



F. Demouge, Ph Fromy

Groupe de Recherche Incendie 8^{ème} rencontre Incendie

Présentation du modèle de perte de masse utilisé dans le cadre du benchmark Promesis

1. *Quelques éléments de contexte*
2. *Présentation du modèle utilisé*
3. *Application au benchmark Promesis*
4. *Analyse des résultats et confrontation à l'expérience*
5. *Conclusion et perspectives*

→ **Contexte**

- Nécessité croissante d'un modèle de perte de masse utilisable dans une approche d'ingénierie de la sécurité incendie

→ **i.e :**

- Nécessité croissante : développement en France d'une approche « performancielle » de la sécurité incendie
- Modèle de perte de masse : prise en compte au cours du calcul de l'effet de l'environnement du foyer sur l'activité du feu
- Ingénierie (S.I.) : dimensionnement des systèmes et réflexion sur la mise en sécurité en utilisant l'état des connaissances pour estimer l'ordre de grandeur des phénomènes physiques du feu (*dans un délai compatible avec l'acte de construire*)

→ **Besoin particulier pour différents sujets :**

- Comportement au feu des façades et structures extérieures (*flammes extérieures*)
- Ventilation mécanique des locaux confinés (*industrie nucléaire*)
- Impact de l'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments sur la sévérité des feux
- Estimation du risque d'accident thermique en phase d'intervention
- Evaluation de la réponse de détecteurs (*cinétique de développement du feu*)
- Evaluation de la performance des systèmes d'extinction (*interaction eau/foyer*)
- Vers une analyse probabiliste impliquant un grand nombre de situations possibles dans une même simulation (*feux très confinés à largement ventilés*)

→ **Profiter :**

- Du GDR
- De la cellule d'essai PROMESIS
- Du cahier des charges du benchmark :
 - Reproduire au plus près l'expérience
 - Fournir l'évolution de l'activité de 2 foyers distincts

→ **Pour :**

- Rechercher un modèle simple de perte de masse dans la littérature
- L'implémenter dans un modèle à zones développé au CSTB
- Analyser et comparer les résultats

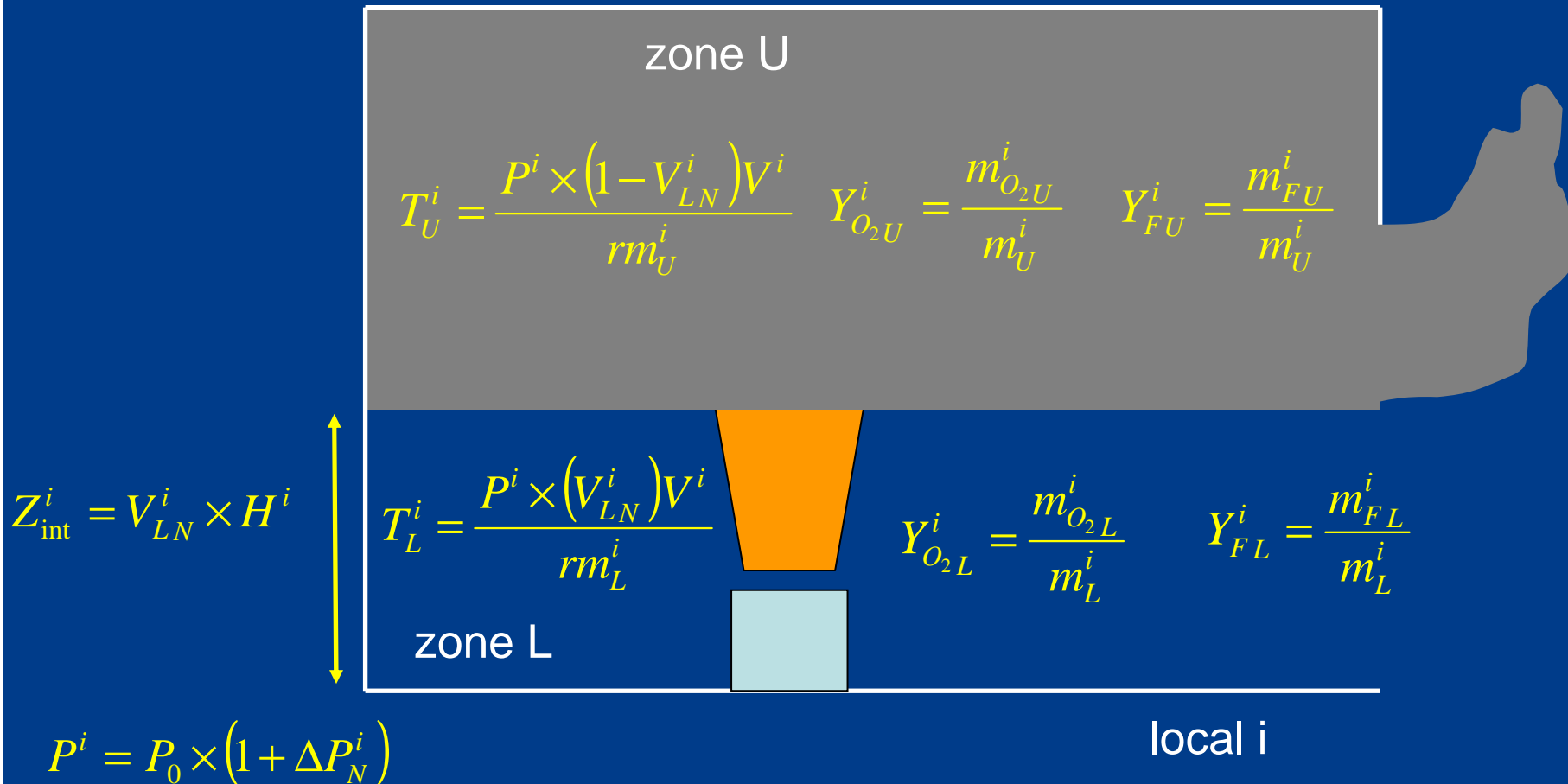
→ **SCHEMA – S. I.**

- Modèle à deux zones gazeuses multi-locaux développé au CSTB
 - Températures des zones haute et basse, hauteur de l'interface thermique entre zones, pression du local
 - Concentrations en oxygène et en fuel

→ **+ modèle de perte de masse**

- Utiskul & Quintiere (IAFSS, 2008)
 - Ventilation du foyer
 - « Feedback radiatif » provenant de l'environnement

→ Grandeurs calculées



$$\frac{d\Delta P_N^i}{dt} = \frac{-1}{P_0 V^i} (\dot{E}_U^i + \dot{E}_L^i)$$

→ **Entrainement d'air dans le panache**

- Corrélation empirique de McCaffrey

→ **Écoulements aux ouvertures**

- Application du théorème de Bernoulli avec redirection des écoulements et entrainement en fonction des masses volumiques des différentes couches

→ **Pertes au parois**

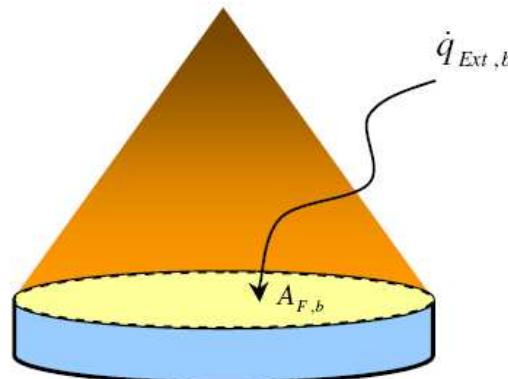
- Échange convectif et radiatif
- Résolution 1D de l'équation de la chaleur dans l'épaisseur des parois

