



**Normandie-Université, Le Havre  
Laboratoire d'Ondes et Milieux Complexes**

**Recherche Opérationnelle Incendie**

**Analyse des fumées  
pour l'amélioration de l'aide  
aux décisions opérationnelles  
en temps réel**

**Caroline OLIVIER, Michel LEBEY, Amal BOUAOUD, Hugues BESNARD, Eloi LAMBERT, Béatrice PATTE-ROULAND**

# Recherche Opérationnelle Incendie

- ➔ Améliorer la sécurité et l'efficacité des sapeurs-pompiers dans leurs opérations de lutte contre les incendies
  - Analyser l'opérationnel => Aller sur le terrain
  - Contribuer aux retours d'expériences
  - faire des enquêtes auprès des hommes de terrain ➔
    - ➔ demande importante de pouvoir avoir en temps réeldes informations pertinentes sur la situation
  - analyser les différentes situations d'incendie
  - analyser les différentes constructions existantes et futures pour en tirer des nouveaux modes opératoires en fonction des nouvelles technologies de construction
  - rechercher de nouveaux moyens d'intervention
  - autres . . .

# La fumée → un obstacle majeur dans les feux confinés et semi-confinés

Elles sont :

- opaques
- toxiques

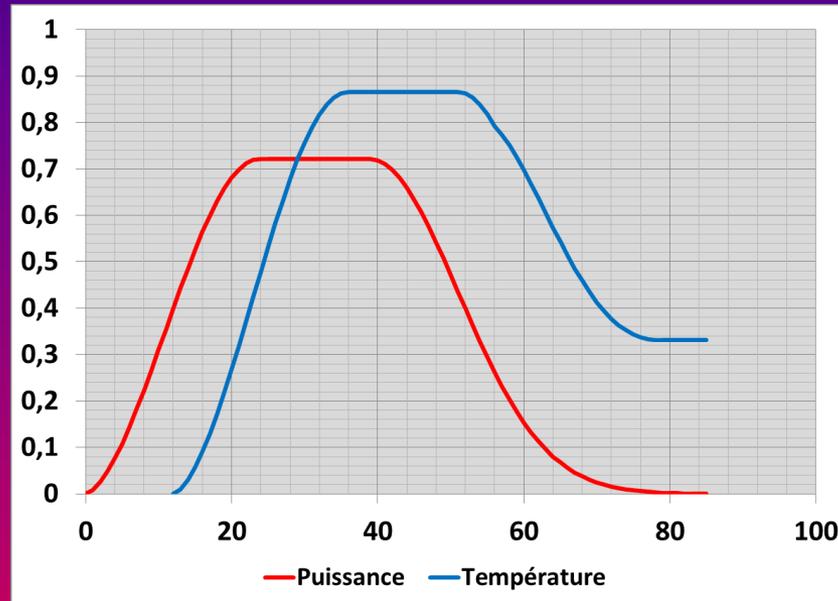
Mais surtout, elles sont:

- à haute température =>
  - elles peuvent exploser
  - elles peuvent enflammer d'autres combustibles
- et très mobiles => elles se propagent partout, par toutes les issues => elles propagent le combustion partout.

→ Elles donc très dangereuses

# Recherche sur la « Ventilation dans les Incendies »

## Courbe de puissance / courbe de température



➔ l'évolution de la température suit l'évolution de la puissance

➔ les évolutions de la température dans différents endroits suivent l'évolution des dangers en ces endroits

# Les « avantages » des fumées !!!

Paradoxalement, les fumées transportent des informations issues du/des foyers

Ces informations sont utilisables:

- pour connaître la nature du feu
- pour connaître l'évolution du feu
- pour « détecter » les dangers potentiels
- pour aider à déterminer les stratégies d'attaque possibles
- pour contribuer à évaluer l'efficacité des stratégies d'attaque mise en œuvre

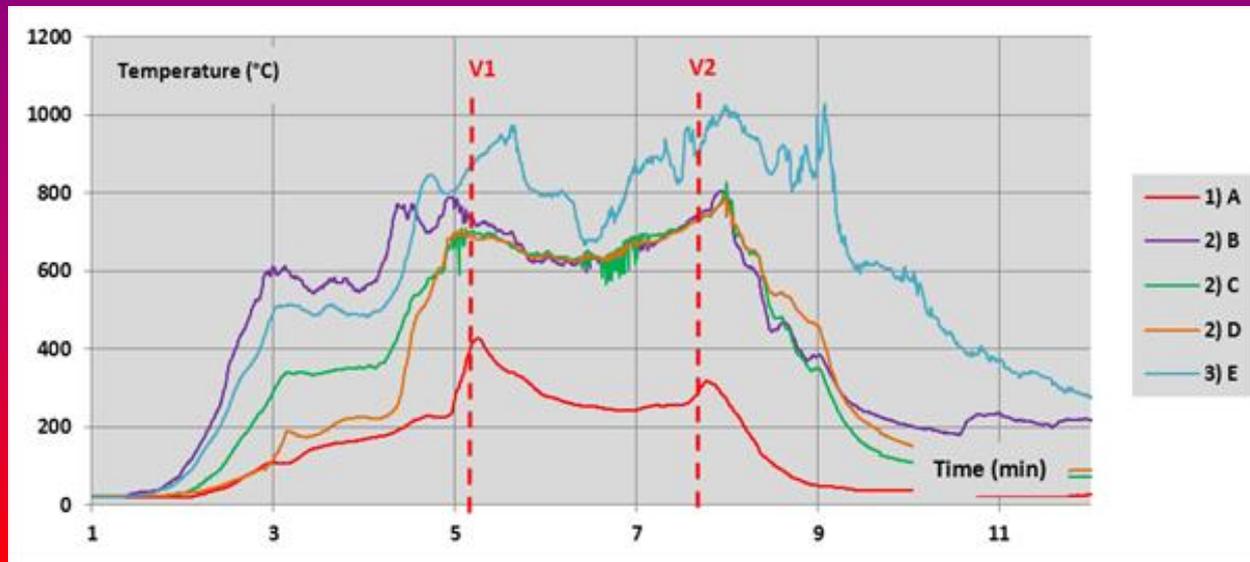
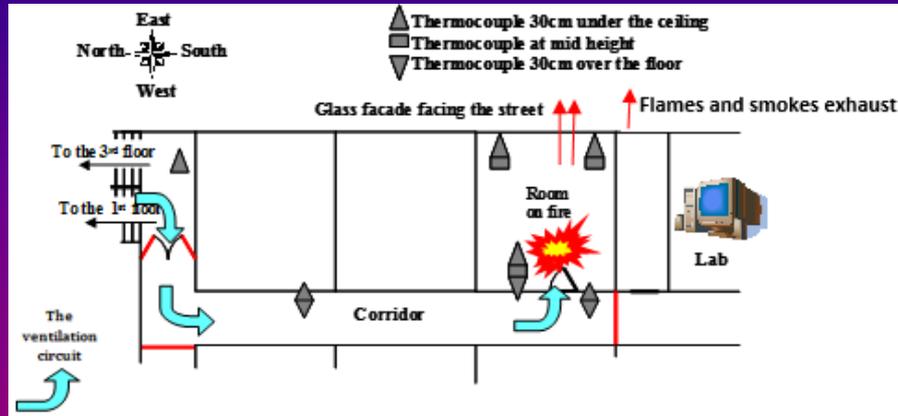
# Les grandeurs physiques mesurables dans les fumées

**Principalement:**

- Les températures
- Les différences de pression
- les vitesses
- Composition physique et chimique

**Les études suivantes portent sur les températures car ce sont les plus faciles à mesurer et à exploiter.**

# Exemple



# Travaux réalisés sur les fumées

- **Lecture « visuelles » des fumées**
- **Contrôle des mouvements des fumées dans un grand volume ne comportant qu'une seule ouverture (thèse Rémy VIDOR & thèse Olivier CITE)**
- **Analyse des fumées par caméra infrarouge → évaluation de la puissance du feu et de son évolution (thèse de Hugues BESNARD)**
- **Analyse des données physiques caractéristiques du feu (thèse Amal BOUAOUD)**

**Amélioration en temps réel  
de l'aide aux décisions opérationnelles  
par l'analyse des mesures physiques  
dans les fumées pendant les incendies**

**Partie A – Analyse des relevés de températures à l'aide de deux moyennes mobiles dans le passé**

**Partie B – Exploitation des fluctuations de températures pour anticiper la survenu des phénomènes thermiques violents**

**Partie C – Présentation d'un indicateur de dangerosité et d'un tableau de bord pour l'aide à la décision pour les Commandants d'Opération de Secours**

# Exploitation des mesures physiques dans les fumées pendant les incendies

→ Analyse des fumées pour l'amélioration de l'aide  
aux décisions opérationnelles en temps réel

## Partie A

### Analyse des relevés de températures à l'aide de deux moyennes mobiles dans le passé

# Analyse des relevés de températures à l'aide de deux moyennes mobiles dans le passé

## Problématique

### → Les fumées:

- 1) Danger majeur pour l'intervention des sapeurs pompiers
- 2) Système complexe pour l'approche fondamentale

→→→ Mais, elles transportent de l'information sur l'évolution du feu

## Etude menée

### → Démarches suivies:

- 1) Simplification de la configuration
- 2) Suivi et traitement de l'information (température, vitesse, masse, pression...)

