

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Enhancing nuclear safety*

# Evaluation simplifiée de la puissance d'un feu de chemins de câbles électriques



**GDR Feux - Cadarache**  
**28 janvier 2016**  
**ZAVALETA Pascal**  
**HANOUZET Romain**  
**© IRSN**

# Sommaire

- Introduction
- Corrélation de Lee
- Modèle FLASH-CAT et ses paramètres
- Calculs FLASH-CAT avec les paramètres initiaux
- Optimisation des paramètres par Video Fire Analysis (VFA)
- Calculs FLASH-CAT avec les paramètres optimisés
- Proposition de caractérisation multi-échelle des paramètres (de propagation)

# Introduction

- Des milliers de kilomètres de câbles électriques dans les installations nucléaires
- Feu de câbles dans le bâtiment réacteur de la centrale nucléaire de Browns Ferry (1975)



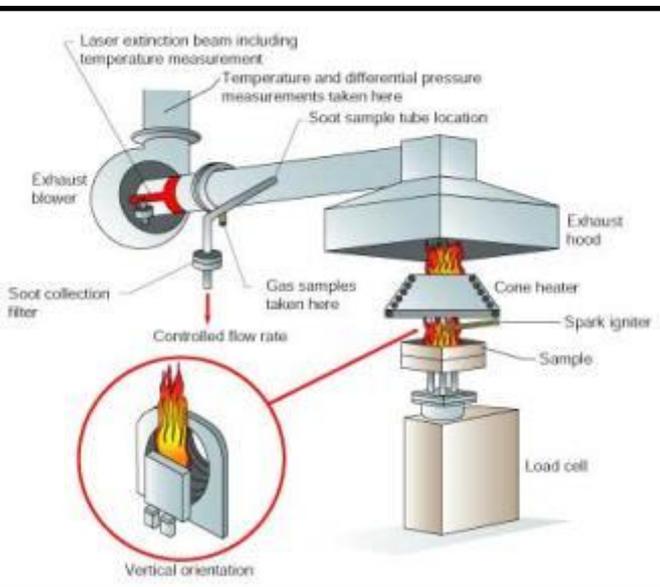
⇒ Evaluer le risque incendie (puissance du feu)

# Corrélation de Lee (1985)

- Equivalence entre la puissance surfacique du feu à petite et grande échelle (à un facteur près !)

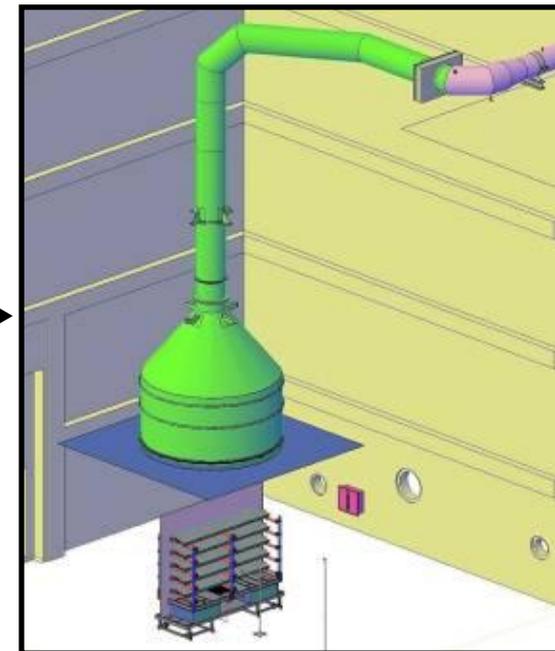
$\dot{q}_{bs}''$ : Pic de puissance par unité de surface mesuré à petite échelle (cône calorimètre) pour un flux incident de  $60 \text{ kW/m}^2$  ( $\text{kW/m}^2$ )

$\dot{q}_{fs}''$ : Pic de puissance du feu par unité de surface obtenu sous calorimètre à grande échelle ( $\text{kW/m}^2$ )