→ **Modèle de rayonnement de type « sablier »**

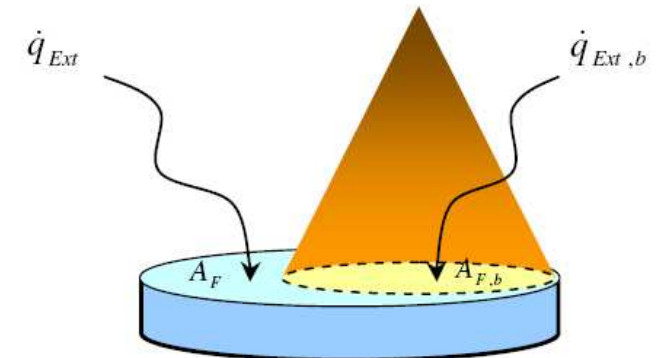
→ **Modèle de combustion dans les différentes zones**

- Critère d'extinction lié à la fraction d'oxygène et la température

→ **Réduction de la zone enflammée en régime de contrôle par la ventilation**

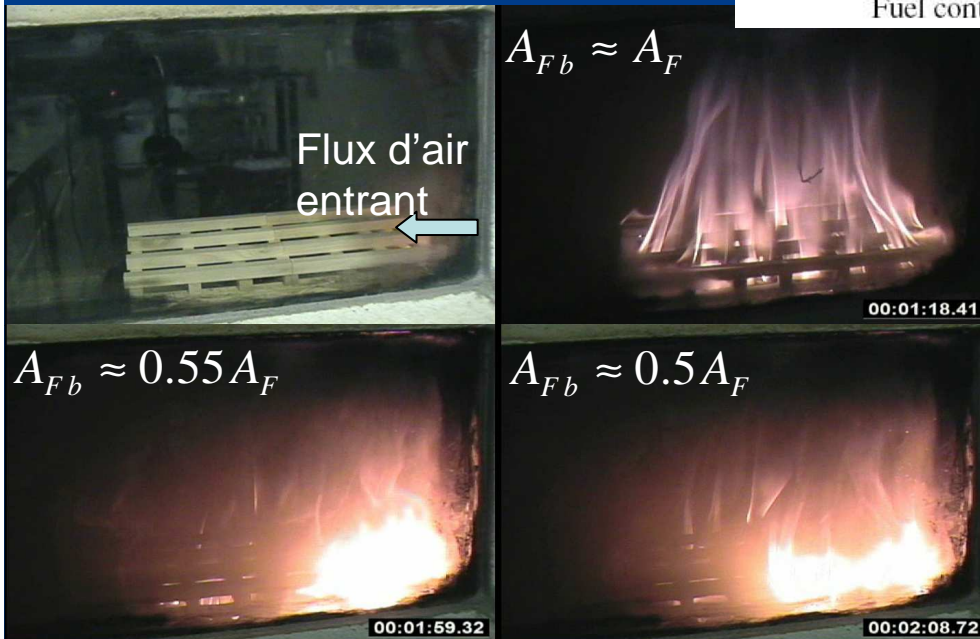


Fuel controlled



Ventilation controlled

© Utiskul & Quintiere, IAFSS 2008



© Utiskul & Quintiere, IAFSS 2008

$$\dot{m}_F = \underbrace{\dot{m}_{F0}'' A_{Fb} \frac{Y_{O_2L}}{Y_{O_20}}}_{\text{effet de la ventilation}} + \underbrace{\frac{\dot{q}_{external}}{L_{vap}}}_{\text{effet du rayonnement}}$$

\dot{m}_{F0}'' : débit de perte de masse en champ libre

A_{Fb} : surface en pyrolyse active surmontée d'une flamme

$\dot{q}_{external}$: flux de chaleur provenant de l'environnement

L_{vap} : chaleur latente de vaporisation

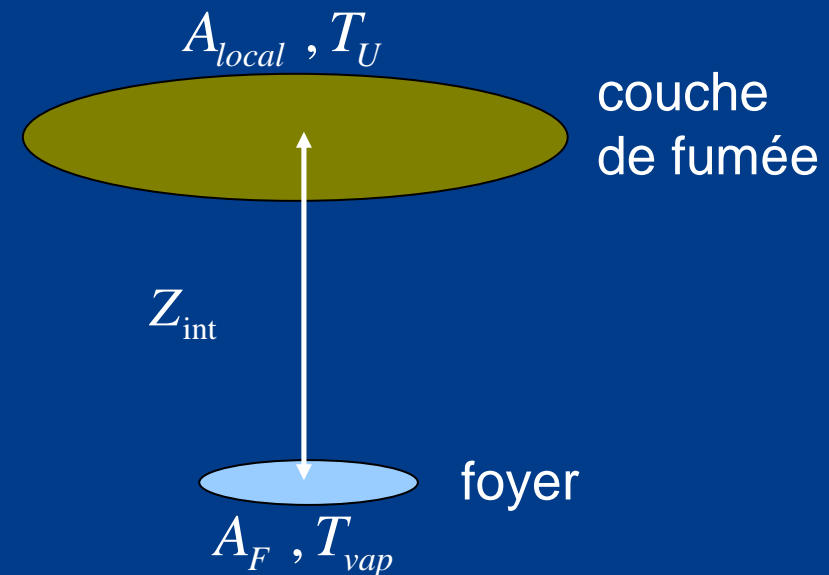
→ Représentation du flux de chaleur environnement / foyer

$$R_1 = \frac{\sqrt{\frac{A_{local}}{\pi}}}{Z_{int}} \quad R_2 = \frac{\sqrt{\frac{A_F}{\pi}}}{Z_{int}} \quad X = 1 + \frac{(1 + R_2^2)}{R_1^2}$$

$$F_{1-2} = 0.5 \times \left(X - \sqrt{X^2 - 4 \times \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2} \right)$$

$$\dot{q}_{ext}'' = \frac{1}{A_F} \times (A_{local} F_{1-2} \sigma T_U^4 - A_F \sigma T_{vap}^4)$$

$$\rightarrow \dot{q}_{external} = (A_F - A_{Fb}) \dot{q}_{ext}'' + (1 - \epsilon_f) A_{Fb} \dot{q}_{ext}''$$



→ Détermination de la surface A_{Fb} et du débit de perte de masse

○ Résolution implicite

$$\dot{Q}_{plume} = \min(hc \times \dot{m}_F, 13.1d6 \times Y_{O_{2L}} \times \dot{m}_{ent})$$

: puissance dégagée par la flamme

$$\dot{m}_{ent} = f(\dot{Q}_{plume}, Z_{int})$$

: débit d'air entrainé dans le panache

$$A_{Fb} = \min \left(\frac{\dot{Q}_{plume}}{h_C} \times \frac{1}{\dot{m}_{F0}'' \frac{Y_{O_{2L}}}{Y_{O_{20}}} + \frac{(1 - \epsilon_f) \dot{q}_{ext}''}{L_{vap}}}, A_F \right)$$

