



Expert en prévention  
et en maîtrise des risques



# Etude expérimentale et numérique de l'extinction d'un feu de bac par aspersion

Alexandre JENFT

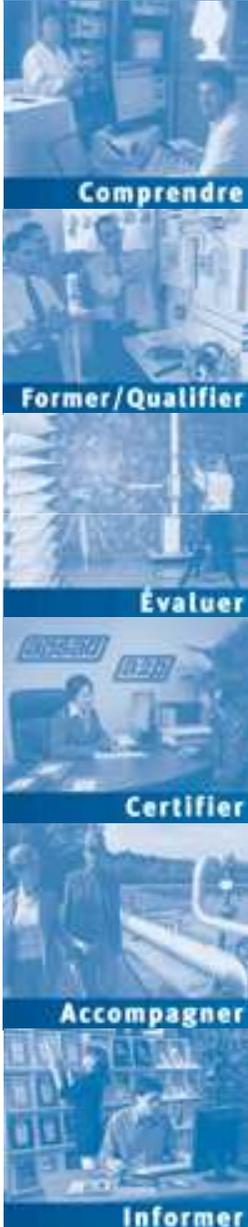
Pascal BOULET

Anthony COLLIN

Grégoire PIANET

Arnaud BRETON

Armelle MULLER





## Objectifs de l'étude

**Étude des interactions entre phénomènes d'incendie et systèmes d'extinction à eau. Développement d'un module d'extinction dans le logiciel FDS.**

- **Enjeux : déterminer le mieux possible l'extinction par brouillard d'eau et sprinkler à l'aide de FDS.**
- **Manques actuels : Maîtrise de l'influence de chaque grandeur sur l'extinction.**
- **Position à mi-parcours : Bases de données expérimentale et numérique conséquentes. Analyse en cours pour aller vers le modèle d'extinction.**





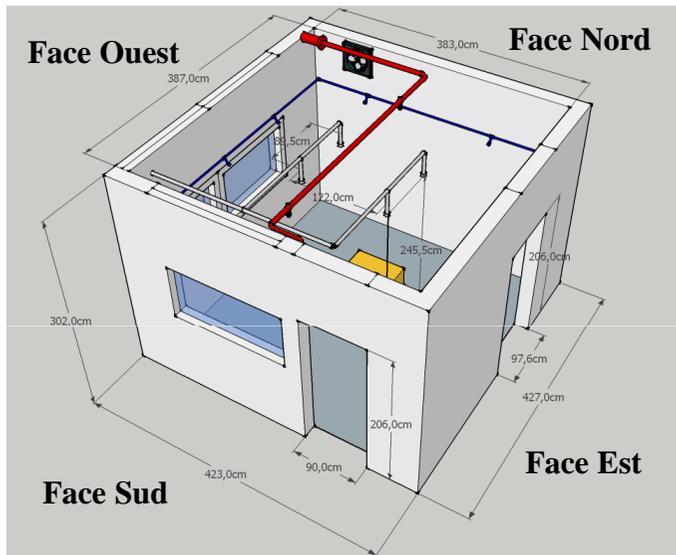
Expert en prévention  
et en maîtrise des risques



## Plan de la présentation

- **Présentation du dispositif expérimental**
- **Résultats expérimentaux**
- **Simulations numériques**
- **Conclusions / perspectives**

## Phase expérimentale : dispositif



Hauteur	2.45 m
Buse	7 orifices
Pression nominale	10 bar
Débit	6.3 l/min
Angle de projection	130°
D <sub>32</sub>	112 µm
Facteur k	2 l/min/atm <sup>1/2</sup>

### Température

- 1 arbre de 4 thermocouples au dessus du foyer, hauteurs 50cm ,150cm, 250cm et 290cm ;
- 1 arbre de 4 thermocouples sur la diagonale Nord-Est, hauteurs 50cm ,150cm, 250cm et 290cm ;
- 2 thermocouples sur les vitres de la face Sud et Ouest
- 3 en couche haute ;
- 5 dans le bac à différentes hauteurs.

