



## ANALYSE DES FEUX DE FAÇADE

**Alexis COPPALLE (CORIA) & Virginie DREAN (Efectis)**

### Projet ANR FRENETICS

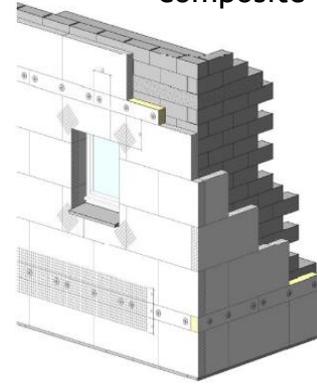
Fire REsistaNce of External Thermal Insulation Composite Systems  
Financement ANR (2020-2024) sous contrat ANR-19-CE22-0007

Partenaires :  
**CORIA** (Rouen)  
**UMET** (Lille)  
**PPRIME** (Poitiers)  
**Efectis** (Bordeaux, Avenières)

# CONTEXTE

- ❑ Besoin réel d'améliorer la performance énergétique des bâtiments
  - Renforcement de l'Isolation Thermique Extérieure (ITE) des bâtiments
- ❑ Nouvelles caractéristiques des façades et produits de construction
  - Systèmes avec assemblages multi-composants, interactions, variations de montage et de fixation → conduit à un niveau de complexité élevé
  - Peut être combustible → impact sur la sécurité incendie
- ❑ Incendies plus nombreux et plus importants associés aux systèmes de façade
  - En particulier pour les IGH
  - Valence, Espagne, 2024 - Madrid, Espagne, 2020 - Londres, UK, 2017
- ❑ Rappel: l'importance de traiter les problèmes d'incendie dans leur ensemble
  - Rôle majeur de la façade du bâtiment comme vecteur de propagation du feu clairement mis en évidence

Système composite



Façade verte / végétalisée



Système ventilé



façade

# OBJECTIFS & MÉTHODOLOGIE

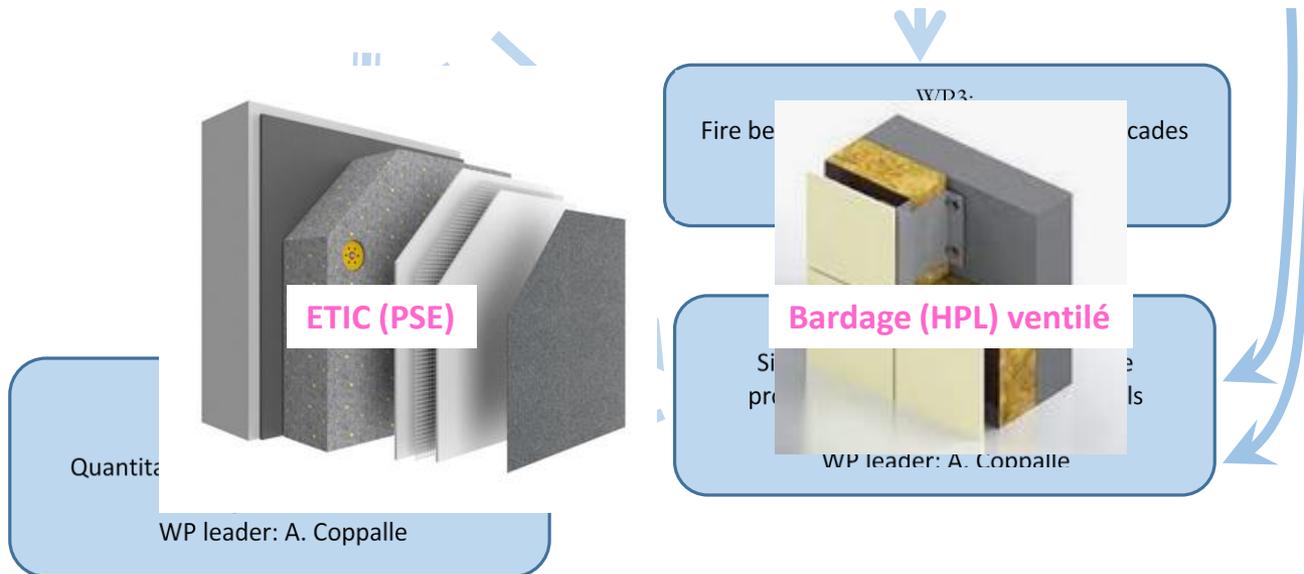
---

- ❑ Réaliser des essais :
  - A échelle matériau
  - A échelle intermédiaire
  - A échelle réelle sur les systèmes analysés aux échelles précédentes
- ❑ Instrumenter les systèmes pour obtenir des informations supplémentaires :
  - Sur les flux reçus à l'interface flamme-paroi
  - Sur les phénomènes dans la cavité (systèmes ventilés)
  - En termes de flux, températures (gaz & surfaces), vitesses dans les lames d'air
- ❑ Se situer en termes de flux reçus en fonction de la hauteur :
  - Par rapport à la littérature
  - Par rapport aux moyens d'essais normalisés
  - Par rapport à essai harmonisé EU
  - Par rapport aux sollicitations thermiques utilisées à l'échelle intermédiaire (représentativité)
- ❑ Alimenter les simulations numériques :
  - En données d'entrée
  - En fournissant des cas de validation

# MÉTHODOLOGIE

WP1:  
Fire reaction tests of selected ETI materials  
tested at small-scales  
WP leader: S. Bourbigot

Afin d'avoir des résultats facilement exploitables  
pour les acteurs de la sécurité incendie:  
Etudes réalisées sur des produits commerciaux



# ETUDES A PETITE ÉCHELLE

---

# ETUDES A PETITE ÉCHELLE

---

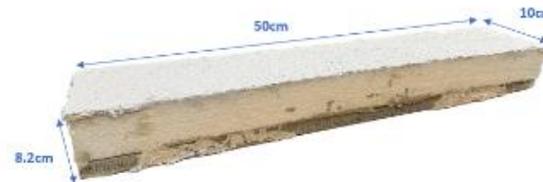
- ❑ Nouveaux matériaux développés avec une approche multi-conceptuelle :
  - Ignifuge puis relayé par un matériau intumescent

