du matériau sans libération de fumée.



Figure 40 : Epreuve après allumage du bord inférieur

Quant aux variations de la température au cours de l'allumage, elles sont illustrées dans la Figure 41.

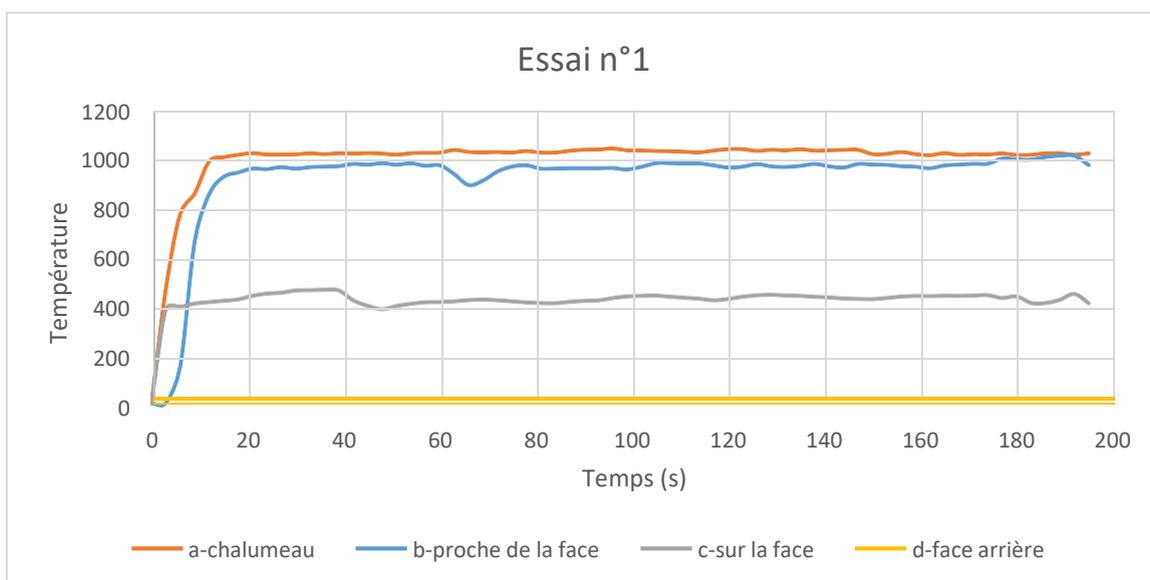


Figure 41 : Variations de la température en fonction du temps du 1er essai d'allumage du bord inférieur

On note que la température de la flamme à la sortie de la buse du brûleur (a) et juste devant la face de l'éprouvette (b) sont quasiment les mêmes à 50 °C près, qu'elles grimpent ensemble de 0°C à 1000° C en une dizaine de seconde pour se stabiliser à cette dernière température tout au long de l'essai.

La température sur la face d'éprouvette exposée à la flamme (c) quant à elle, elle grimpe en parallèle avec celle de la flamme du chalumeau mais à environ 400°C.

Quant à la face non exposée au feu (d), sa température ne monte que légèrement, malgré l'allumage par bord inférieur qui fait que la flamme du chalumeau atteint la face non directement exposée au feu.

a. Essai N°2 :

Le déroulement visuel de cet essai est analogue au premier, aussi nous ne montrons que les enregistrements de variation de la température au cours d'allumage (voir Figure 42).

