

Modélisation du risque incendie dans des structures multi-compartimentées

Nina Dizet (CIFRE ANRT/RS2N, 2018-2021)

Directeurs de thèse : B. Porterie / Y. Pizzo

Projet MARINER-DECM 2018-2020 (ANR-ASMA-17-0005):

LEMTA – DGA TN – RS2N – PPRIME - IUSTI

Contexte et objectif

- Maîtrise du risque incendie dans un (très) grand nombre de locaux
- Caractère dual civil/militaire
- Suite du projet MARINER (ANR-ASTR-2012-0002)
- Objectif :

- ✓ **Sous-modèles physiques**

- **Comportement au feu de matériaux structurels** (acier, béton, matériaux bio-sourcés, isolants, composites navals)
- **Feux non conventionnels** (multi-combustibles, matière pyrotechnique)
- **Combustion sous-oxygénée**
- **Réseau réaliste de ventilation**
- **Modèle d'évacuation** (opacité des fumées, visibilité, comportement humain)
- **Lutte** par aspersion d'eau (vol. et parois) ou agents inhibiteurs

- ✓ **Assimilation de données** (détection)

- ✓ **validation des sous-modèles**

- **Expérimentations** : caisson DIAMAN, plateforme DECIMA de DGA, exercices d'évacuation au LEMTA et DGA Tn ??)



Navires de guerre et bâtiments navals



Structures urbaines (IGH)

PLAN

Contexte du projet

I. **Visibilité dans les fumées**

1. Campagne d'essais
2. Modèle de suies
3. Estimation de la visibilité

II. Dynamique de remplissage des locaux

Conclusion



I. Visibilité dans les fumées

1. Campagne d'essais

- Réalisé en collaboration avec LEMTA-DGATN-RS2N-PPRIME-IUSTI dans le caisson DIAMAN



I. Visibilité dans les fumées

1. Campagne d'essais

- Conditions de l'expérience :
 - Ajout d'opacimètres positionnés aux hauteurs (en m) suivantes :
 - 1.3, 1.8, 2.3 et 2.8
 - Longueurs d'ondes : 520, 642, 785 nm
 - Combustibles : heptane, PMMA et bois
 - Obtenir le coefficient d'extinction des fumées en fonction de la hauteur, la longueur d'onde et du combustible
 - But : déterminer la concentration de suies dans les fumées



I. Visibilité dans les fumées

1. Campagne d'essais

- Calcul la fraction volumique de suie avec :

$$f_v = \lambda \frac{K_{ext}}{K_e}$$

- K_e : coefficient d'extinction sans dimension, dans la littérature : $K_e \approx 8,7$
(ex. Hébert et al., 2012; Krishnan et Faeth, Rapport NIST, 1999: 8,4 pour l'heptane)