Exemple : un ETIC (PSE)

Enduit de finition, contenant initialement du **Silicon**, mais **additionné avec du graphite (EG)**



(Finishing Coating: StoSilco® K + Expandable Graphite)

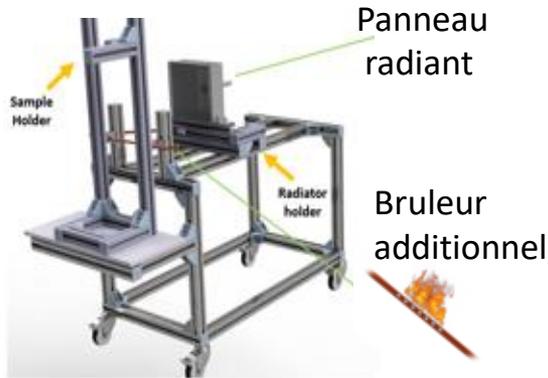


Spécimen de façade de petite taille (10 x 50 cm<sup>2</sup>)

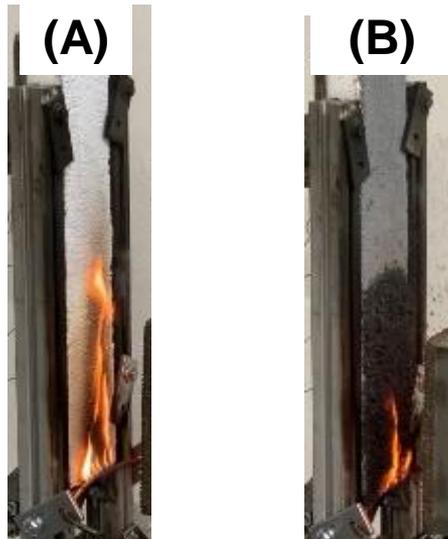
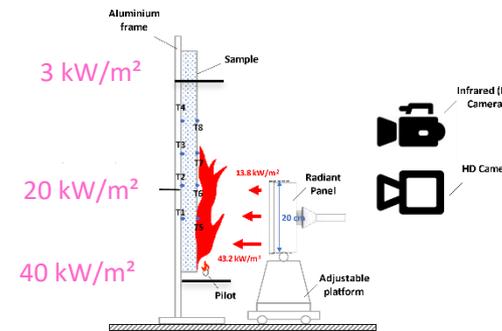
# ETUDES A PETITE ÉCHELLE

- ❑ Les spécimens de façades sont soumis à un banc d'essai au feu à petite échelle
  - Pour optimiser les traitements avant les tests à grandes échelles (LEPIR2)

Porte échantillon

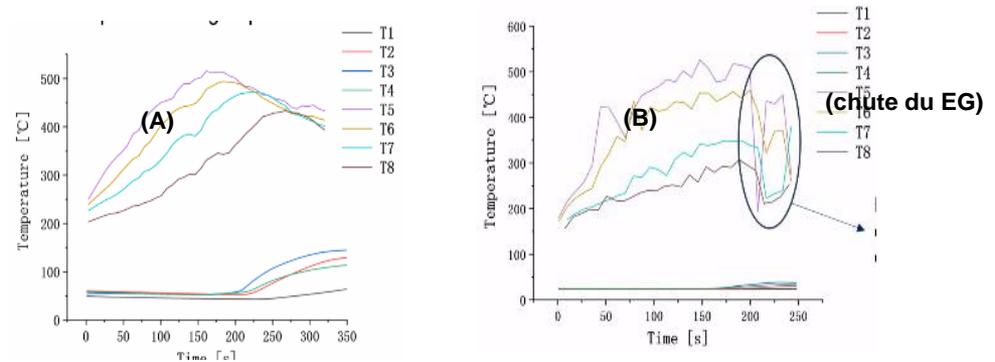


En équipant cette installation de thermocouples et d'une caméra HD/IR, il est possible de surveiller simultanément les variations de température et la dynamique de propagation des flammes



t = 80 s

Images haute définition à 80 s  
(A) PSE ETICS (B) EG PSE ETICS



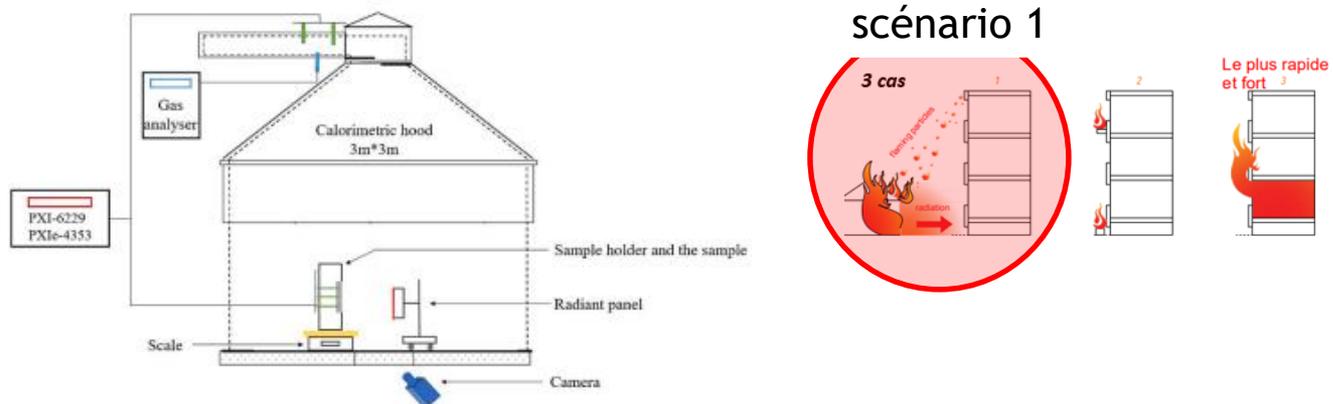
L'incorporation de graphite dans le revêtement permet de stopper efficacement l'inflammation et d'améliorer considérablement les propriétés d'isolation thermique

