

# Formes de flammes dans un feu de façade.

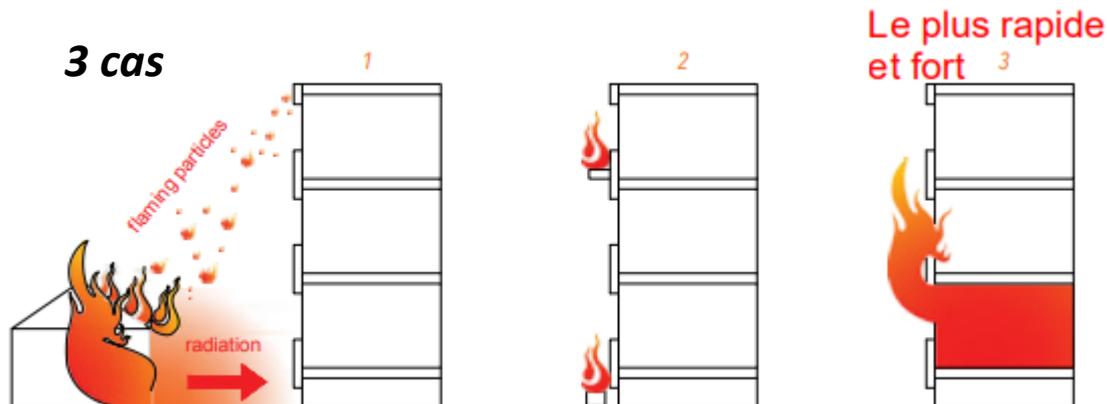
A. Coppalle

CORIA – UMR 6614 CNRS INSA Rouen

- Introduction: les feux de façades
- Analyse des images de flamme
  - Traitements
  - Extraction de la hauteur et de la largeur de flamme
- Résultats
  - Un essai LEPIR 2 avec ETICS-PSE
- Discussion: Correlation avec la puissance dégagée
- Conclusions

# Introduction: les feux de façades

- En augmentation depuis l'utilisation des ITE.
- Ex: Feu de façade à Dubai en 2017  
IGH 63 étages, 300m de haut
- Quelles sont les scénarios d'ignition et propagation?



→ La hauteur et largeur de flamme: caractéristiques importantes

Projet: FRENETICS



## Fire REsistaNce of External Thermal Insulation Composite Systems

(Janvier 2020– Juin 2024)

Projet financé par L'ANR dans le cadre de l'AAPG 2020  
CES 22 : Sociétés urbaines, territoires, constructions et mobilité



Partenaires



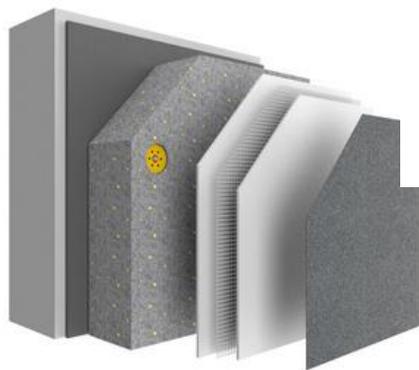
**Objectif:** *mieux caractériser l'inflammation et la propagation de la flamme dans les incendies de façade.*

**Réalisation:** -*tests à différentes échelles* : petite, intermédiaire et grande/réelle.  
-*modélisation* et simulation de la propagation du feu

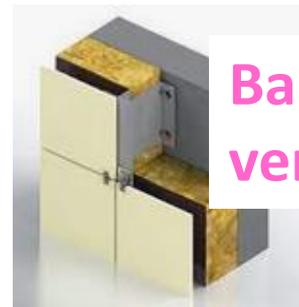
# Introduction: les feux de façades

Projet: FRENETICS 

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



ETIC  
(PSE)



