



# Développement d'une méthodologie prédictive de la dégradation thermique de matériaux solides en tunnels routiers

Journées du Groupe de Recherche Feux

Niort 23-24 janvier

F. Hermouet – T. Rogaume – E. Guillaume

F. Richard – X. Ponticq



Institut P' • UPR CNRS 3346

ENSMA • Téléport 2

BP 40109

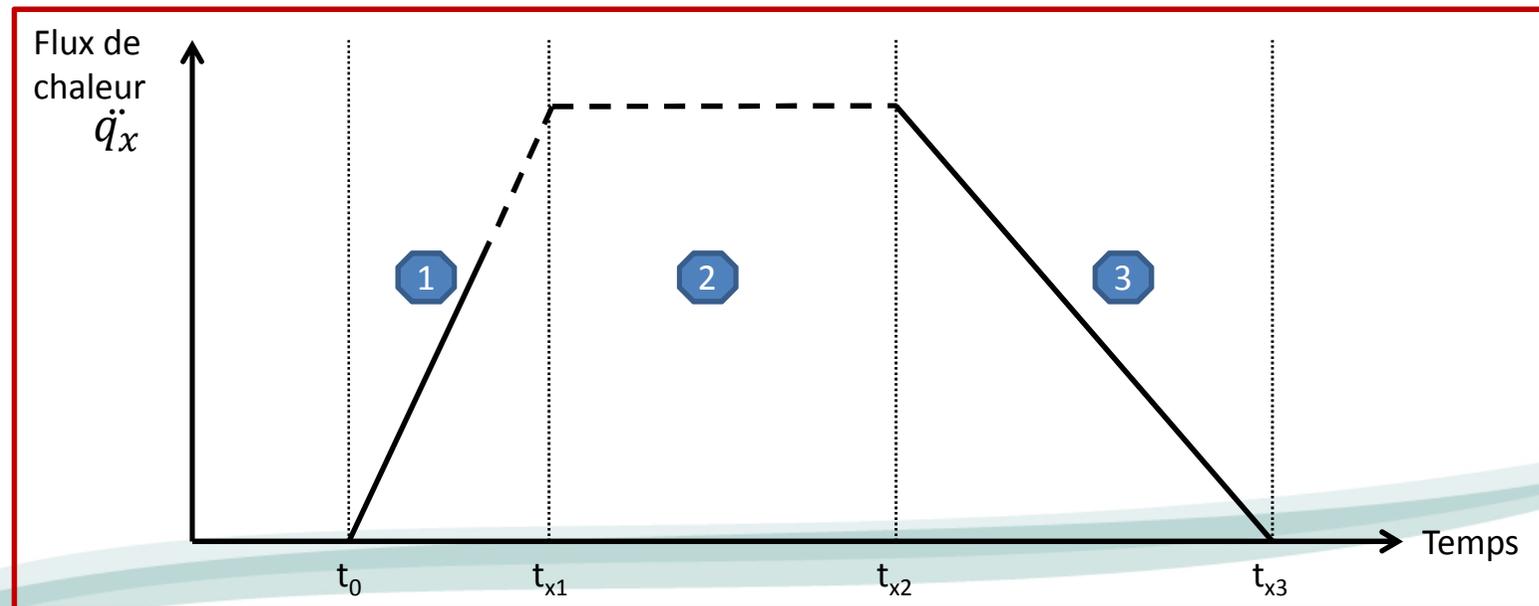
F86961 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex



# Problématique

- Les modèles de simulation des incendies en tunnel sont
  - ✓ Exprimés en fonction du seul paramètre HRR
  - ✓ Basés sur des observations et estimations empiriques
  - ✓ Très simplifiés (trois phases : montée en puissance, stagnation, déclin)

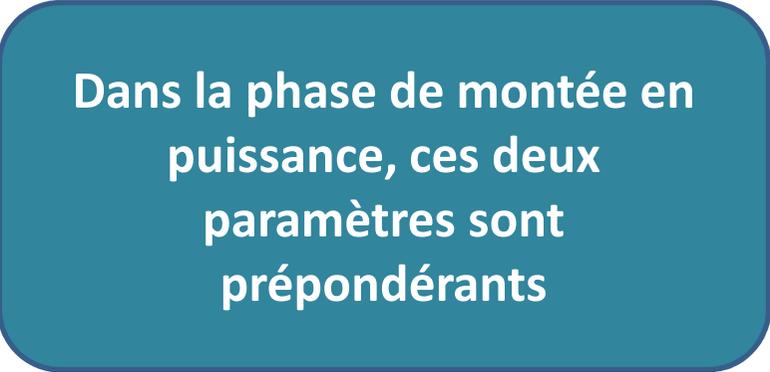
Représentations non réalistes



# Problématique

- Le CETU souhaite mieux comprendre les phénomènes concourants au développement du feu
  - ✓ Notamment dans la phase de montée en puissance généralement standardisée avec des lois  $\alpha^2$
- En pratique, les conditions de développement d'un incendie sont
  - ✓ Dépendantes des matériaux impliqués et des conditions environnantes
    - › Très majoritairement, les matériaux impliqués proviennent des véhicules et biens transportés, transitant dans les infrastructures
- Les incendies de tunnels sont donc
  - ✓ En lien étroit avec la dégradation thermique des matériaux
    - › Exprimée par le paramètre de vitesse de perte de masse (MLR)