# ÉCHELLE INTERMÉDIAIRE

---

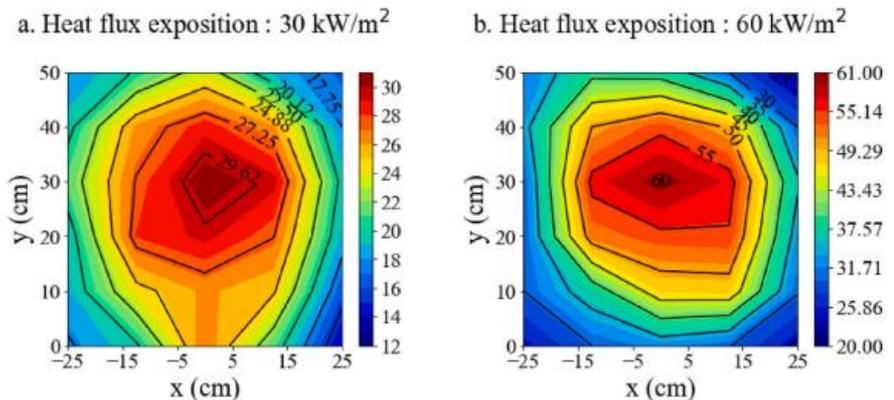
# ÉCHELLE INTERMÉDIAIRE

- ❑ Développement d'un banc de tests permettant d'étudier le comportement au feu d'éléments (50 x 50 cm<sup>2</sup>) pour le scénario 1



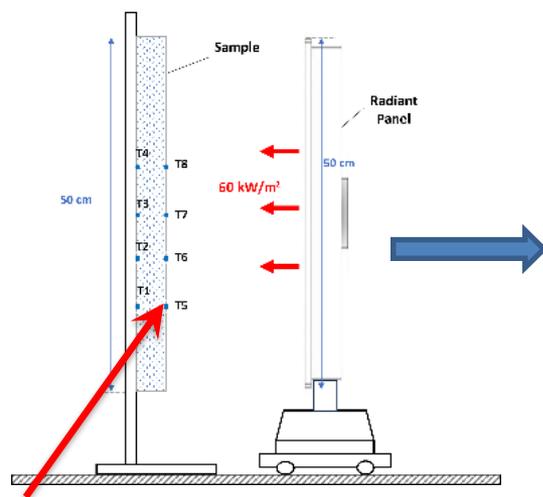
- ❑ Mesure de paramètres globaux (MLR, gaz, HRR) et locaux (champs de températures, flux de chaleur, front de décomposition)

- ❑ Distribution du flux de chaleur pour deux configurations :

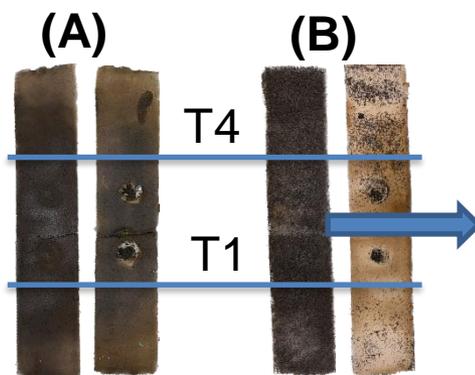


# ÉCHELLE INTERMÉDIAIRE

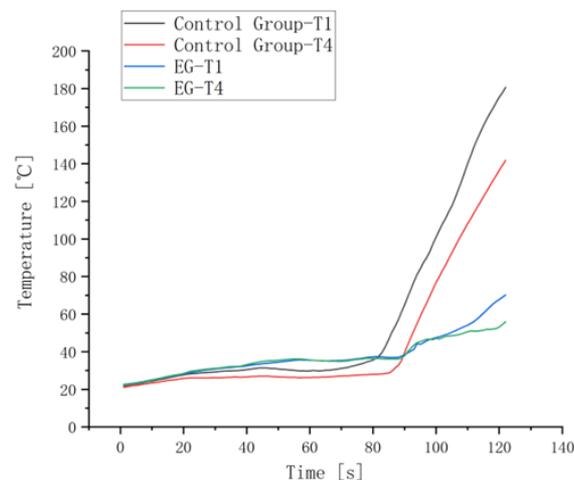
- Sous des contraintes thermiques fortes, étude du comportement des échantillons ETICS-EPS avec un enduit de finition standard ou traité



Panneau rayonnant:  
Flux reçu  $60 \text{ kW/m}^2$   
au centre



Faces avant et arrière  
des échantillons après le test :  
(A) Sans additif (B) avec additif EG

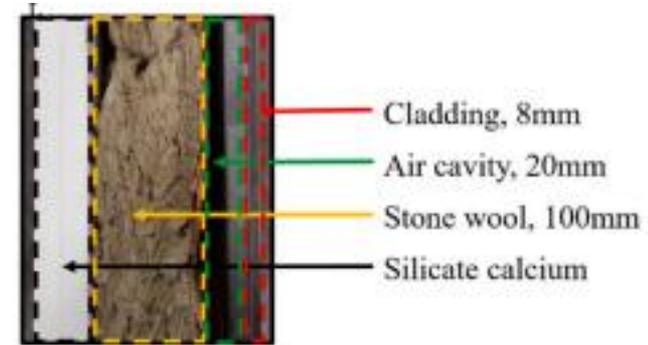


Profils de distribution de la  
température à l'arrière

- Le graphite expendable joue le rôle de barrière thermique
- Il est adapté aux enduits de finition organiques (silicone) utilisés pour les ETICS (PSE)