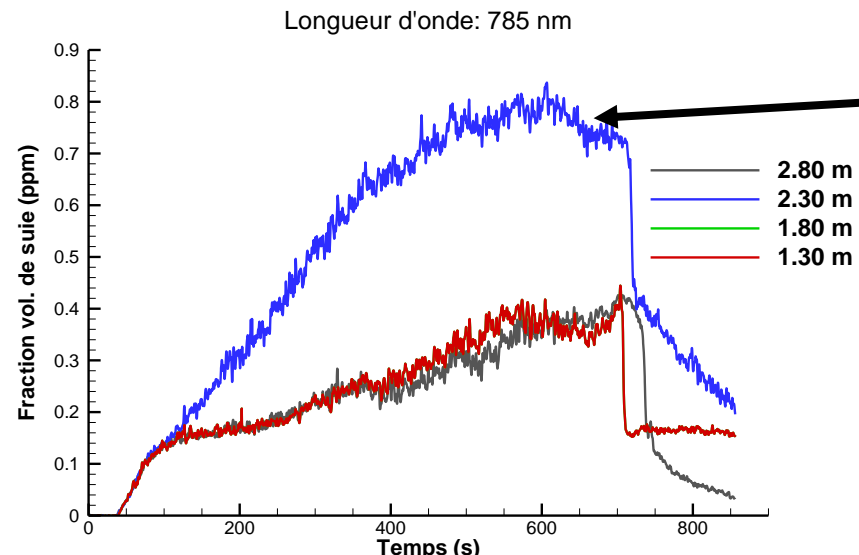
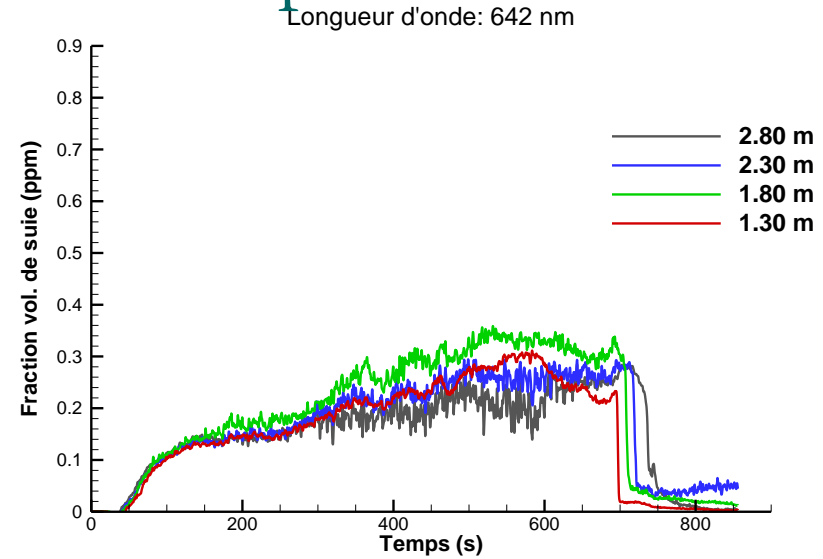
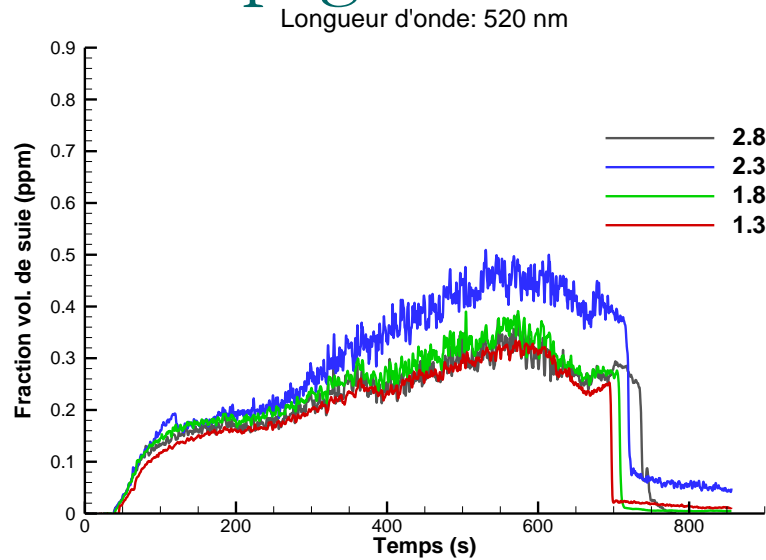
- K_{ext} : le coefficient d'extinction expérimental dans la loi de Beer Lambert :