# Problématique

- Pour évaluer la dégradation thermique
    - ✓ Nécessité de prendre en compte nombre de facteurs :
      - › Flux reçu
      - › Oxygène ambiant
      - › Ventilation
      - › Hygrométrie
      - › Etc.
  - ✓ Nécessité de choisir un dispositif expérimental adapté permettant de faire varier ces deux paramètres sur une gamme représentative des feux en tunnel.
- 
- Dans la phase de montée en puissance, ces deux paramètres sont prépondérants**

# Méthodologie

## ➤ Cône calorimètre à atmosphère contrôlée

- ✓ Evolution du flux de chaleur et de la concentration d'oxygène
- ✓ Evaluation de nombreux paramètres liés à la dégradation
  - ✓ Temps d'ignition, perte de masse, vitesse de perte de masse, émissions gazeuses, taux de dégagement de chaleur (HRR), etc.
- ✓ Description de la cinétique de dégradation des matériaux solides

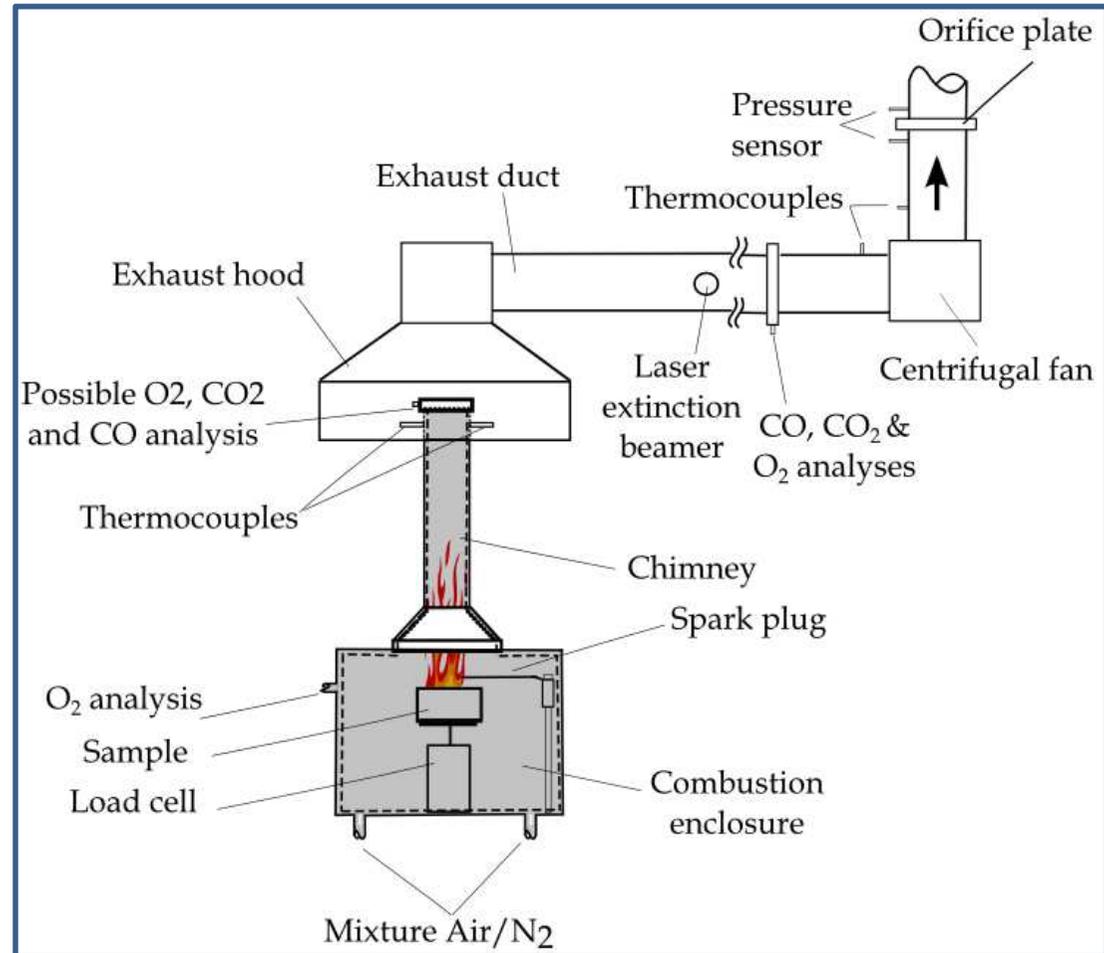


Figure 1 : schéma du cône calorimètre à atmosphère contrôlée

# Méthodologie

- A partir des résultats d'essais sur une large gamme de concentrations d'oxygène (0, 5, 10, 15, 21 %vol) et de flux radiants (20, 35, 50 kW.m<sup>-2</sup>)
  - ✓ Représentation surfacique de la réponse de différents paramètres