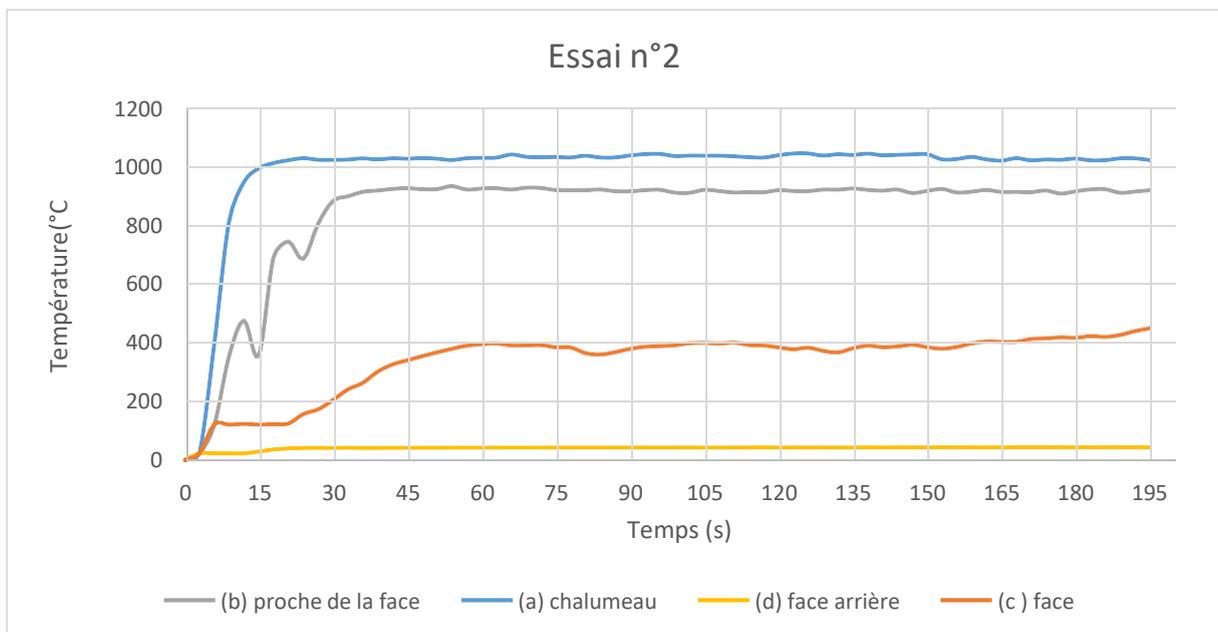


Figure 42 : Variations de la température en fonction du temps du 2ème essai d'allumage du bord inférieur

On note que la variation, au démarrage de l'essai, de la température de la flamme au niveau de la face de l'éprouvette (b) n'est dû qu'au réglage du mauvais positionnement du thermocouple au début de l'essai et n'affecte en rien le fait que la température de la flamme au niveau de la face est relativement proche de la flamme à la sortie de la buse, ici à une centaine de degrés près.

De même, la température sur la face exposée (c) a été effectuée par ce réglage au démarrage de l'essai et n'a pas dépassé les 400 °C en fin d'essai.

Quant à la face non exposée (d), elle demeure non affectée par le feu durant ces trois minutes d'essai qui, représentent la durée maximale indiquée par la norme.

b. Essai N°3 :

Pour les mêmes raisons que pour l'essai n°2, on ne montre ici que les courbes de variation de la température au cours de l'allumage (voir Figure 43).