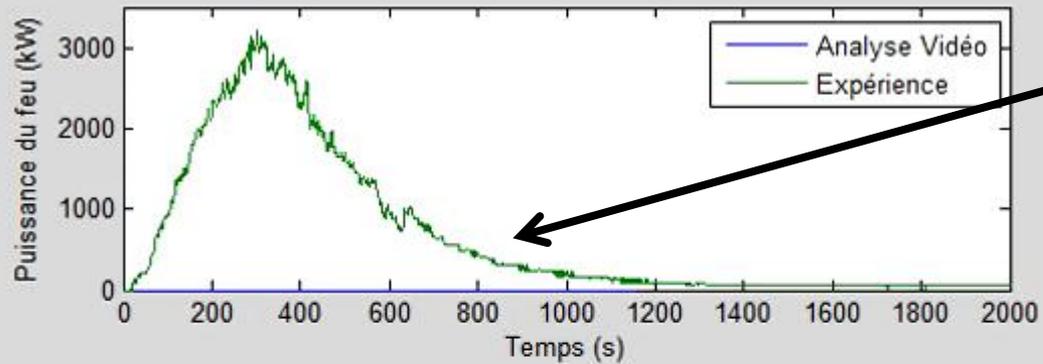
$$\dot{q}_{fs}'' = 0.45 \cdot \dot{q}_{bs}''$$

Babrauskas, V., Heat Release Rates, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Third Ed., Chapter 3-1, p, 3-16)



# Utilisation de Lee à chaque instant !

Essai CFSS-1 (programme PRISME-2, IRSN)



$$(\dot{q}_{fs}'' = \frac{\dot{Q}_{fs}}{A})$$

$$\dot{Q}_{fs}(t) = 0.45 \cdot A(t) \cdot \dot{q}_{bs}''$$

$A(t)$  : Surface totale de câble enflammée



Image initiale

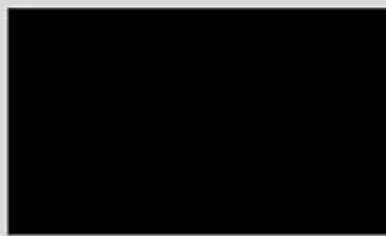


Image traitée

VFA (Video Fire Analysis)

⇒ Lee évalue la puissance du feu à tout instant si on connaît la surface !

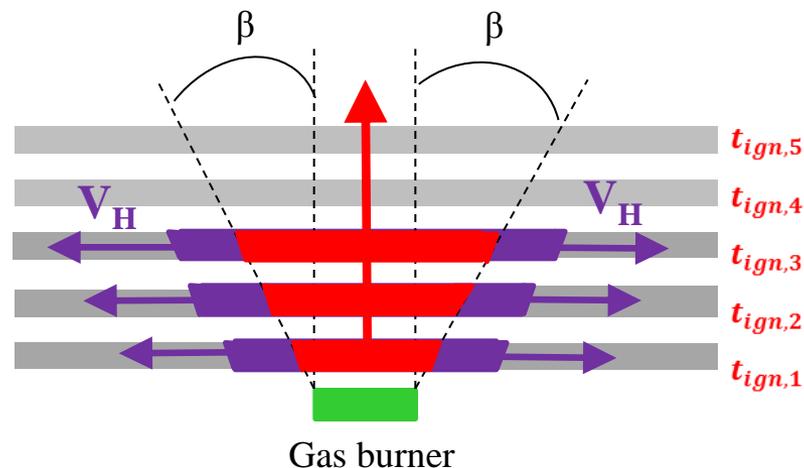
# Le modèle FLASH-CAT

## ➤ Calcul de la surface totale de câble enflammée

$$\dot{Q}_{fs}(t) = 0.45 \cdot A(t) \cdot \dot{q}_{bs}'' \quad \text{Lee}$$



$$\dot{Q}_{fs}(t) = W \cdot \left( \sum_{i=1}^{N_{trays}} L_{b,i}(t) \right) \dot{q}_{bs}'' \quad \text{FLASH-CAT}$$

