

# Étude numérique et expérimentale des phénomènes thermiques d'incendie confiné : Application à la sécurisation des sapeurs-pompiers en intervention

Directeur de thèse :

Pr. Olivier VAUQUELIN

Encadrants à l'ENSOSP :

Col. Wilfried STEFIC

Co-directeur de thèse :

Dr. Kevin VARRALL

Dr. Anaïs GAUTIER

Oualid IKHOU

33<sup>ème</sup> journées du Groupe du RésoFeux

# Sommaire

- Introduction à la thèse
- Assimilations de données
- Cas d'étude simple
- Conclusions et perspectives

# Introduction à la thèse

## Contexte

- ❑ Risques significatifs associés à **la maîtrise et à l'extinction des incendies.**
- ❑ Les **méthodes empiriques** actuelles présentent des limites dans la compréhension précise de l'évolution du feu.
- ❑ Nécessité d'**optimiser les interventions** en anticipant l'évolution du feu et en évaluant les dangers potentiels.



**Prévoir l'évolution du feu et des dangers associés** est essentiel pour assurer la sécurité des sapeurs-pompiers et la réussite des opérations.



# Introduction à la thèse

## Objectifs

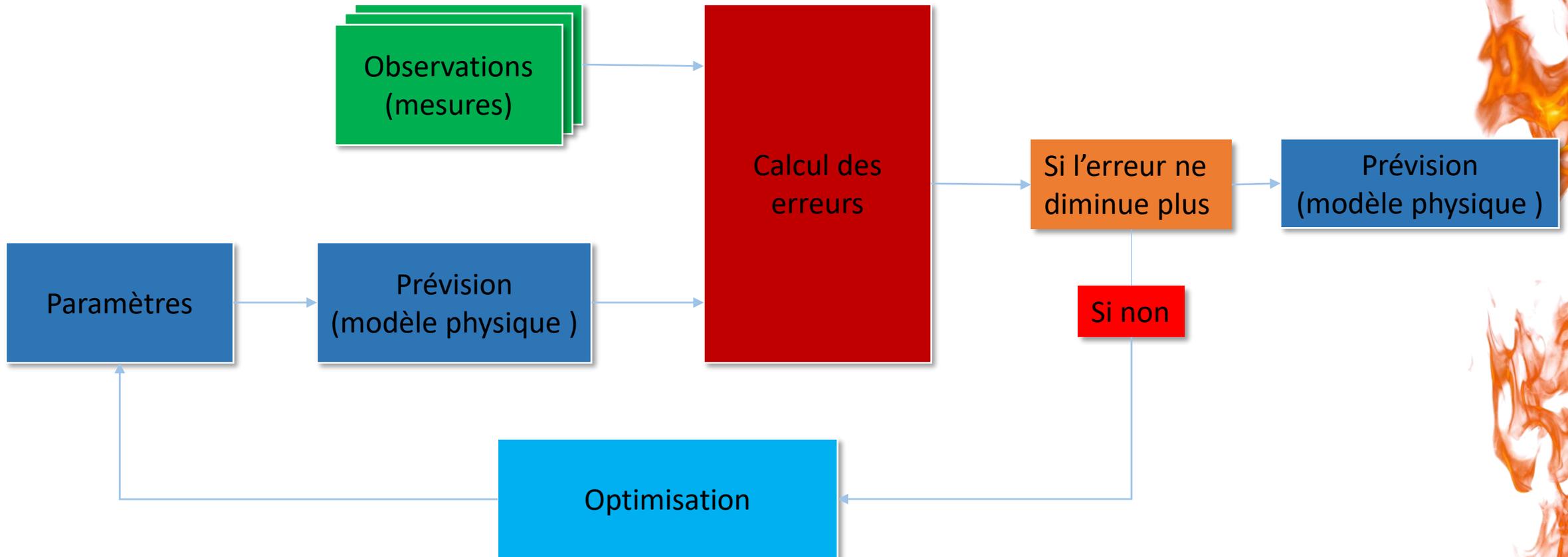
**Développer des outils de prise de décision en temps réel** basés sur l'analyse physique du feu en cours.

- ❑ Trouver **une instrumentation nécessaire** pour collecter les données les plus importantes.
- ❑ Étudier **la mesure la plus adaptée** qui permettrait une prédiction optimale des phénomènes thermiques.
- ❑ Utilisation de **méthodes d'optimisation et d'assimilation de données** pour prédire et évaluer la dynamique du feu avec précision.