### → Objectifs:

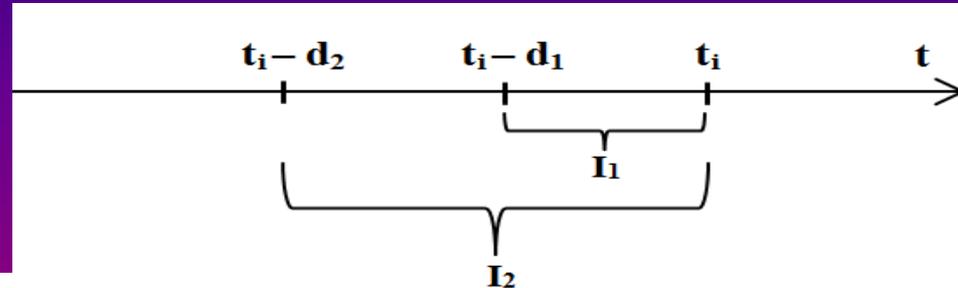
Recueillir des données physiques caractéristiques du feu pour l'amélioration de la décision opérationnelle

→→→ Intervention sécurisée

# Analyse des relevés de températures à l'aide de deux moyennes mobiles dans le passé

## Traitement de données

### → Calcul des moyennes mobiles:



- $d_1$  et  $d_2$ : distances en
- $t_i$ : la date à laquelle est calculée la moyenne dans le passé ( $t_i - d_2 < t_i - d_1 < t_i$ )
- $I_1$ : l'intervalle de calcul de la moyenne mobile à court terme
- $I_2$ : l'intervalle de calcul de la moyenne mobile à long terme

### → Deux cas apparaissent:

- 1) Quand la moyenne mobile à cours terme passe au dessus de la moyenne mobile à long terme

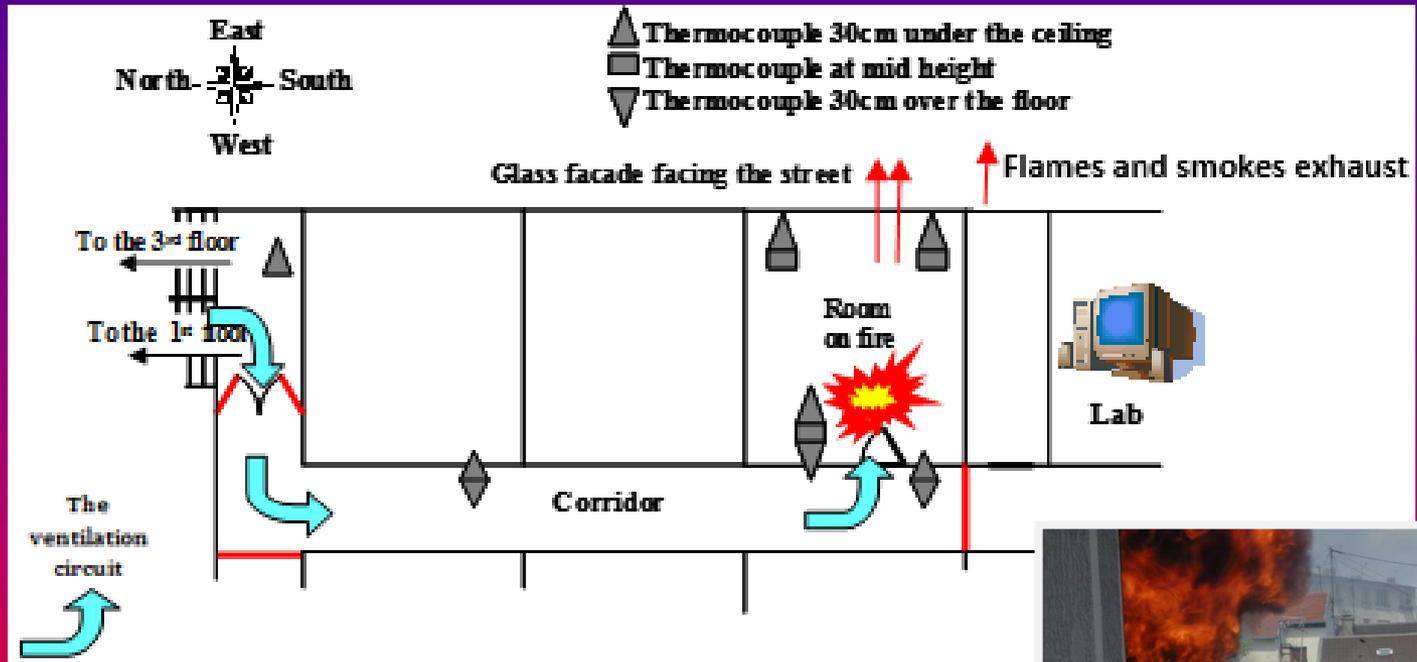
Hausse de température → Danger

- 2) Quand la moyenne mobile à long terme passe au dessus de la moyenne mobile à court terme

Baisse de température → Sécurité

# Analyse des relevés de températures à l'aide de deux moyennes mobiles dans le passé Application à un cas réel

## Vue de dessus d'un essai reproduisant un cas réel

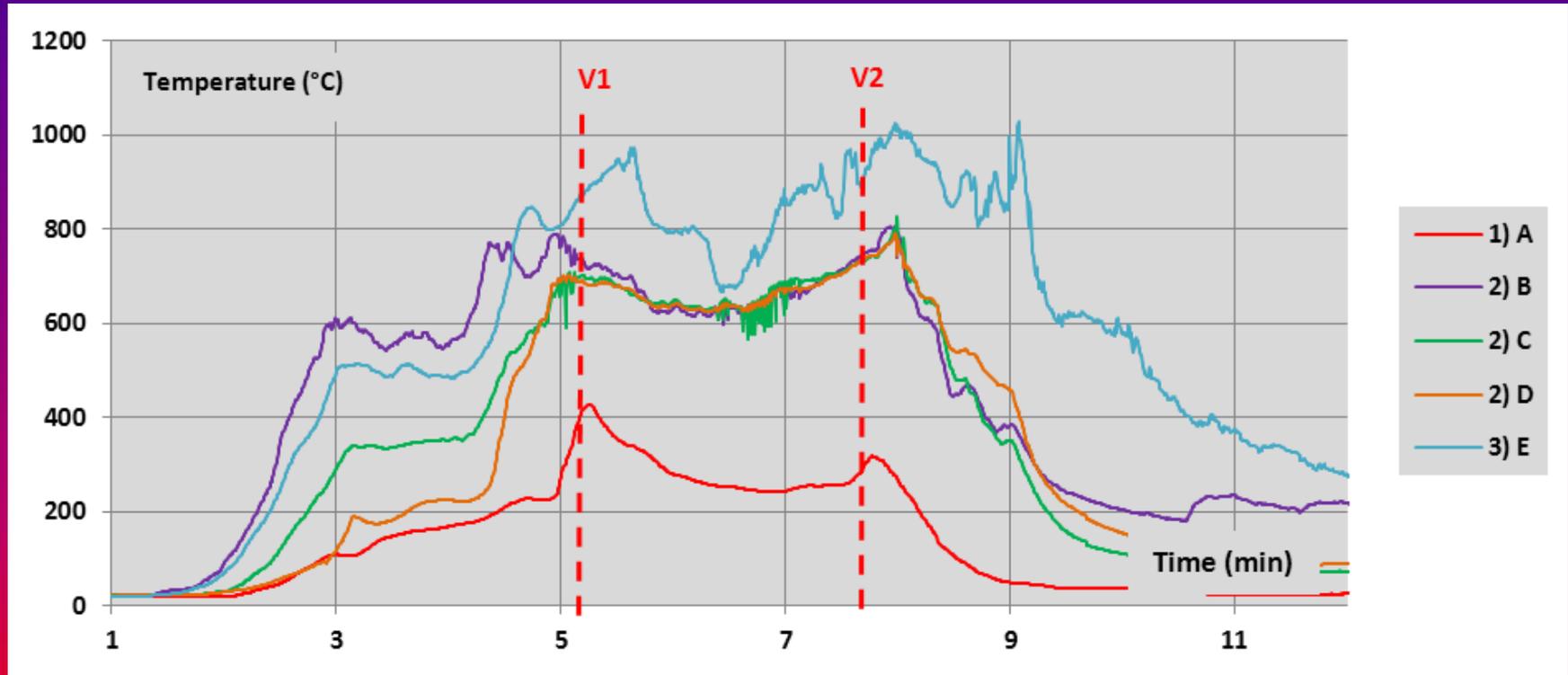


- **Lieu:** Chambre d'hôpital (6x5x3 m)
- **300kg de combustible:** ameublement divers
- **Logiciel:** Labview



# Analyse des relevés de températures à l'aide de deux moyennes mobiles dans le passé Application à un cas réel

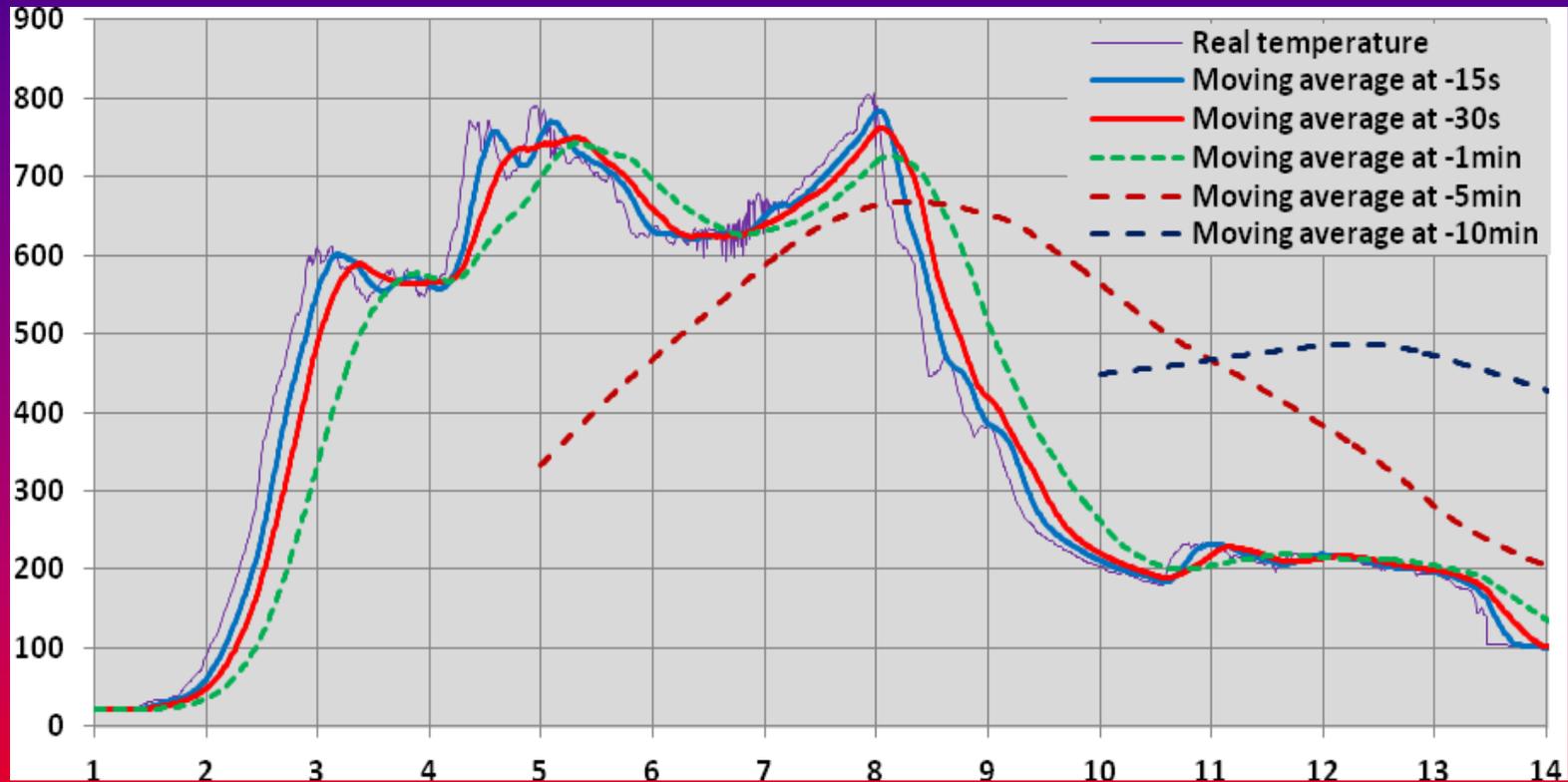
## Les signaux de température relevés lors de l'essai



