iusti UMR CNRS 6595
Institut Universitaire des Systèmes Thermiques Industriels

Développement d'une approche hybride pour la simulation d'un incendie et de l'évacuation dans une structure multi-compartimentée

Nina Dizet (CIFRE ANRT/RS2N, 2018-2021) & Anthony Collin (LEMTA)
Directeurs de thèse : B. Porterie/ Y. Pizzo

Projet MARINER-DECM 2018-2020 (ANR-ASMA-17-0005):
LEMTA – DGA TN – RS2N – PPRIME - IUSTI

RS2N
RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET SIMULATION NUMERIQUE

Agence Nationale de la Recherche
ANR

Contexte et objectif

- Maitrise 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

Navires de guerre et bâtiments navals

Structures urbaines (IGH)

PLAN

Contexte du projet

I. Présentation des modèles

1. Modèle à zones
2. Modèle de réseau : LUCIFER
3. Modèle CFD : SAFIR
4. Modèle d'évacuation
5. Méthodologie

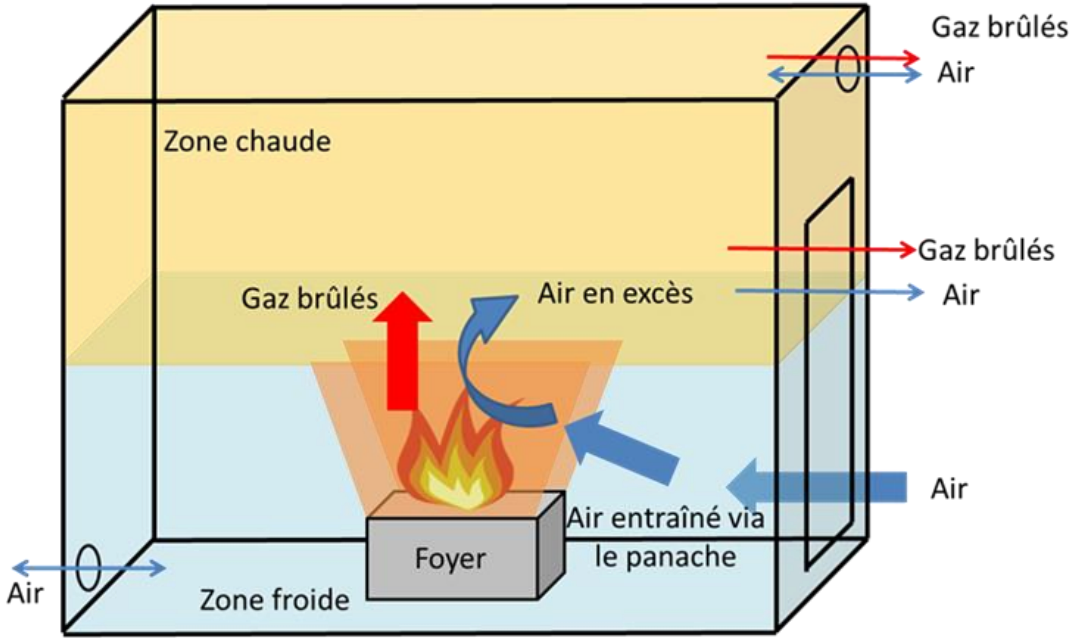
II. Applications

Conclusion

I. Présentation des modèles

1. Modèle à zones

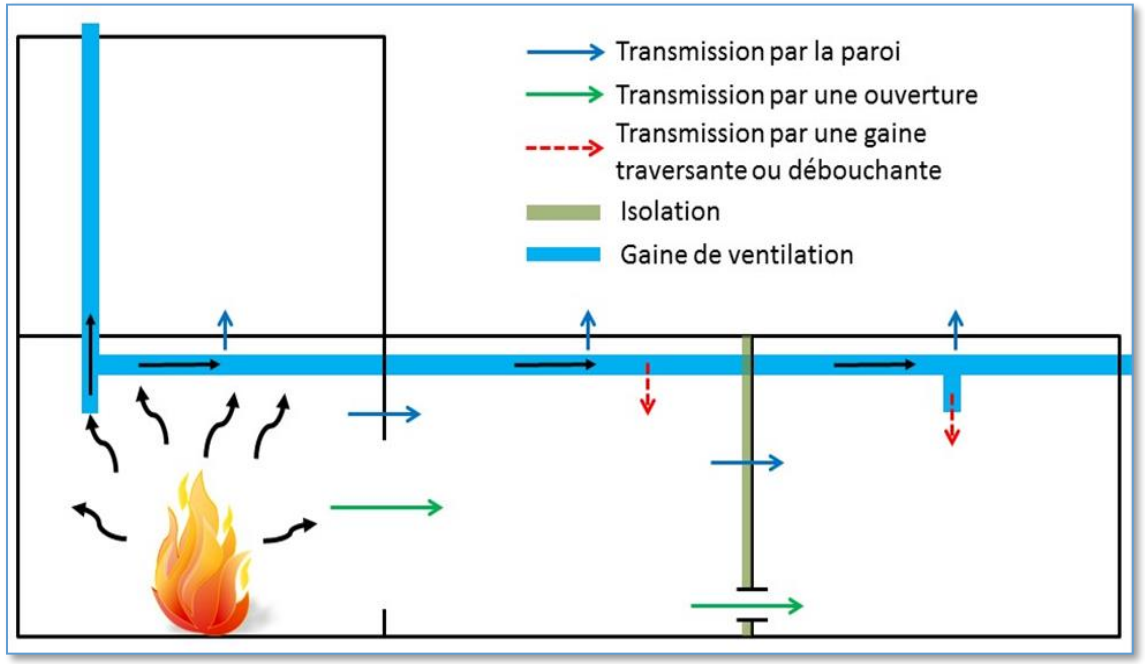
- 3 zones : zone chaude / zone froide / Panache
- Eqs de bilan masse et énergie
- Vitesse de déplacement de l'interface régie par une eq. de quantité de mouvement (pression dans le local non uniforme)➔$\Delta t \uparrow$
- Rayonnement du gaz et des éléments (4 ou 10) de parois
- Combustion: $C_{n_c}H_{n_H}O_{n_O}Cl_{n_{Cl}}$/air
  - Concentration des produits toxiques de combustion
  - Concentration en suies ➔ visibilité dans le local
  - Limitation de la puissance du feu en cas de sous-oxygénation