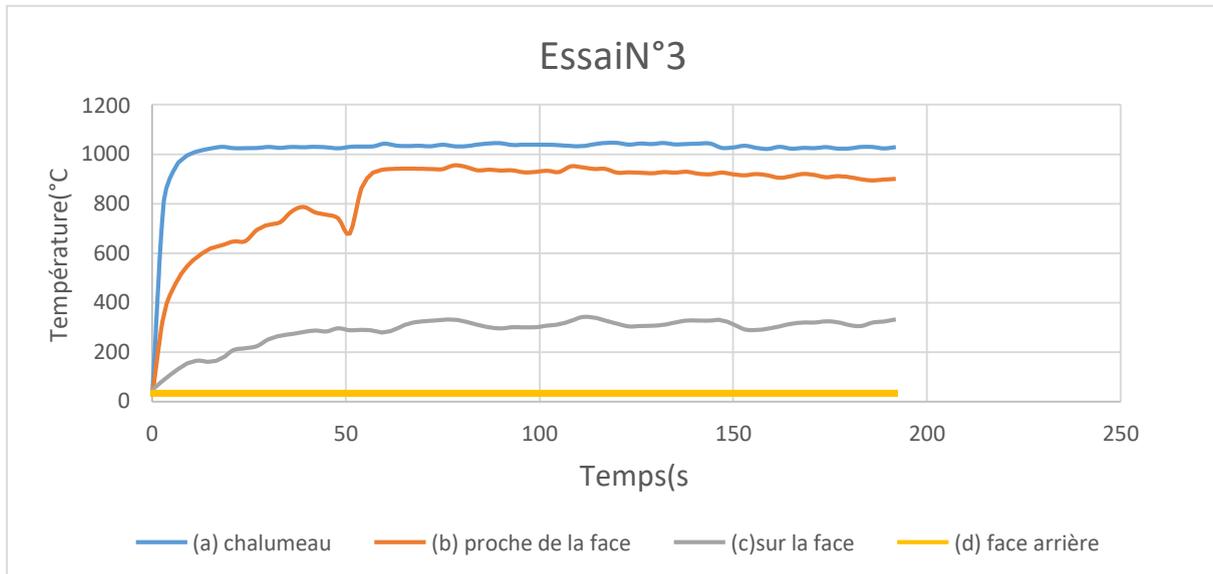


Figure 43 : Variation de la température en fonction du temps du 3<sup>ème</sup> essai d'allumage du bord inférieur

Dans cet essai, la température de la face exposée (c) dépasse de peu les 300°C.

**Allumage de la face :**

On rappelle que l'allumage de la face se fait, selon la norme, à 300mm de hauteur par rapport au bord inférieur.

A défaut de nombre d'éprouvettes suffisants, l'essai d'allumage de la face n'a été effectué que sur 2 éprouvettes.

Pour enrichir les observations issues de ces essais, on a décidé de procéder à un essai qui dure 180 secondes comme indiqué dans la norme et laisser la flamme plus longtemps pour le deuxième et dernier essai.

a. Essai N°1 :

Le déroulement de l'essai est illustré en cinq photos, suivies d'une photo après refroidissement de l'éprouvette (voir Figure 44).