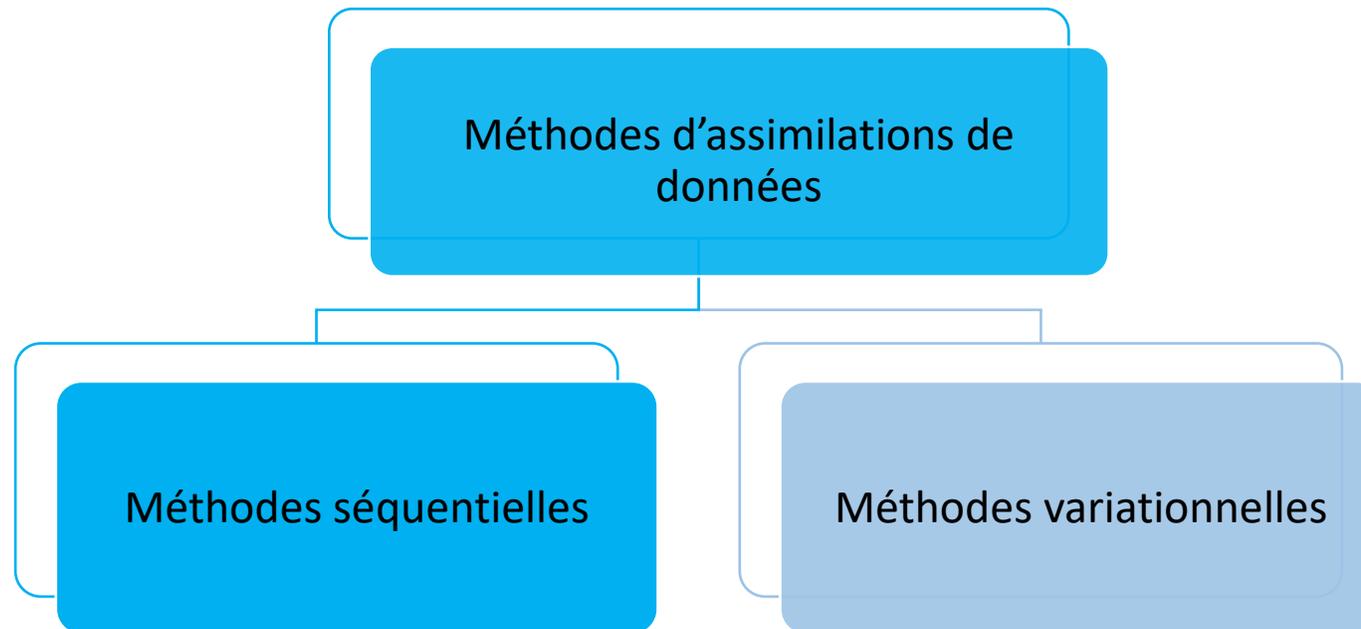
# Assimilation de données

Les méthodes d'assimilation de données



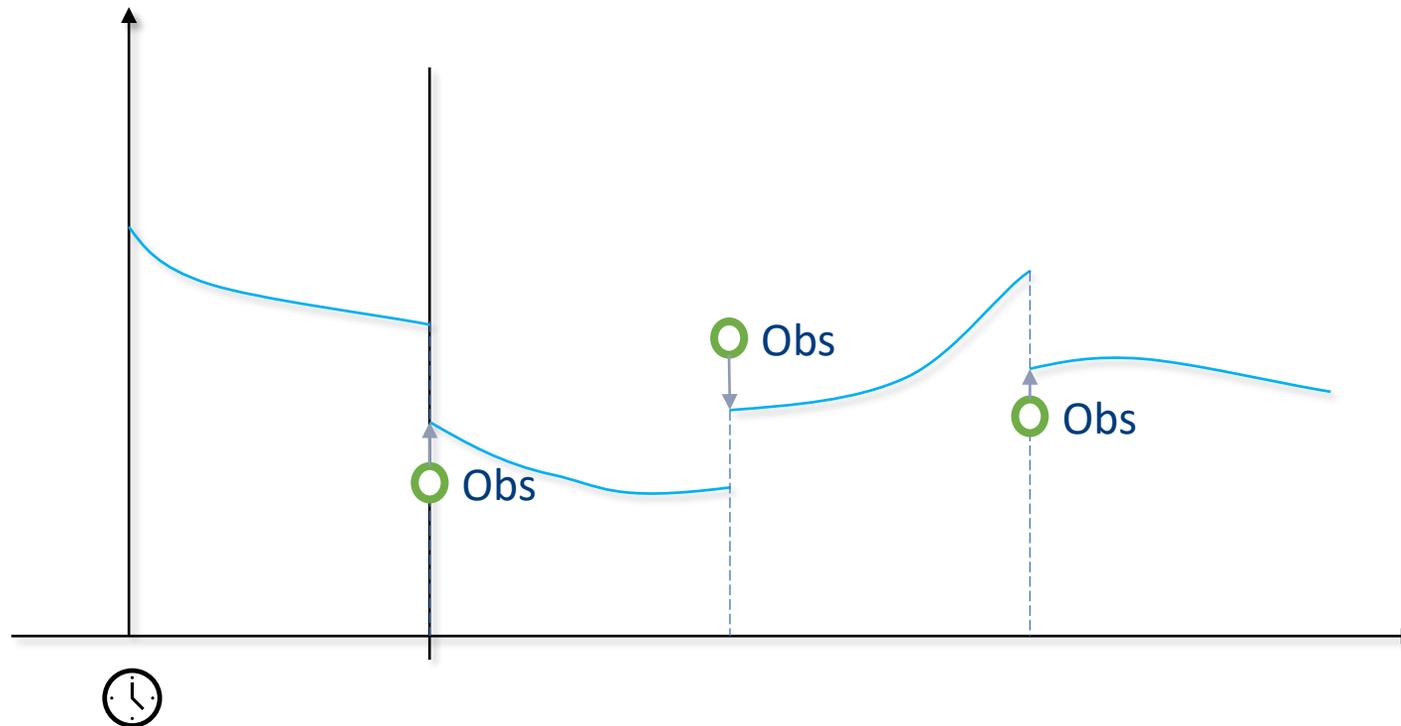
# Assimilation de données

Les méthodes d'assimilation de données



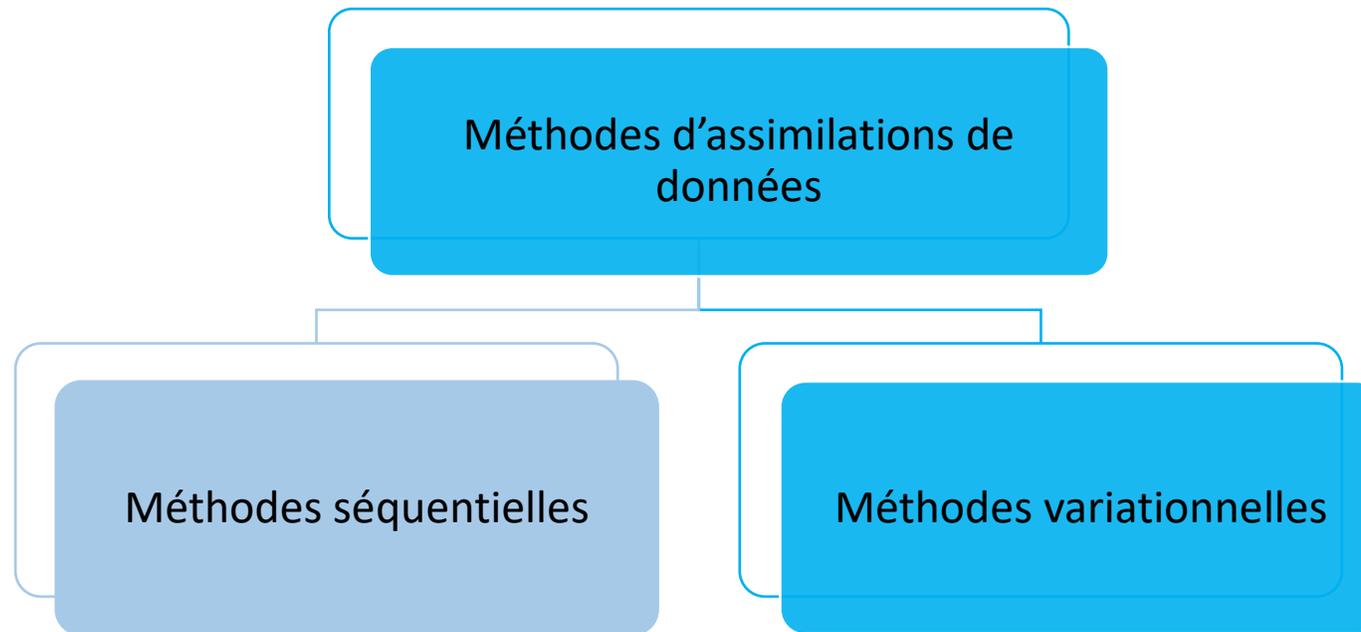
# Assimilation de données

Les méthodes d'assimilation de données