- V1: 1<sup>er</sup> ventilateur
- V2: 2<sup>ème</sup> ventilateur
- A: 30 cm au-dessus du sol
- B: 30cm sous le plafond
- C: Du genou à mi-hauteur
- D: 30cm au-dessus du sol
- E: 30 cm sous le plafond

# Analyse des relevés de températures à l'aide de deux moyennes mobiles dans le passé Application à un cas réel

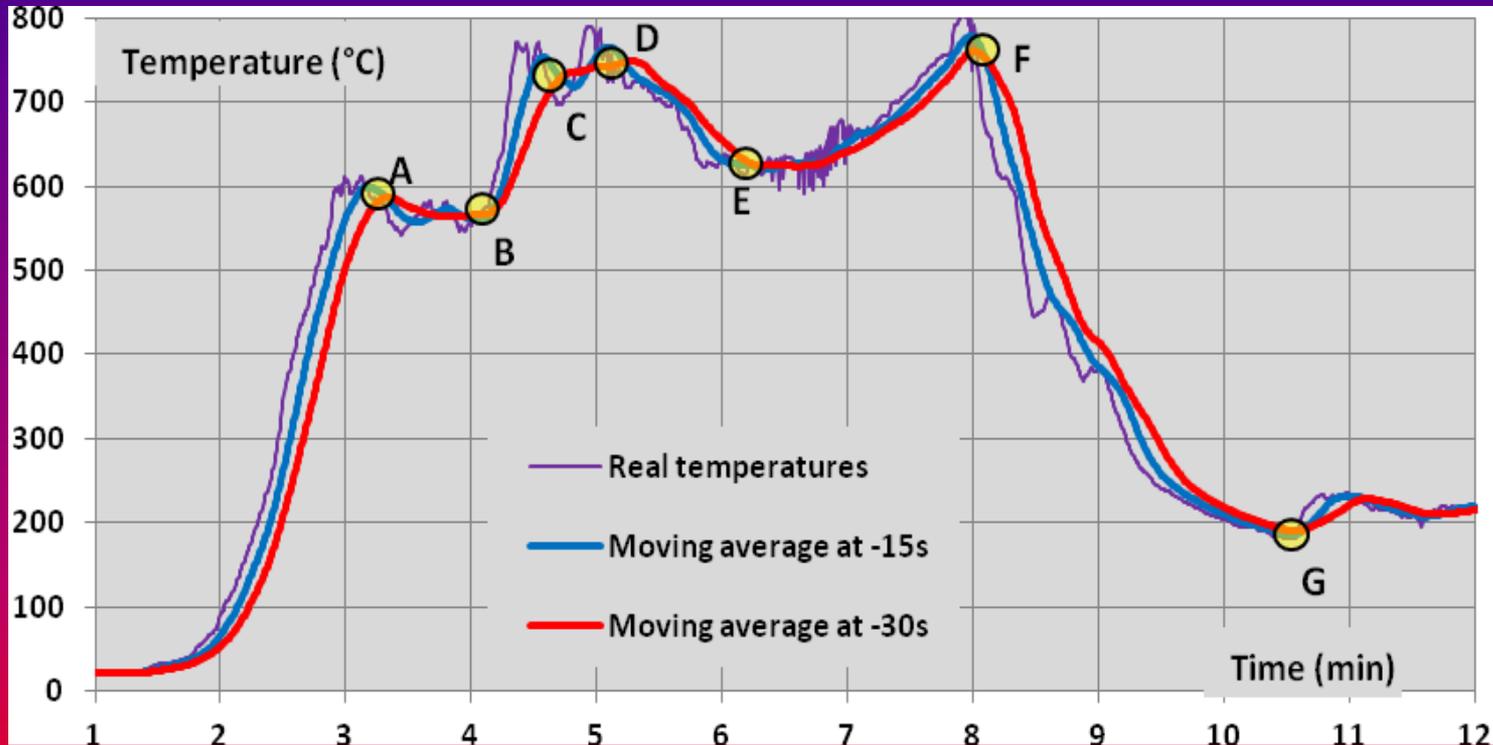
La comparaison des distances dans le passé des différentes moyennes mobiles calculées



Sur cet essai, seule les deux premières moyennes mobiles sont utilisables: à -15s et à -30s

# Analyse des relevés de températures à l'aide de deux moyennes mobiles dans le passé Application à un cas réel

## La comparaison des moyennes mobiles



Températures (30cm sous le plafond de la chambre en feu) en fonction du temps,  
et les deux moyennes mobiles à -15s et à -30s.

→ Analyse des fumées pour l'amélioration de l'aide  
aux décisions opérationnelles en temps réel

## Partie B

**Exploitation des fluctuations de températures pour anticiper la  
survenue des phénomènes thermiques violents**

→ Utilisation de la turbulence dans les fumées  
Pour détecter les dangers

=> L'identification de la turbulence se fait à l'aide des  
signaux de températures

=> Expérimentation à l'échelle 1

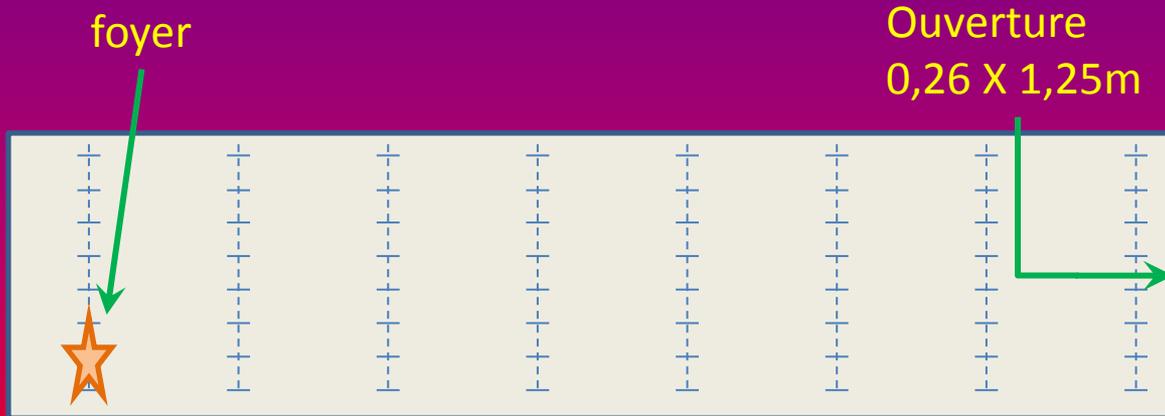


# Exploitation des fluctuations de températures pour anticiper la survenue des phénomènes thermiques violents

## Ensemble expérimental

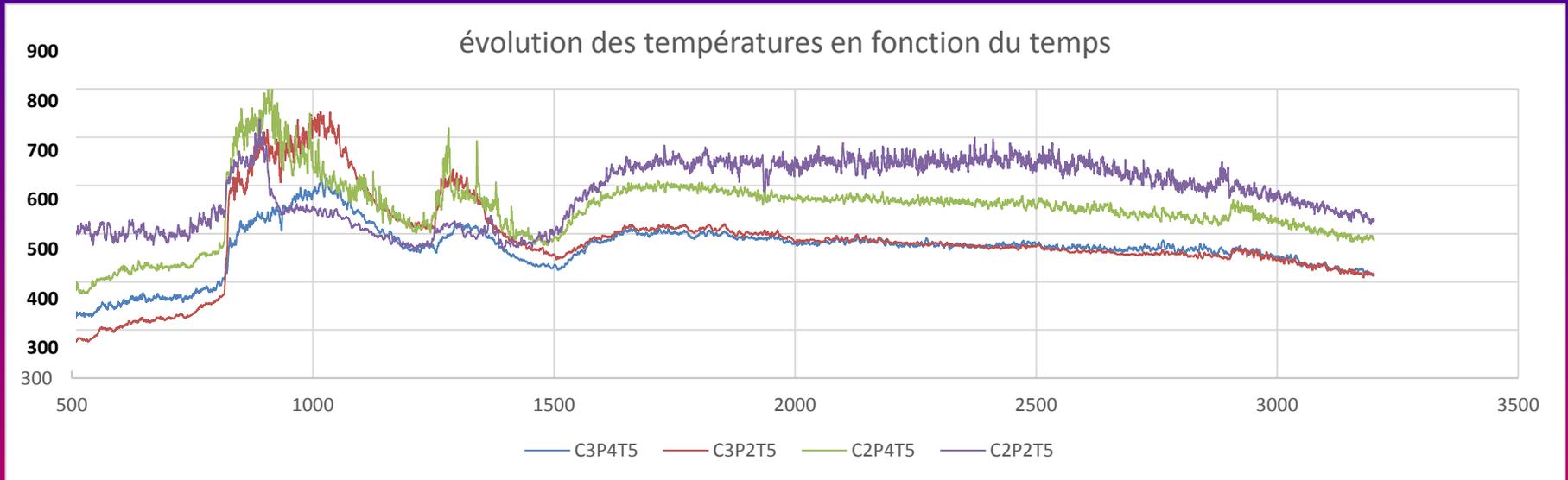
### Le tunnel:

- Dimensions: 170 x 675 cm
- Mesures:
  - masse du foyer,
  - températures.