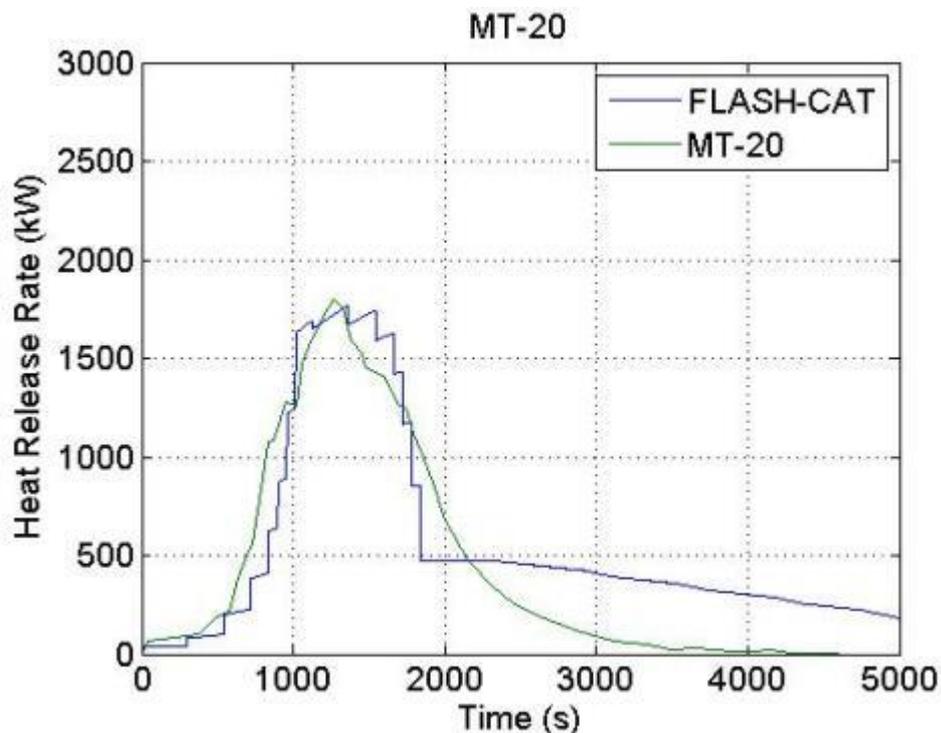


- $L_{b,i}(t)$ : Longueur enflammée du chemin  $i$  (m)
- $w$ : largeur du chemin (m)

Paramètres de propagation  $\Rightarrow$  Longueur de chemin enflammée  $L_{b,i}(t)$ :

- $t_{ig}$       **instant d'inflammation du chemin de câble (s)**
- $\beta$          **Angle du front de flamme ( $^{\circ}$ )**
- $V_H$         **Vitesse de propagation horizontale des flammes (mm/s)**

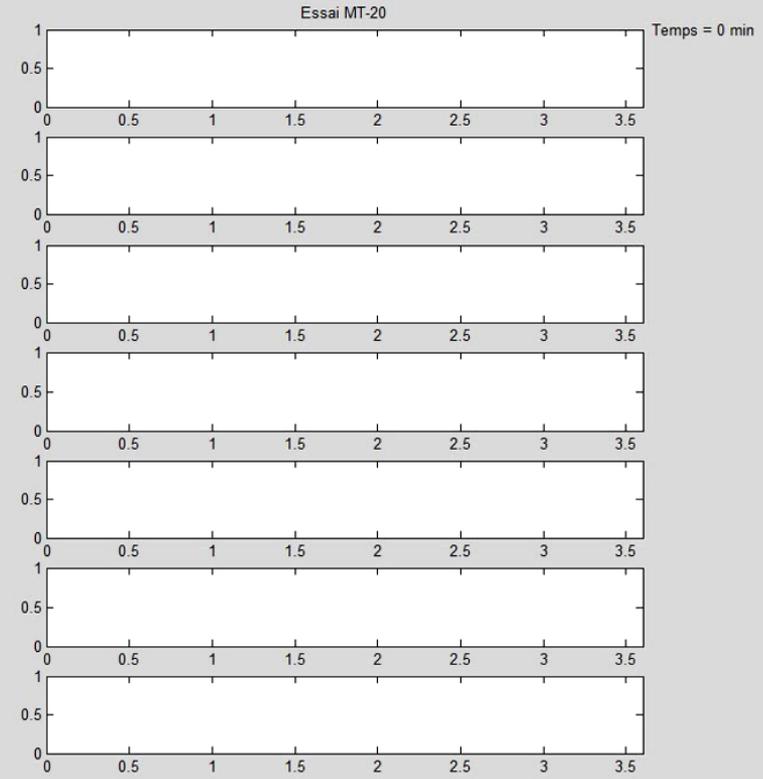
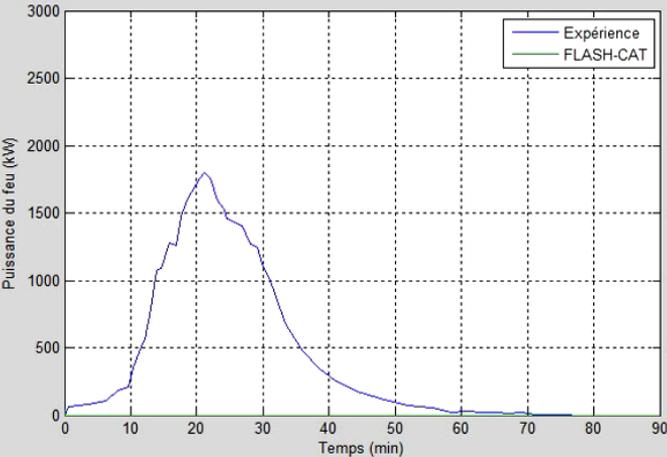
# Calculs FLASH-CAT de l'essai MT-20 (programme CHRISTIFIRE, NIST)