Bardage (HPL)  
ventilé

## Tests à grandes échelles:– LEPIR2 –

Réalisés et mis en œuvre par Efectis sur son site des Avenières



# Introduction: les feux de façades

Projet: FRENETICS 

## Tests à grandes échelles

avec le LEPIR2: cas 3

Résultats disponibles sur HAL <https://hal.science/hal-04626906>



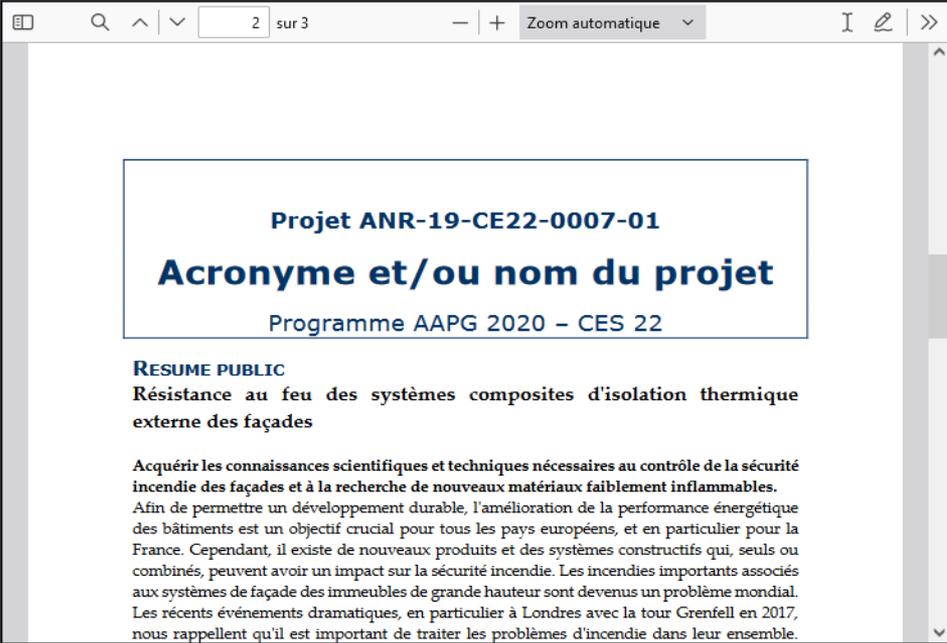
Fichiers et aperçu ▾

**Fichier principal**

  
Frenetics Resume-HAL.pdf  
(172.76 Ko) ⬇

  
PROJET FRENETICS\_Essai  
1-Bardage-ventile.pptx (6.55 Mo) ⬇

  
PROJET FRENETICS\_Essai  
2-ETIC-PSE.pptx (7.16 Mo) ⬇



Projet ANR-19-CE22-0007-01  
**Acronyme et/ou nom du projet**  
Programme AAPG 2020 – CES 22

**RESUME PUBLIC**  
**Résistance au feu des systèmes composites d'isolation thermique externe des façades**

Acquérir les connaissances scientifiques et techniques nécessaires au contrôle de la sécurité incendie des façades et à la recherche de nouveaux matériaux faiblement inflammables. Afin de permettre un développement durable, l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments est un objectif crucial pour tous les pays européens, et en particulier pour la France. Cependant, il existe de nouveaux produits et des systèmes constructifs qui, seuls ou combinés, peuvent avoir un impact sur la sécurité incendie. Les incendies importants associés aux systèmes de façade des immeubles de grande hauteur sont devenus un problème mondial. Les récents événements dramatiques, en particulier à Londres avec la tour Grenfell en 2017, nous rappellent qu'il est important de traiter les problèmes d'incendie dans leur ensemble.