# Exploitation des fluctuations de températures pour anticiper la survenue des phénomènes thermiques violents

## Mesures

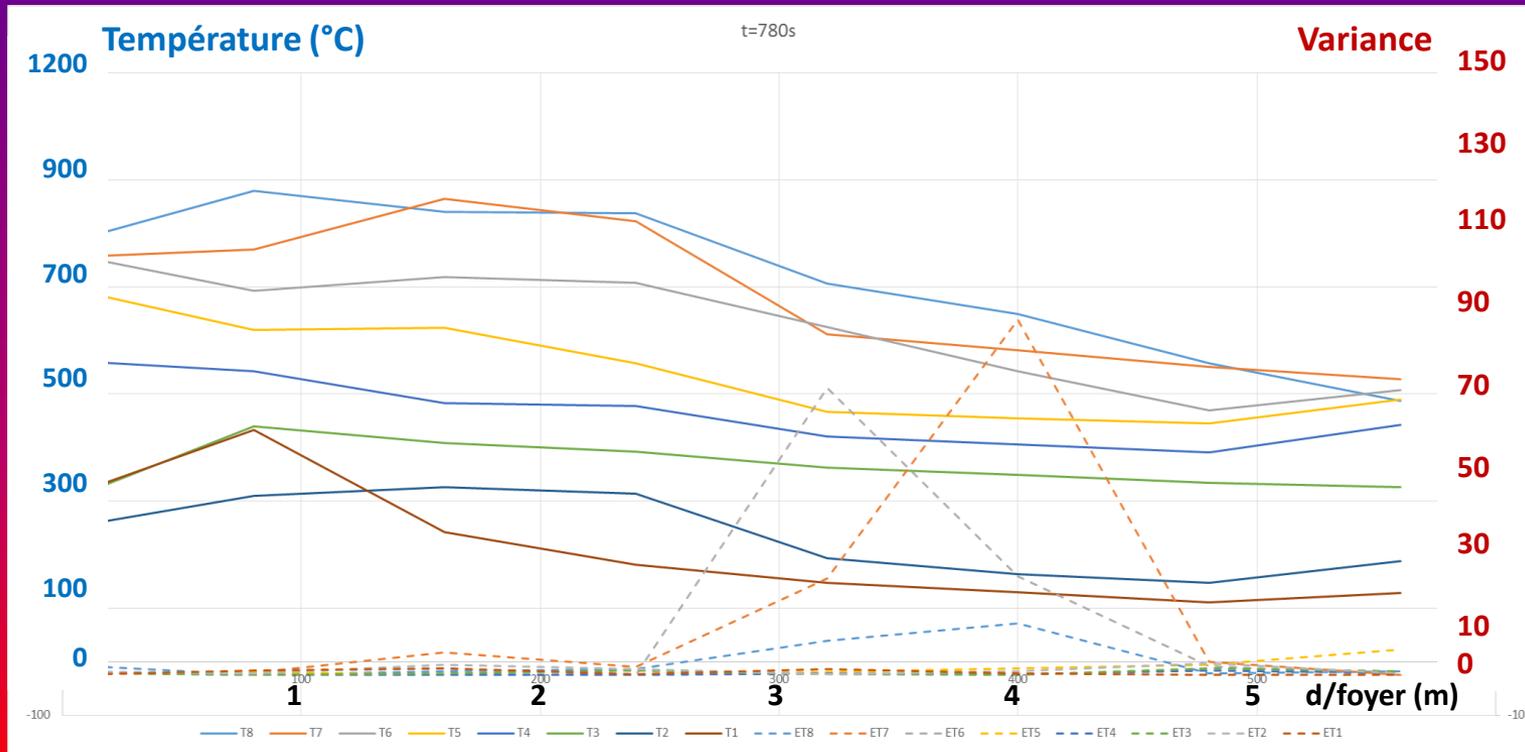


- Températures => fortes perturbations en particulier lors des évènements tels que l'inflammation généralisée des fumées
- Oscillations => caractérisées par le calcul de la variance sur 10 points
- Températures et variances => représentées de manière associée sur un plan vertical le long du tunnel d'essais à des instants choisis

# Exploitation des fluctuations de températures pour anticiper la survenue des phénomènes thermiques violents

## Température et variance de la température le long du tunnel

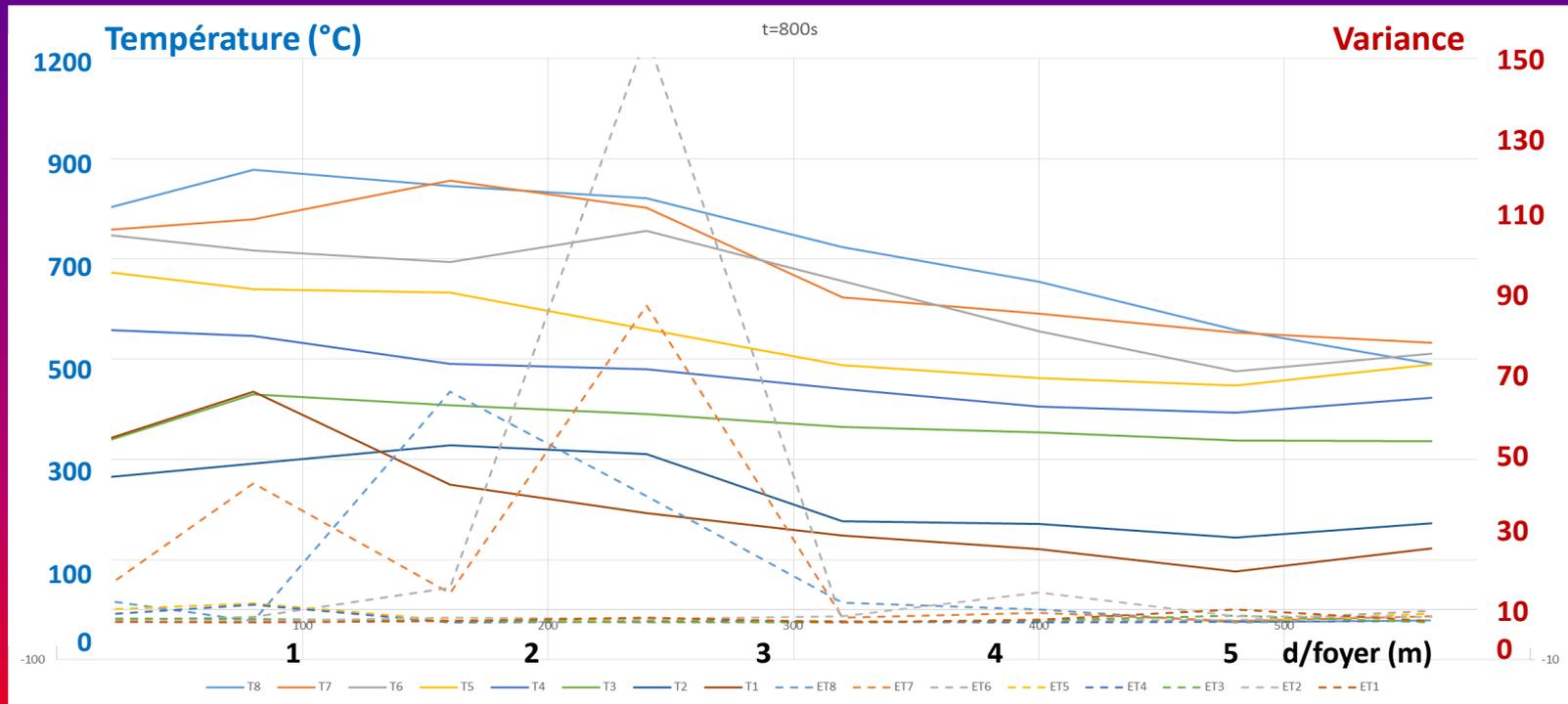
$t=820s \Rightarrow$  « passage » d'un « ange danseur »  
(roll-over isolé)



# Exploitation des fluctuations de températures pour anticiper la survenue des phénomènes thermiques violents

## Température et variance de la température le long du tunnel

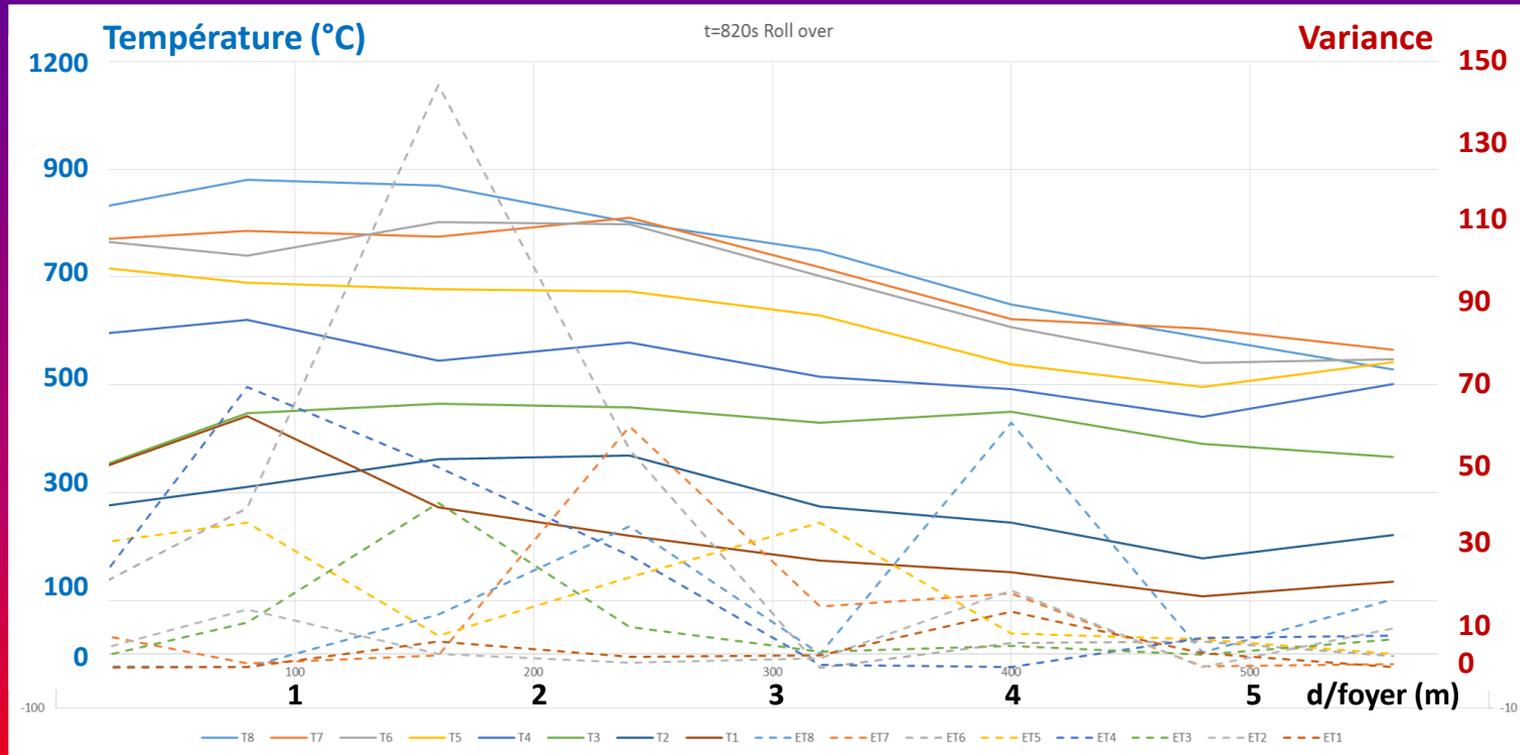
**t=820s => Situation de prés-roll-overs**