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-K_{ext}L)$$

- λ Longueur d'onde en nm

I. Visibilité dans les fumées

1. Campagne d'essais : Résultats essais Heptane 12L



I. Visibilité dans les fumées

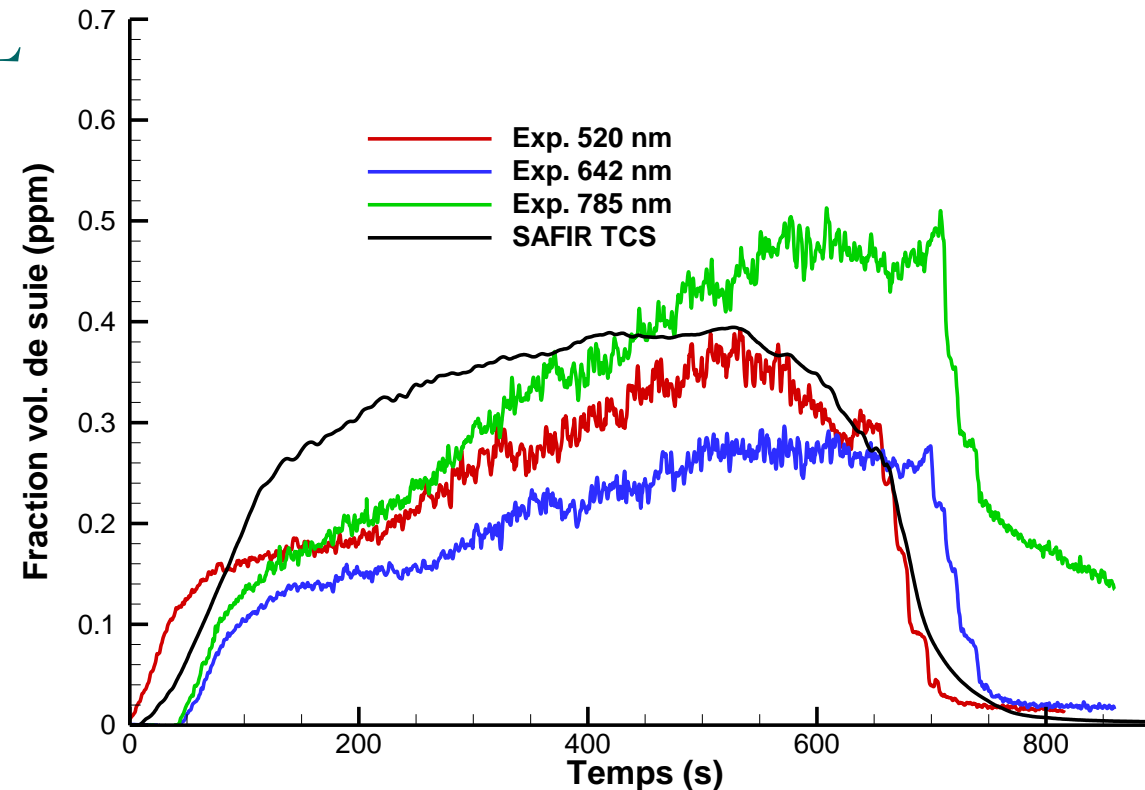
1. Campagne d'essais : Résultats essais Heptane 12L

- Modélisation de l'essais avec SAFIR

- SAFIR :
 - Code de CFD 3D
 - Développement IUSTI / DGA TN
 - Modèle de suies utilisé :
 - Taux de conversion de suie : 0,037 pour l'heptane

I. Visibilité dans les fumées

1. Campagne d'essais : Comparaison SAFIR / Résultats essais Heptane 12L



Modèle de taux de conversion de suie (idem FDS)
Taux cst 0.037 et pas d'oxydation

→ Amélioration du modèle de suie

I. Visibilité dans les fumées

2. Modèle de suies de Tesner Magnussen

- Deux équations des transports sont résolues pour le nombre de noyaux radicalaires par unité de masse du mélange (X_n), et pour la fraction massique de suies (Y_s) :

$$\frac{\partial \rho Y_s}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} Y_s) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_s} \nabla Y_s \right) + \underbrace{w_{s,f}}_{\text{Formation}} - \underbrace{w_{s,c}}_{\text{oxydation}}$$
$$\frac{\partial \rho X_n}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} X_n) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_s} \nabla X_n \right) + \underbrace{w_{n,f}}_{\text{Formation}} - \underbrace{w_{n,c}}_{\text{oxydation}}$$

- Formation des noyaux radicalaires

$$w_{n,f} = \frac{a_0}{N_A} \rho Y_F f_c e^{-\frac{T_A}{T}} + \zeta(T)(f - g)\rho X_n - \frac{g_0 \rho^2 X_n Y_s}{m_p}$$