Origine Fichiers produits par l'(les) auteur(s)  
Licence Domaine public

# Analyse des images de flamme: Traitements

Essai ETICS EPS



DSC\_Face\_0330-1mn30



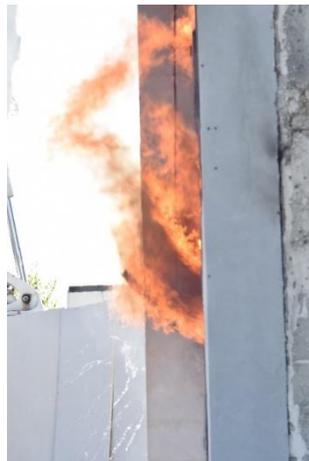
DSC\_Face-0484-3mn50



DSC\_Face-0759-8mn30



DSC\_Profil-0671-6mn



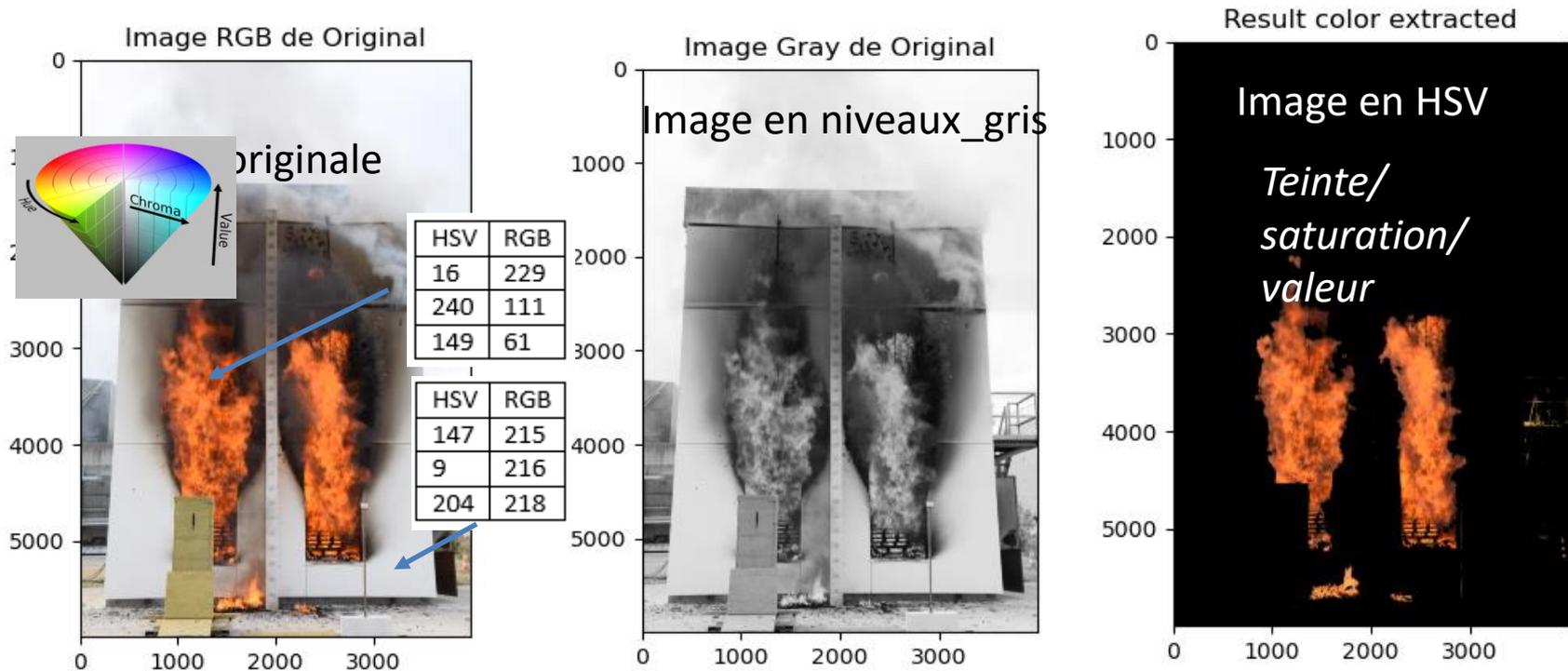
DSC\_Profil\_0858-9mn



DSC\_Face-0933-11mn24

# Analyse des images de flamme: Traitements

**Analyse: Besoin d'un filtrage pour seuiller l'image et déterminer un contour**



**==> Extraction de la zone de flamme déterminée par des limites sur la teinte et la saturation**

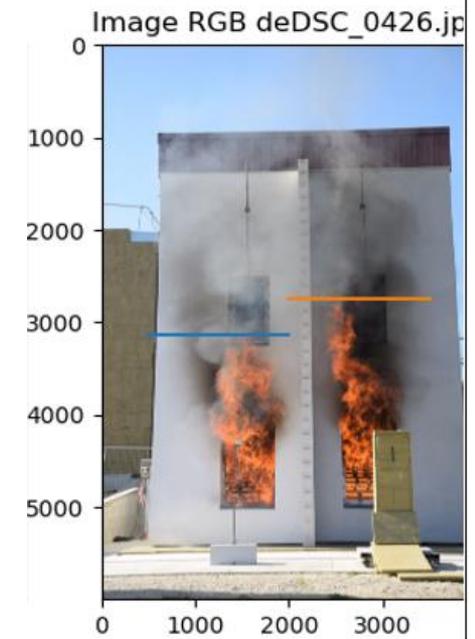
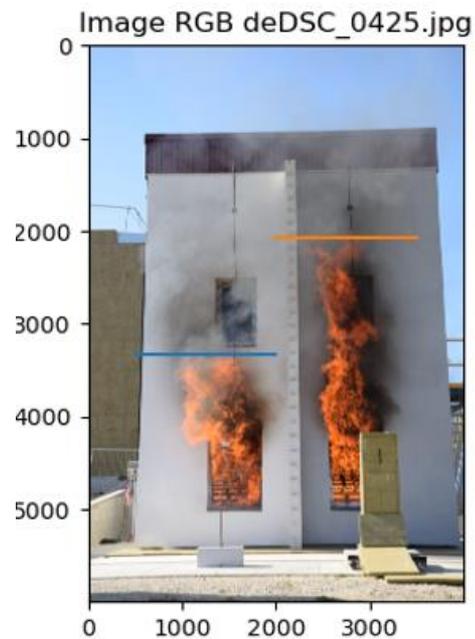
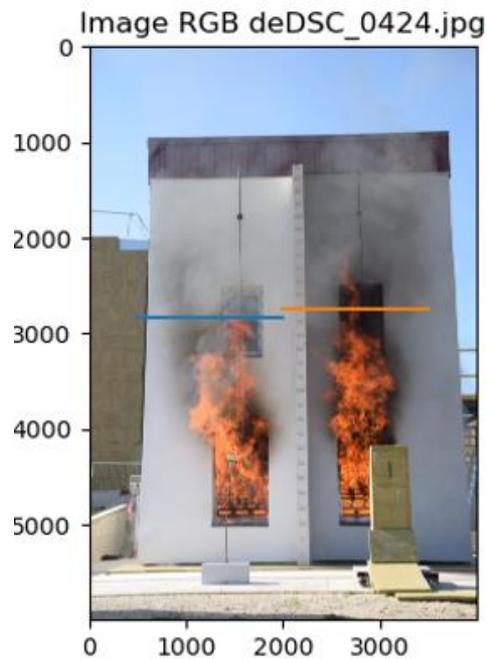
lower\_yellow ==> H=0; S=150 et V=0

upper\_yellow ==> H=20; S= 255 et V=255

- A partir de l'image couleur extraite ==> Image en niveaux de gris  
puis seuillage avec la valeur minimum de niveau =1000 ==> obtention du contour de flamme