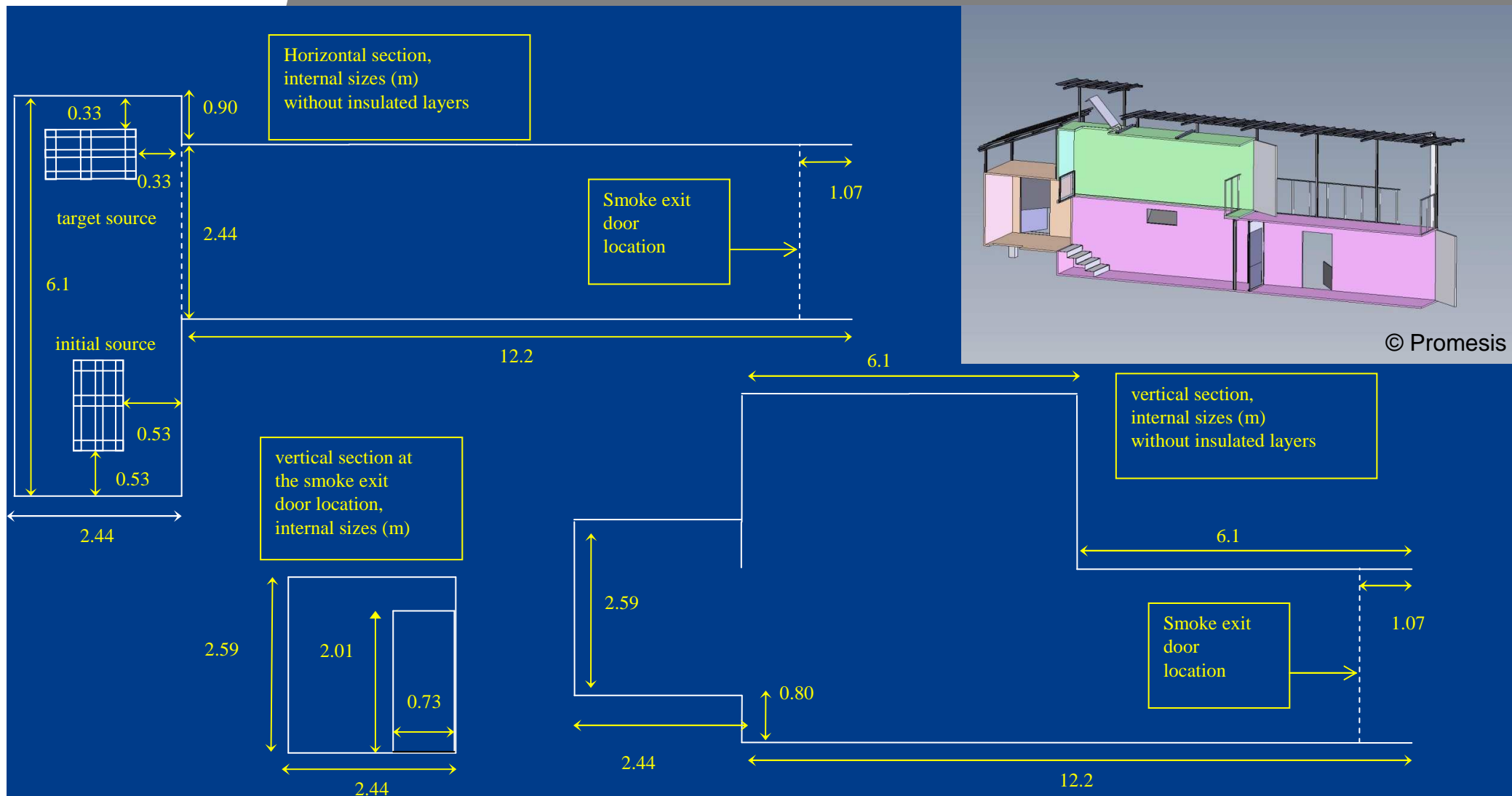
: surface en pyrolyse surmontée d'une flamme

$$\dot{m}_F = \dot{m}_{F0}'' A_{Fb} \frac{Y_{O_{2L}}}{Y_{O_{20}}} + \frac{\dot{q}_{external}}{L_{vap}}$$