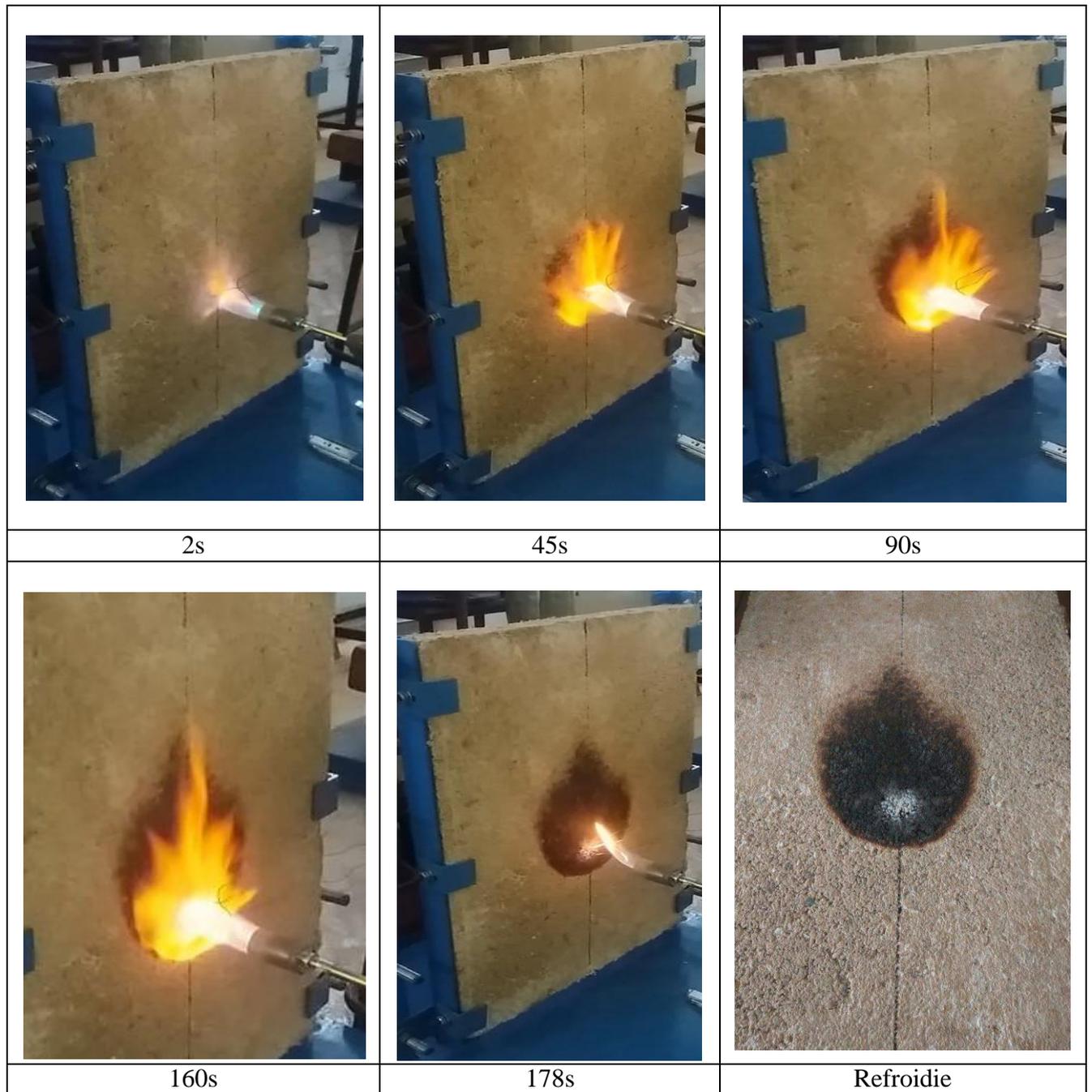


Figure 44 : photos de l'essai n°1 d'allumage de la face

Tout comme le cas d'allumage du bord inférieur, on note qu'il n'y a pas ni écaillage de l'éprouvette, ni fumée, juste une coloration au début noirâtre qui devient blanchâtre et une mauvaise odeur rapidement dissipée par aération du local.

Quant aux courbes de variation de la température au cours de l'allumage, elles sont présentées dans la Figure 45.

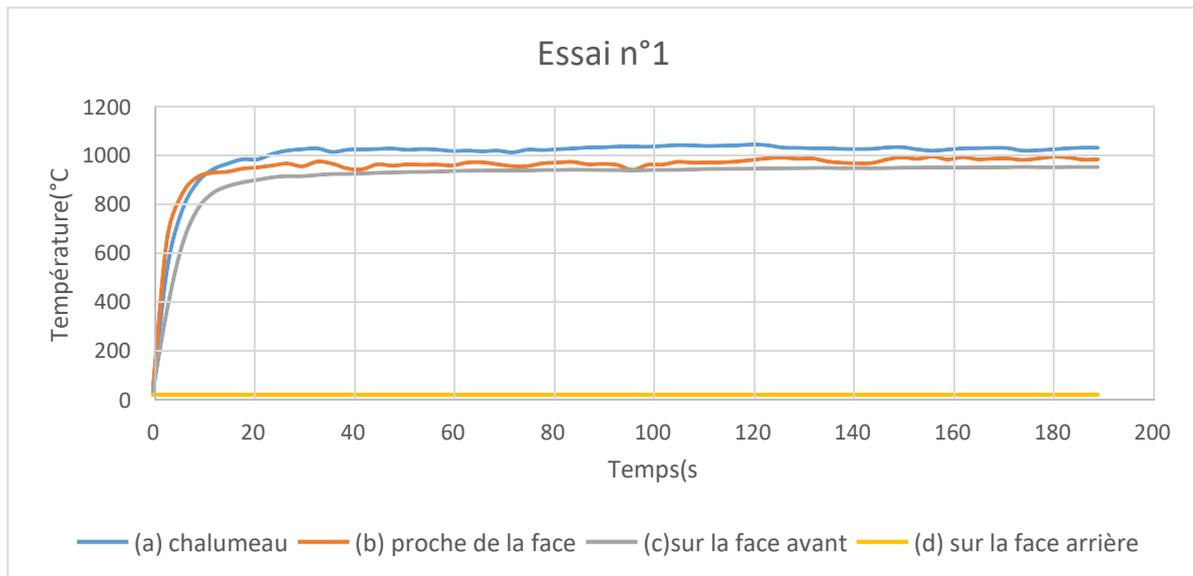


Figure 45 : Variation de la température en fonction du temps du 1<sup>er</sup> essai d'allumage de la face

Alors que dans l'essai d'allumage du bord inférieur la température ne dépasse pas 400°C malgré une température de flamme de 1000°C durant trois minutes, l'essai d'allumage de la face avant donne trois températures assez proches à la sortie de la buse (a), à la flamme proche de la face (b) et à la face exposée au feu (c).

Vu que les observations visuelles sont quasiment identiques au premier cas d'essai, nous restons prudents quant à ces enregistrements de températures qui peuvent être dans le cas (c) celui de la flamme et non de la face par simple décrochage du thermocouple lors de l'arrivée du flux de chaleur.