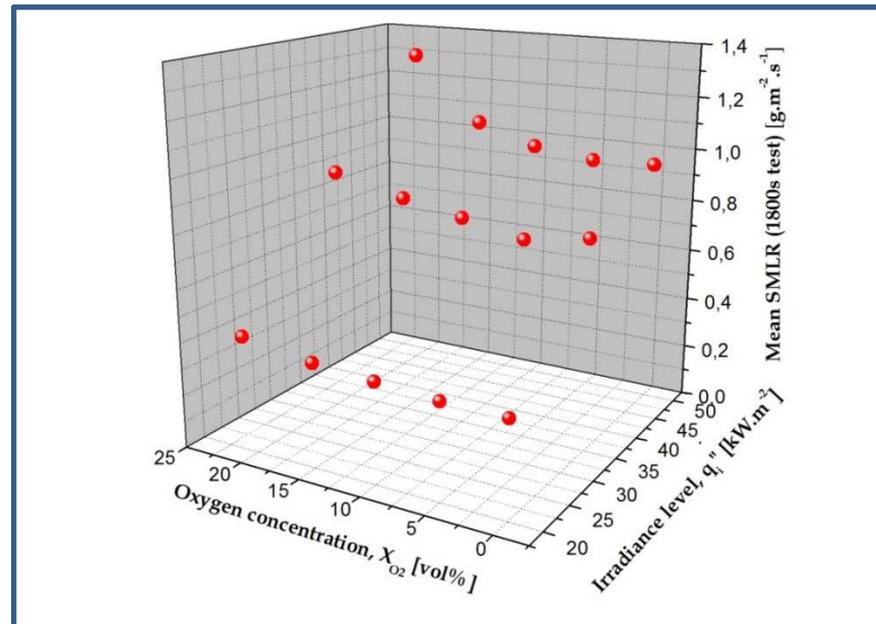


Figure 2 : représentation surfacique de la SMLR moyenne (1800s) d'une mousse Polyisocyanurate sur un large domaine de flux et de concentration d'oxygène

# Méthodologie

- A partir de la représentation surfacique
  - ✓ Création d'un modèle numérique basé sur l'utilisation d'une régression linéaire multiple (modèles polynomiaux)

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i x_i + \sum_i^N a_{ii} x_i^2 + \sum_{i \neq j}^N a_{ij} x_i x_j + \dots + \sum_{i \neq j \neq k}^N a_{ijk} x_i x_j x_k + a_{i \dots N} x_i \dots x_N \quad (Eq1)$$

- ✓ Avec :
  - › Y : la réponse du paramètre souhaitée
  - ›  $a_i$  : les coefficients du polynôme
  - ›  $x_i$  : les facteurs du polynôme (en l'occurrence deux facteurs) :
    - ›  $x_1$  : le flux imposé
    - ›  $x_2$  : la concentration d'oxygène

# Méthodologie

- Le modèle permet d'obtenir une surface numérique
  - ✓ Illustrant la réponse du paramètre choisi en fonction des conditions d'essais

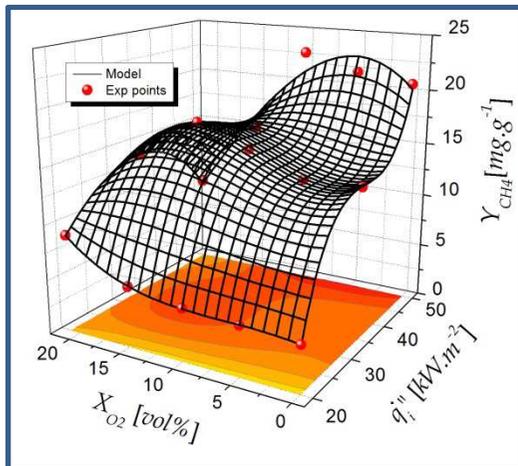


Figure 4 : Représentation surfacique numérique de production moyenne de CO d'une mousse Polyisocyanurate sur un large domaine de flux et de concentration d'oxygène

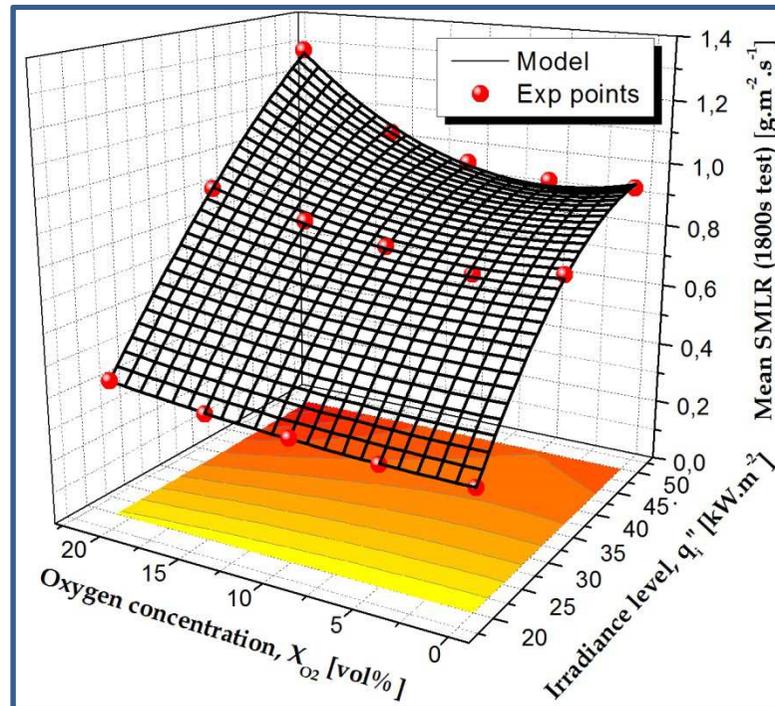


Figure 3 : Représentation surfacique numérique de la SMLR moyenne (1800s) d'une mousse Polyisocyanurate sur un large domaine de flux et de concentration d'oxygène

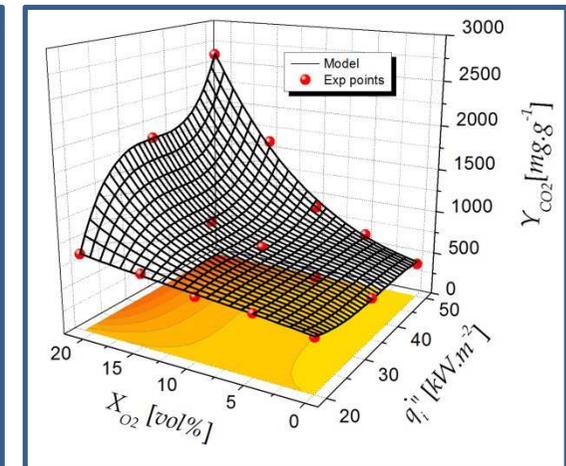


Figure 5 : Représentation surfacique numérique de production moyenne de CO d'une mousse Polyisocyanurate sur un large domaine de flux et de concentration d'oxygène