# Exploitation des fluctuations de températures pour anticiper la survenue des phénomènes thermiques violents

## Température et variance de la température le long du tunnel

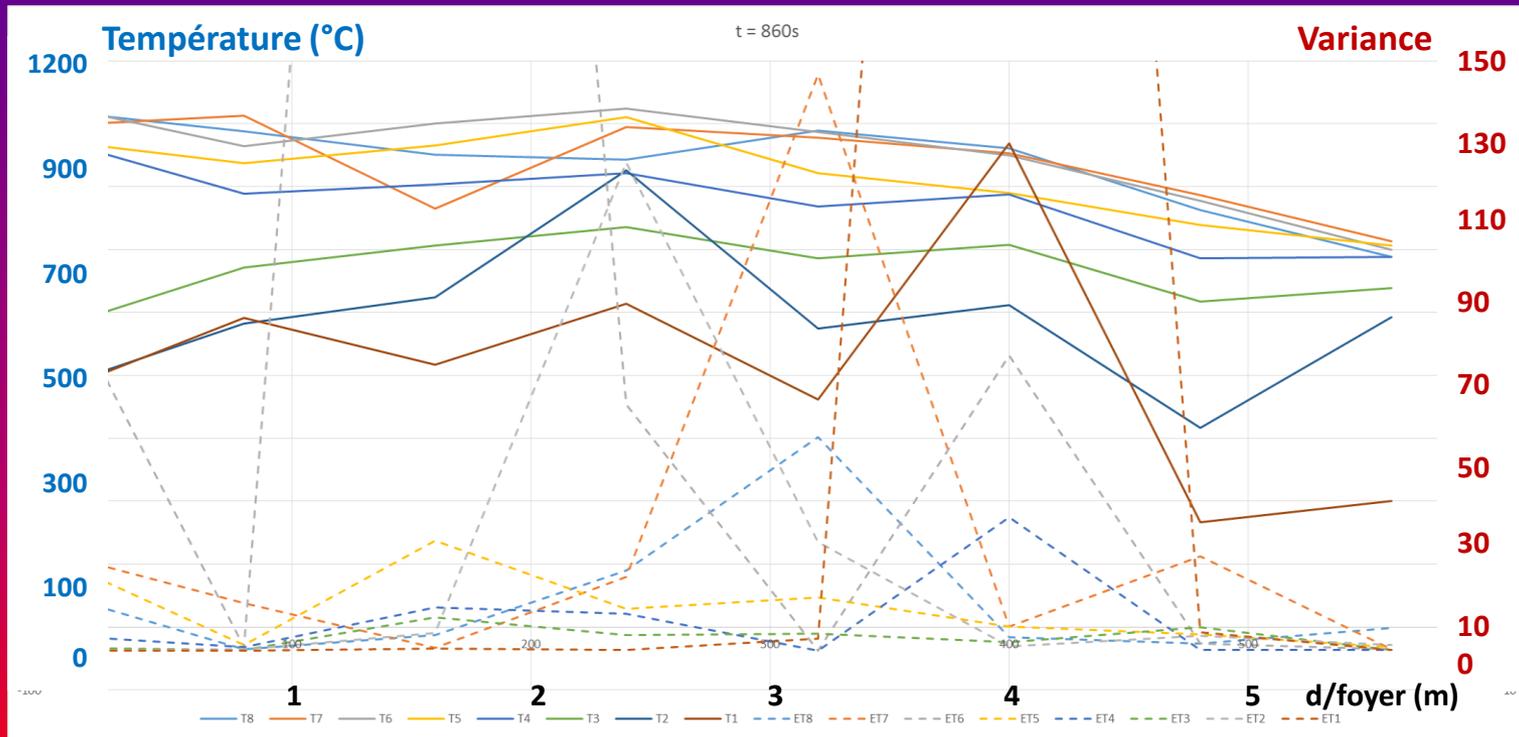
t=820s => Déclenchement des roll-overs



# Exploitation des fluctuations de températures pour anticiper la survenue des phénomènes thermiques violents

## Température et variance de la température le long du tunnel

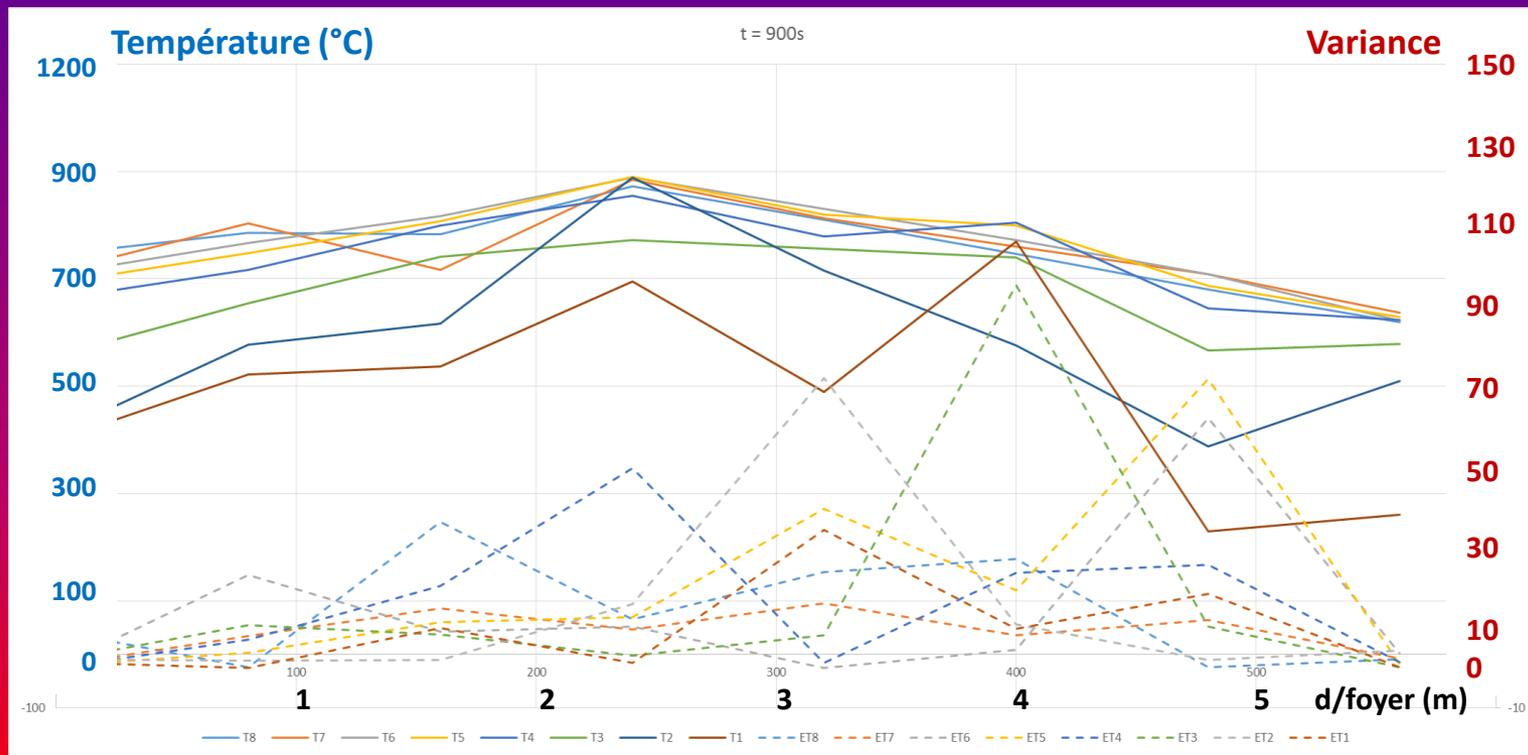
t=820s => Roll-overs pleinement développés



# Exploitation des fluctuations de températures pour anticiper la survenue des phénomènes thermiques violents

## Température et variance de la température le long du tunnel

t=820s => La « vague » de roll-overs est « passée »



**Exploitation des fluctuations de températures pour anticiper la survenue  
des phénomènes thermiques violents**

**Température et variance de la température le long du tunnel**

**→ Utilisation de la variance comme outil de visualisation ?**

Le calcul de la variance des températures permet de visualiser les mouvements internes à la couche de fumées

→ une première approche utile pour la compréhension du phénomène.

# Exploitation des mesures physiques dans les fumées pendant les incendies

→ Analyse des fumées pour l'amélioration de l'aide  
aux décisions opérationnelles en temps réel