# Analyse des images de flamme: Traitements

## *Quelques exemples de hauteur de flamme*



# Résultats: Essai ETICS EPS

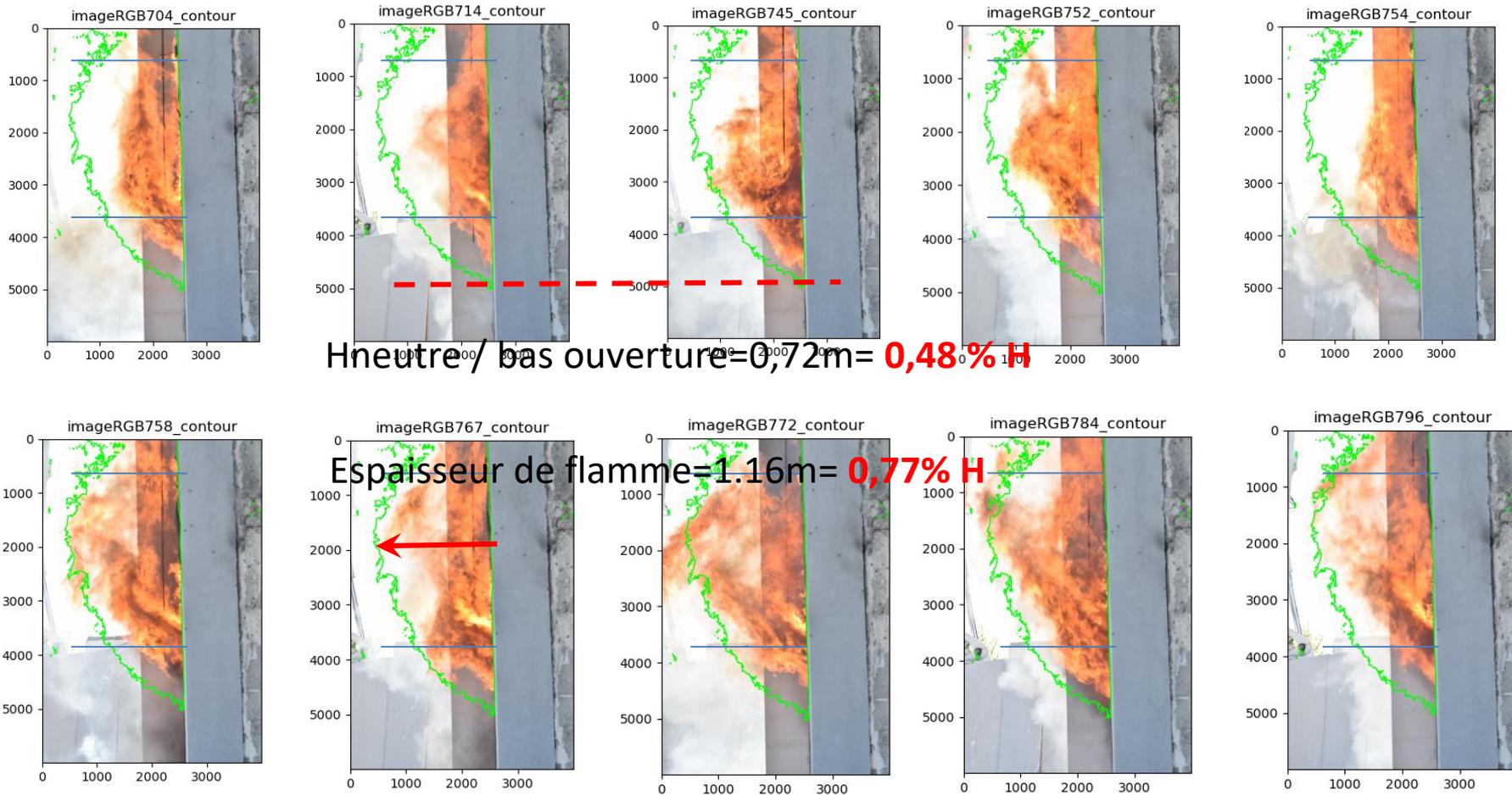
## Hauteur de flamme Hf



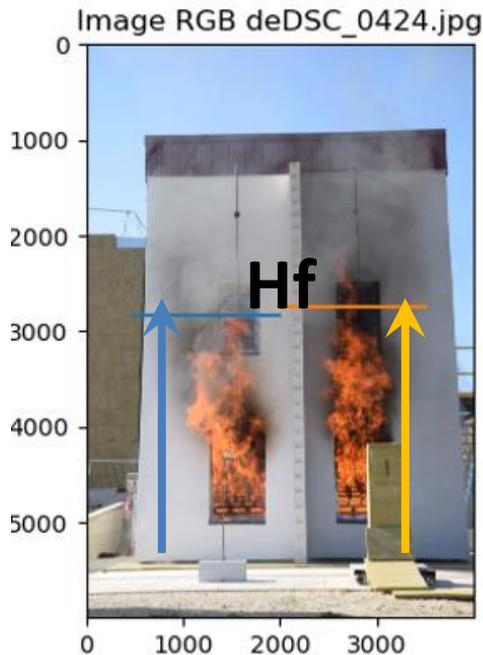
- Pendant plusieurs minutes après l'allumage; Hf la hauteur de flamme ne varie pas
- Avec cet ETICS-EPS, **Hf= 4,6m** pendant cette période
- Avec cette hauteur **Hf= 4,6m** , la flamme recouvre la fenêtre du R1

# Résultats: Essai ETICS EPS

## Vue de profil

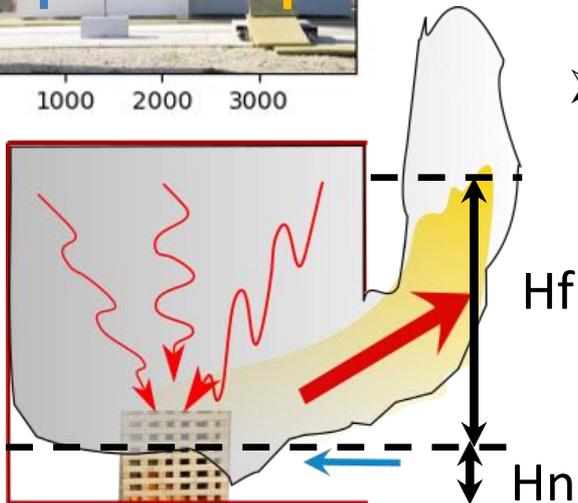


# Discussion: Corrélation avec la puissance dégagée



➤ Dans le cas d'un foyer libre,  
 ==>  $H_f$  est corrélé  
 à la puissance dégagée HRR  
 $H_f = H_f(\text{HRR})$  bien connue