# ÉCHELLE INTERMÉDIAIRE

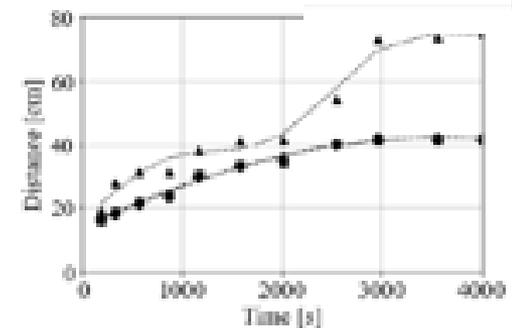
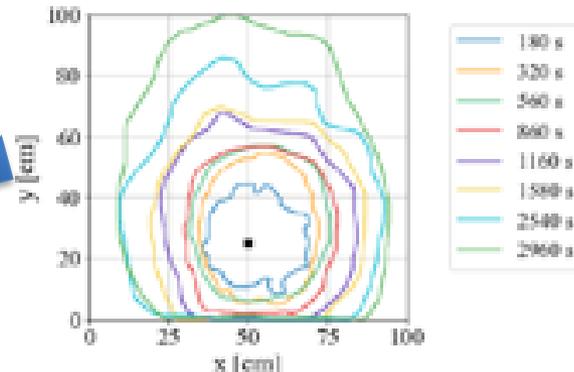
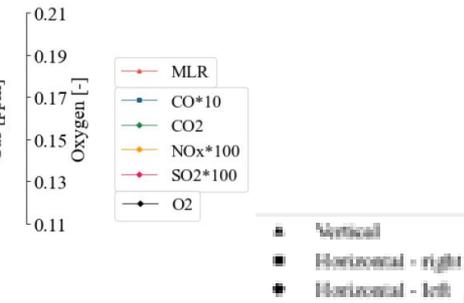
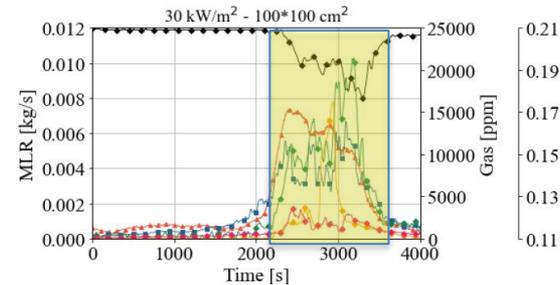
- Sous des contraintes thermiques fortes, étude du comportement d'échantillon de bardage (HPL) ventilé



t= 860 s    1580 s    2540 s    2960 s



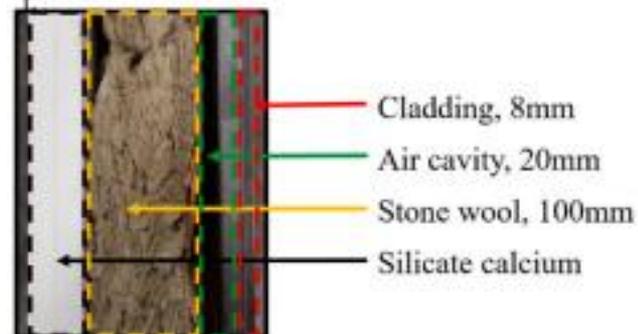
Panneau rayonnant :  
Flux reçu  $30 \text{ kW/m}^2$  au centre



Dias Lopes P. et al, Fire Safety Journal, 2023

# ÉCHELLE INTERMÉDIAIRE

- ❑ Sous des contraintes thermiques fortes, étude du comportement d'échantillon de bardage (HPL) ventilé

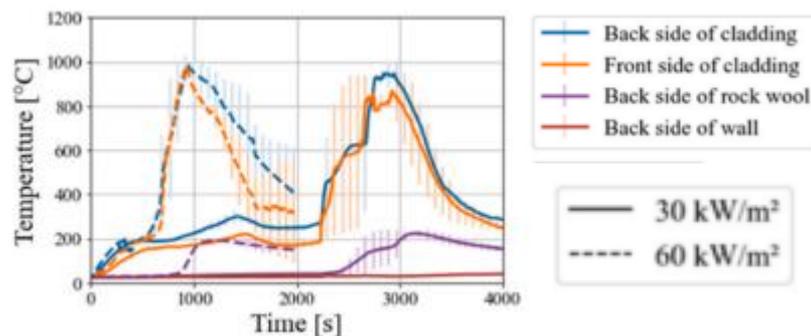


t = 860 s    1580 s    2540 s    2960 s



Panneau rayonnant :  
Flux reçu  $30 \text{ kW/m}^2$  au centre

Plage de températures moyennes  
pour  $30 \text{ kW/m}^2$  et  $60 \text{ kW/m}^2$



- ❑ Conclusion pour une agression externe :
  - Le bardage (HPL) ventilé a une bonne réaction au feu
  - Beaucoup de temps pour avoir le percement
  - Formation de char (« effet protecteur »)

# ÉCHELLE RÉELLE

---

# DISPOSITIF EXPERIMENTAL : BANC D'ESSAI LEPİR 2

## ❑ Banc d'essai normalisé français pour façades

- R0 - R+1 & début d'un R+2
- 2 buchers en bois normalisés au R0 – courbe ISO
- Modifié avec introduction mur de séparation central  
✓ 2 configurations différentes – hors standard