Partie C

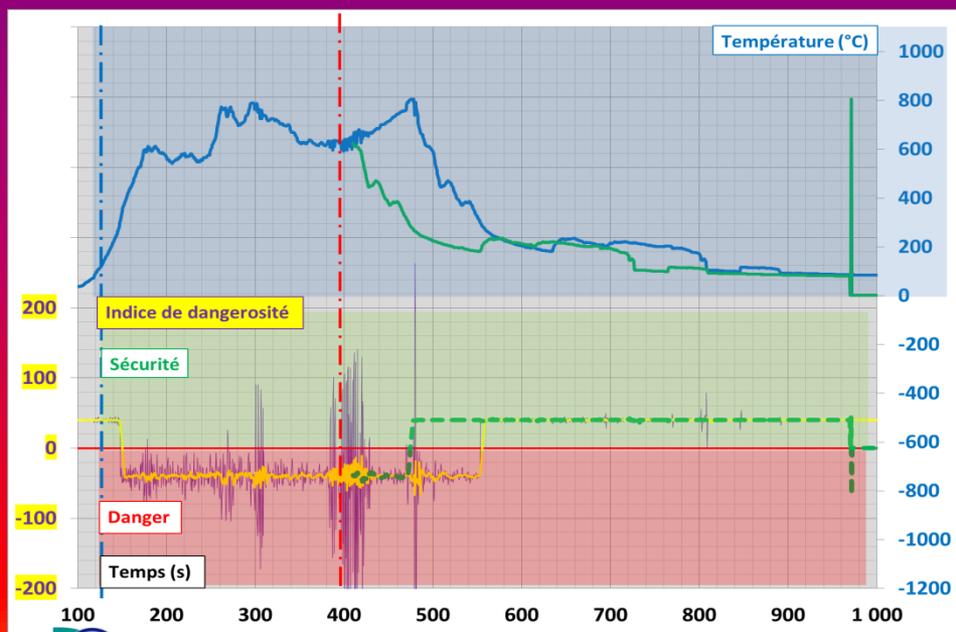
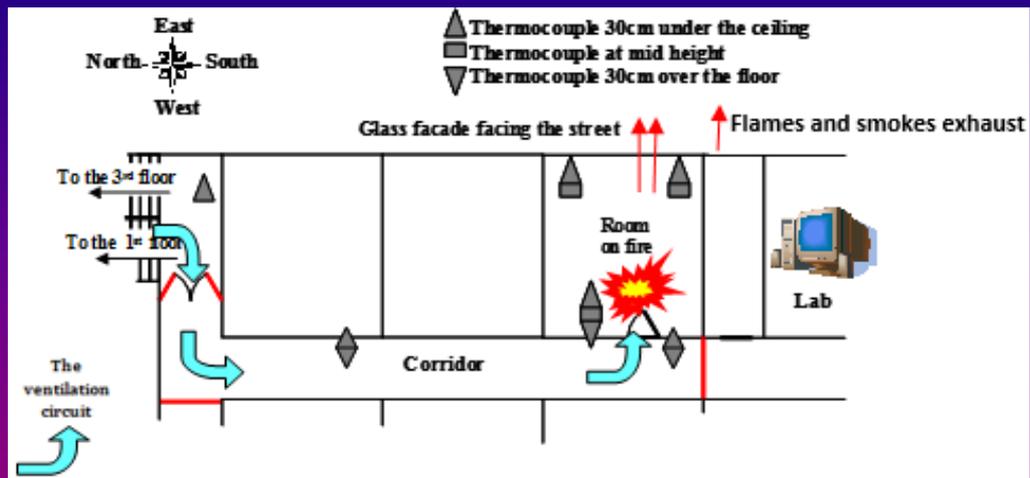
## Indicateurs de dangerosité en temps réel

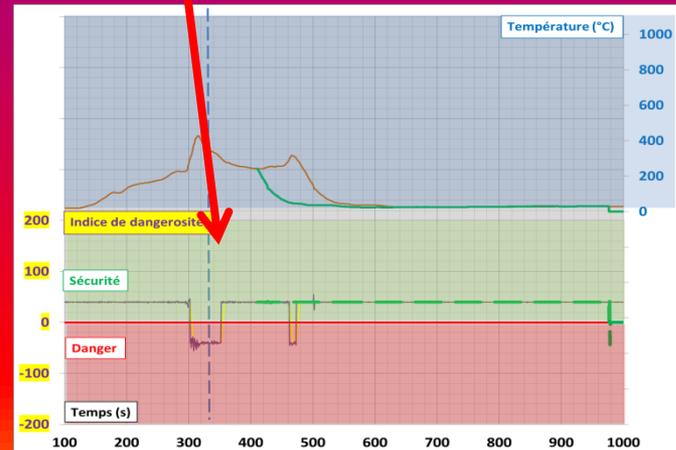
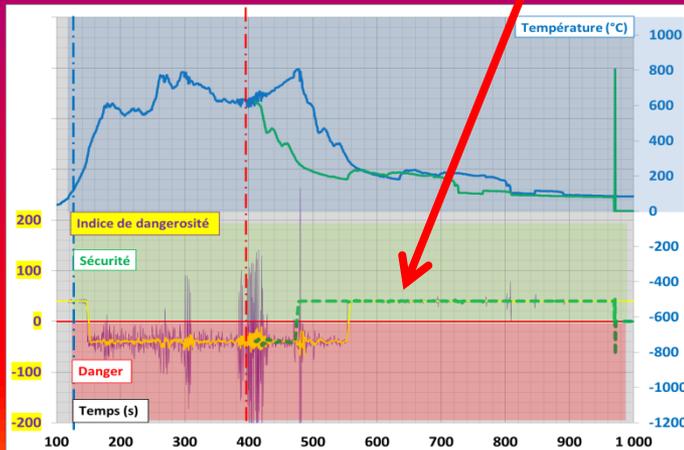
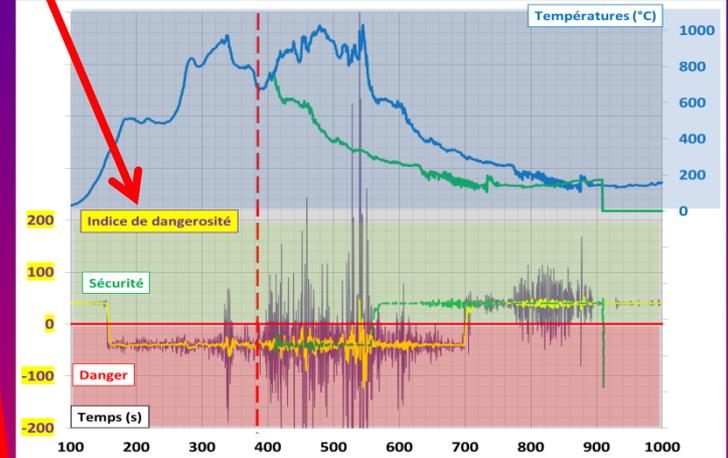
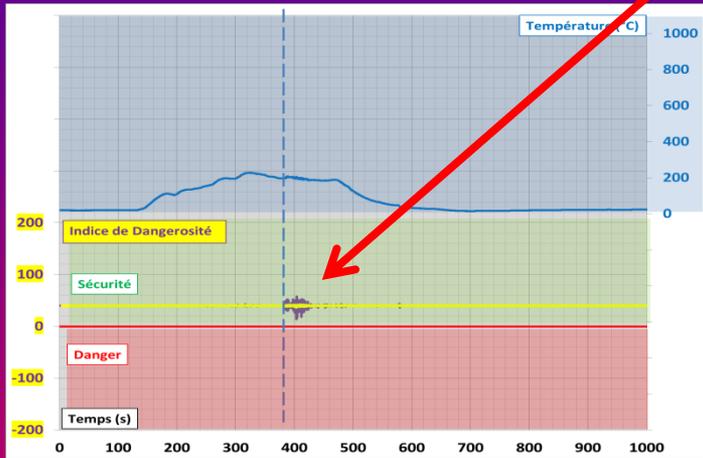
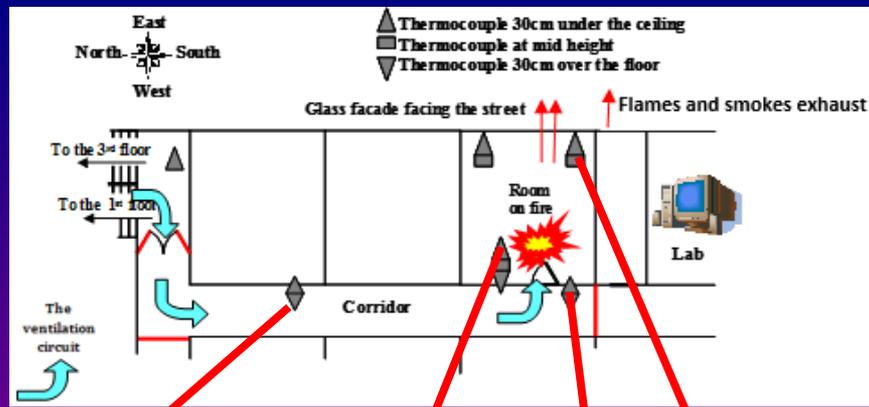
# Définition d'indicateurs de dangerosité

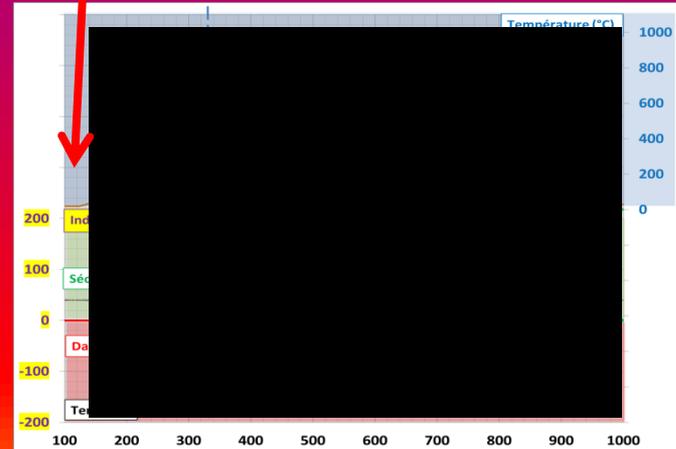
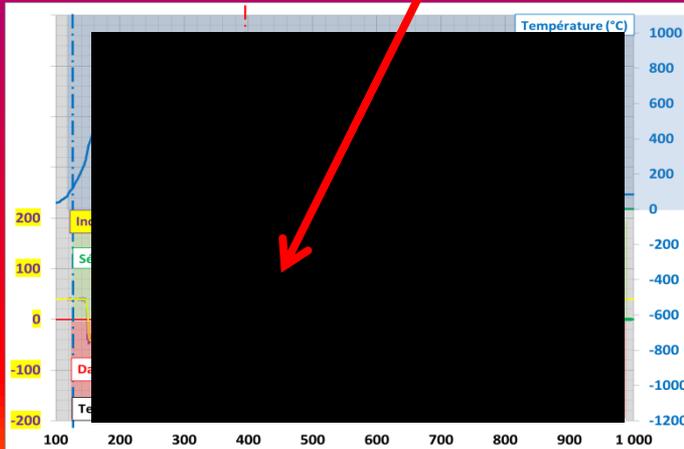
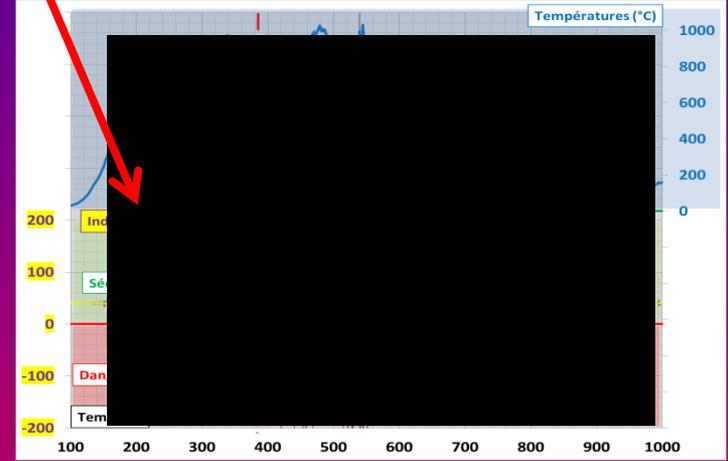
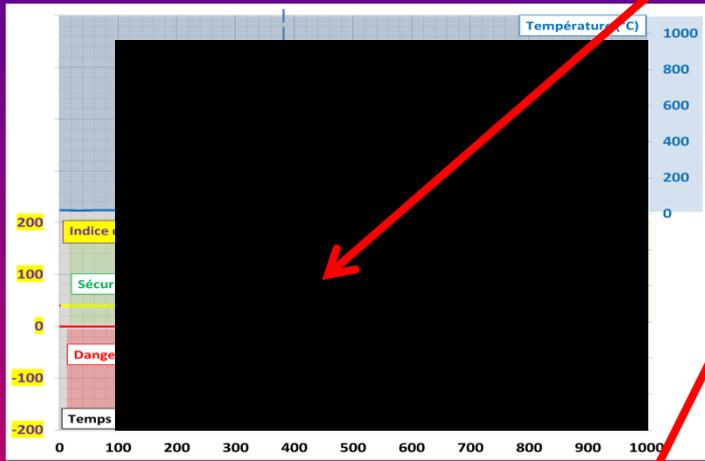
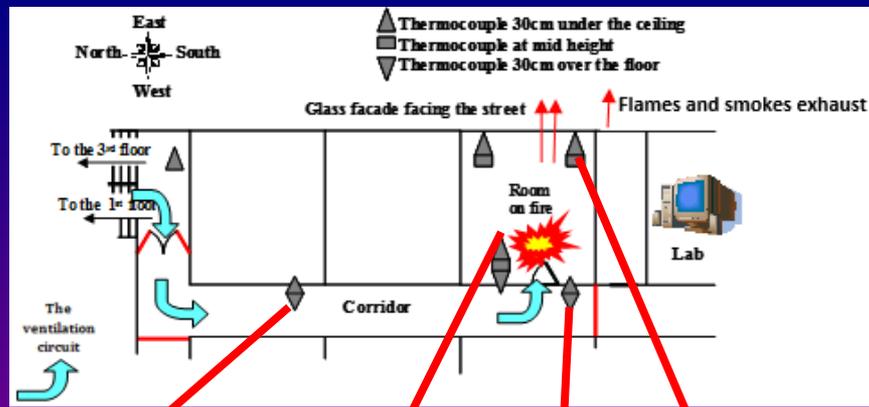
A un endroit donné, le danger est d'autant plus élevé :