I. Visibilité dans les fumées

2. Modèle de suies de Tesner Magnussen

- Formation des particules de suies

$$w_{s,f} = am_p \rho N_a X_n - b \rho^2 N_A X_n Y_s$$

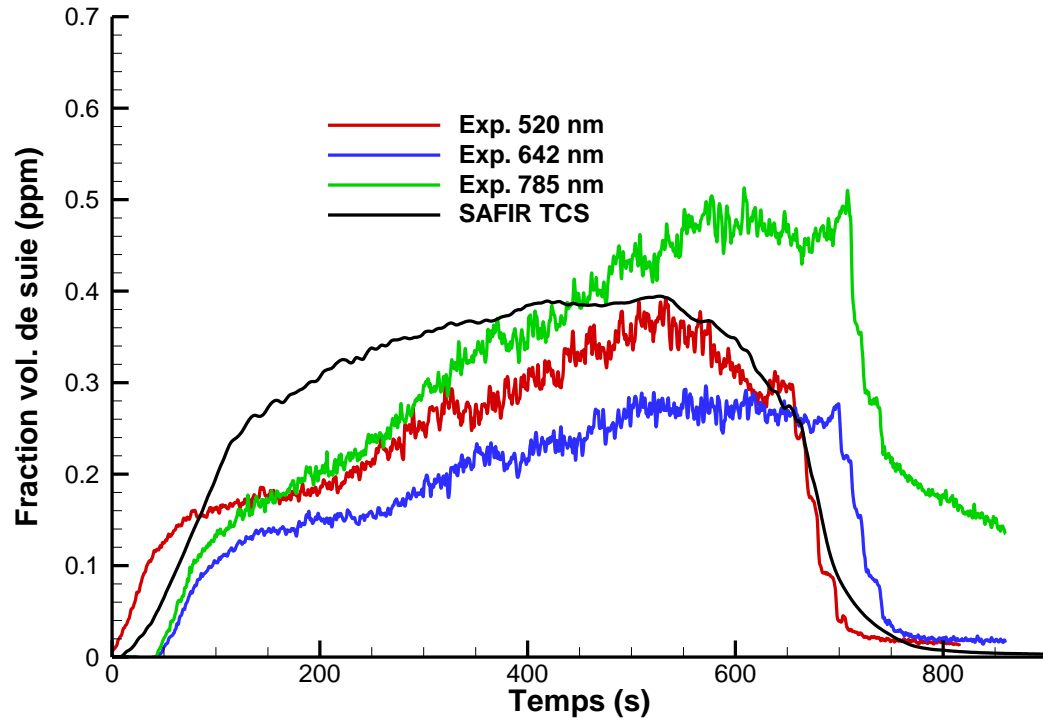
- Oxydation : modèle de Leung et al.

$$w_{s,c} = A_{OX} \sqrt{T} e^{-\frac{T_{a,OX}}{T}} S M_{C_s} \frac{Y_{O_2} \rho}{M_{O_2}} \text{ et } w_{n,c} = R_{s,c} \frac{X_n}{Y_s}$$

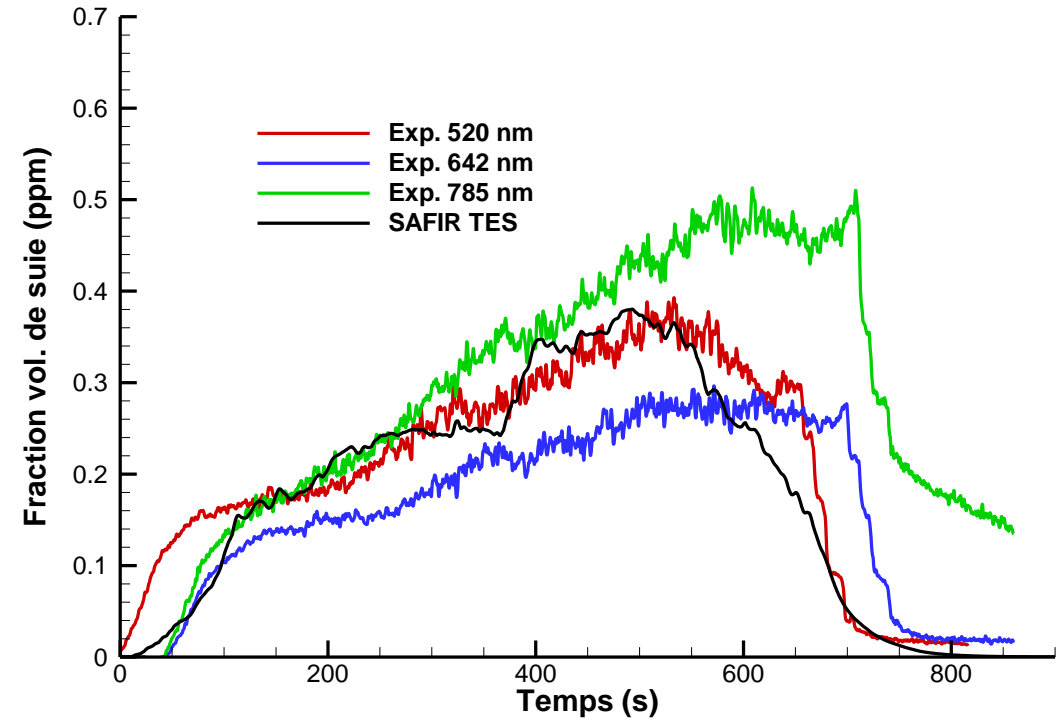
Paramètre	Valeur	Unité
a_0	1.35×10^{13}	$kg^{-1}.s^{-1}$
$f - g$	100	s^{-1}
T_A	85000 90000	K
T_c	1200	K
g_0	10^{-15}	$m^{-3}.part^{-1}.s^{-1}$
a	10^5	s^{-1}
b	8×10^{-14}	$m^3.part^{-1}.s^{-1}$
A_{Ox}	715	$m.s^{-1}.K^{-1/2}$
$T_{a,OX}$	19 800	K

I. Visibilité dans les fumées

2. Modèle de suies de Tesner Magnussen



Modèle de taux de conversion de suie (idem FDS)
Taux cst 0.037 et pas d'oxydation



Modèle de Tesner-Magnussen (2 eqs) + modèle
d'oxydation de Leung et al.