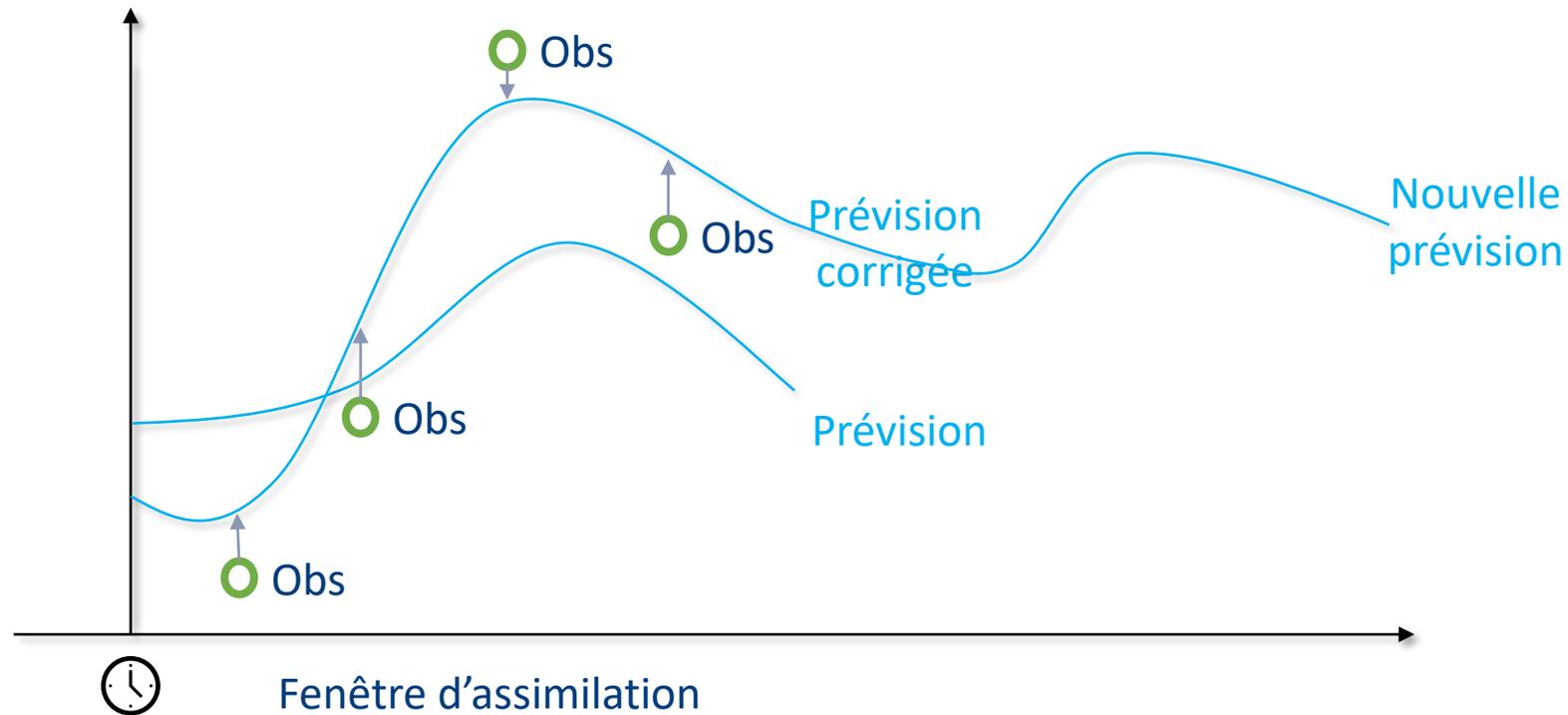
# Assimilation de données

Les méthodes d'assimilation de données



# Assimilation de données

## Les méthodes d'assimilation de données



# Assimilation de données

## Assimilation Variationnelle : 4D-Var

### Processus :

- ❑ Utilisation d'une fonction de coût pour mesurer l'écart entre les observations et les prévisions du modèle.
- ❑ Ajustement des paramètres du modèle pour minimiser cette fonction de coût.

### Avantages :

- ❑ Amélioration de la précision des prévisions.
- ❑ Utilisation optimale des données observées.
- ❑ Gestion des incertitudes de manière formelle.