La température de la face non exposée (d) quant à elle, elle est de 23°C, ce qui correspond à la température ambiante alors que la face exposée est à 950°C. Ce qui représente un résultat assez probant quant à la réaction on au feu de ce matériau.

#### b. Essai N°2:

Ce dernier essai a une durée totale de 1260 secondes, soit de 21 mn. Le déroulement de cet essai est analogue au premier durant le temps indiqué par la norme, aussi nous ne montrons que les

photos à 2 s, à 15 mn d'exposition au feu et après 1 mn de refroidissement soit à 22 mn du démarrage de l'essai (voir Figure 46).

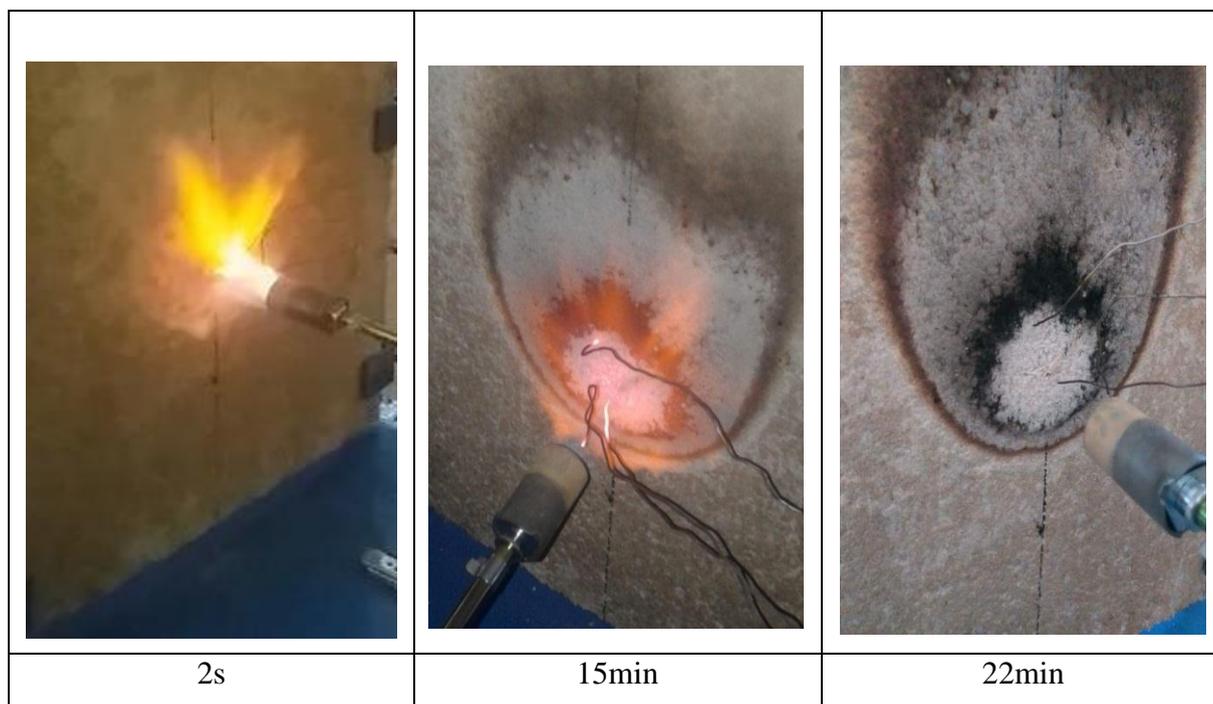


Figure 46 : photos de l'essai n°2 d'allumage de la face

On note ici que malgré le temps relativement important d'exposition au feu (21 mn), les constatations sont analogues à celles du temps indiquée par la norme (3mn), à savoir qu'il n'y a, toujours pas de débris ni de gouttes ni de fumées, juste une surface plus étendue de la coloration de la face qui devient étagée avec du blanc au niveau de l'exposition directe à la flamme entourés par une couronne noirâtre qui est la couleur du début de la combustion, entourée elle-même par une zone grisâtre et finissant par une couronne marron.

Quant aux variations de la température au cours de l'allumage, elles sont illustrées dans la Figure 47.