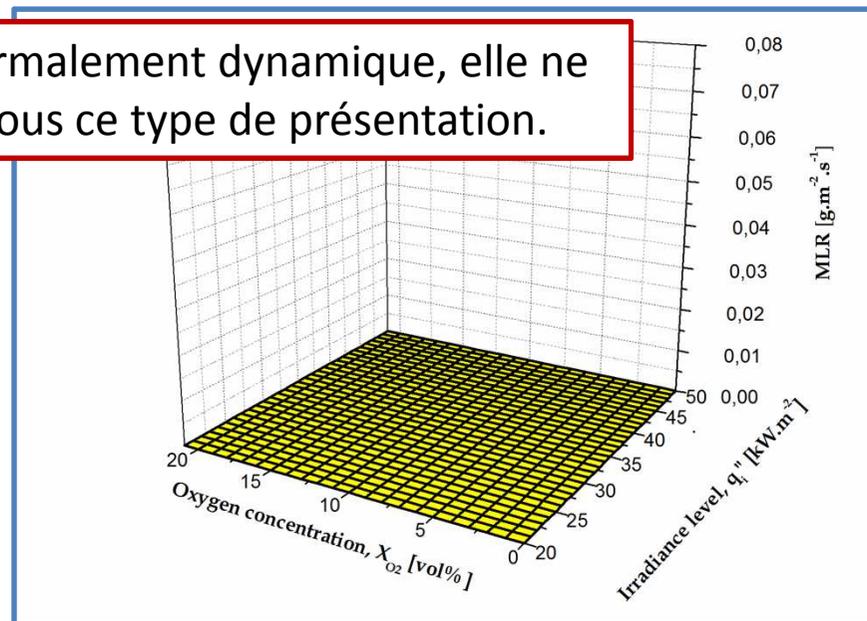
# Méthodologie

- Le calcul des coefficients du modèle permet de déterminer
  - ✓ La réponse du paramètre choisi (temps d'ignition, perte de masse, vitesse de perte de masse, émissions gazeuses, HRR)
    - › Pour les points expérimentaux qui ont servi de base à la construction du modèle pour effectuer une comparaison
    - › Pour n'importe quel autre point du domaine
  
- Une surface peut être élaborée
  - ✓ Pour un paramètre moyenné sur la durée de l'essai (1800s)
  - ✓ Pour un pas de temps spécifique de l'essai (pas de 5s)

# Méthodologie

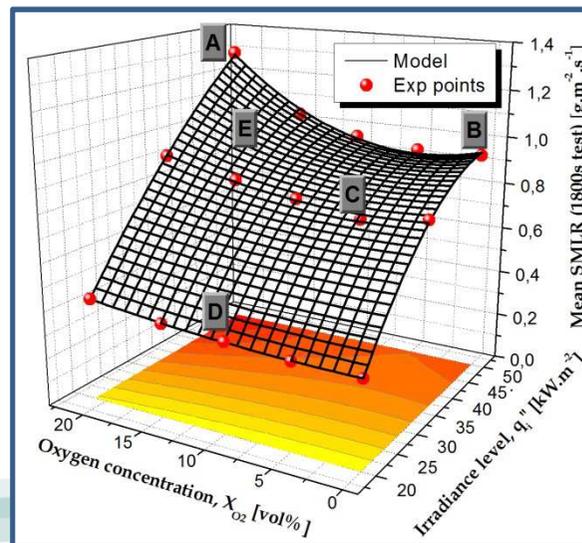
- En utilisant cette méthodologie il est donc possible d'intégrer le paramètre d'évolution temporelle de la réponse

Cette figure étant normalement dynamique, elle ne peut être animée sous ce type de présentation.



# Méthodologie

- Connaissant la réponse du paramètre spécifié
  - ✓ Pour chaque pas de temps de l'essai
  - ✓ Quel que soit le point étudié sur le domaine
- Il est possible de retrouver les courbes
  - ✓ Expérimentales ayant servi de référence
  - ✓ Numériques prédictives