### Fonction coût :

$$J(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \frac{(\mathbf{x}_b - \mathbf{x})^2}{B} + \frac{1}{2} \frac{\sum_{K=0}^N (\mathbf{H}\mathbf{M}_{0 \rightarrow k}(\mathbf{x}) - \mathbf{y}^o)^2}{R}$$

H : Fonction d'observation du modèle.

$\mathbf{y}^o$  : Observations.

B : Matrice de covariance des erreurs du modèle.

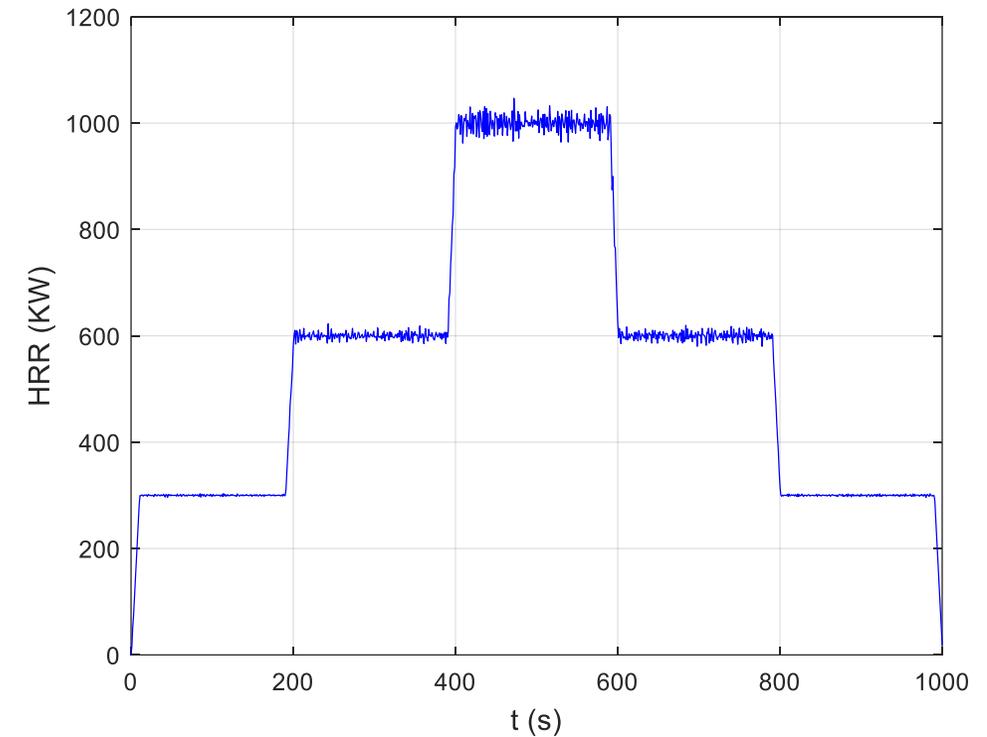
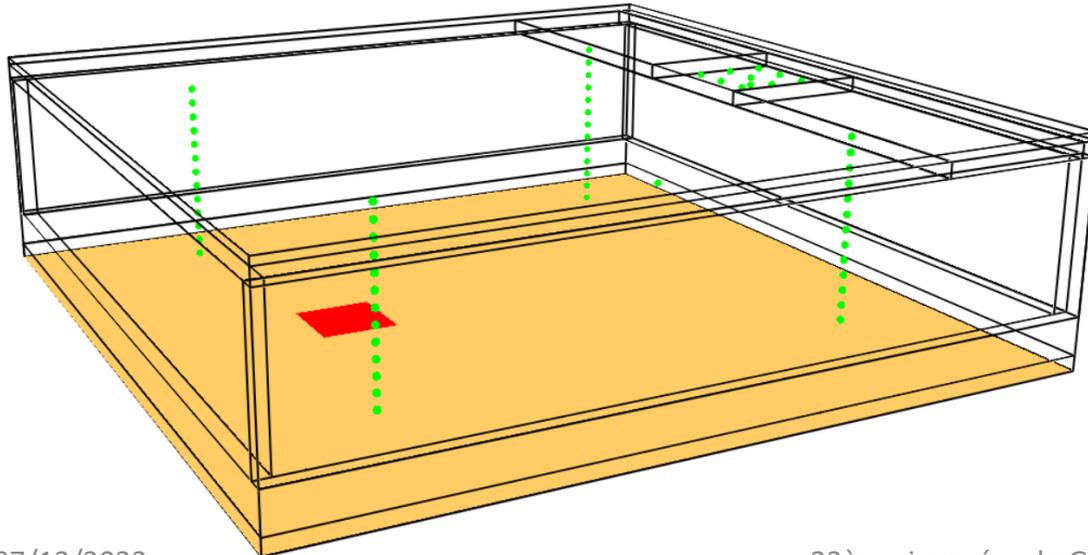
R : Matrice de covariance des erreurs d'observation.