: débit de perte de masse

Application au benchmark Promesis

Données d'entrée

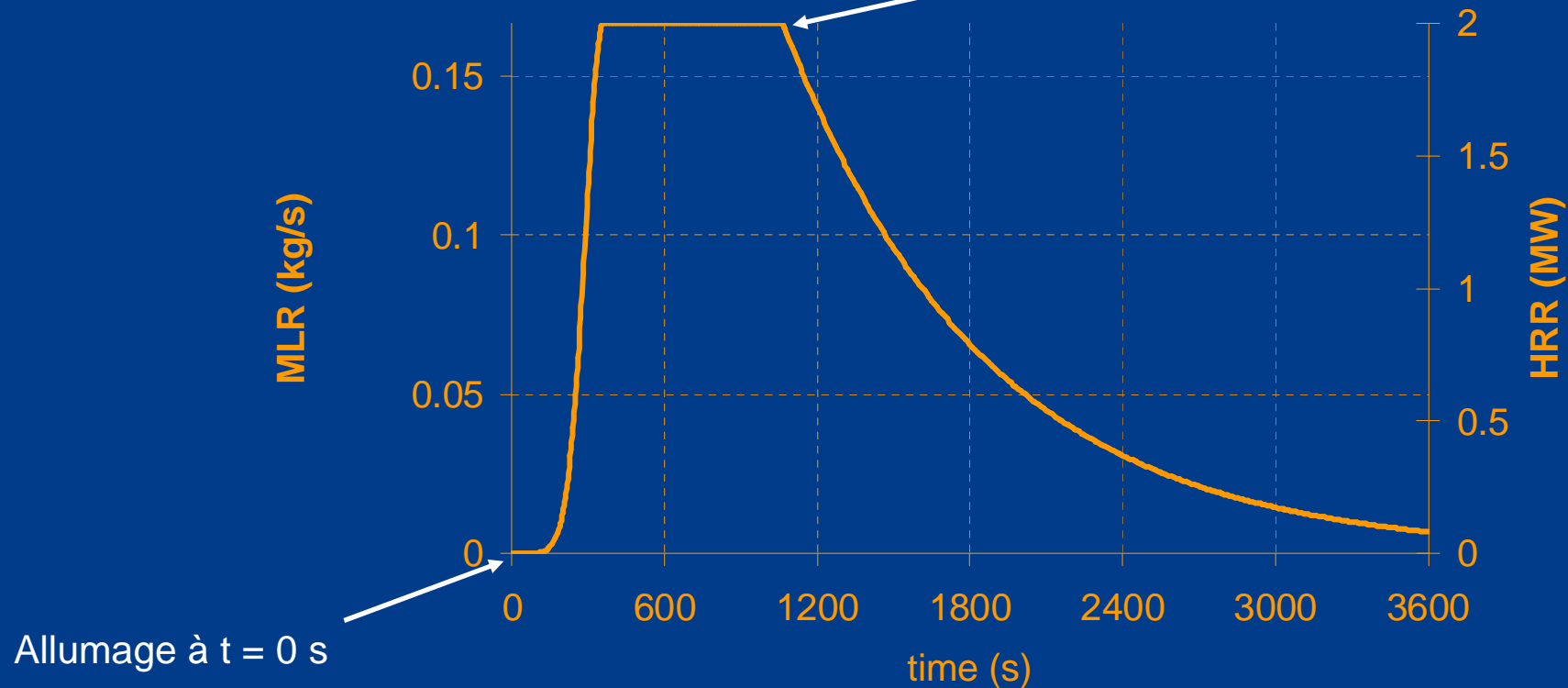


→ Evolution en champ libre de l'activité du foyer primaire

Débit max défini à l'aide
du SFPE Handbook

Initial source

Déclin de l'activité à 50% de
la masse du bucher

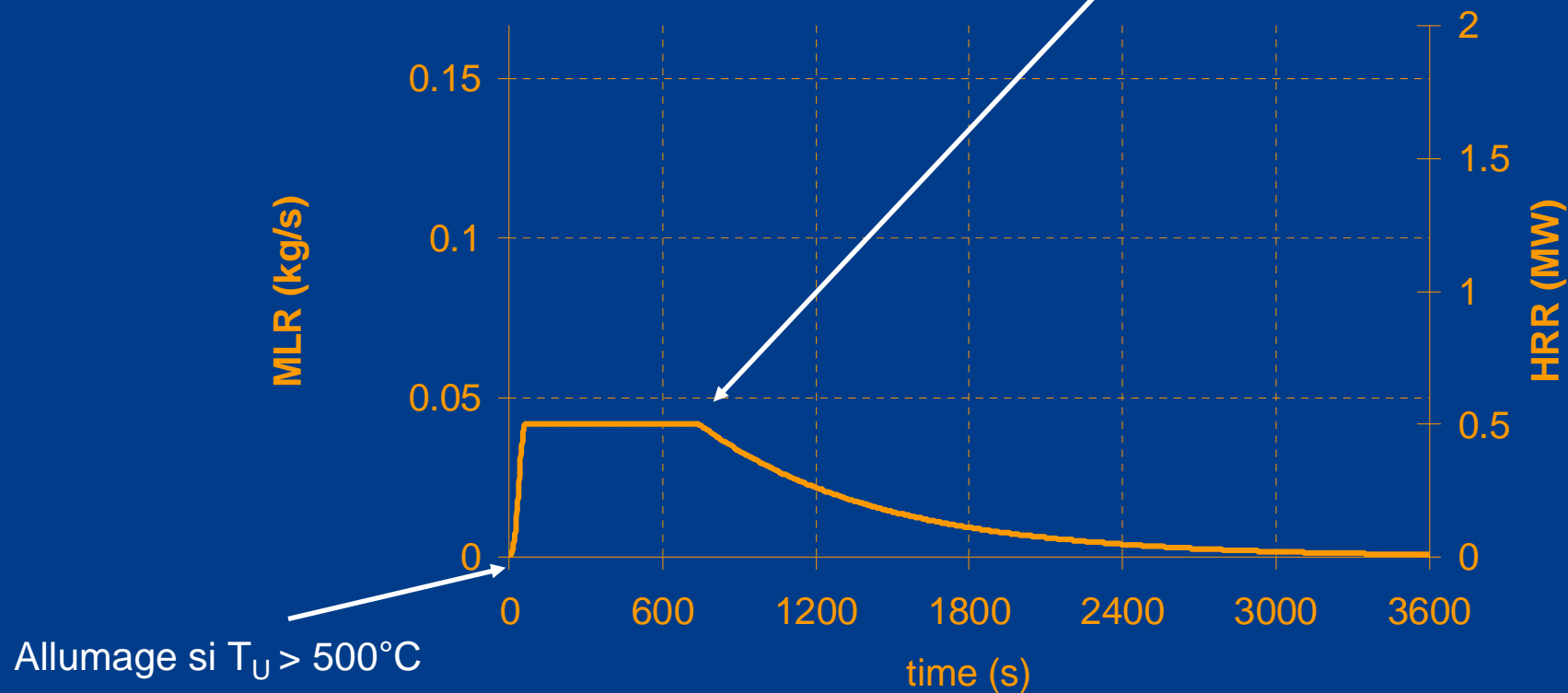


→ Evolution en champ libre de l'activité du foyer cible

Débit max défini à l'aide
du SFPE Handbook

Target source

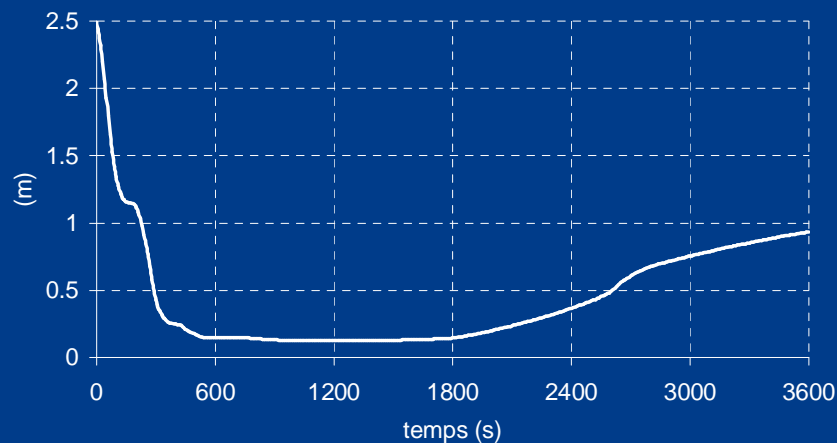
Déclin de l'activité à 50% de
la masse du bucher