➤ Dans le cas d'un foyer confiné,  
 ==>  $H_f$  devrait être corrélé  
 à la puissance dégagée à l'extérieur  $\text{HRR}_{\text{ext}}$   
 $H_f = H_f(\text{HRR}_{\text{ext}})$  ????



➤ Plus exactement :  $H_f - H_n = H_f(\text{HRR}_{\text{ext}})$

➤ Delichatsios (2012, IJHMT),  
 à partir d'essais à petites échelles

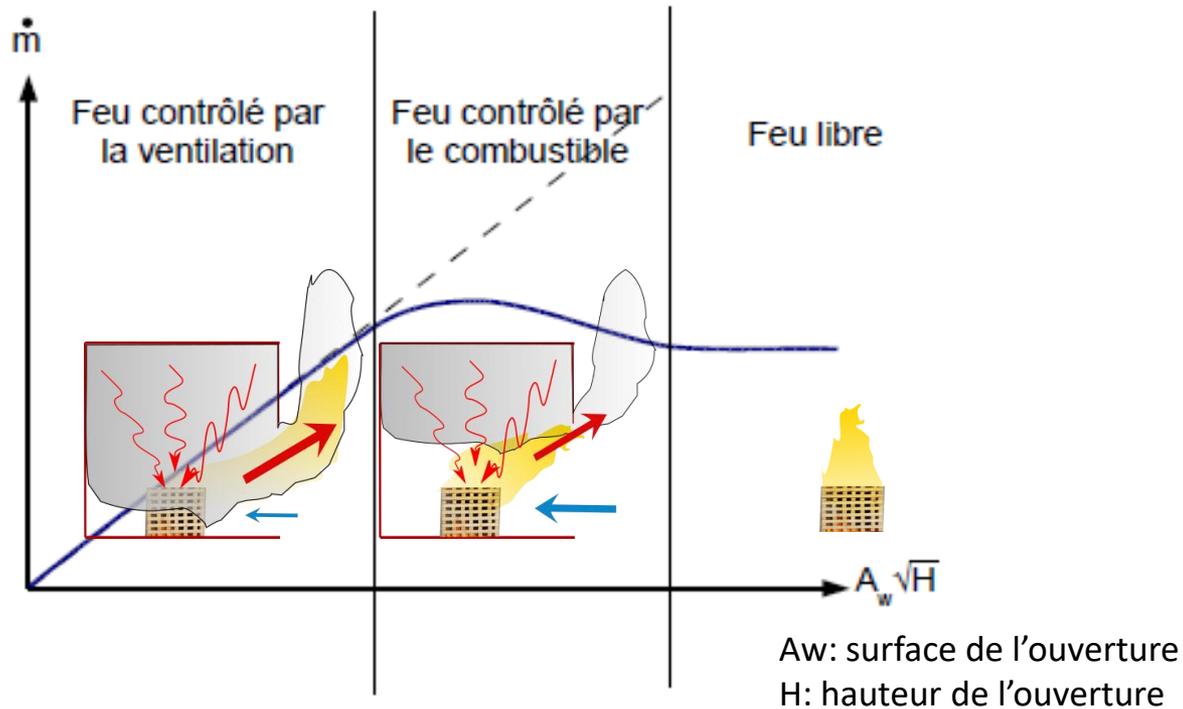
$$\frac{L_f - H_n}{(A\sqrt{h})^{2/5}} = 2 \left( \frac{\text{HRR}_{\text{ext}}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} A \sqrt{gh}} \right)^{0.44}$$

# Discussion: Corrélation avec la puissance dégagée

- Comment déterminer la puissance dégagée par la flamme externe,  $HR_{Rext}$  ?

==> Raisonnement à partir du taux de perte de masse du foyer  $\dot{m}$  (kg/s)