### Composition des gaz

- Analyseur O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, mesures en extraction.

### Débit de pyrolyse

- Balance placée sous le bac.

### Flux rayonné par la flamme

- Fluxmètre orienté vers la flamme.

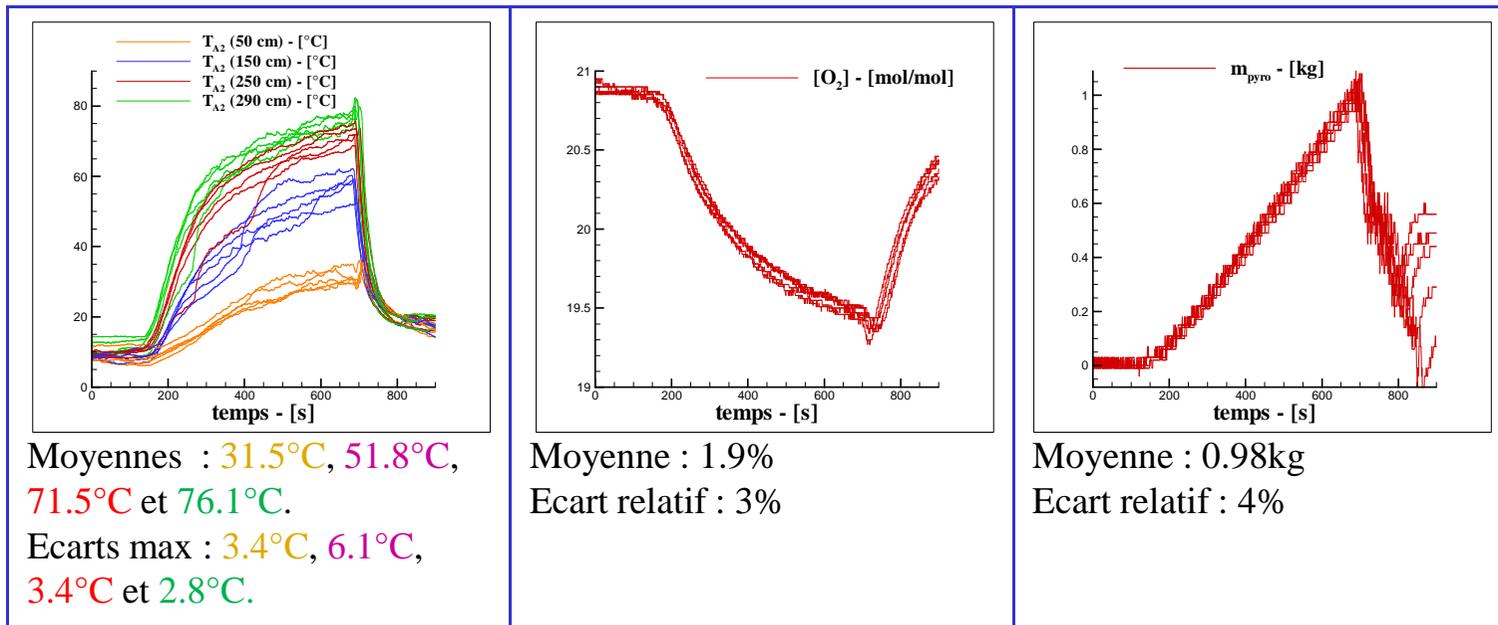
HRR



## Phase expérimentale : répétabilité

**Objectif :** valider la démarche expérimentale.

**Grandeurs étudiées :** températures dans la phase gazeuse, diminution du taux d'oxygène en extraction, masse totale perdue par pyrolyse.





## Mécanismes d'extinction par spray d'eau

- Cas 1 : extinction très rapide, inertage ?