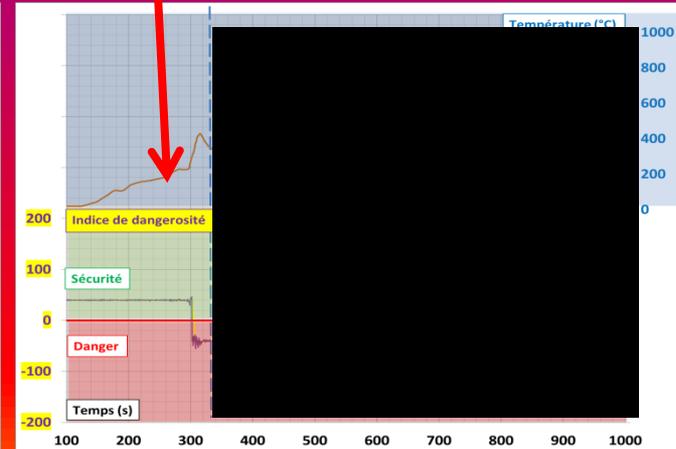
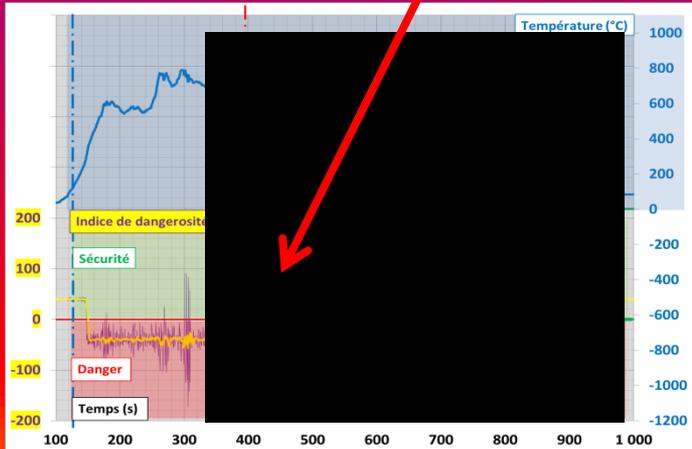
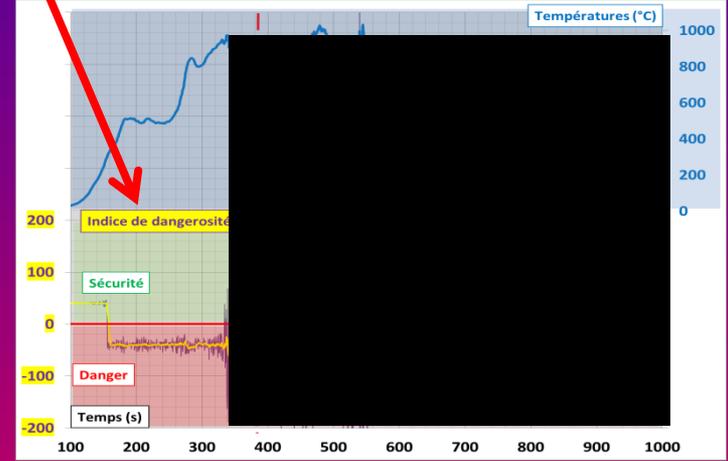
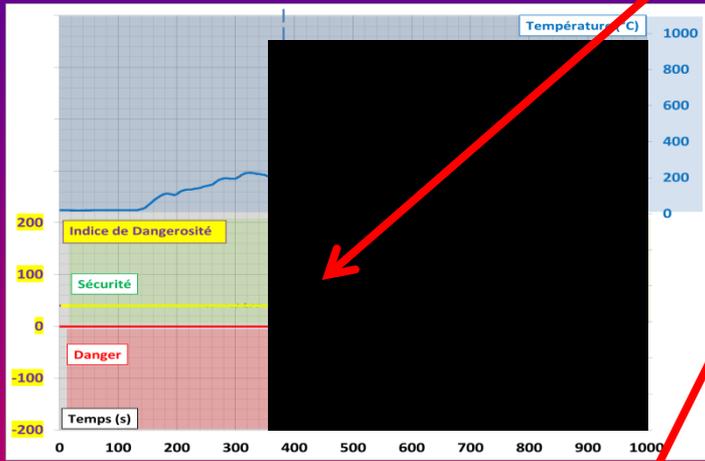
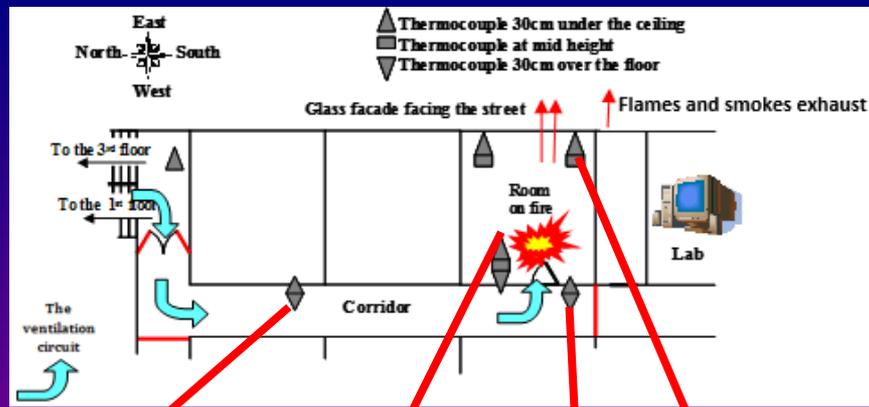
- Que la température est élevée,
- Que les fluctuations de température sont importantes
- Que la vitesse d'augmentation de la température est grande

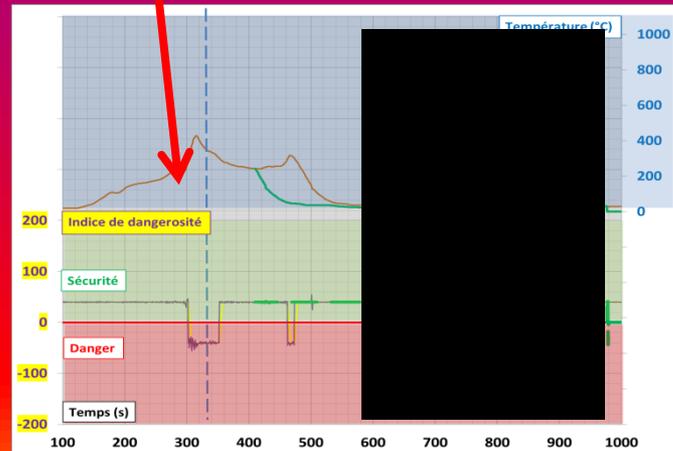
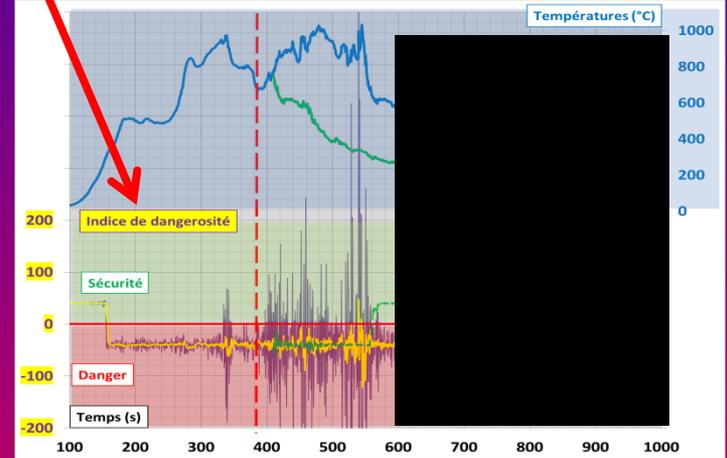
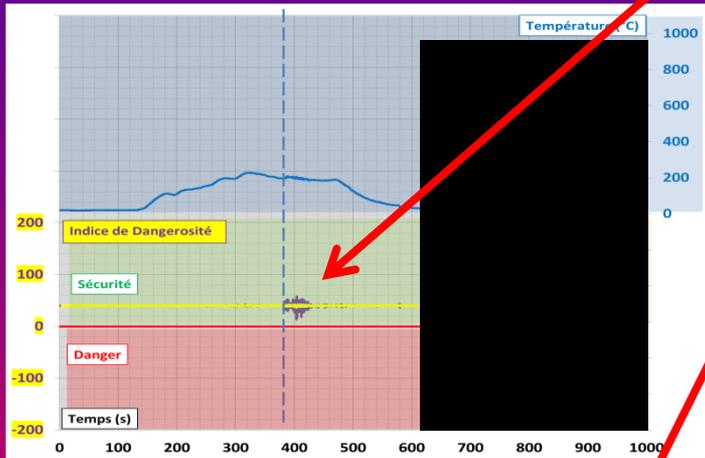
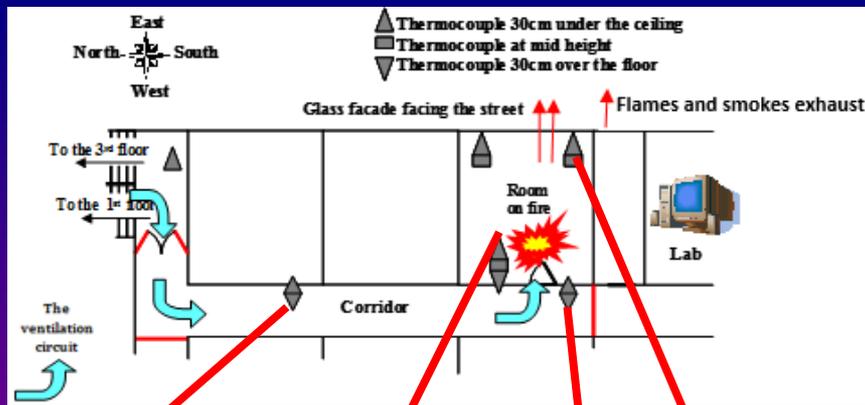
# Exemple