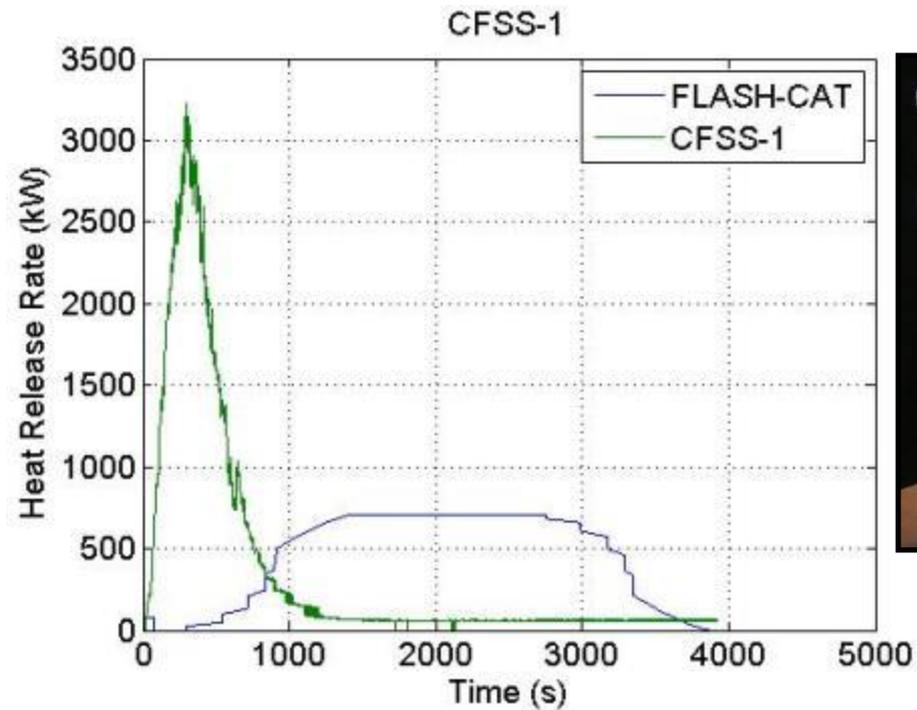
■ Bon accord à la fois sur le pic de puissance du feu et le taux de croissance du feu

■ MT-20: 7 chemins de câbles (L=3.6 m, w = 0.9 m and s = 0.3 m, 28 câbles par chemin)

# Calculs FLASH-CAT de l'essai MT-20 (programme CHRISTIFIRE, NIST)



# Calculs FLASH-CAT de l'essai CFSS-1 (programme PRISME-2, IRSN)



■ Ecart important pour une installation de chemins de câbles avec un mur support

■ CFSS-1: 5 chemins de câbles supportés par un mur calorifugé (L = 2.4 m, w = 0.45 m and s = 0.3 m, 49 câbles PVC par chemin)