## ❑ 4 essais réalisés : PSE enduit, HPL, feu int/ext



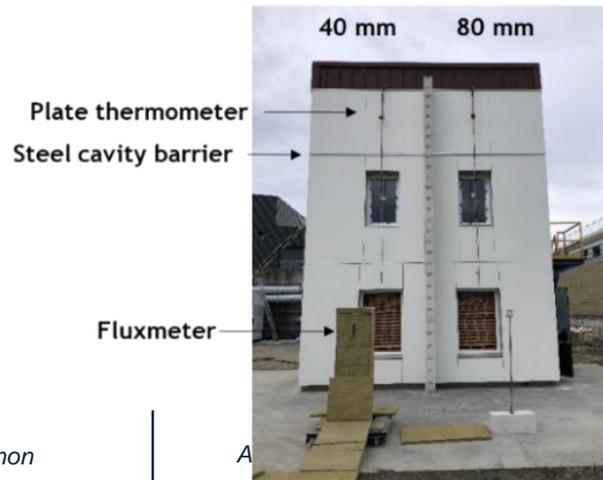
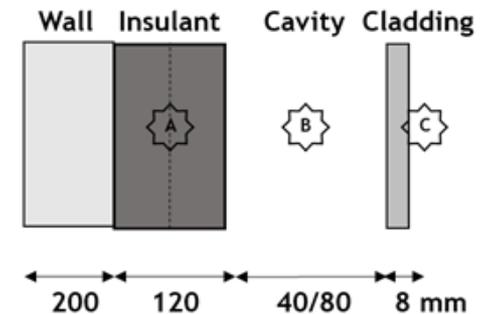
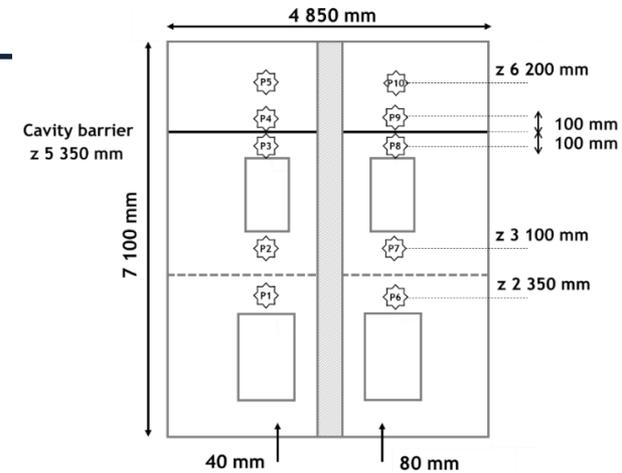
## ❑ Système de façade ventilée (→ focus aujourd'hui)

- Conforme aux instructions techniques
- Revêtement HPL - e = 8 mm – B s2-do
- Laine de verre - e = 120 mm
- Deux lames d'air - 40 & 80 mm
- Rails aluminium
- Recoupement au-dessus du R+1 - plaques d'acier e1.5 mm



# MESURES & INSTRUMENTATION

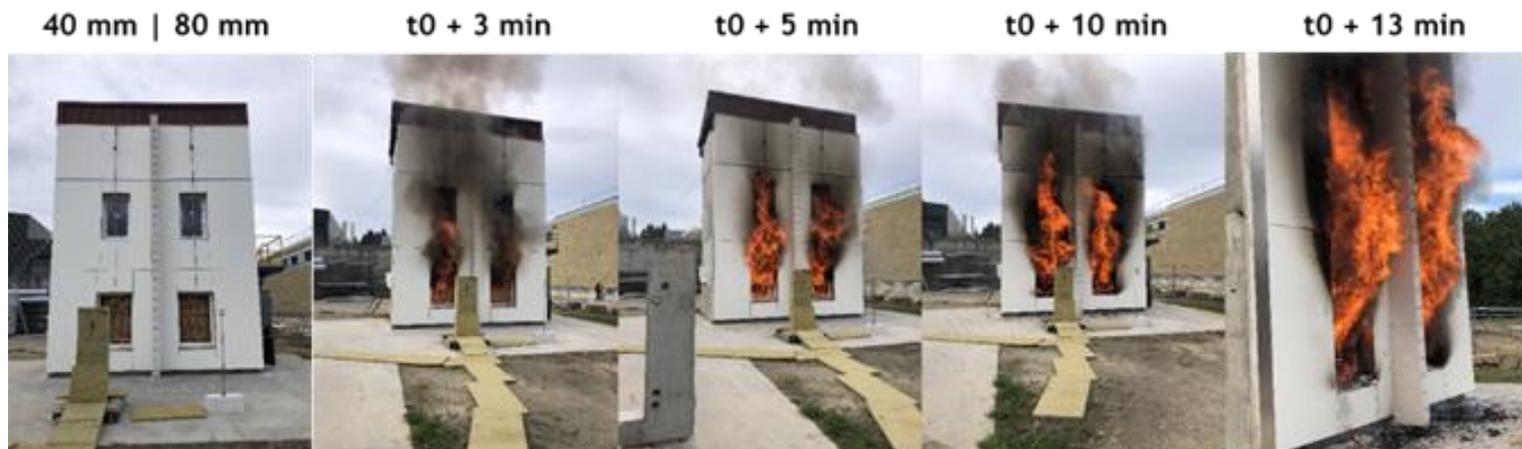
- ❑ Devant le système testé - à 150 mm de la façade
  - TC Inconel  $\varnothing 3$  mm + Plate thermometers
- ❑ Plate thermometers derrière les fenêtres du R+1
- ❑ A 3 m de la façade – centré sur la fenêtre du R0
  - Côté gauche : fluxmètre + plate thermometer
  - Côté droit : plate thermometer
- ❑ Instrumentation supplémentaire en phase gazeuse et solide
  - Thermocouples Inconel  $\varnothing 3$  mm + plate thermometers
  - Sondes de pression à 1 m au-dessus du recouplement



# OBSERVATIONS DU DÉVELOPPEMENT DU FEU

## □ Contribution des panneaux de bardage à l'incendie au R0 et R+1

- Face ext du bardage en contact avec les flammes détériorée entre R0 et recouplement en 3 min
- Après 6 min : Entrée de gaz chauds dans la cavité → inflammations visibles
- Des deux côtés : dégagements de fumées importants par la cavité à 10 minutes
  - ✓ Déformations des panneaux de bardage entre les fenêtres du R0 et celle du R+1
- Fenêtres du R+1 perdues à environ 10 minutes de l'essai
- Après 13 min : Inflammation localisée du bardage → Chute morceaux au dessus fenêtre du R+0
  - ✓ Permettant la dégradation et la carbonisation de l'isolant - impact plus important côté droit du système (largeur 80 mm)