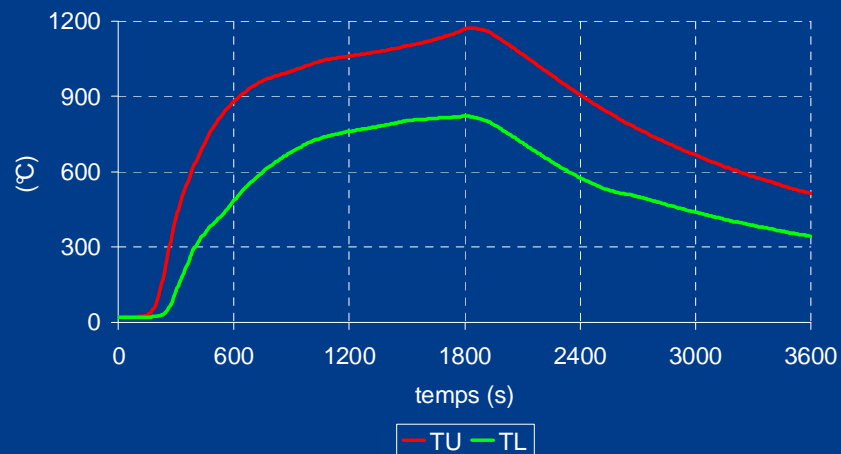
Application au benchmark Promesis

Résultats - conditions dans le local source

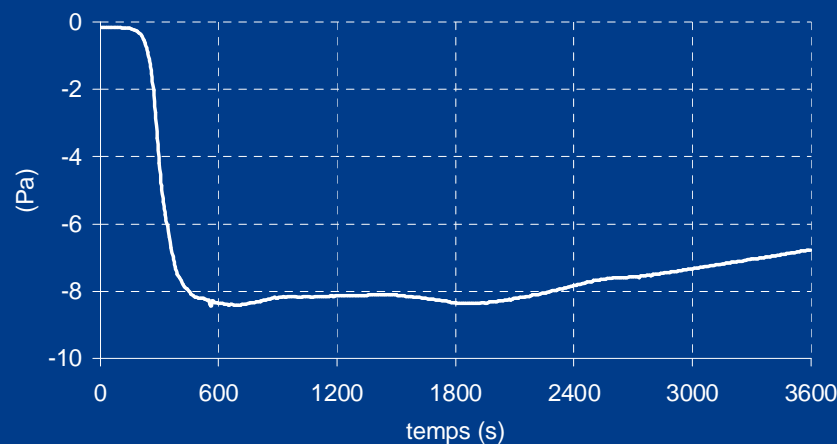
Hauteur d'interface thermique



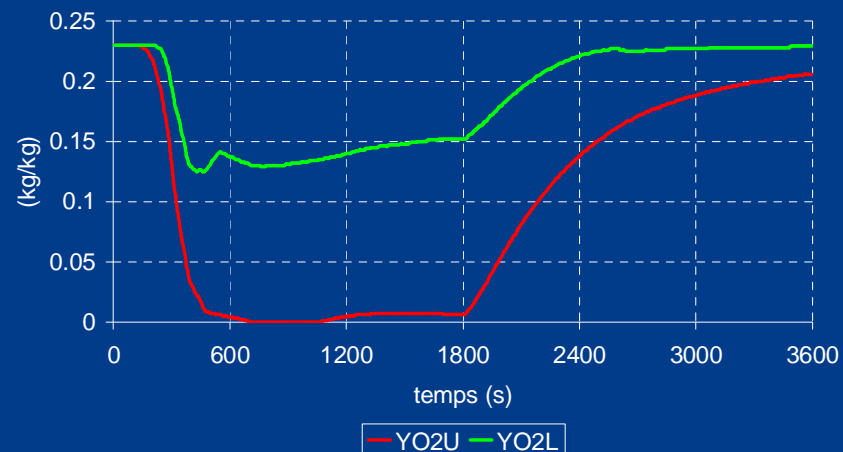
Températures de zones hautes et basses



Pression au sol

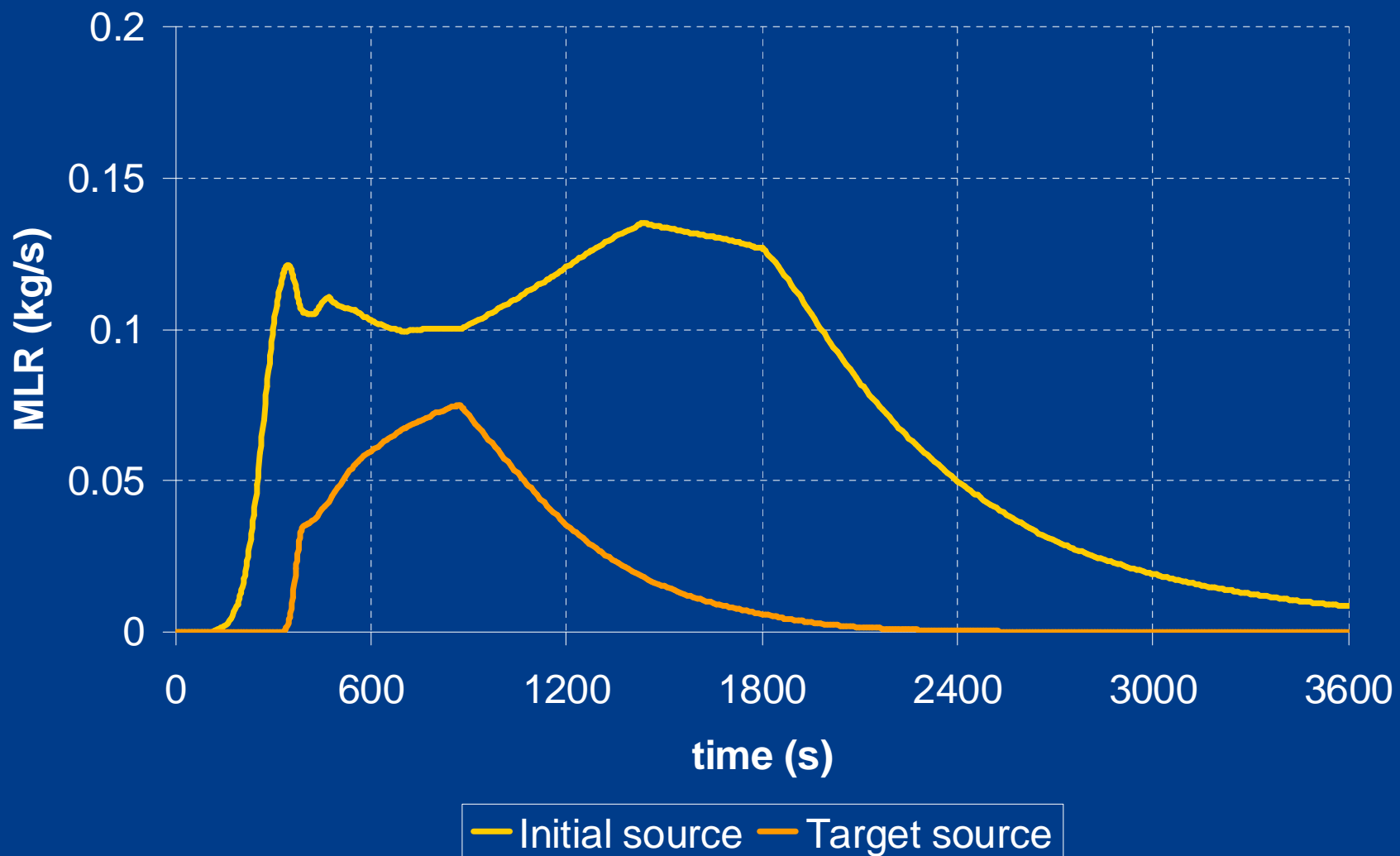


Fraction massique d'oxygène des zones hautes et basses



Application au benchmark Promesis