# Analyse des vidéos des feux (VFA)

Chemin	1	2	3	4	5
Essai CFSS-1	40	58	66	72	86
FLASH-CAT	300	540	720	840	900

Instant d'inflammation (s)

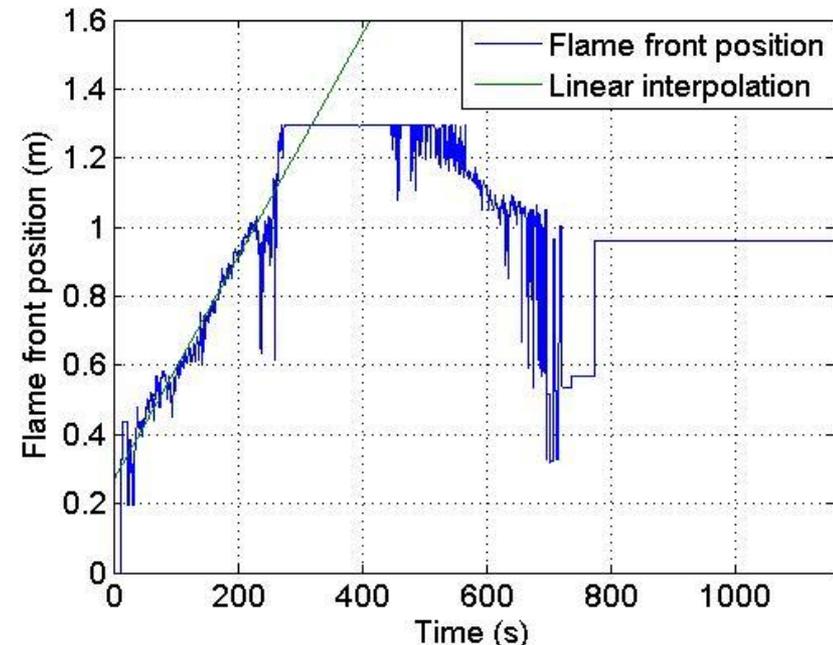
Chemin	1	2	3	4	5
Essai CFSS-1	3.0	2.9	4.9	6.3	7.1
FLASH-CAT	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

Vitesse de propagation horizontale (mm/s)

⇒ **Ecart important entre les paramètres préconisés par le modèle FLASH-CAT et ceux avec mur support déduits par VFA**

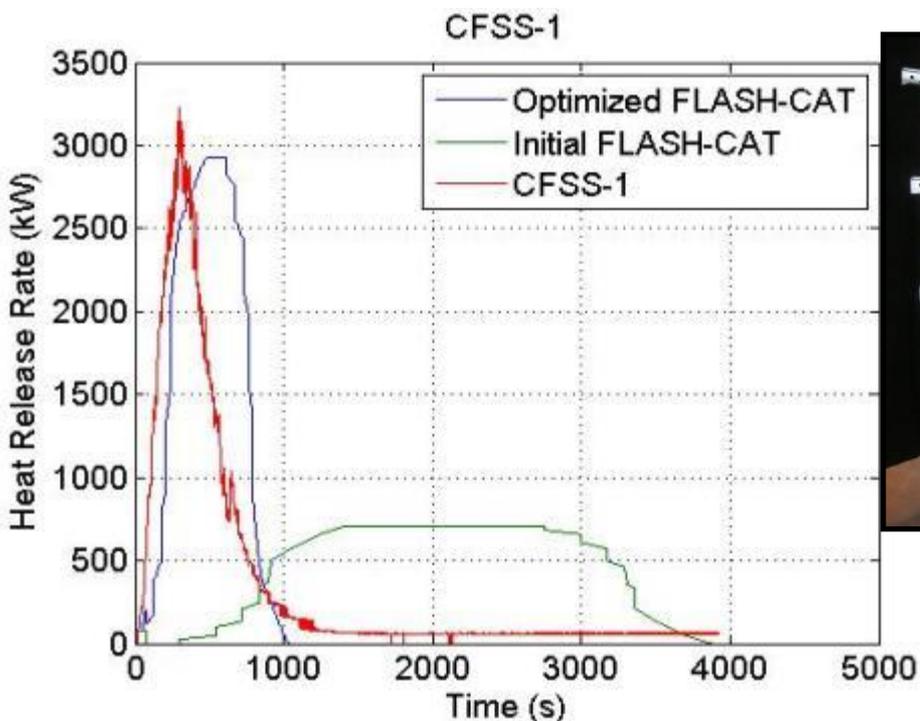
	$\beta$ moyen (°)
Essai CFSS-1	7
FLASH-CAT	35