# Méthodologie

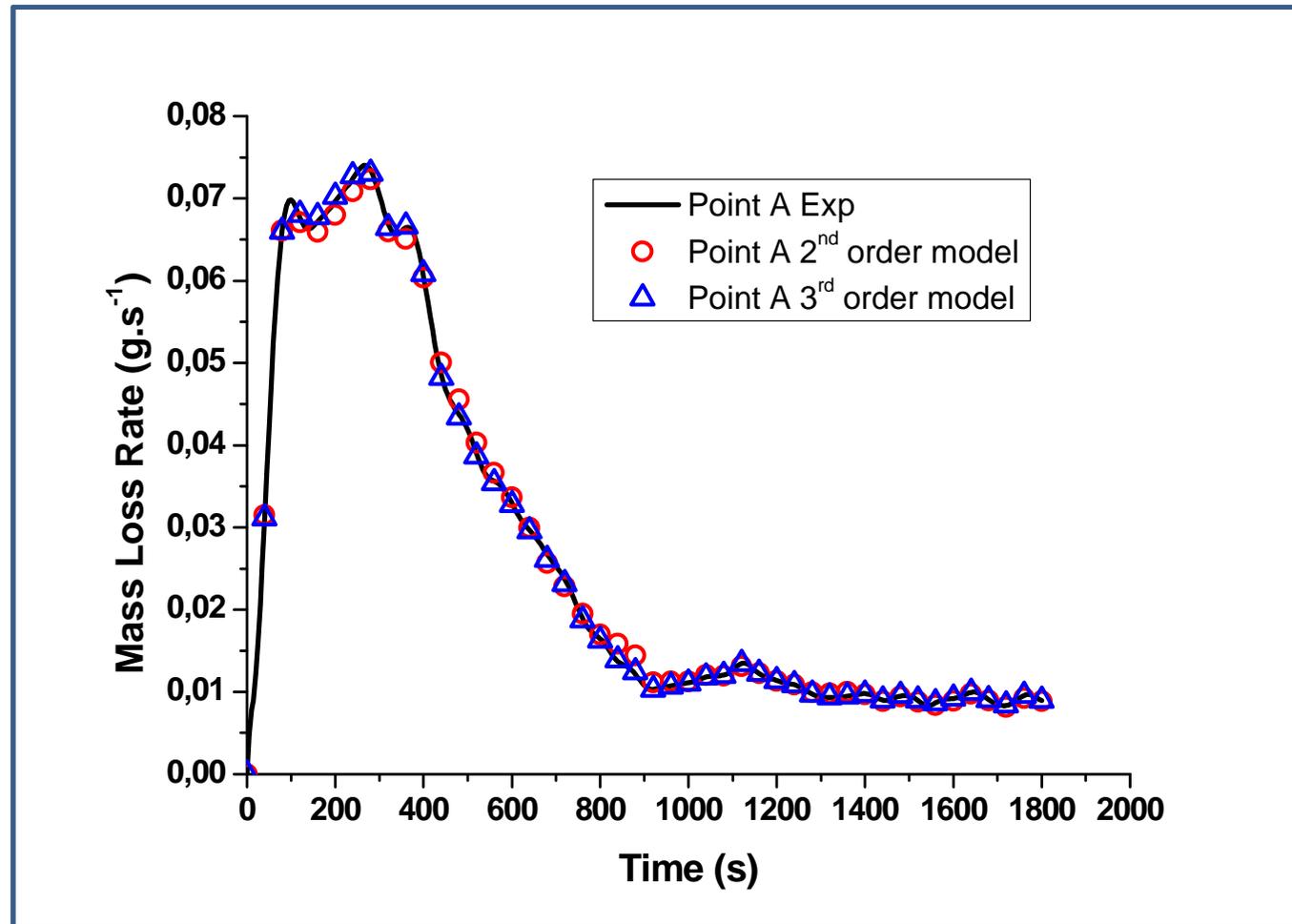


Figure 7 : Evolution de la vitesse de perte de masse (MLR) en fonction du temps à un flux de  $50 \text{ kW.m}^{-2}$  et une concentration d'oxygène de 21%vol d'une mousse Polyisocyanurate