Résultats – perte de masse

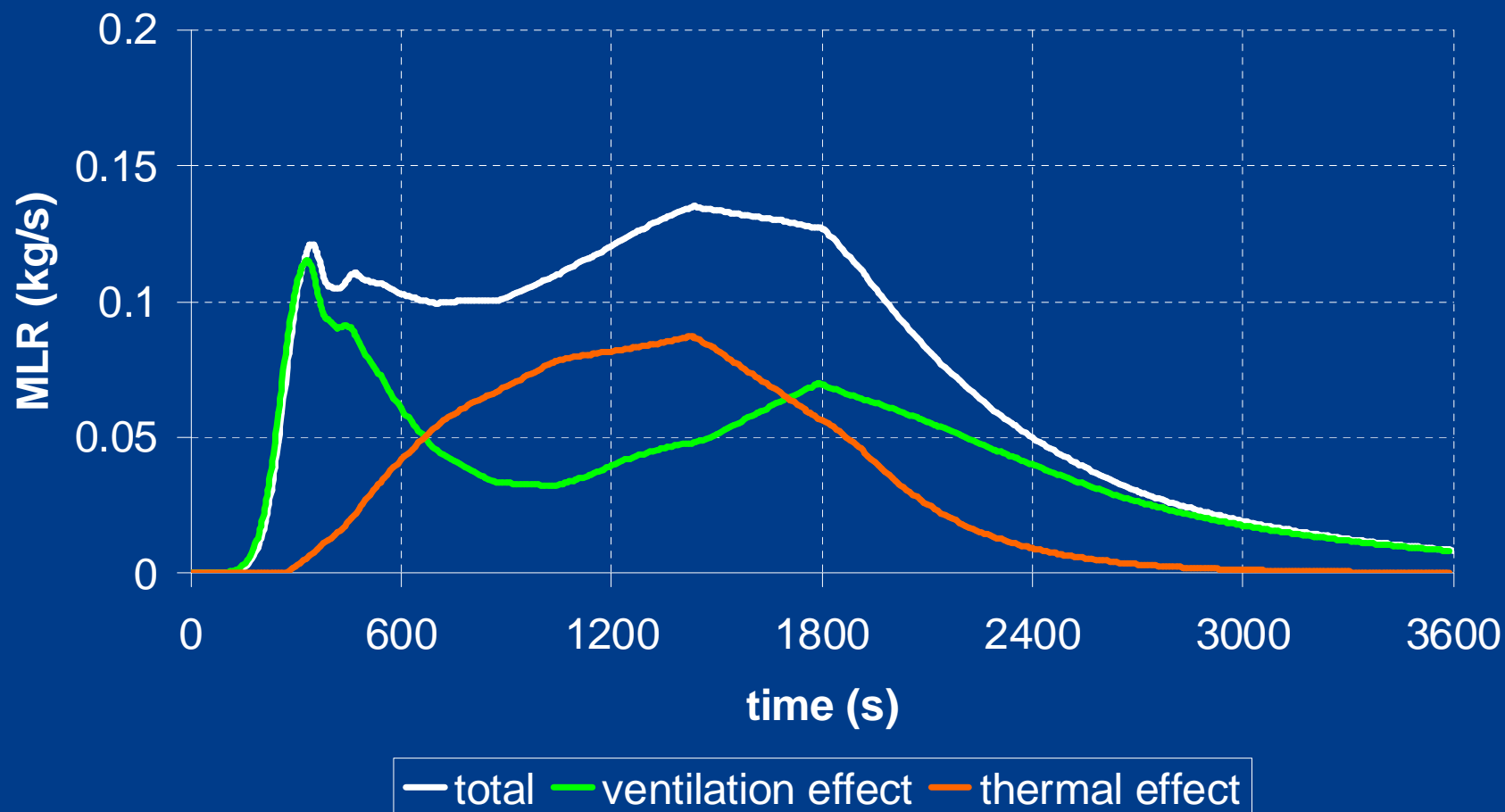


Application au benchmark Promesis

Résultats – perte de masse

→ Foyer primaire

Initial source

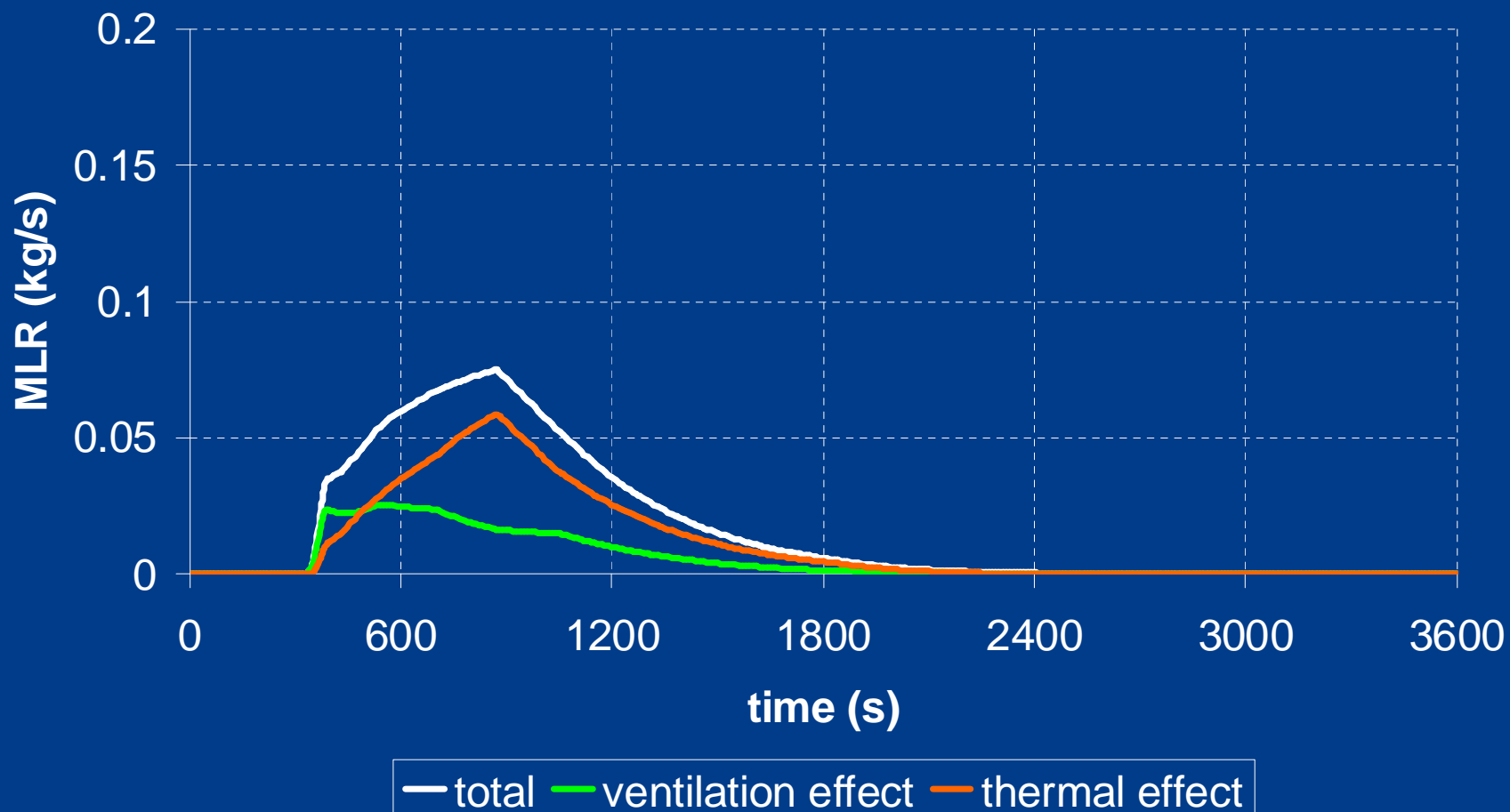


Application au benchmark Promesis

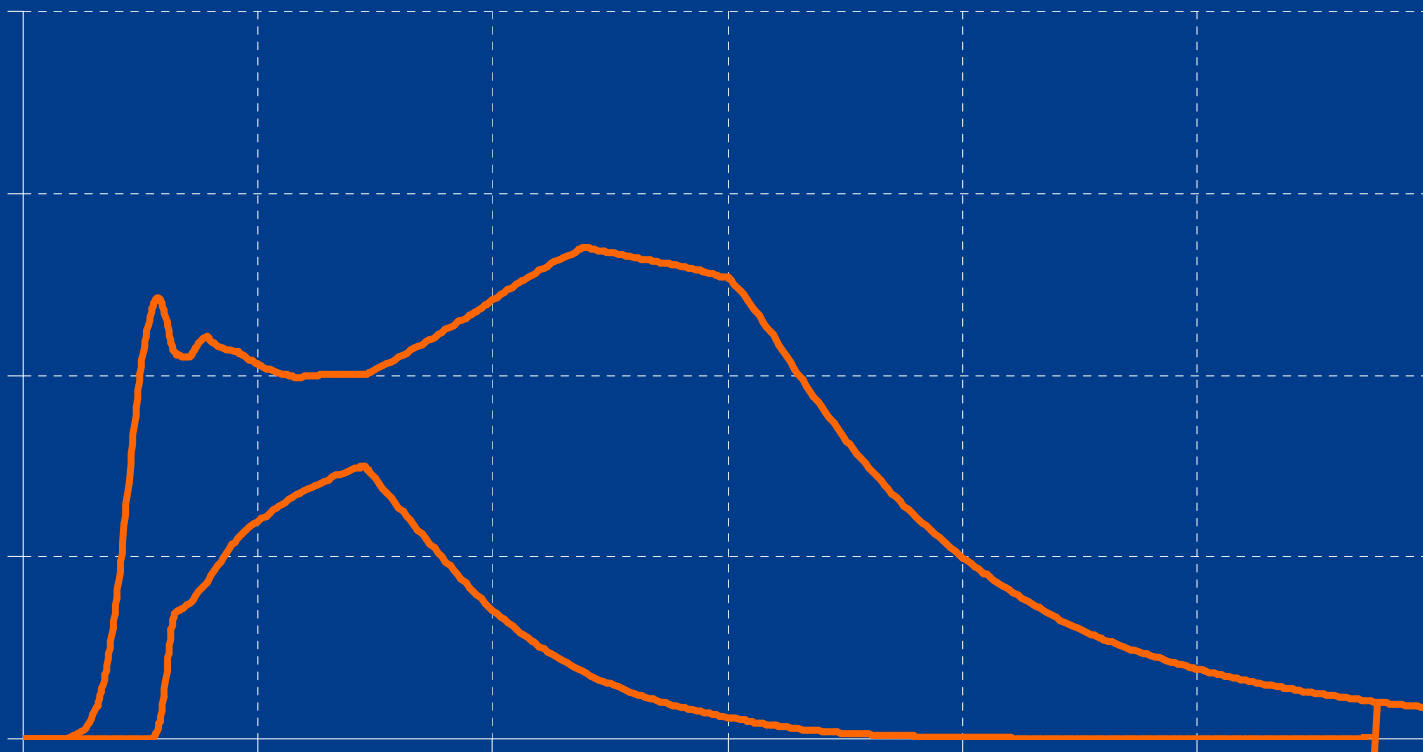
Résultats – perte de masse

→ **Foyer cible**

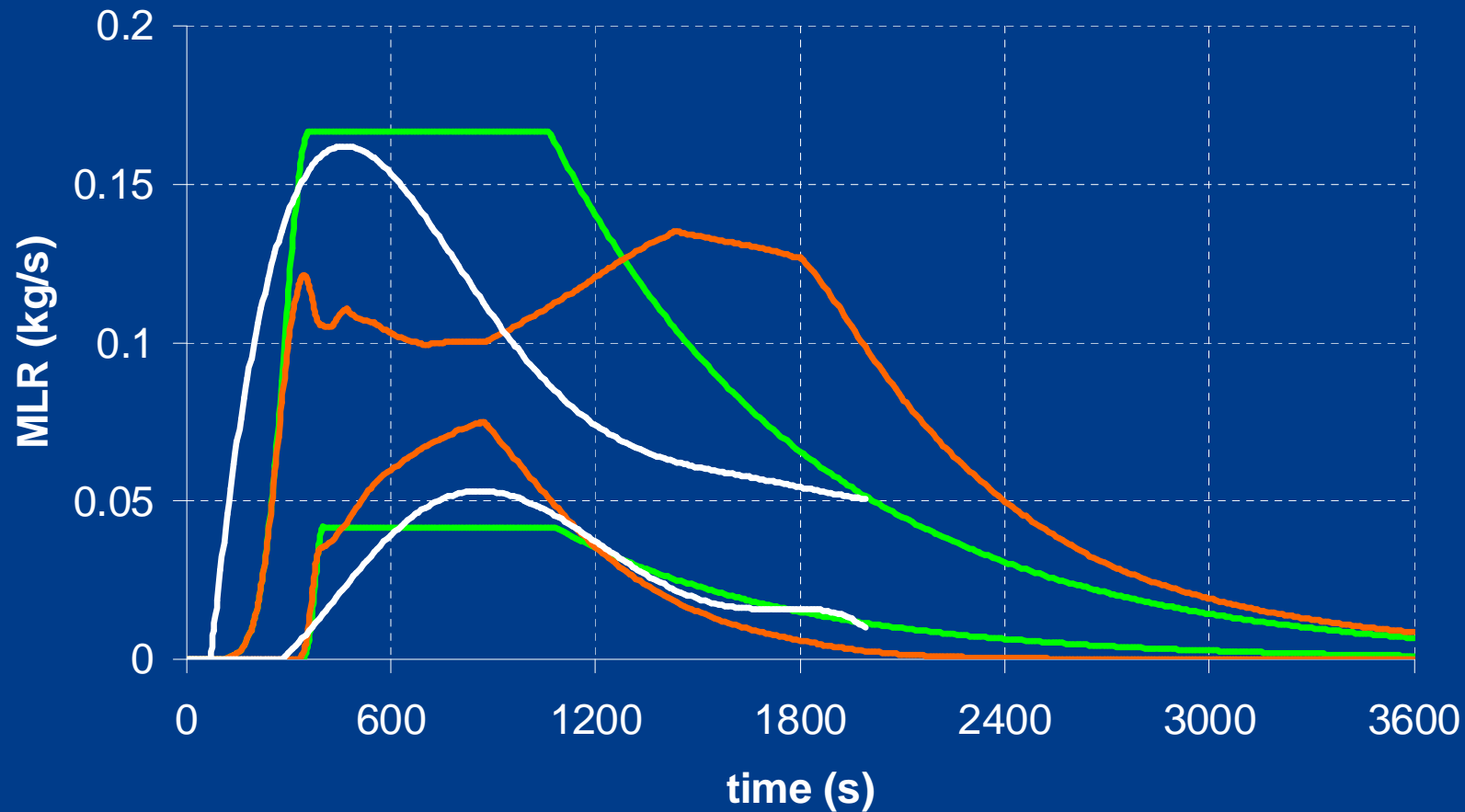
Target source