Temps de déclenchement de l'aspersion :  
 $t_{asp} = 5\text{min}$



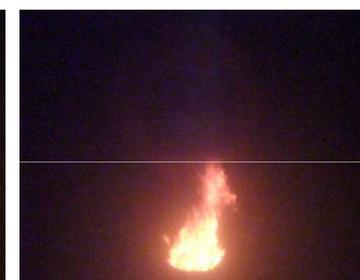
$t_0+10\text{s}$



$t_0+1\text{min}$



$t_0+2\text{min}$



$t_0+3\text{min}$



$t_{asp}-1\text{s}$



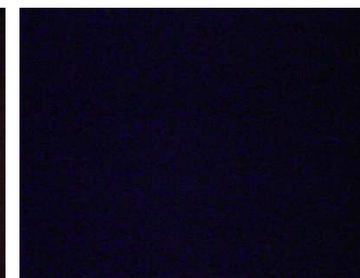
$t_{asp}+2\text{s}$



$t_{asp}+5\text{s}$



$t_{asp}+8\text{s}$



$t_{asp}+10\text{s}$



## Mécanismes d'extinction par spray d'eau

- Cas 2 : processus progressif, refroidissement du combustible ?

Temps de déclenchement de l'aspersion :  $t_{asp} = 1\text{min}$



$t_0+10\text{s}$



$t_{asp}-1\text{s}$



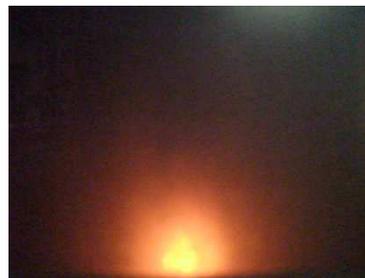
$t_{asp}+2\text{s}$



$t_{asp}+5\text{s}$



$t_{asp}+10\text{s}$



$t_{asp}+20\text{s}$



$t_{asp}+30\text{s}$



$t_{asp}+60\text{s}$



$t_{asp}+65\text{s}$



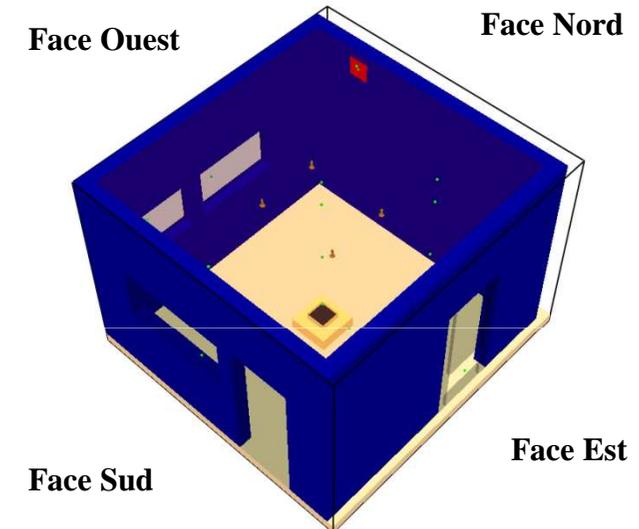
## Phase expérimentale : tableau de résultats

N° essai	N buses	D bac (cm)	T initiale (°C)	t <sub>aspersion</sub> (s)	HRR <sub>aspersion</sub> (kW)	dt <sub>extinction</sub> (s) video	dt <sub>extinction</sub> (s) th. gaz	dt <sub>extinction</sub> (s) th. comb.	Mécanisme d'extinction
7	4	35	8	550	64	18	25		Inertage
13	4	35	12	38	8	40	35	35	Refroid. combustible
14	4	35	11	64	14	65	61	65	Refroid. combustible
16	4	35	10	126	33	10	8	24	Inertage
17	4	35	11	183	51	16	17	61	Inertage
18	4	35	11	301	56	10	15	28	Inertage
19	4	35	10	123	33	8	10	30	Inertage
20	4	35	7	94	31	65	58	78	Refroid. combustible
21	4	35	6	126	34	70	57	78	Refroid. combustible
22	4	35	6	181	51	26	26	58	Inertage