$\mathbf{x}_b$  : Ébauche.

# Cas d'étude simple

Feu dans une pièce ventilé naturellement et doté d'un exutoire

- ❑ Simulation FDS :
  - ❑ Parois adiabatiques.
  - ❑ Pièce bien ventilée (ventilation naturelle).
- ❑ Objectif : prévoir l'évolution de l'épaisseur et de la température de couche de fumée.



Évolution du HRR imposé

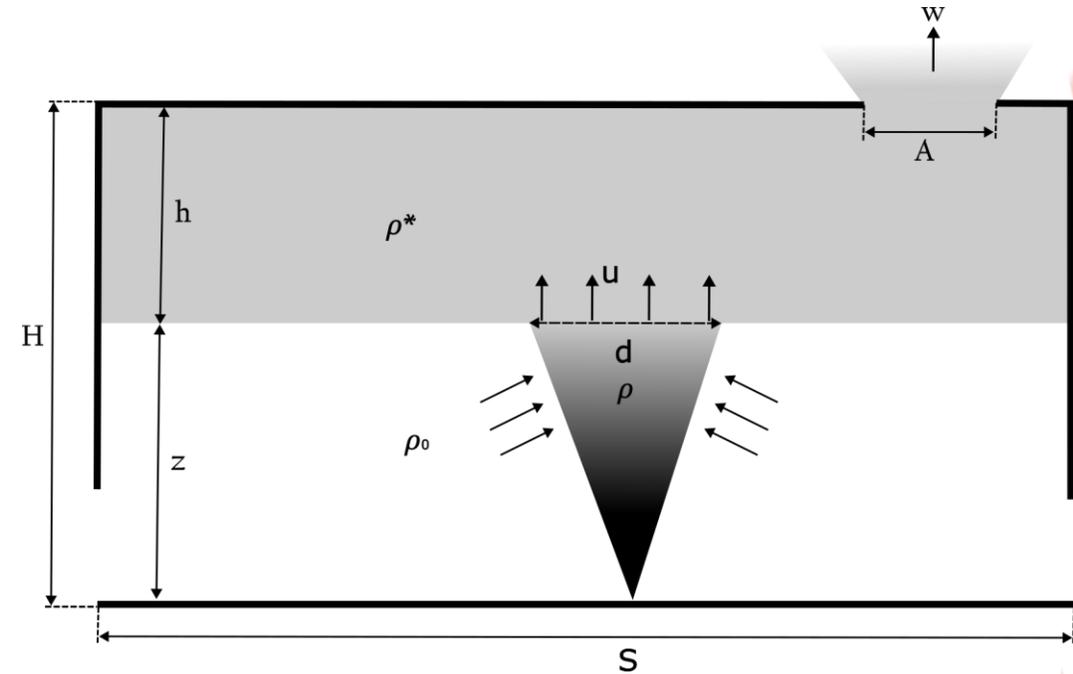
# Cas d'étude simple

## Modèle physique

Equations de conservation appliquée à la couche de fumée

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = \frac{1}{s} \left[ \frac{\pi d^2}{4} u - wA \right] \\ \frac{d\rho^*}{dt} = \frac{1}{sh} \left[ \frac{\pi d^2}{4} u(\rho - \rho^*) \right] \end{cases}$$