# OBSERVATIONS DU DÉVELOPPEMENT DU FEU

40 mm | 80 mm

- ❑ Fin de l'essai à 27 min - effondrement des buchers
- ❑ Observations du système après l'essai :
  - Support de maçonnerie visible localement (entre fenêtres R0 - R+1)
    - ✓ Chute localisée d'isolant et de bardage
  - Fusion des rails aluminium
  - Où l'isolant est encore en place et visible :
    - ✓ Décomposé et carbonisé / surface plus importante à droite
- ❑ Au-dessus de la barrière de cavité – au R+2
  - Où les principaux critères de l'essai LEPIR2 doivent être respectés
  - Panneaux de bardage endommagés uniquement sur leur surface
    - ✓ Juste au-dessus des flammes
  - Pas de percement
- ❑ Lorsque les panneaux sont retirés :
  - Aucun dommage sur l'isolant
  - Quelques traces d'échauffement au-dessus du recoupement
- ❑ Recoupement de la cavité :
  - Montre son efficacité en déviant les gaz chauds loin de la cavité au R+2 – panneaux brûlés superficiellement



# RÉSULTATS – FLUX THERMIQUES

## ❑ Derrière les fenêtres du R+1 :

- Comparables des deux côtés de la façade
- Valeurs jusqu'à 10 kW/m<sup>2</sup> atteintes dans le compartiment
  - ✓ Représentatif du flux de chaleur critique classique
    - Inflammation de matériaux en bois ou en plastique
  - ✓ Inflammation potentielle de mobilier au R+1 derrière la fenêtre
    - → potentielle propagation du feu à l'étage supérieur

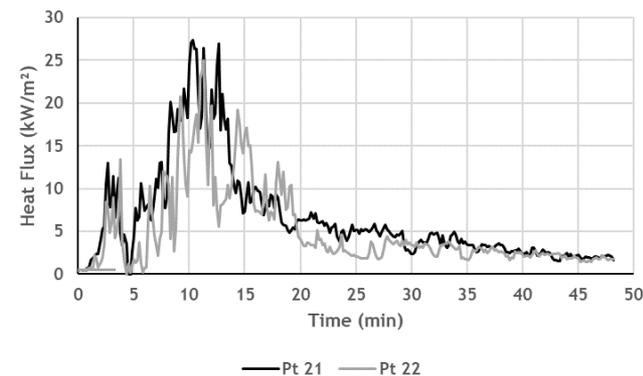
## ❑ Devant la façade au R+2 :

- Comparables pour les deux largeurs de cavité
- Recollement des flammes sur la façade
  - ✓ Semble peu affecté par la largeur de la cavité
- Température maximale de 400°C / flux de 25 kW/m<sup>2</sup>
  - ✓ Gaz chauds plutôt que de flammes

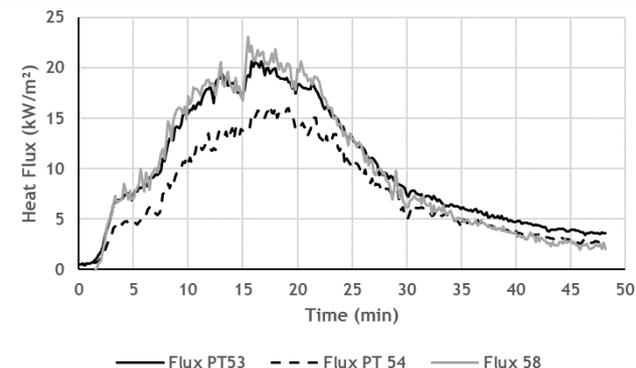
## ❑ A une distance de 3 m de l'installation :

- Évolution similaire dans le temps pour les deux largeurs de cavité
- Concordance mesures fluxmètre / plate thermometer

**R+2 – 150 mm from the system**



**Front of the facility – 3 m from the system**



# RÉSULTATS – VITESSES DANS LA LAME D'AIR

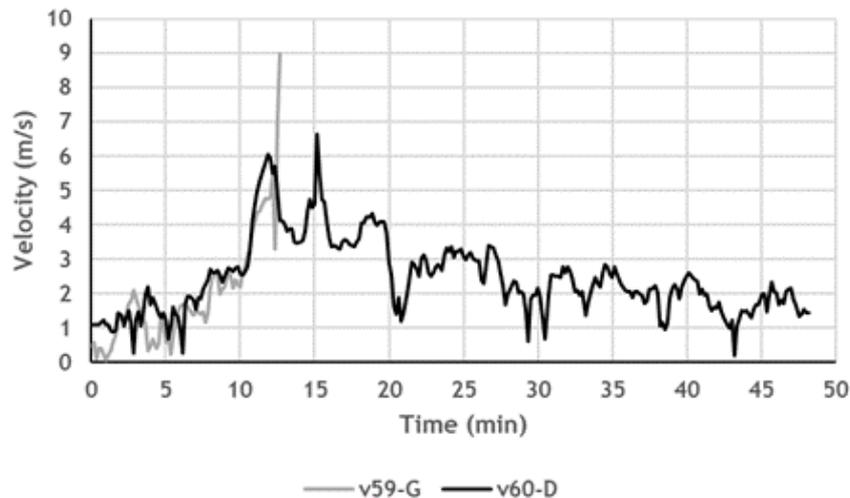
---

## ☐ Mesures par sondes de pression

- Situées à 1 m au dessus du recoupement de la cavité au R+2

## ☐ Vitesse du gaz dans les cavités :

- Ne semble pas ou peu affectée par la largeur
- Evolution comparable de la vitesse avec le temps jusqu'à 13 min
- Valeur moyenne max de 4,5 m/s dans les deux cavités à ~ 10 min