## Phase numérique : présentation de la simulation

Domaine	4.30m x 4.50m x 3.20m. Mailles de 5cm x 5cm x 5cm, soit 495 360 mailles.
Conditions aux limites	Suivant les z inférieurs, mur infini avec continuité du flux. Suivant les autres axes, continuité du flux, l'air extérieur étant considéré à température ambiante.
Température	Initiale : 9°C. Extérieure : 8°C.
Combustion	$\Delta H_c = 42200\text{kJ/kg}$ . Combustible : fioul, identifié par $\text{C}_{12}\text{H}_{23}$ . RAMP de puissance déterminée d'après les résultats expérimentaux. Bac : 30cm x 30cm x 10cm. Contient une hauteur de 5cm de fioul. HRRPUA = 670kW/m <sup>2</sup> à l'état stationnaire.
Brouillard d'eau	Identique aux données expérimentales.
Métrologie	Identiques à la partie expérimentale.



### Modèle d'extinction

$$\dot{m}_f''(t) = \dot{m}_{f,0}'' e^{-\int k(t)dt}$$

Avec  $k(t) = a \dot{m}_w''(t)$

Où  $a$  est un coefficient empirique. Il est une donnée d'entrée des simulations.



## Phase numérique : bilans de masse et d'énergie

**Objectifs** : quantifier les termes de pertes afin de déduire les phénomènes d'extinction dominants. Pour prendre en compte tous les termes, il est nécessaire d'écrire les bilans pour deux systèmes.

Bilan de masse	Bilan d'énergie
<p><b>Système « flamme + gaz »</b></p> $\dot{m}_g(t) = \dot{m}_{pyro}(t) + \dot{m}_{adv,g}(t) + \dot{m}_{evap}(t)$	<p><b>Système « flamme + gaz »</b></p> $\dot{Q}(t) = \dot{Q}_{conv\_g/w}(t) + \dot{Q}_{ray\_g/w}(t) + \dot{Q}_{adv,g}(t) + \dot{Q}_{conv\_p/g}(t) + \dot{Q}_{ray\_p/g}(t) + \dot{Q}_{EI,g}$
<p><b>Système « gouttes »</b></p> $\dot{m}_p(t) = \dot{m}_{inj}(t) + \dot{m}_{adv,p}(t) - \dot{m}_{evap}(t)$	<p><b>Système « gouttes »</b></p> $\dot{Q}_{evap}(t) + \dot{Q}_{EI,p}(t) = \dot{Q}_{conv\_p/w}(t) + \dot{Q}_{ray\_p/w}(t) + \dot{Q}_{p/w}(t)$

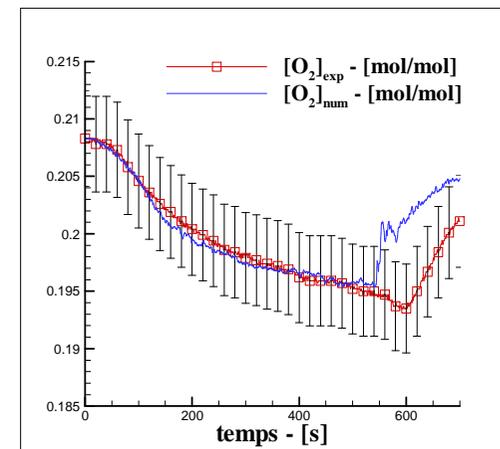
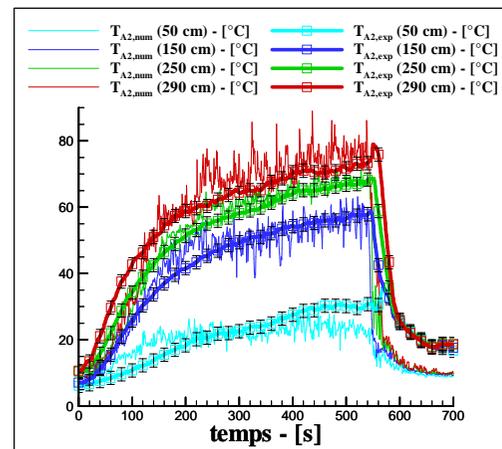
## Phase numérique : comparaison avec l'expérience