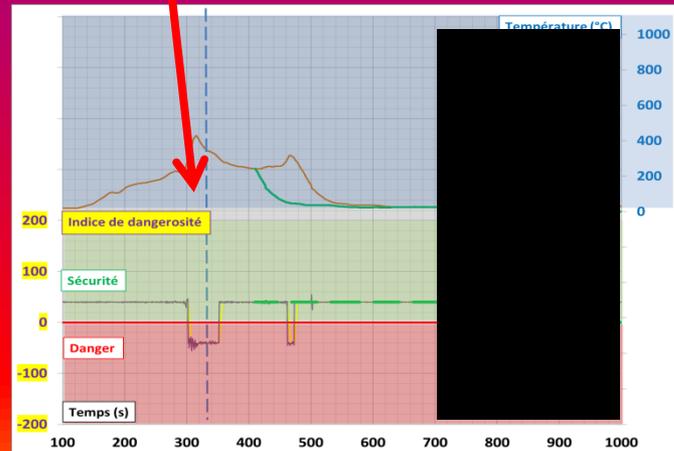
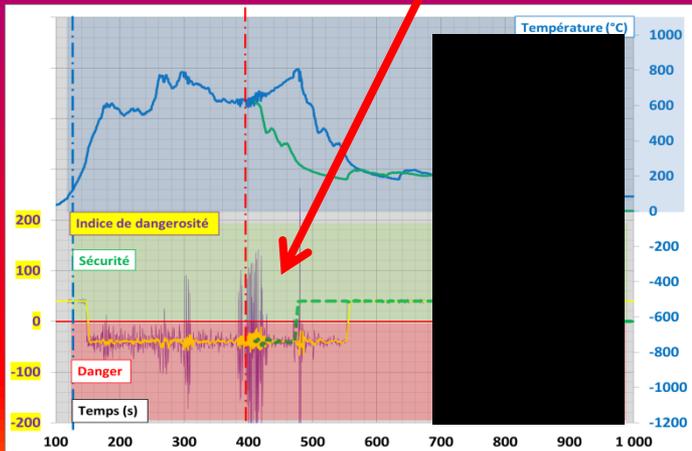
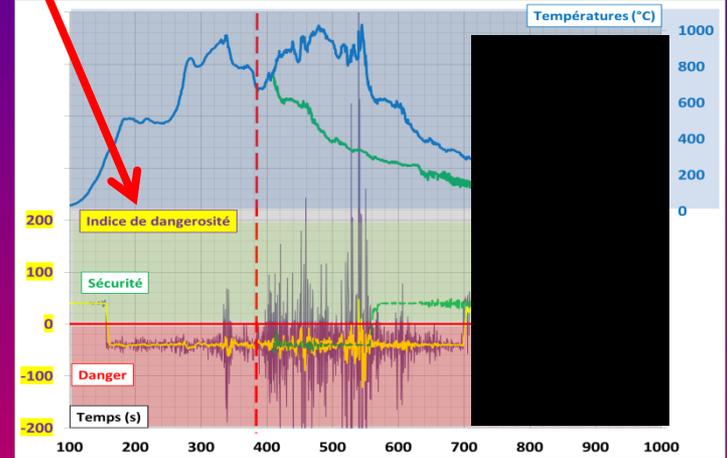
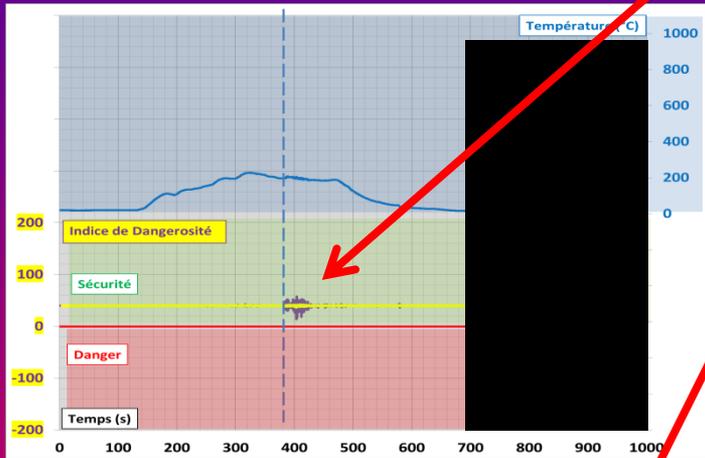
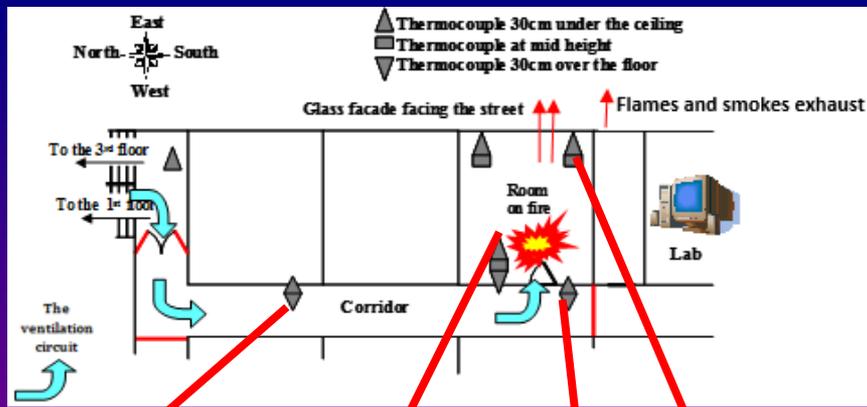




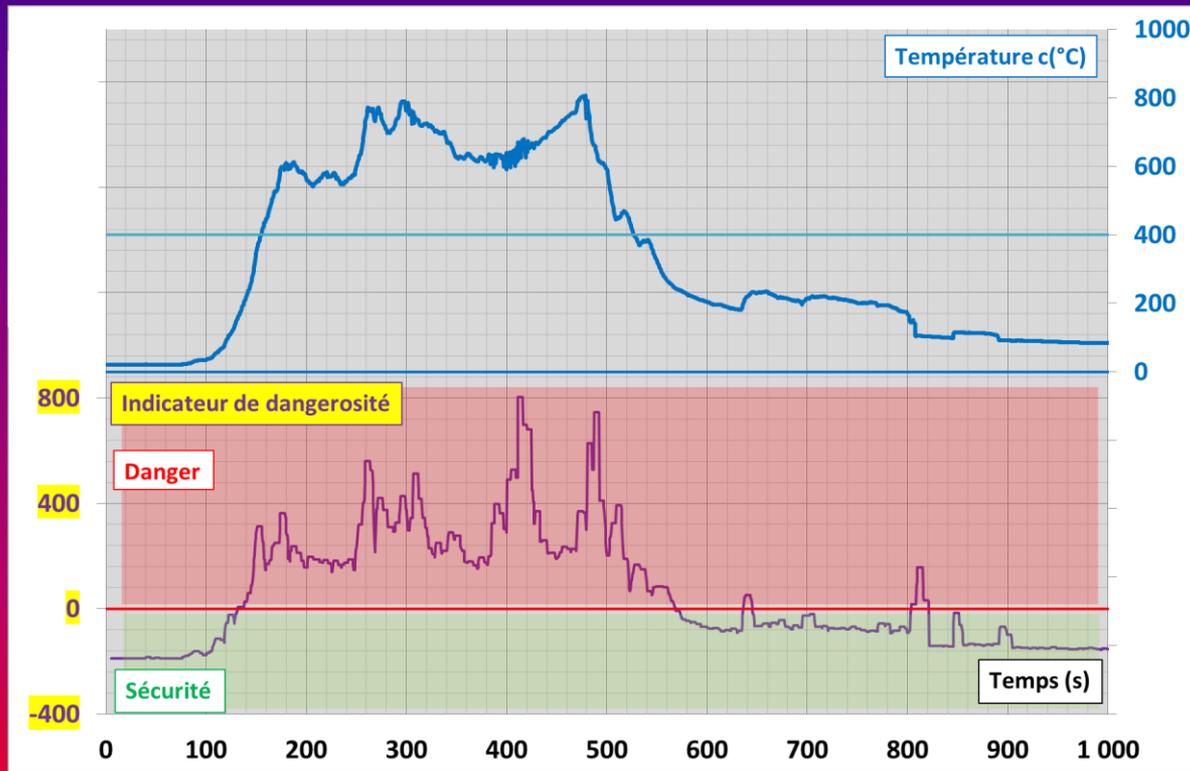








# Autre type d'indicateur de dangerosité



➔ Les pics suivis d'un plateau sont des indicateurs de dangers imminents

**Merci de votre attention**

**Questions ?**