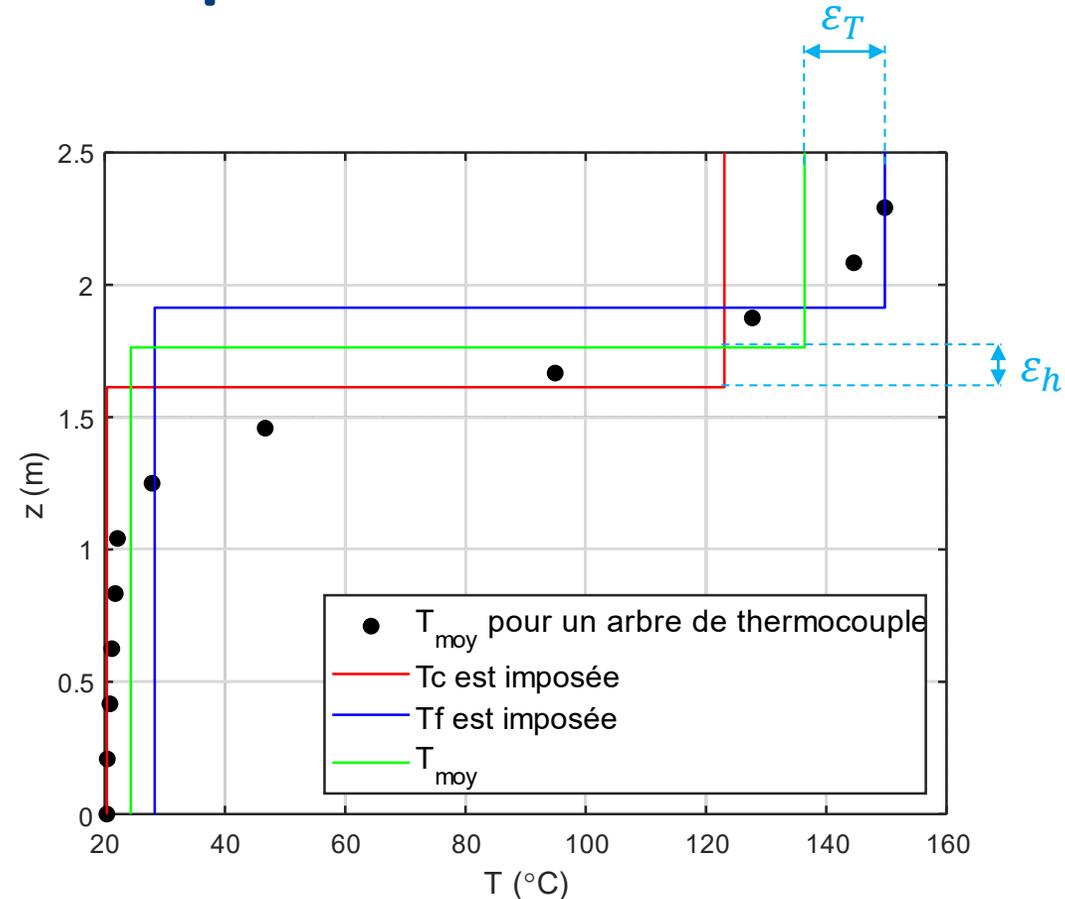
$$\frac{1}{2} \rho^* \left( \frac{w}{C_D} \right)^2 = \Delta \rho g h \Rightarrow w = C_D \sqrt{2 \frac{\Delta \rho^*}{\rho^*} g h}$$



Modèle de panache → Heskestad

# Cas d'étude simple

## Résultats

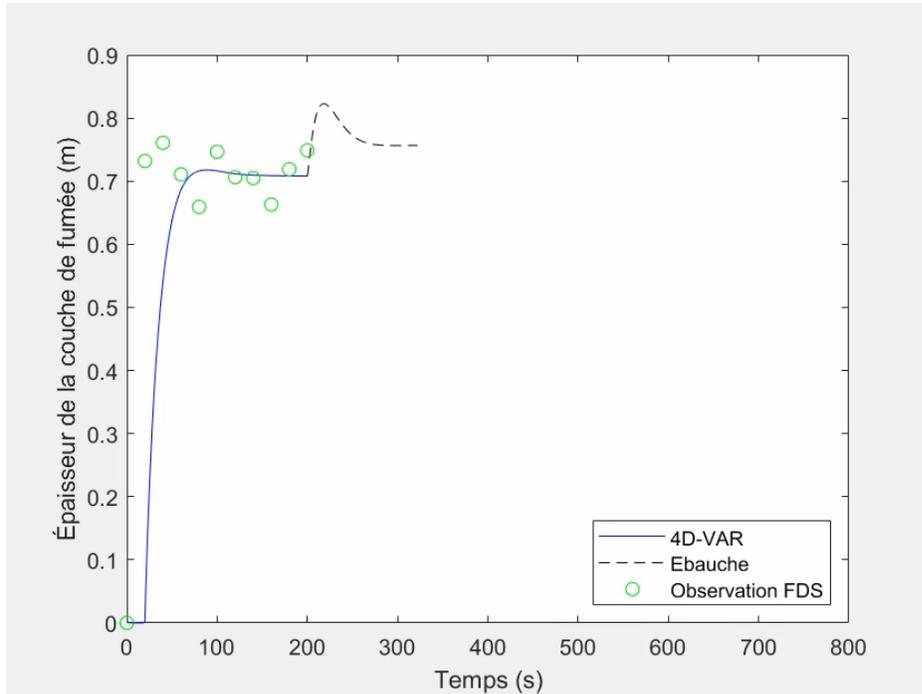


Comparaison des températures expérimentales avec le code a zone pour  $t = 500$  s \*