# Méthodologie

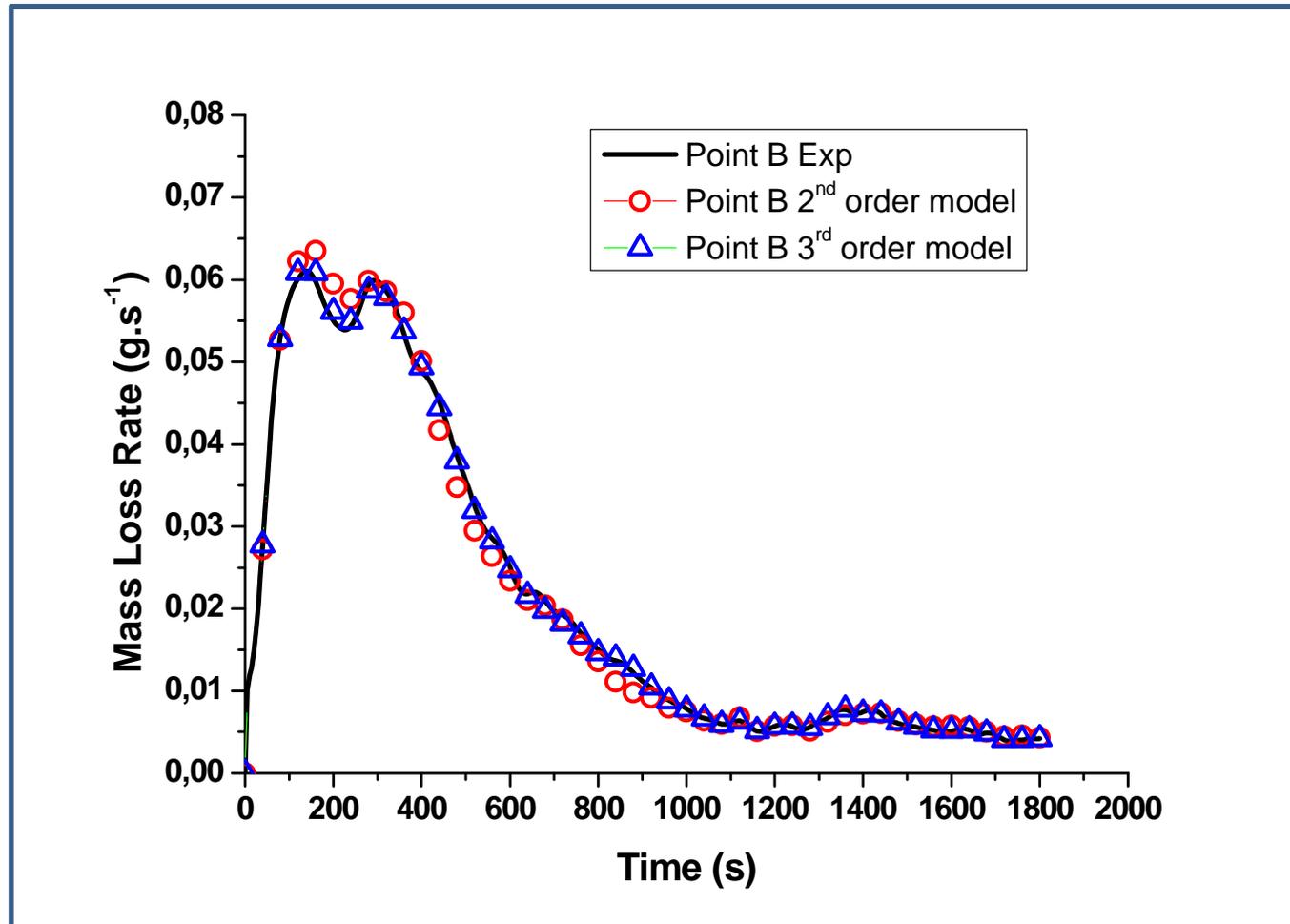


Figure 8 : Evolution de la vitesse de perte de masse (MLR) en fonction du temps à un flux de  $50 \text{ kW.m}^{-2}$  et une concentration d'oxygène de 0%vol d'une mousse Polyisocyanurate

# Méthodologie

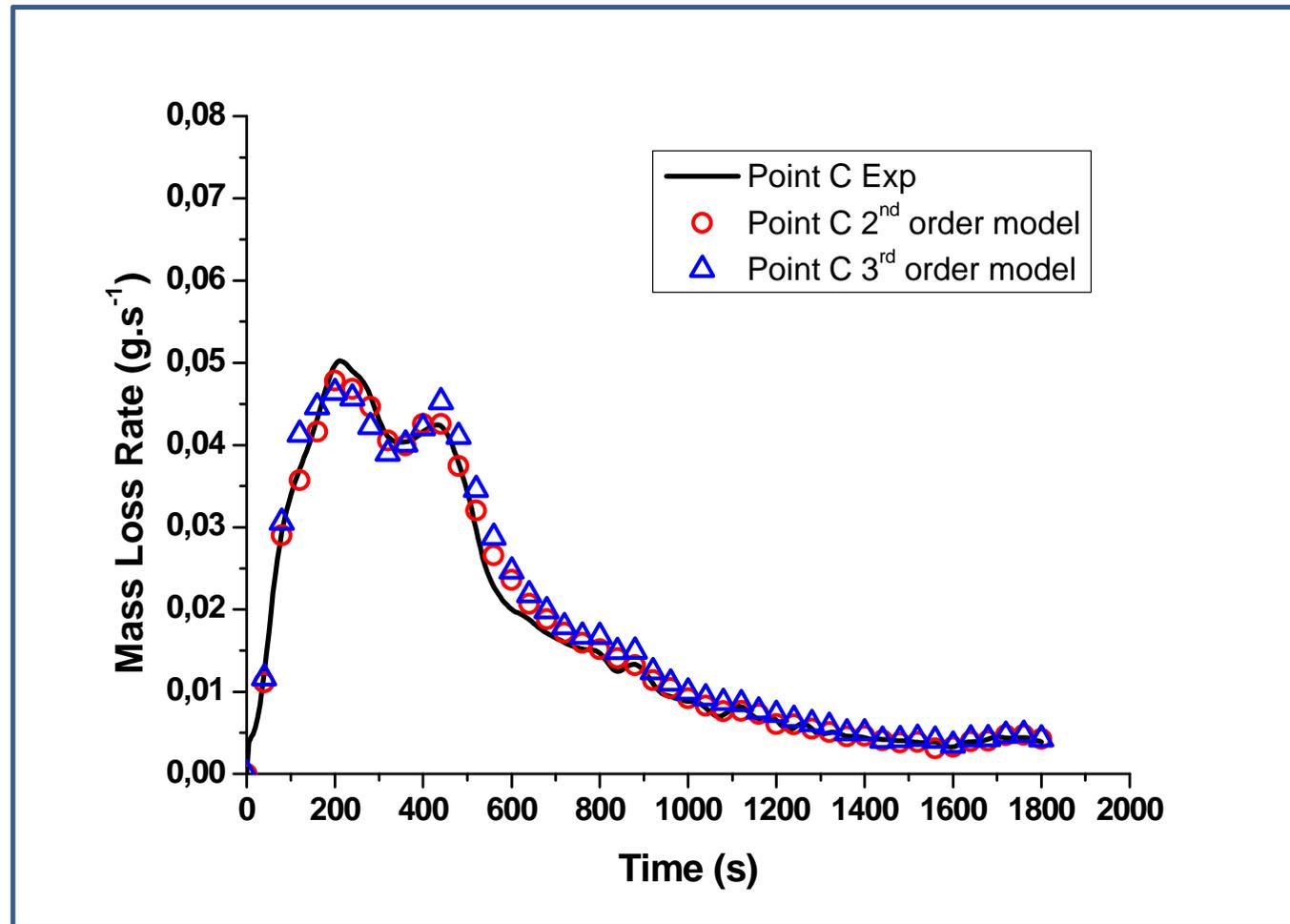


Figure 9 : Evolution de la vitesse de perte de masse (MLR) en fonction du temps à un flux de  $35 \text{ kW.m}^{-2}$  et une concentration d'oxygène de 5%vol d'une mousse Polyisocyanurate