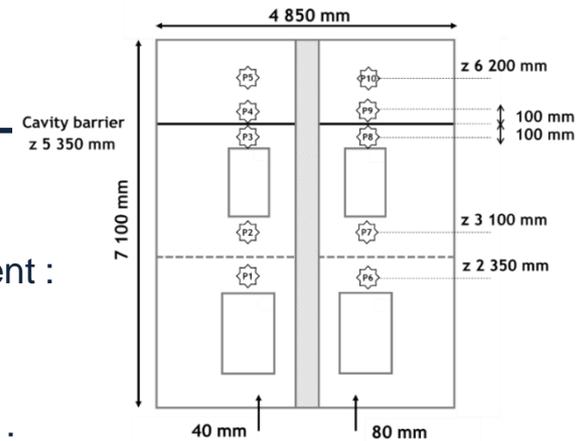
# ANALYSE - TEMPÉRATURES

## ☐ Valeurs maximales comparables mais :

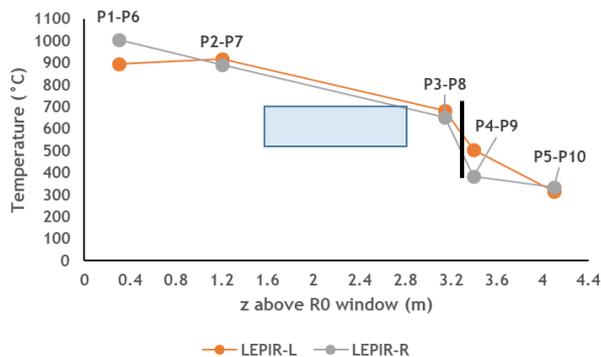
- Pour la partie du système de façade entre le R0 et le recoupement :
  - ✓ Cavité de plus grande largeur : légère sévérité pour la dégradation et la carbonisation de l'isolant
    - Températures légèrement plus élevées
- Pour la partie du système de façade au-dessus du recoupement :
  - ✓ Charges thermiques et conséquences comparables
    - Quelle que soit la largeur de cavité

## ☐ Largeur de cavité 80 mm semble envelopper de 40 mm

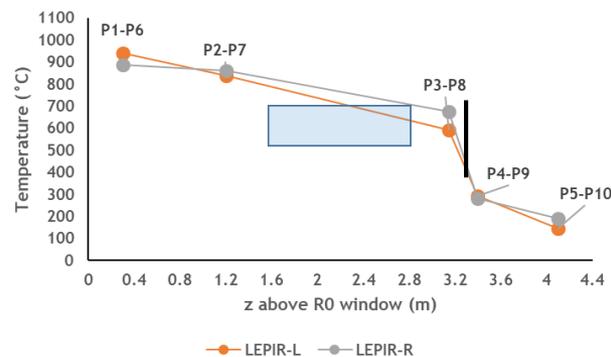
- Pour ce système



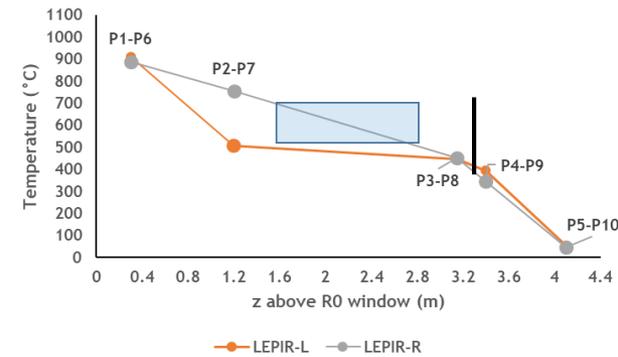
### Surface du parement



### Mi épaisseur de la cavité



### Mi épaisseur de l'isolant



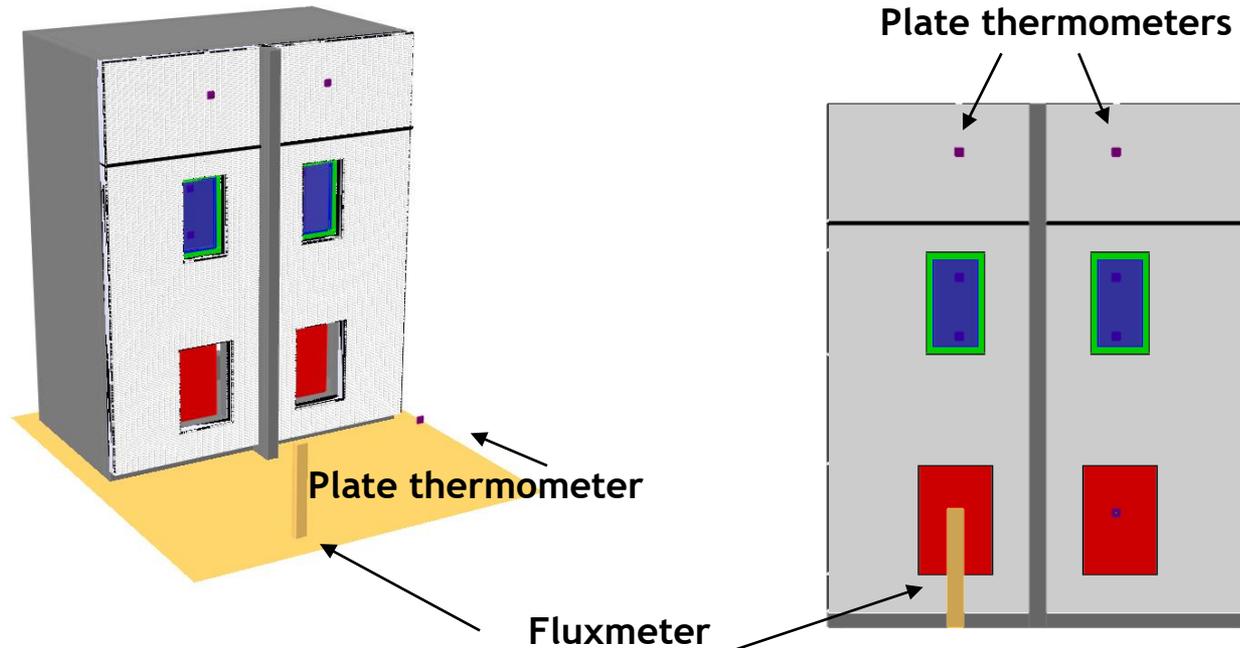
# PERSPECTIVES NUMÉRIQUES

---

# SETUP DES SIMULATIONS FDS

## ❑ Installation LEPIR2 déjà validée numériquement [1]

- Domaine de calcul : 7 x 7 x 12 m
- 6 maillages – Tailles de cellules entre :
  - ✓ 0,02 m x 0,02 m x 0,05 m
    - 2 à 4 cellules pour la cavité
  - ✓ 0,20 m x 0,20 m x 0,10 m au loin