Application au benchmark Promesis Confrontation à l'expérience



→ **Un graphique particulièrement vexant...**



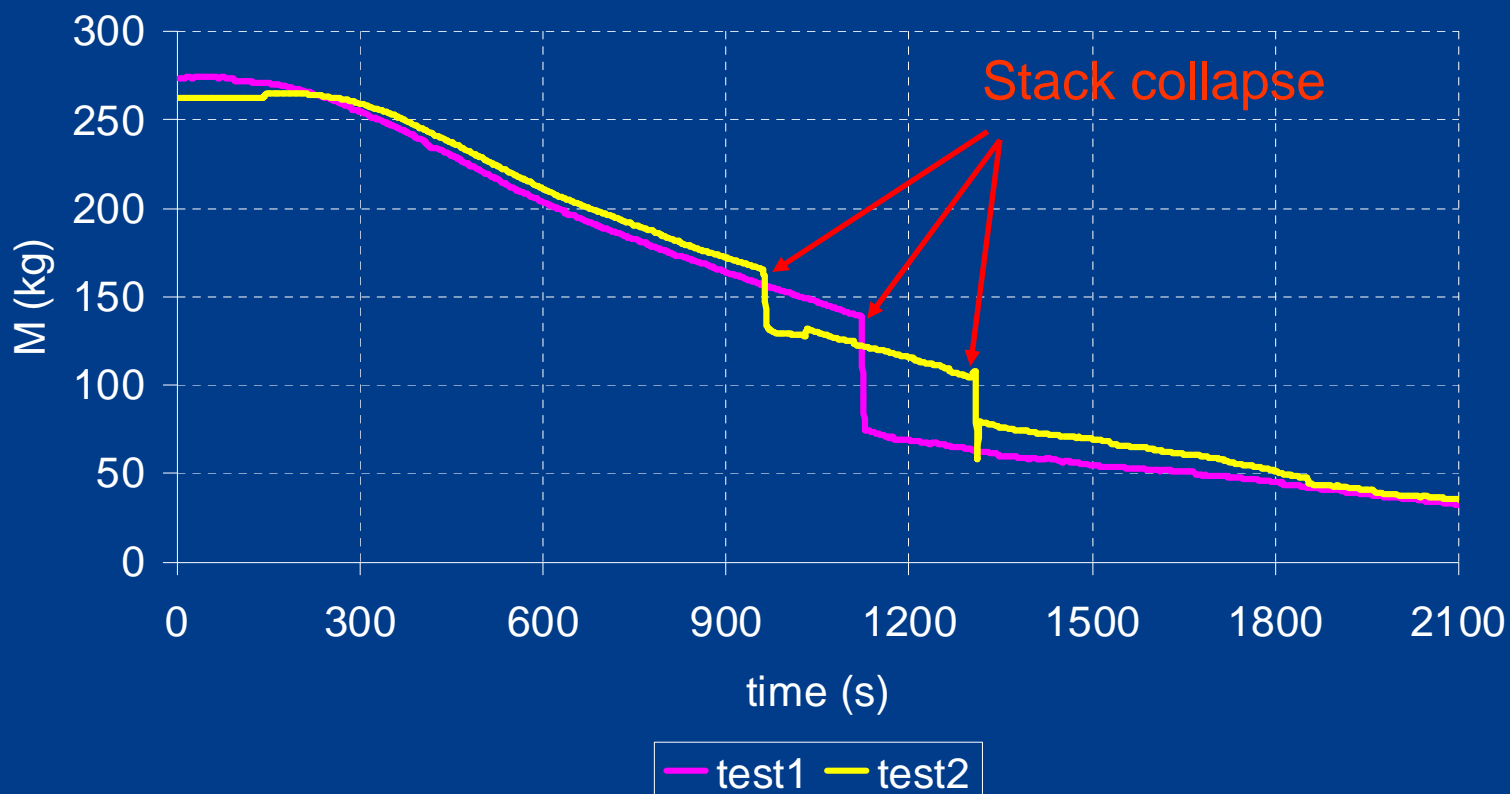
— Free burning input data — Prediction — experiment

Application au benchmark Promesis

Examen des données brutes

→ **Le foyer primaire s'est effondré en dehors de la cellule de pesée, ce qui rend difficile l'interprétation des résultats au-delà de cet instant**