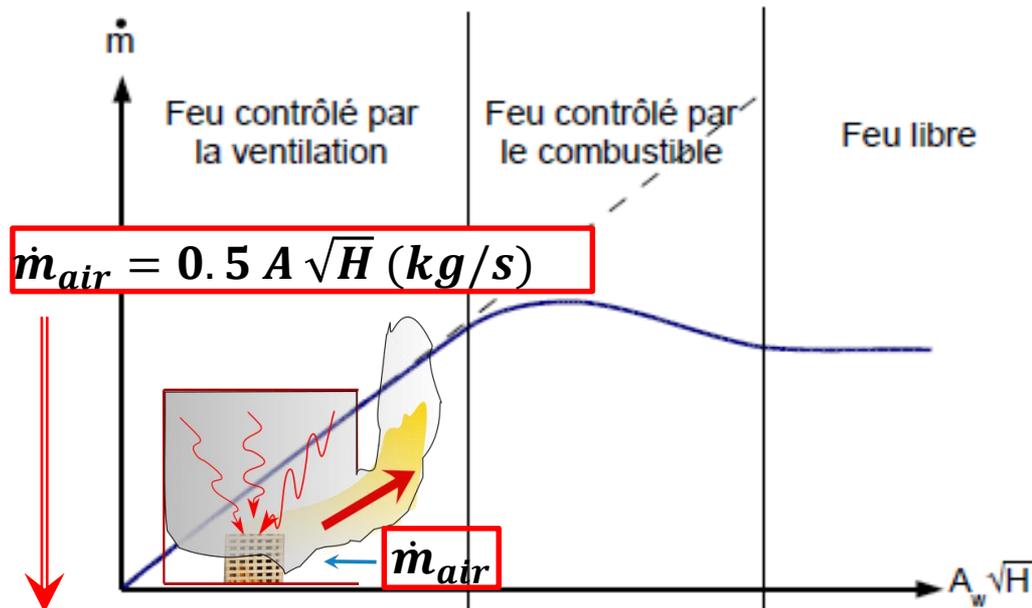
Variation de la perte de masse d'un foyer en fonction de sa ventilation



# Discussion: Corrélation avec la puissance dégagée

➤ Dans le régime contrôlé par la ventilation,

-Théoriquement, on peut montrer que le débit d'air entrant est donnée par:



-**Sous les hypothèses** que tout l'air est consommé par la combustion, et que la porosité ne joue pas

$$\dot{m}_{int} = \frac{\dot{m}_{air}}{s} \text{ (kg/s)}$$

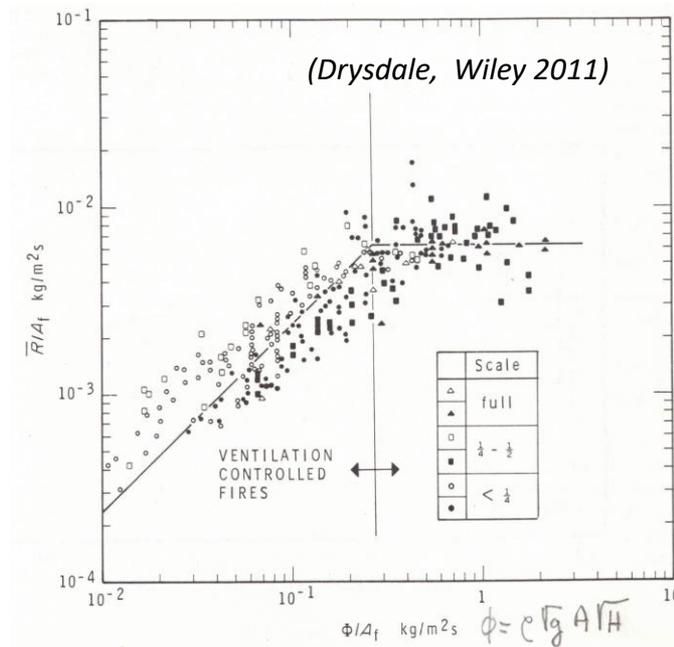
s coefficient stoechiométrique massique du bois

➤ Attention: La théorie de Kawagoe s'applique uniquement dans le cas d'un feu avec une ventilation naturelle (pas de soufflage ni d'extraction mécanique)

# Discussion: Corrélation avec la puissance dégagée

➤ Dans le régime contrôlé par la ventilation,

Avec une série de tests (feux de buchettes), Kawagoe a montré :  
 $\dot{m}$  est proportionnel au facteur d'ouverture  $A\sqrt{H}$ .