**Cas traité :** essai réalisé pour la répétabilité.

**Grandeurs étudiées :** température des gaz et taux d'oxygène en extraction.

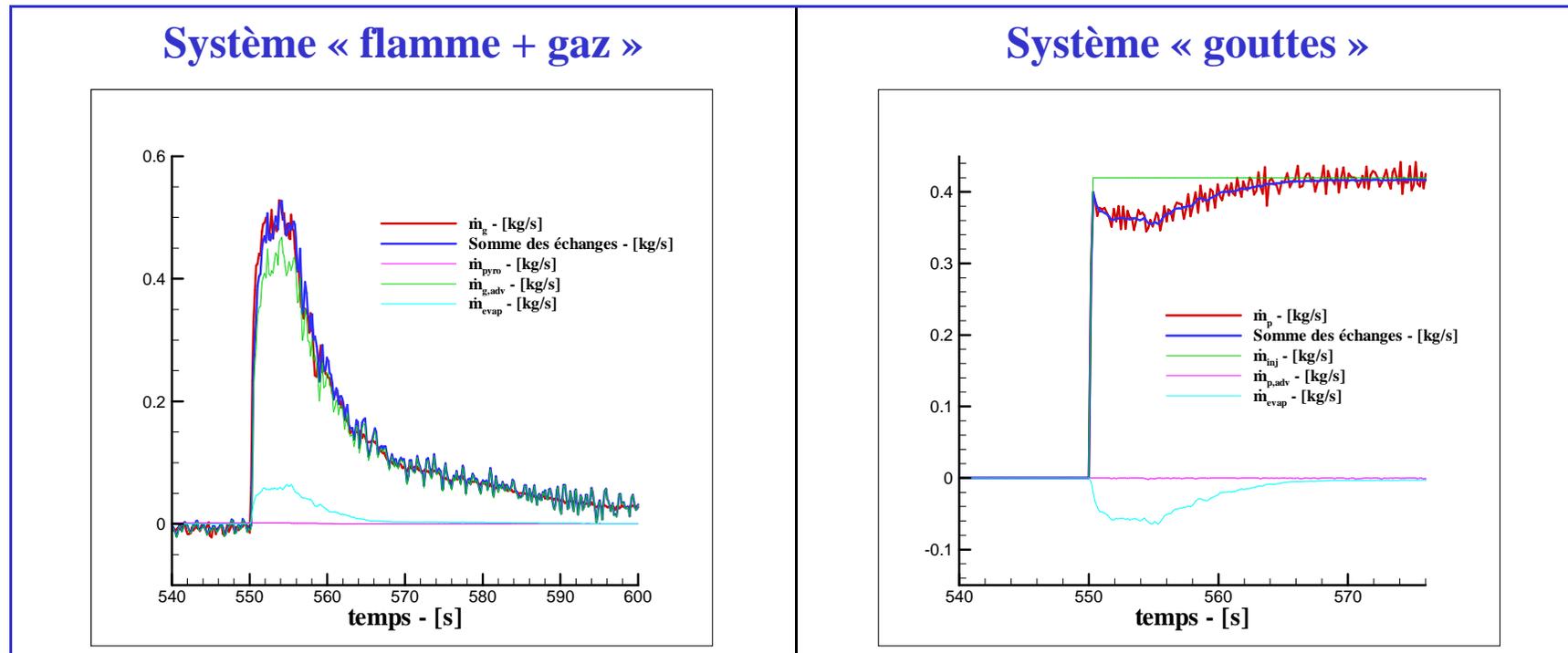
**Résultats avant aspersion :**

- Très bon accord expérimental/numérique pour T(150cm), T(250cm) et T(290cm), plutôt bon accord pour T(50cm) ;
- Différence sur la consommation en oxygène de l'ordre de 7%.