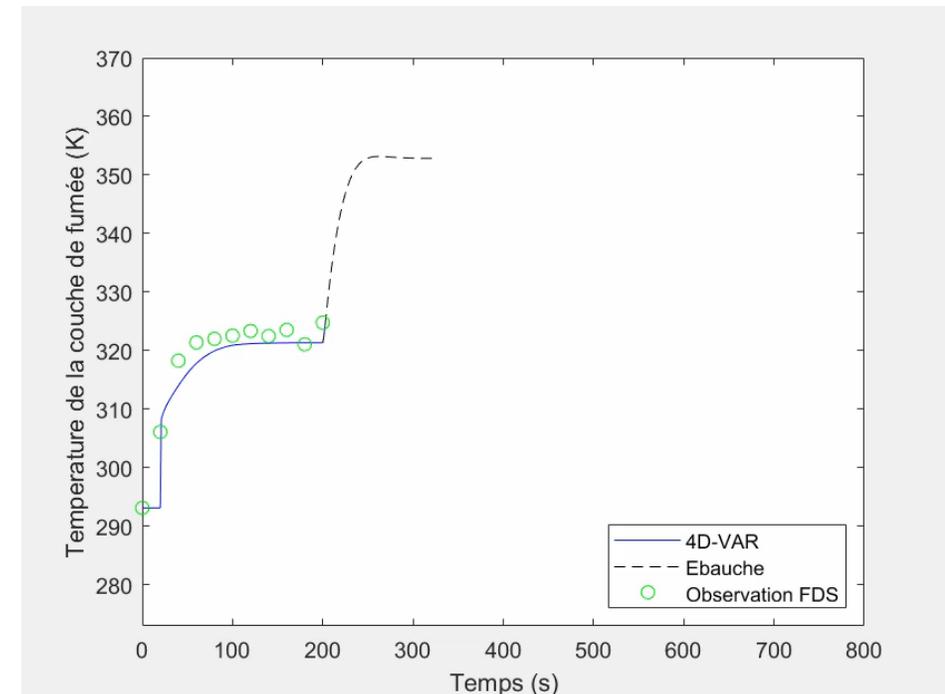
\* M.L. Janssens and H.C. Tran. Data Reduction of Room Tests for Zone Model Validation. Journal of Fire Science, 10:528–555, 1992. 339

# Cas d'étude simple

## Résultats



Évolution de l'épaisseur de la couche de fumée



Évolution de la température moyenne de la couche de fumée

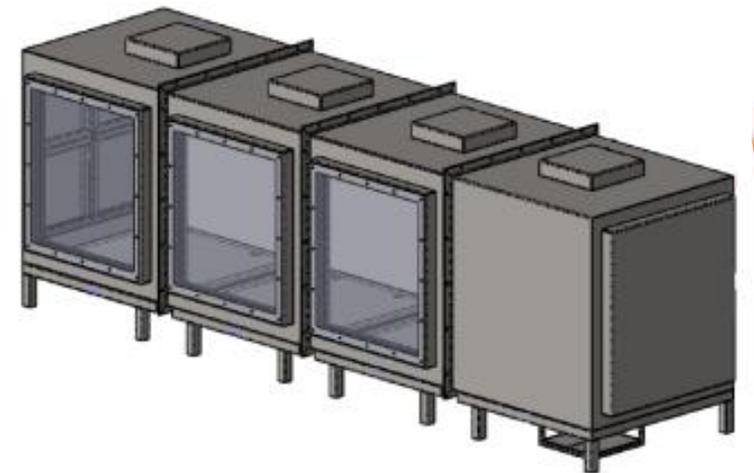
- Fenêtre d'assimilation = 60 s
- Temps de prédiction = 180 s
- Fréquence d'observation = 0,05 Hz

# Conclusions

- ❑ Le modèle fonctionne de manière optimale avec la configuration actuelle.
- ❑ Des résultats satisfaisants ont été obtenus, mettant en avant les performances prometteuses de la méthode 4D-VAR.

# Perspectives

- ❑ L'intégration de paramètres tels que la sous-oxygénation du foyer et des parois non adiabatiques est envisagée.
- ❑ La construction d'une maquette expérimentale à petite échelle (échelle 1/3) est actuellement en cours.



**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