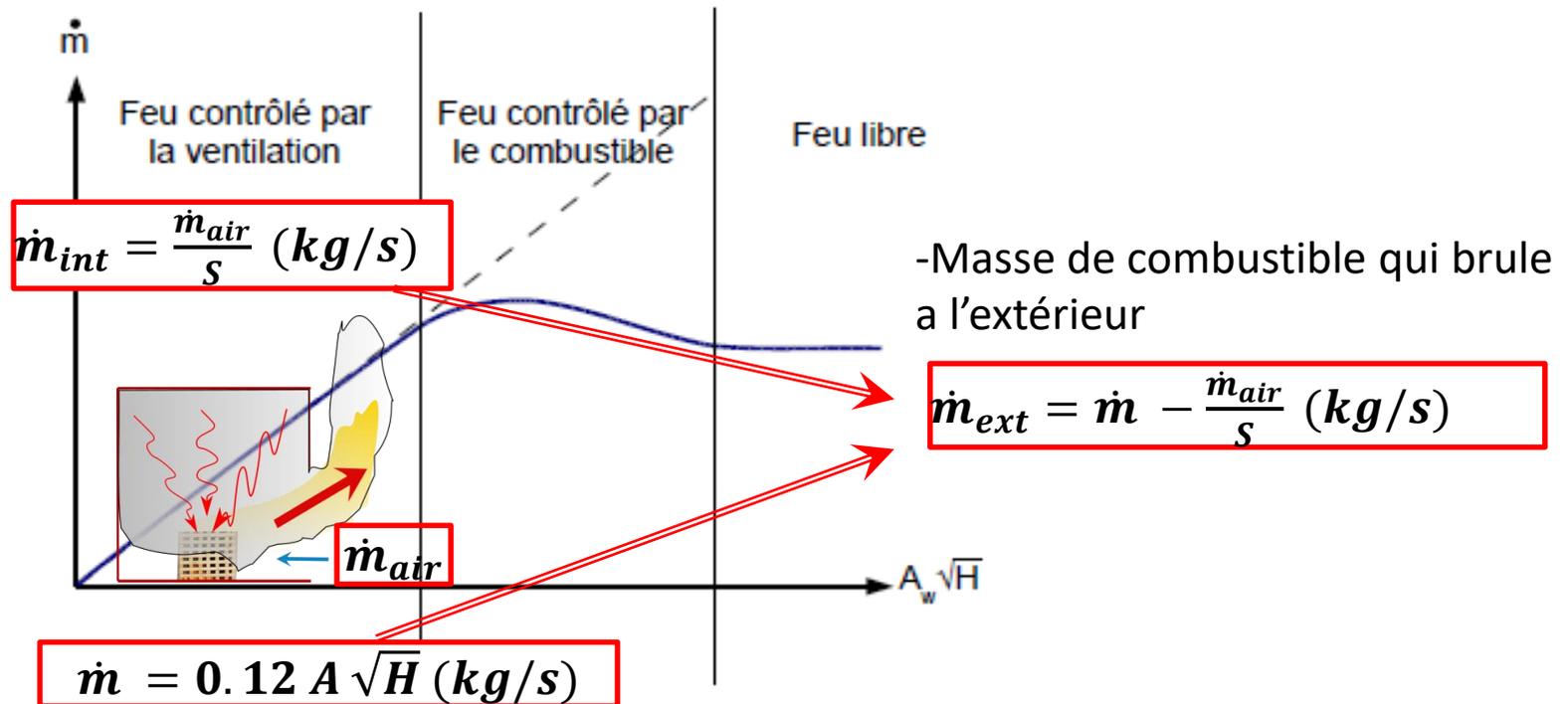


$$\dot{m} = 0.12 A \sqrt{H} \text{ (kg/s)}$$

(SFPE handbook, 2016)

# Discussion: Corrélation avec la puissance dégagée

- Dans le régime contrôlé par la ventilation,



- **Conclusion:** Si on connaît la chaleur de combustion  $\Delta h_{comb}$  en MJ/kgO<sub>2</sub> pour les buchers de bois, on obtient  $HRR_{ext} = \Delta h_{comb} * \dot{m}_{ext}$

# Discussion: Corrélation avec la puissance dégagée

- Dans le cas de l'essais LEPIR2 ETIC-PSE

Ouverture en face avant:

W= 1m et H =1,5m



+ registre en face arrière

W= 2,8/2 m et H =0,4 m



$$\dot{m}_{air} = 1.095 \text{ kg/s}$$

- Buchers de bois

$C_6H_9O_4$  ; ; réaction stoechiométrique en masse

====> **S=5.85**

$$\text{====> } \dot{m}_{int} = \frac{\dot{m}_{air}}{S} = 0.187 \text{ kg/s}$$

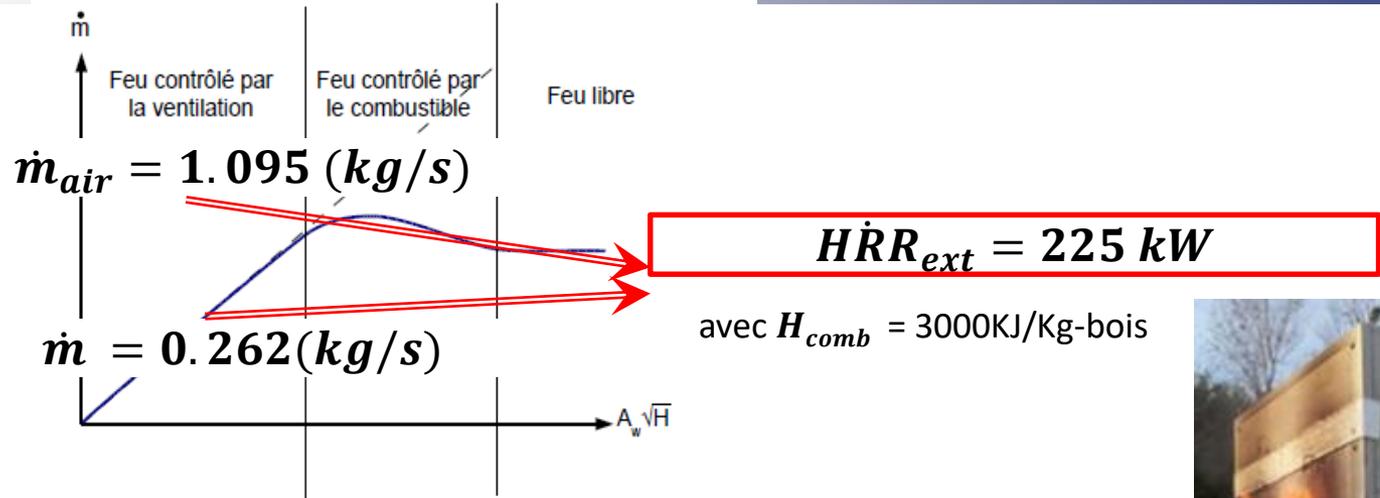
- Perte de masse totale pour les buchers de bois

$$\dot{m} = 0.12 A_w \sqrt{H} \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m} = 0.262 \text{ (kg/s)}$$