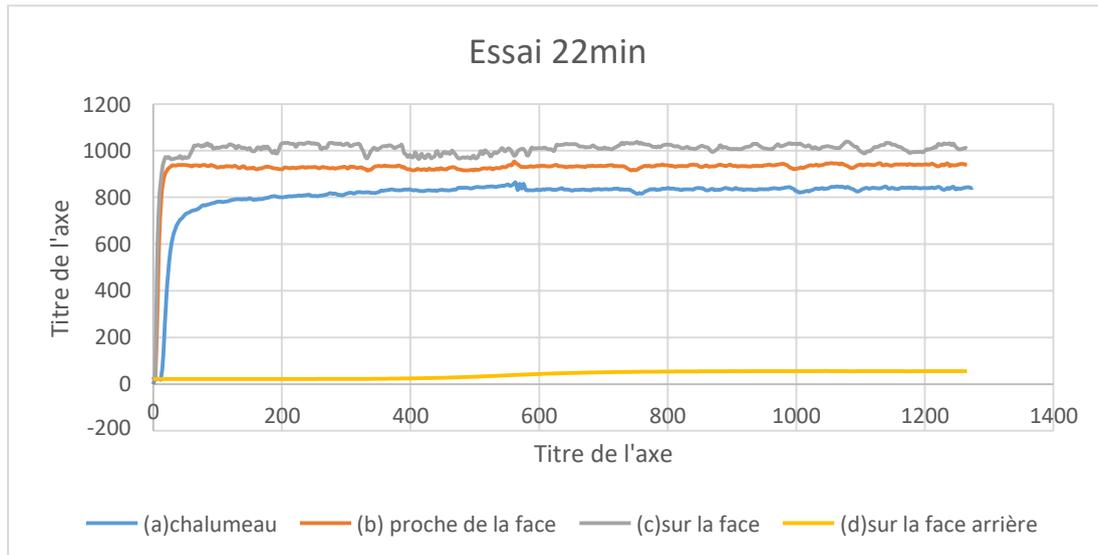


Figure 47 : variation de la température en fonction du temps du 2<sup>ème</sup> essai d'allumage de la face

On note à nouveau dans ces courbes la légère différence d'environ 50°C entre la température à la sortie de de la buse (a) et celle de la flamme au niveau de la face (b) qui s'explique par la distance de 70 mm qui les sépare.

La température de la face (c) quant à elle atteint les 800°C, ce qui confirme les résultats du 1<sup>er</sup> essai et laisse penser que l'allumage de la face est plus virulent que l'allumage du bord puisque le palier en température passe du simple au double. En effet, la température de la face non exposée (d) reste égale à la température ambiante durant les 8 premières minutes de l'essai, ce qui représente une durée assez importante, puis sous l'effet de la conduction, elle augmente progressivement jusqu'à atteindre 56°C au bout de 21 mn d'exposition au feu, ce qui représente un résultat plus que satisfaisant dans l'absolu, et d'autant plus en rappelant que ce matériau est à base de végétaux

## Conclusion générale

Dans l'étude du comportement des matériaux de construction en présence d'une flamme ou d'une élévation de température, il est nécessaire d'avoir les dispositifs expérimentaux décrits par les normes en vigueur. Cela permet l'identification et la comparaison de tout nouveau matériau vis-à-vis de ceux qui existent déjà sur le marché.

Afin de réaliser un dispositif expérimental destiné à l'étude de l'allumabilité des matériaux, nous avons commencé par l'étude des normes existantes qui identifient la réaction au feu des matériaux de construction, ainsi que leurs classements selon les critères des Euroclasse.

Ensuite, nous avons conçu un banc d'essai selon les exigences décrites par la norme ISO 11925-3. Nous avons commencé par l'élaboration d'un cahier des charges issu du texte de la norme en question et nous avons fait des choix de conception pour permettre l'adaptabilité du matériel à différentes configurations d'essai à savoir : la distance qui sépare la buse de l'éprouvette (grâce au chariot du brûleur), la possibilité de procéder à un essai au feu incliné (grâce au support du brûleur).

Puis, la réalisation de ce dispositif est passée par plusieurs étapes de fabrication : le découpage des composants, le soudage de certains éléments, la peinture et le montage. Nous avons finalisé la fabrication par l'alimentation du circuit de combustible.

Les tests ont permis de déterminer la réaction au feu d'un éco-matériau à base végétale.

Il s'est avéré ininflammable et de très faible conductivité, ce qui confirme que ce matériau possède une bonne réaction au feu