Initial source - mass measurement

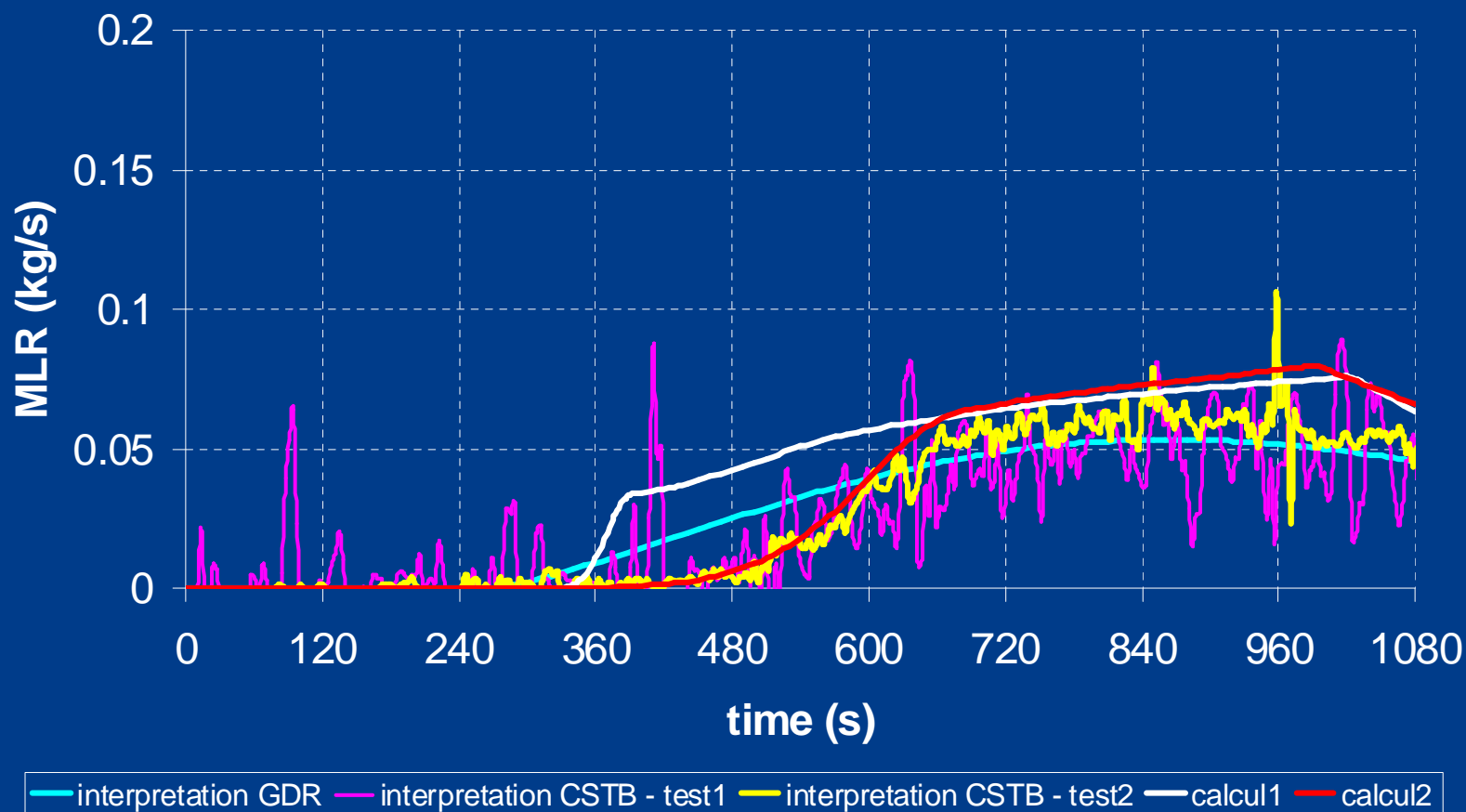


Application au benchmark Promesis

Sensibilité de la cinétique de développement de l'activité du foyer cible sur les résultats

→ **Deuxième calcul avec une montée en puissance moins rapide du foyer cible**

Target source

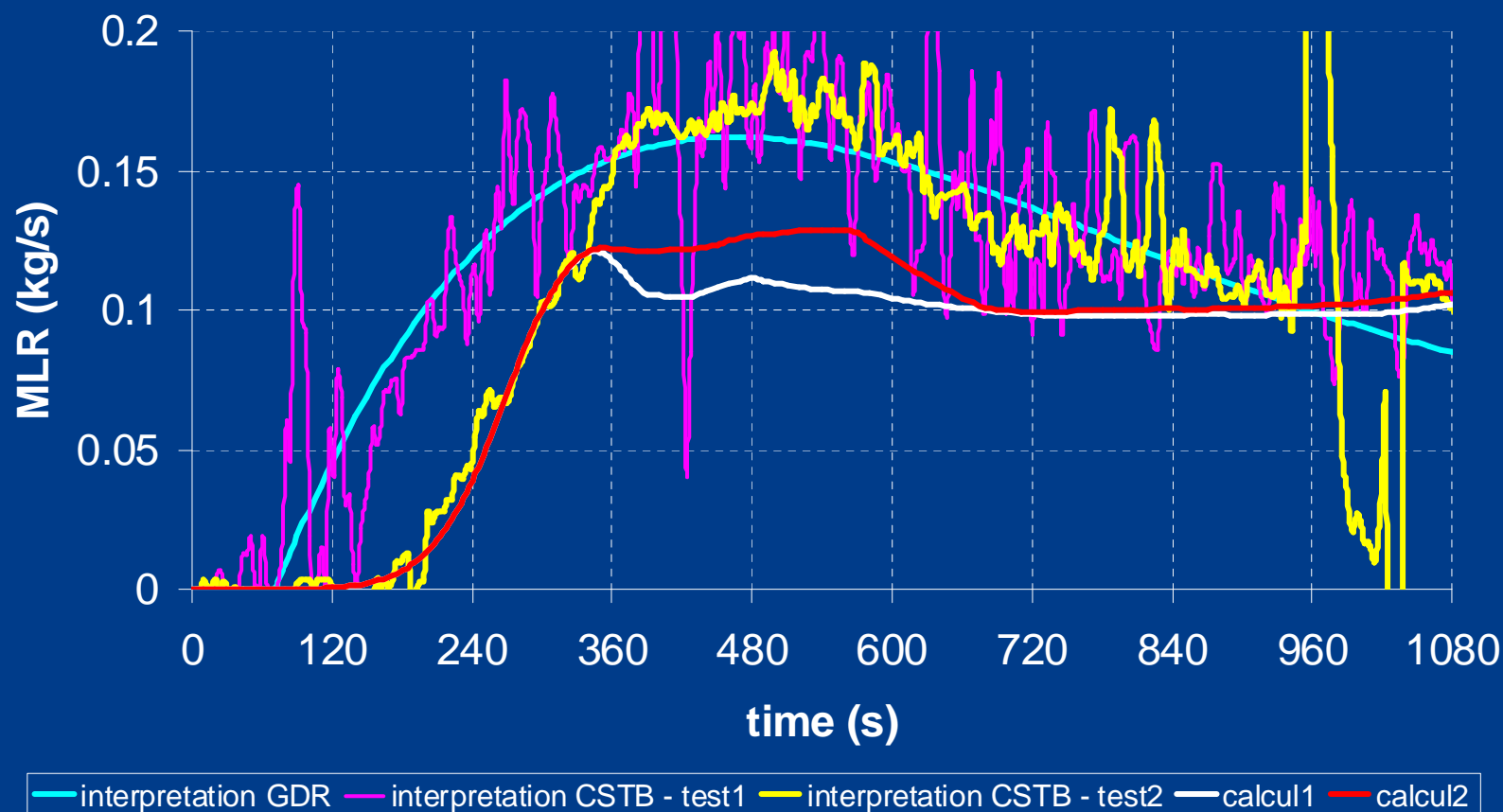


Application au benchmark Promesis

Sensibilité de la cinétique de développement de l'activité du foyer cible sur les résultats

→ **Deuxième calcul avec une montée en puissance moins rapide du foyer cible**

Initial source



→ **Le modèle présente un potentiel intéressant**

- « fire for any fuel, scale and ventilation » (*Hutiskul & Quintiere, IAFSS 2008*)

→ **Des écarts significatifs sont observés entre l'expérience et le calcul**

- Influence du choix de la cinétique de développement et de décroissance des foyers
- Effondrement du bucher
- Effet de la sous-ventilation (*questionnement sur les principes de base du modèle à 2 zones : entraînement dans le panache, stratification, redirection des écoulements aux ouvertures*)
- Effet du « feedback radiatif » (*questionnement sur la représentation du foyer et du flux de chaleur provenant de l'environnement*)

- ***L'effondrement du foyer rend difficile l'interprétation des mesures expérimentales***
- ***Les mesures expérimentales ne permettent pas de faire la part entre l'effet de la sous-ventilation et l'effet du « feedback radiatif »***
- ***Pour mieux évaluer la pertinence du modèle, des essais plus « simples » pourraient être intéressants***

*Merci
de
votre
attention !*