[1] Dréan, V., et al. (2018). Numerical Simulation of Fire Exposed Façades Using LEPIR II Testing Facility. Fire Technology <https://doi.org/10.1007/s10694-018-0718-y>

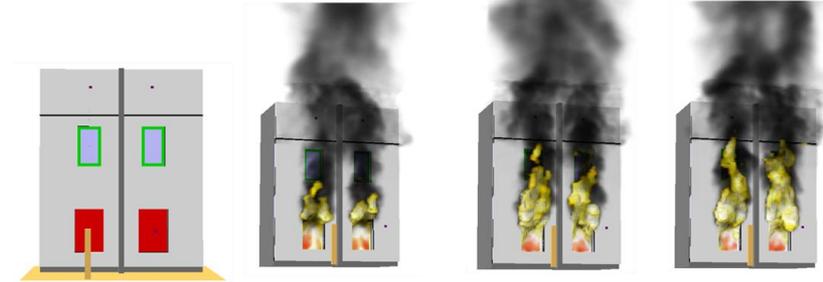
# RÉSULTATS – DÉVELOPPEMENT DU FEU

❑ Développement du feu et localisation des dégradations thermiques sur les panneaux et l'isolant comparables

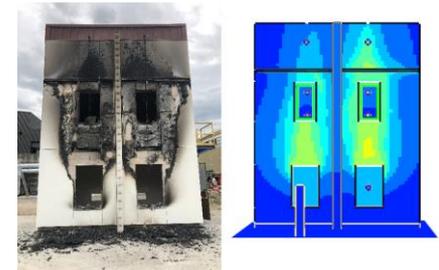
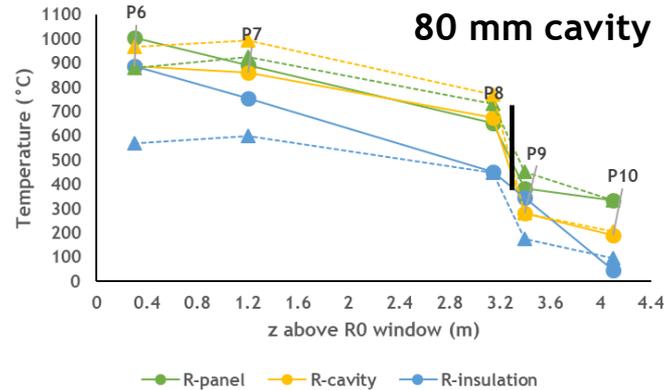
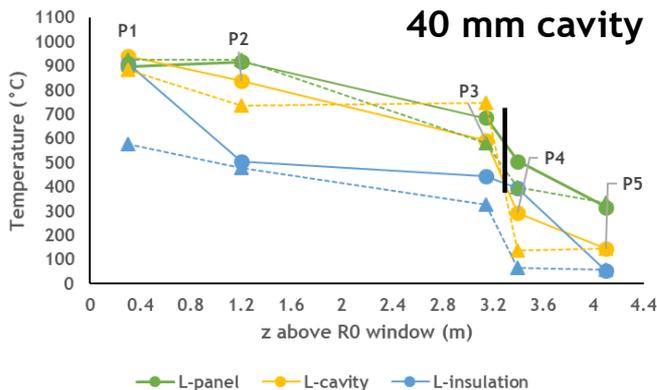
❑ Influence du recouvrement bien reproduite

❑ Sous-estimation des températures à mi-épaisseur de l'isolant au-dessus du R0 (P1 et P2)

- Pas de retrait / dégradation / chute du matériau dans le modèle



Essai — Numérique - - -



# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

---

# CONCLUSION & PERSPECTIVES

---

## ❑ Petite échelle

- Montre la faisabilité d'améliorer le comportement au feu d'enduit pour des ETIC à cette échelle
- → Perspectives : travailler sur le changement d'échelle / comparaison avec les essais échelle réelle

## ❑ Echelle intermédiaire :

- Montre la faisabilité d'investiguer des singularités sur une partie de système de façade à cette échelle
- → Perspectives : travailler sur le changement d'échelle / investiguer une singularité particulière

## ❑ Grande échelle : 4 essais au feu réalisés sur la base du LEPIR2 – focus ici sur ventilés

- Température et vitesses des gaz dans les cavités et températures comparables - Egalement au R+2
  - ✓ Où les principaux critères d'essai sont à respecter
- Conclusions principales :
  - ✓ Recoupement efficace en déviant les gaz chauds hors de la cavité au R+2
  - ✓ Légère sévérité pour la cavité de plus grande largeur - compétition
    - Cavité plus importante serait plus pénalisante / au moins aussi pénalisante que des systèmes avec des épaisseurs de cavité plus faibles sur LEPIR 2
- Résultats ne peuvent pas être généralisés : limités à ce système de façade spécifique + nombre limité d'essais

## ❑ Perspectives d'études numériques et expérimentales :

- Pour étudier les conditions critiques de cavité qui valident l'ensemble à grande échelle
- Pour montrer la validité et les limites de l'échelle intermédiaire avant un essai grande échelle
- Essais supplémentaires nécessaires pour des largeurs plus importantes ou intermédiaires

**MERCI POUR VOTRE ATTENTION – QUESTIONS ?**

---

**Si besoin, contactez-nous :**

[coppalle@coria.fr](mailto:coppalle@coria.fr)

[virginie.drean@efectis.com](mailto:virginie.drean@efectis.com)