# Méthodologie

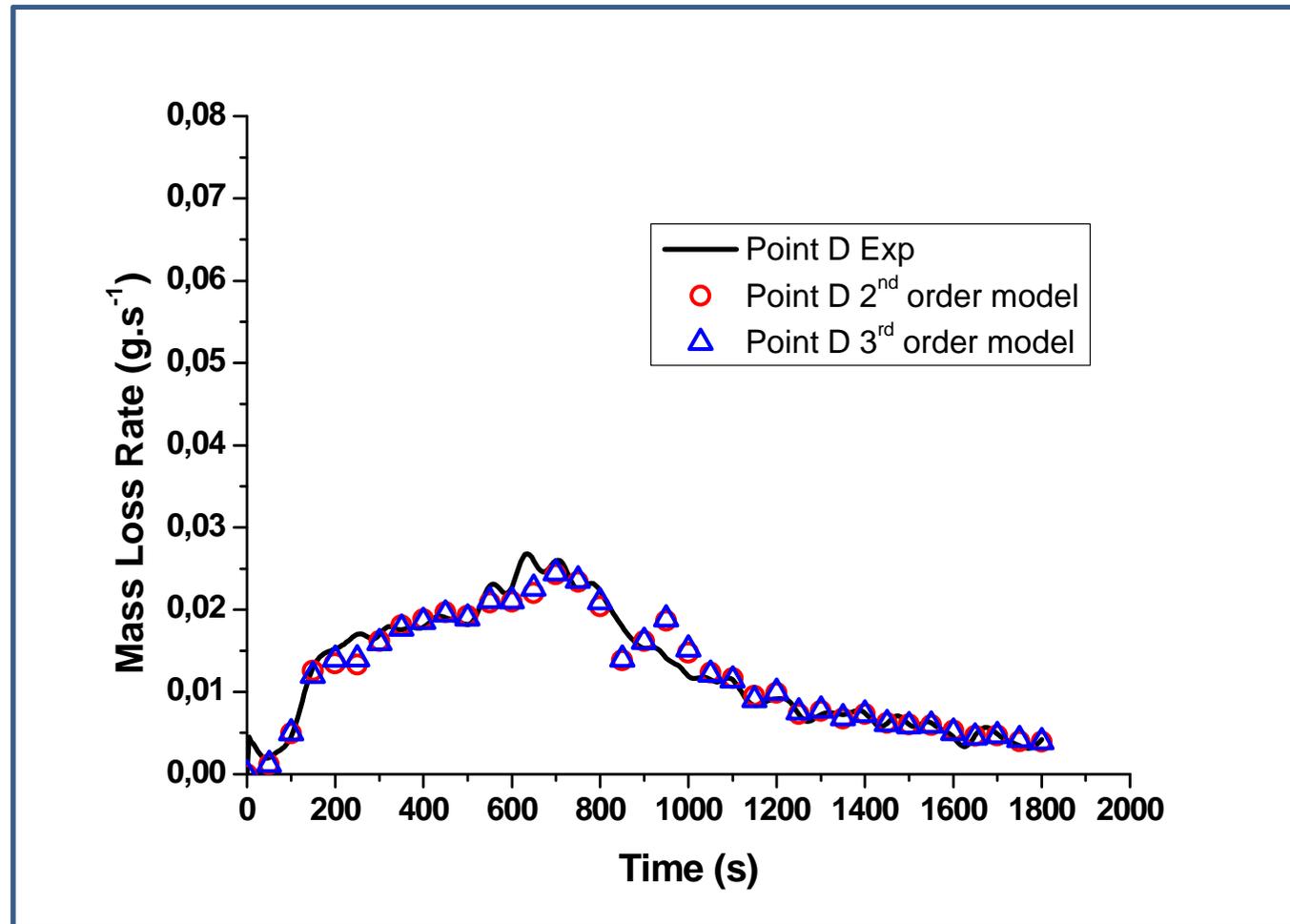


Figure 10 : Evolution de la vitesse de perte de masse (MLR) en fonction du temps à un flux de  $20 \text{ kW.m}^{-2}$  et une concentration d'oxygène de 10%vol d'une mousse Polyisocyanurate