I. Visibilité dans les fumées

3. Estimation de la visibilité

- Calcul de la distance de visibilité :

$$\text{Jin et Yamada: } V = \begin{cases} \frac{3}{k} & \text{objet réfléchissant} \\ \frac{8}{k} & \text{objet lumineux} \end{cases}$$

- Coefficient d'extinction :

$$K_e = \sigma_s C_s = \sigma_s \rho_s f_v$$

- σ_s : surface d'extinction spécifique de suie (m^2/kg)
- Littérature (FDS): $\sigma_s \approx 8700 \text{ m}^2/\text{kg}$
- $\rho_s = 1800 \text{ kg}/\text{m}^3$
- Ex:
 - Si $f_v = 0,1 \text{ ppm}$ alors $K_e = 1,6 \text{ m}^{-1}$ et $V = 1,88 \text{ m}$ ou $V = 5 \text{ m}$

PLAN

Contexte du projet

I. Visibilité dans les fumées

II. Dynamique de remplissage des locaux

1. Présentation LUCIFER
2. Amélioration LUCIFER
3. Comparaison FDS

Conclusion

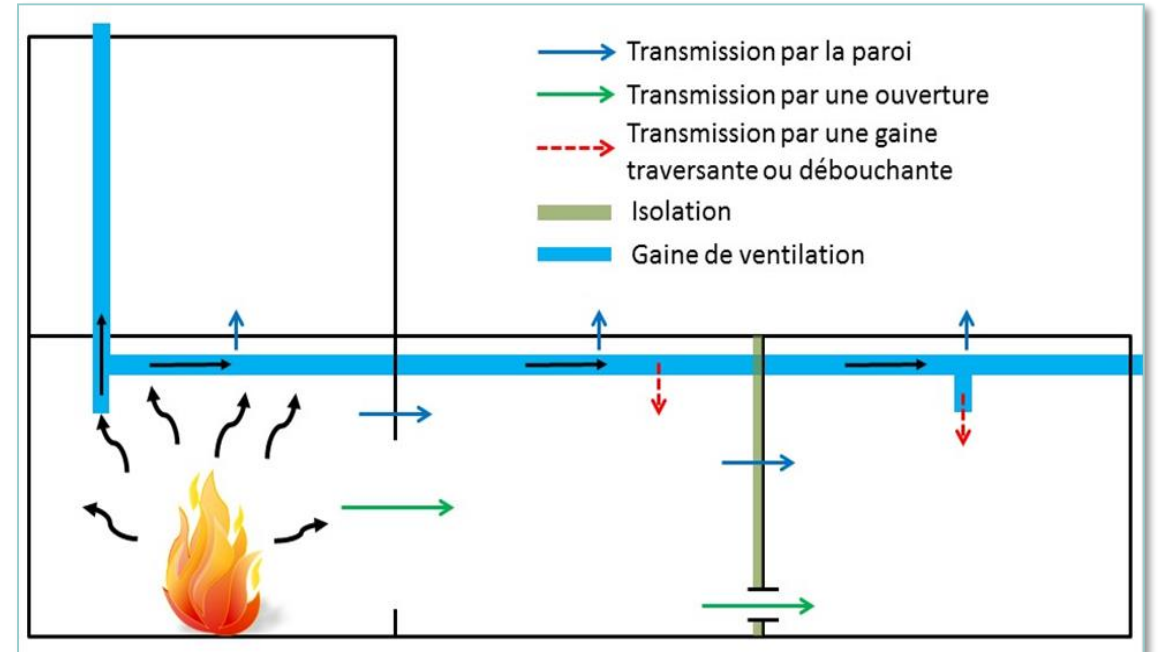


II. Dynamique de remplissage des locaux

1. Présentation de LUCIFER

Qu'est ce que LUCIFER?