Angle du front de flamme (°)



Evaluation de la vitesse de propagation horizontale (dérivée de l'évolution du front de flamme le long des chemins)

# Calculs FLASH-CAT de l'essai CFSS-1 avec les paramètres optimisés (VFA)



■ Accord sur le pic de puissance et le taux de croissance du feu

■ CFSS-1: 5 chemins de câbles supportés par un mur calorifugé (L = 2.4 m, w = 0.45 m and s = 0.3 m, 49 câbles PVC par chemin

# Bilan de cette étude

## FLASH-CAT

$$\dot{Q}_{fs}(t) = K \cdot A(t) \cdot \dot{q}_{bs}''$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{q}_{bs}'' \text{ (cône calorimètre)} \\ A(t_{ig}, \beta, V_H) \left\{ \begin{array}{l} t_{ig} \\ \beta \\ V_H \end{array} \right. \end{array} \right.$$

- $K = 0.45$
- $t_{ig}$ : Instant d'inflammation du chemin de câble (s)
- $\beta$ : angle du front de flamme ( $^{\circ}$ )
- $V_H$ : vitesse de propagation horizontale des flammes (mm/s)
- $A$ : Surface totale de câble enflammée ( $m^2$ )
- $\dot{q}_{bs}''$ : puissance du feu par unité de surface mesuré sous cône calorimètre à  $60 \text{ kW/m}^2$  ( $\text{kW/m}^2$ )

⇒ **Caractériser les paramètres de propagation ( $t_{ig}$ ,  $\beta$  et  $V_H$ ) pour calculer correctement la puissance du feu par le modèle FLASH-CAT**

# Caractérisation multi-échelle

- Partenariat avec l'EMA (MPA) pour caractériser les paramètres de propagation à plusieurs échelles

$$t_{ig} = \frac{\pi}{4} \cdot k\rho C_p \frac{(T_{ig} - T_a)^2}{(\dot{q}_e'' - CHF)^2}$$

(Tewarson)

$$V_H = \frac{(\dot{q}_e'')^2 \Delta}{k\rho C_p (T_{ig} - T_s)^2}$$

(Quintiere)

## ■ Caractériser $t_{ig}$ à petite échelle (cône calorimètre)

- Stage MASTER 2 à l'EMA en 2016 (Pr. Laurent FERRY)
- Validation pour différents câbles, que prendre pour  $k\rho C_p$  ?, ...



## ■ Caractériser $t_{ig}$ et $V_H$ à moyenne échelle

- 1 chemin de câbles (n câbles, arrangement des câbles, ...)



## ■ Caractériser $t_{ig}$ , $\beta$ et $V_H$ à grande échelle (et K)

- 3 à 5 chemins de câbles (géométrie, chargement, mur, ...)

# Conclusion

- Objectif : évaluation simplifiée de la puissance du feu d'un ensemble de chemins de câbles électriques horizontaux
- Modèle simple FLASH-CAT
  - Basé sur la corrélation de Lee (lien entre les échelles)
  - Evaluation de la surface totale de câbles enflammée à partir des paramètres de propagation
- Développement d'une méthode d'analyse vidéo des feux (VFA)
- Calculs FLASH-CAT satisfaisants si les paramètres de propagation sont déduits de l'analyse vidéo des essais (VFA)
- Proposition de caractérisation multi-échelle des paramètres de propagation en partenariat avec l'EMA (MPA)
  - Stage MASTER 2 à l'EMA en 2016 (Pr. Laurent FERRY)
  - Thèse proposée (démarrage pour la rentrée 2016 si proposition retenue)