# Méthodologie

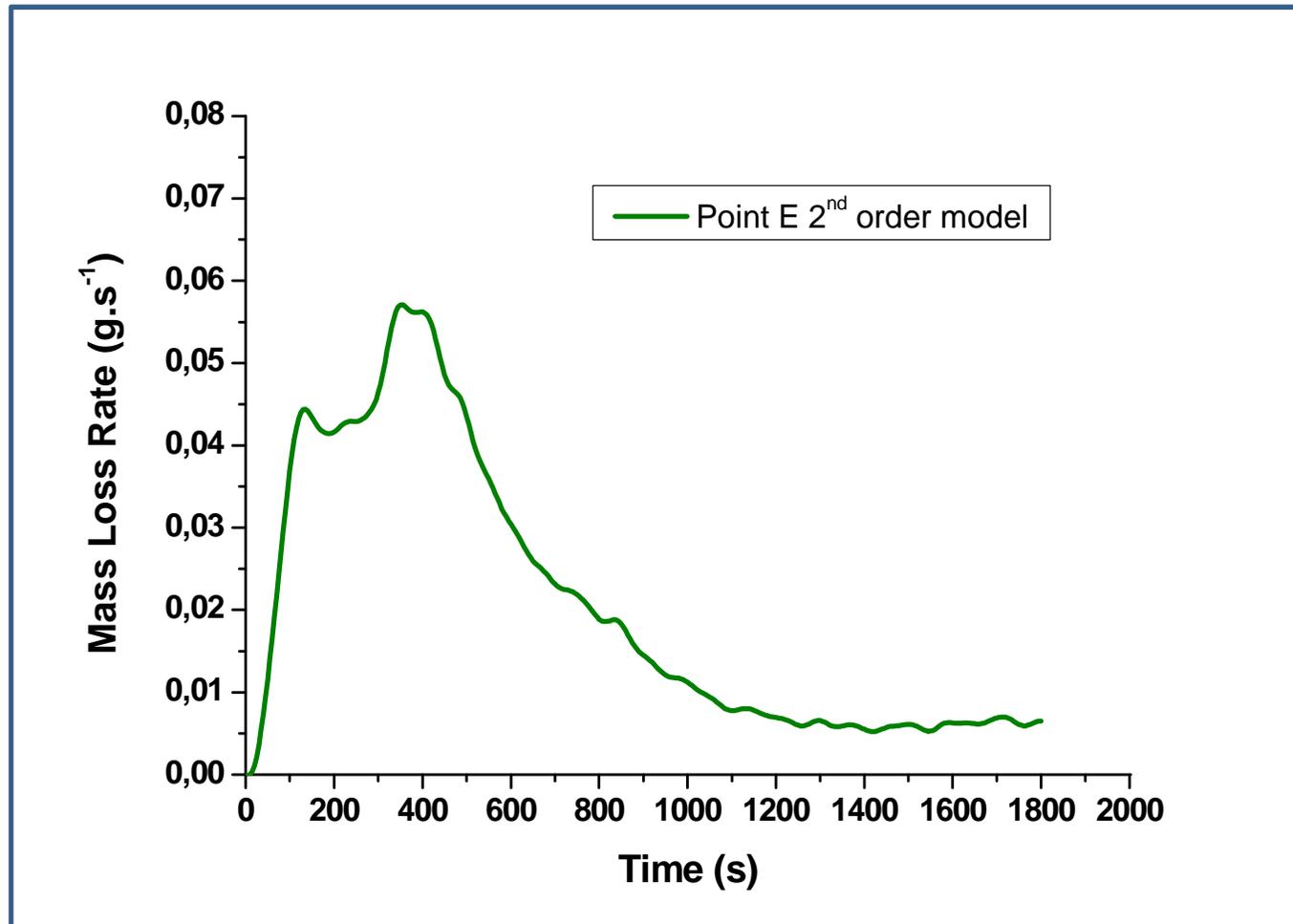


Figure 11 : Evolution de la vitesse de perte de masse (MLR) en fonction du temps à un flux de  $40 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$  et une concentration d'oxygène de 18%vol d'une mousse Polyisocyanurate

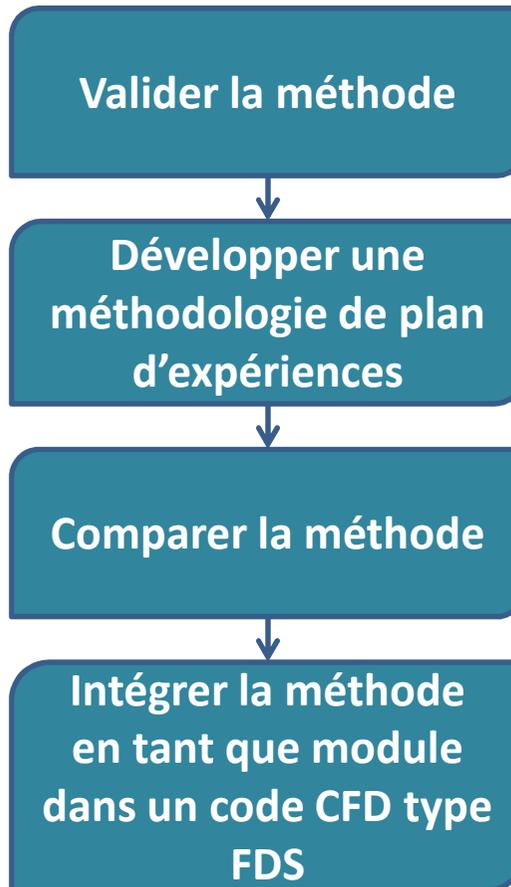
# Validation

- La méthodologie de surface de réponse est validée à l'aide d'une somme des écarts quadratiques
  - ✓ Les points déterminés numériquement font l'objet d'une comparaison avec les points expérimentaux (15 points de référence)
    - ›  $|Valeur\ référence - Valeur\ modèle|^2$
- L'adéquation des courbes expérimentales et numériques est déterminée par la méthode d'Hilbert

	Méthode utilisée	Modèle ordre 2	Modèle ordre 3	Modèle ordre 4
Erreur relative	Euclidienne	1,20%	0,20%	-2,30%
Cos Téta	Sécante	0,991	0,996	0,849

Tableau 1 : Présentation de l'erreur relative et du déphasage des courbes numériques, basées sur des surfaces de différents ordres polynomiaux, aux courbes expérimentales selon la méthode de Hilbert

# Perspectives





# Développement d'une méthodologie prédictive de la dégradation thermique de matériaux solides en tunnels routiers

F. Hermouet – T. Rogaume – E. Guillaume

F. Richard – X. Ponticq

## Merci de votre attention



Institut P' • UPR CNRS 3346

ENSM A • Téléport 2

BP 40109

F86961 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex