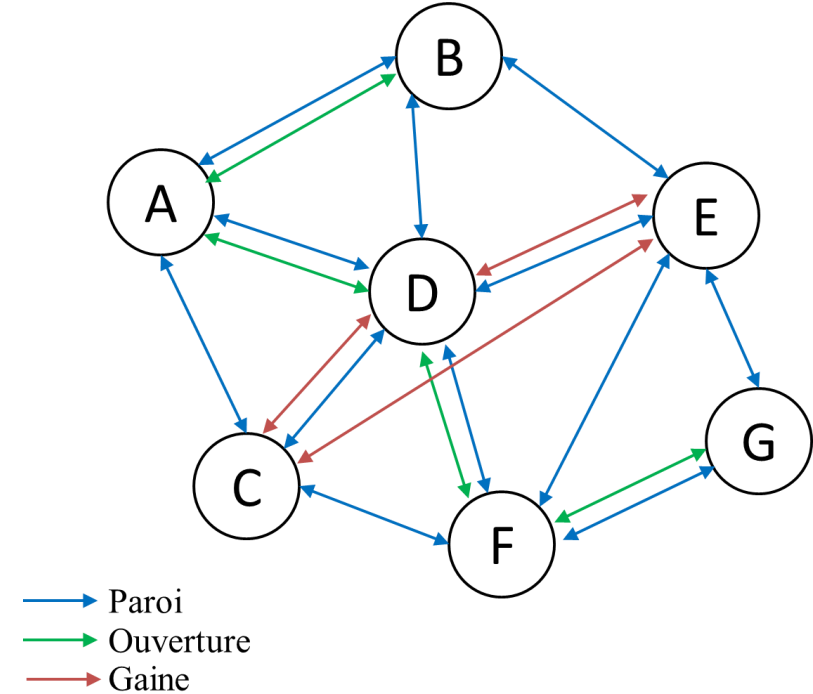
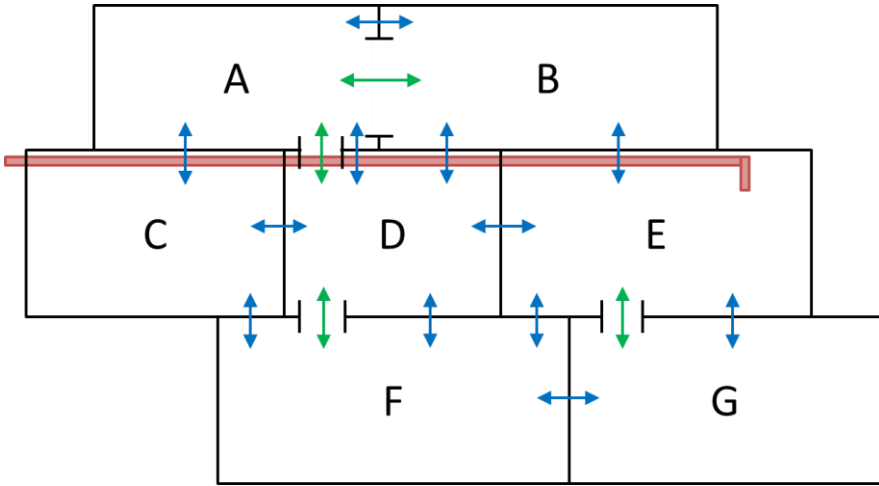
- Propagation du feu d'un local à un autre
 - Connexions à courte distance : parois et ouverture
 - Connexions à longue distance: réseau de ventilation
- Réseau de locaux:
 - Polydisperse (locaux de formes et tailles différentes)
 - Amorphe (pas de régularité géométrique, répartition réelle selon plan)
- Approche statistique basée sur des densités de probabilité
 - Occurrence de flashover et de feu pleinement développé
 - Durée de transmission du feu par les parois, les ouvertures et les gaines de ventilation



II. Dynamique de remplissage des locaux

1. Présentation de LUCIFER

Modélisation des connexions



Représentation sous forme de graphe des chemins existants entre les différents locaux du navire :

- les nœuds = locaux
- les liens = connections entre deux locaux voisins ou distants

II. Dynamique de remplissage des locaux

1. Présentation de LUCIFER

Paramètres du modèle

Evénement	Moyenne	Ecart-type
Flashover Zone chaude : 350°C	X	X
Durée du feu pleinement développé	X	X
Transmission horizontale SOLAS : +140°C face opposée	X	X
Transmission verticale vers le haut SOLAS : +140°C face opposée	X	X
Transmission verticale vers le bas SOLAS : +140°C face opposée	X	X
Transmission gaine traversante SOLAS : +140°C	X	X
Transmission gaine débouchante SOLAS : gaz >250°C	X	X

Code à zones CEIL
(C. Lallemand, DGA Tn)
Expériences DIAMAN

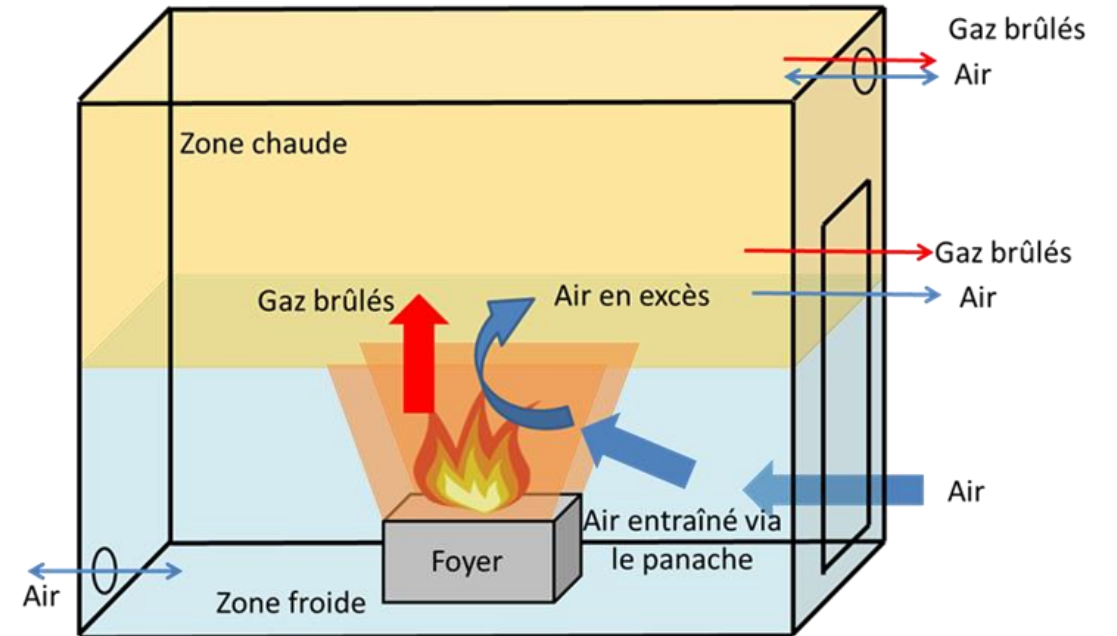
Code SAFIR
Expériences DIAMAN

II. Dynamique de remplissage des locaux

1. Présentation de LUCIFER

Paramètres du code à zone OEIL

- Code à zones :
 - Zone chaude / zone froide / Panache
- Pour chaque zone :
 - Bilan masse et énergie
 - Masse volumique et température moyenne des gaz
- Bilan de quantité de mouvement en zone chaude :
 - Vitesse de déplacement de l'interface



II. Dynamique de remplissage des locaux

2. Amélioration de LUCIFER

- Ajout de la propagation des fumées
- Données d'entrée :
 - Position de l'interface à l'état stationnaire, débit de fumée
 - Phase de croissance du débit de fumée en αt^2 (même croissance que le débit de pyrolyse)
- Obtention de la dynamique de remplissage des locaux par les fumées
- Comparaison à FDS

II. Dynamique de remplissage des locaux

2. Amélioration de LUCIFER

○ Hypothèses :

● Propagation horizontale

- Locaux séparés par une porte (2 m de hauteur)
- Des que les fumées atteignent la porte, elles se propagent aux locaux adjacents
- Quand les fumées atteignent leur hauteur limite, elles se déversent intégralement dans les locaux adjacents
- Proportion de fumées se déversant dans les locaux adjacents : $\chi = \frac{\text{hauteur porte} - \text{hauteur fumées}}{\text{hauteur limite} - \text{hauteur porte}}$

● Propagation verticale

- Immédiate, si le local source possède un local adjacent vers le haut
- Quand le local source a fini de se remplir pour un local adjacent bas

● Conservation du débit massique de fumée dans chaque local

II. Dynamique de remplissage des locaux

3. Comparaison FDS

○ But : vérifier la propagation horizontale des fumées

○ Cas test :

- 7 locaux de dimension 3m×3m ×3m
 - connectés par des portes de 2m×1m
 - Parois en acier de 1 cm
- Feu d'heptane 1 MW dans le local central