# Discussion: Corrélation avec la puissance dégagée

➤ En résumé:



➤ 
$$\frac{L_f - H_n}{(A\sqrt{h})^{2/5}} = 2 \left( \frac{HRR_{ext}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} A \sqrt{gh}} \right)^{0.44} \quad 0,76$$

**valeur mesurée: 2,71** } **Rapport 3.6 : ?**



Drean, Fire Tech., 2018

➤ Si la corrélation, obtenue à petites échelles (Delichatios, 2012), est correcte  
 ==>  **$HRR_{ext}$  est trop faible**

*La perte de masse totale  $m$  trop faible ?*

*la perte de masse à l'intérieur,  $\dot{m}_{int} = \dot{m}_{air} / S$ , trop forte?*

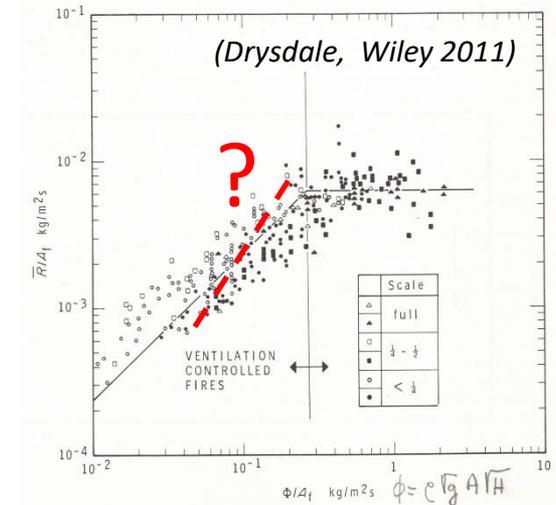
# Discussion: Corrélation avec la puissance dégagée

- La perte de masse totale,  $\dot{m}$ , trop faible ?

Rappel: avec une série de tests (feux de buchettes), Kawagoe a montré :  
 $\dot{m}$  est proportionnel au facteur d'ouverture  $A\sqrt{H}$ .

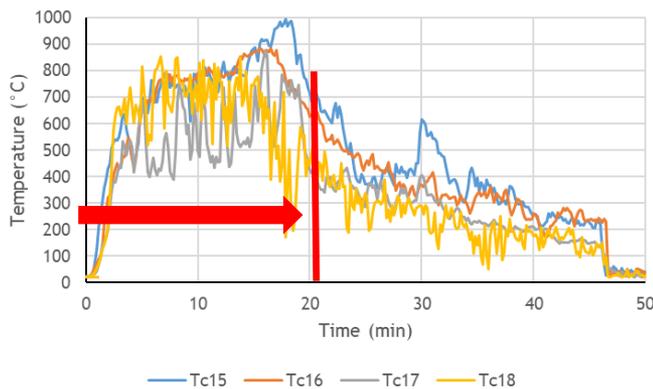
$$\dot{m} = 0.12 A \sqrt{H} \text{ (kg/s)}$$

(SFPE handbook, 2016)



- Estimation grossière de  $\dot{m}$

Températures de flamme entre les deux niveaux R0 et R1



Période stable de combustion importante:

environ 20mn

un bucher: 300kg.

==>  $\dot{m} = 0.25 \text{ kg/s}$

Valeur déterminée par la corrélation:

==>  $\dot{m}_{corr} = 0.262 \text{ kg/s}$

## Discussion: Corrélation avec la puissance dégagée

- La part de masse estimée à l'intérieur,  $\dot{m}_{int} = \dot{m}_{air} / S$ , trop forte ?

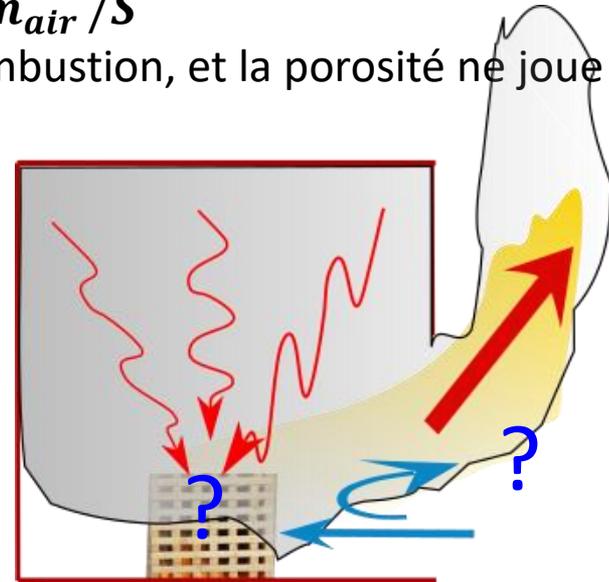
-Rappel: le débit d'air entrant est donnée par

$$\dot{m}_{air} = 0.5 A \sqrt{H} \text{ (kg/s)} \quad \implies \text{Justifié et pas remis en cause}$$

- *hypothèses utilisées dans la relation  $\dot{m}_{int} = \dot{m}_{air} / S$*

$\implies$  tout l'air qui rentre est consommé par la combustion, et la porosité ne joue pas

Actuellement, il n'y a pas de justification des ces hypothèses !



- Finalement:

***La corrélation, obtenue à petites échelles (Delichatios, 2012), est elle correcte?***

**Merci pour votre attention**

**Questions ?**