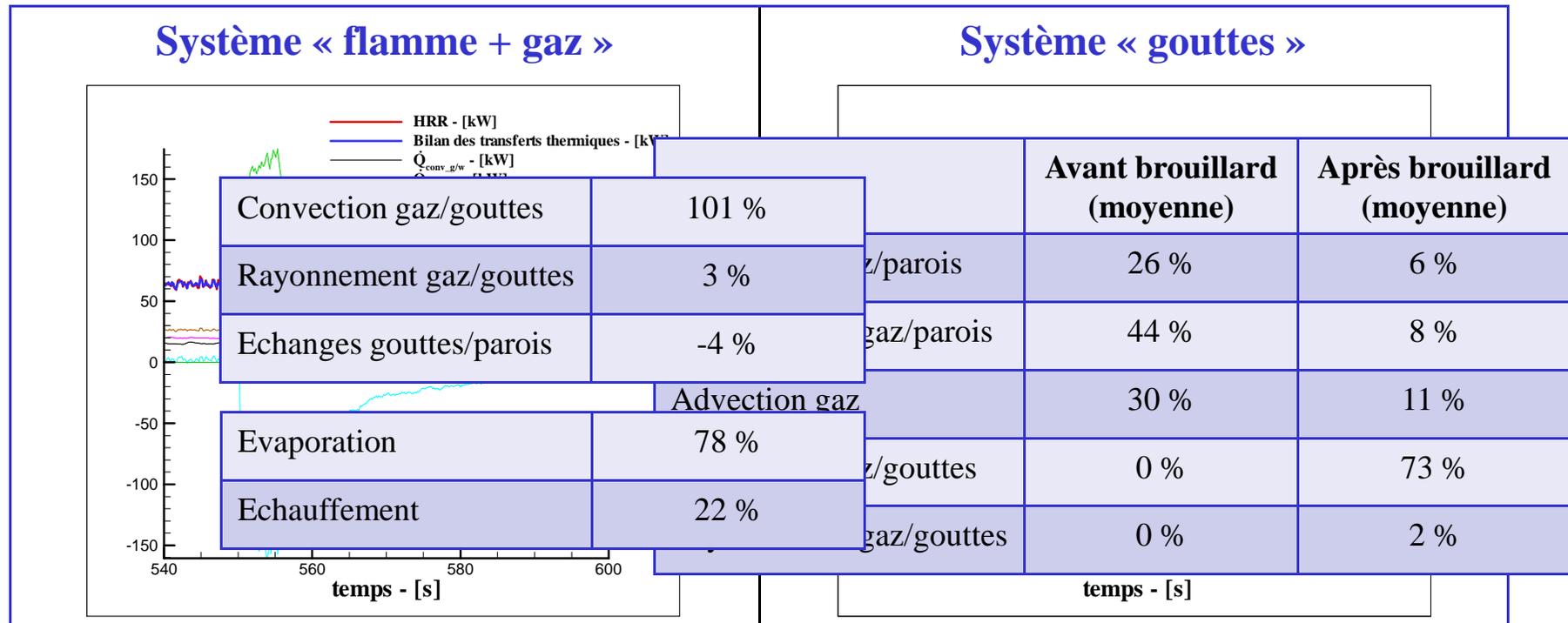
## Phase numérique : bilans de masse

Cas traité : essais réalisés pour la répétabilité.



# Phase numérique : bilans d'énergie

Cas traité : essais réalisés pour la répétabilité.





Expert en prévention  
et en maîtrise des risques



## Conclusions

La première partie de thèse nous a permis de :

- Réaliser une campagne de 41 essais à échelle réelle à compléter, différents mécanismes d'extinction ont été observés ;
- Intégrer des bilans de masse et d'énergie dans le code ainsi que les modèles intervenant dans ceux-ci ;
- Comparer les résultats expérimentaux avec les simulations numériques, un bon accord a été constaté et différentes analyses de sensibilités ont été effectuées ;
- Observer numériquement grâce aux bilans d'énergie des tendances différentes pour les essais supposés s'éteindre par refroidissement du combustible et par inertage.



Expert en prévention  
et en maîtrise des risques



## Perspectives

- Poursuivre la campagne d'essais : changer de combustible ;
- Analyser le modèle exponentiel présent dans FDS : peut-on mettre de la physique derrière le « E\_COEFFICIENT » ?
- Tester FDS 6 et son nouveau critère d'extinction (Vaari et al.), cela peut-il répondre aux phénomènes de refroidissement de la phase gazeuse et à l'inertage ?