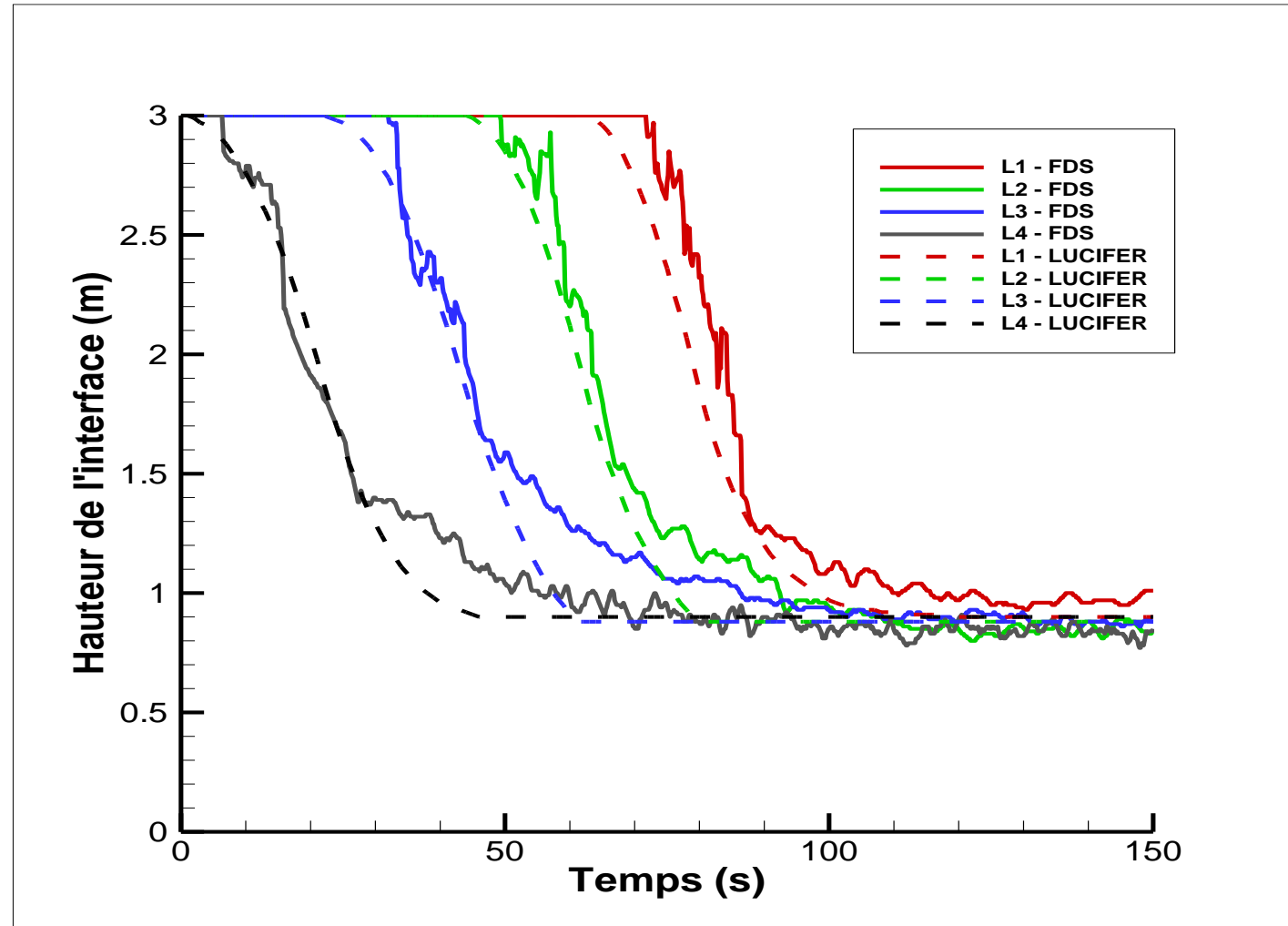


○ Conditions de calcul dans FDS

- Taux de conversion de suie de 0,037 pour l'heptane
- Pas d'oxydation des suies

II. Dynamique de remplissage des locaux

3. Comparaison FDS



→ Dynamique de remplissage dans LUCIFER en accord avec FDS

Conclusion

- Implémentation modèle de suies dans SAFIR validée par l'expérience
- Développement d'un modèle de propagation des fumées dans LUCIFER
- Pour la suite du projet :
 - Implémentation dans LUCIFER du modèle d'évacuation du LEMTA
 - Assimilation de données (détection, lutte) pour corriger en temps réel la cartographie du feu
 - Démonstrations navire existant et IGH