2. Modèle de réseau : LUCIFER

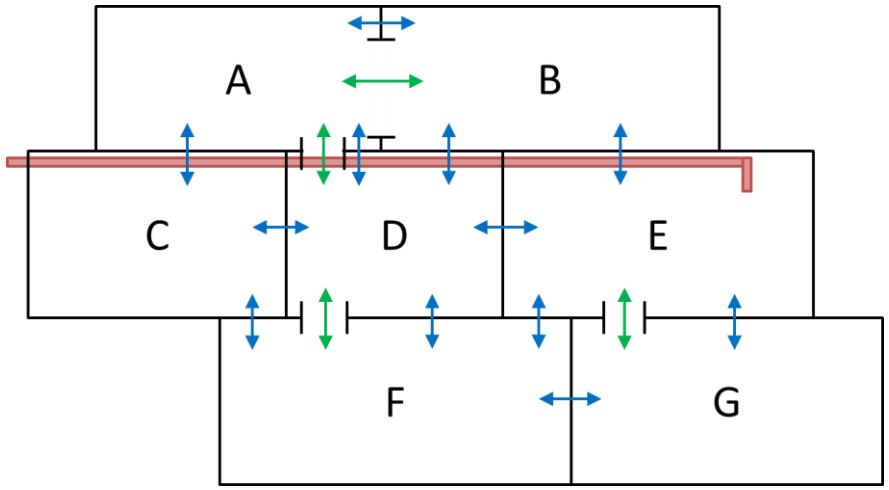
Présentation de LUCIFER

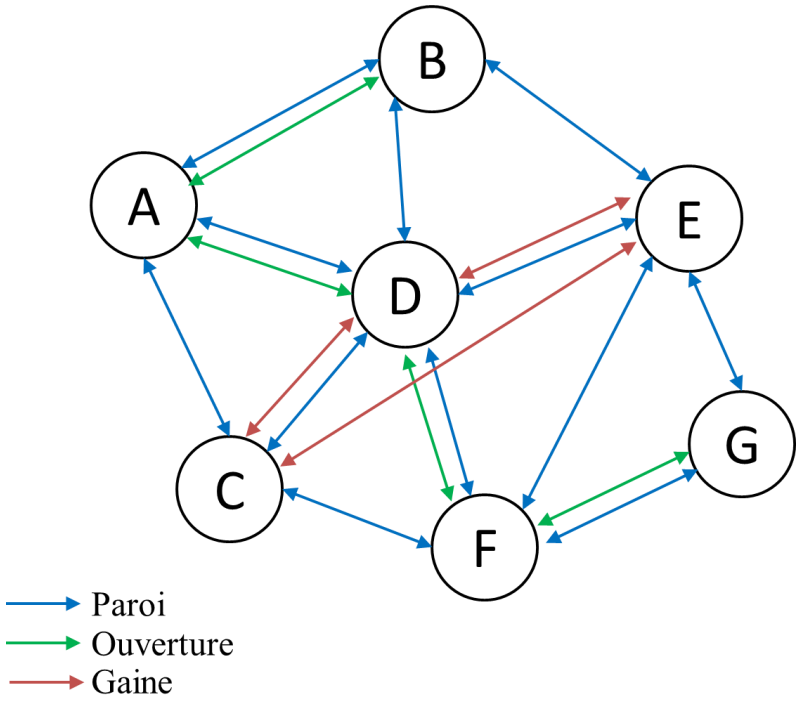
- Propagation du feu et des fumées d'un local à un autre
  - Connections à courte distance : parois et ouverture
  - Connections à longue distance: réseau de ventilation
- Réseau de locaux:
  - Polydisperse (locaux de formes et tailles différentes)
  - Amorphe (pas de régularité géométrique, répartition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



2. Modèle de réseau : LUCIFER

Modélisation des connexions





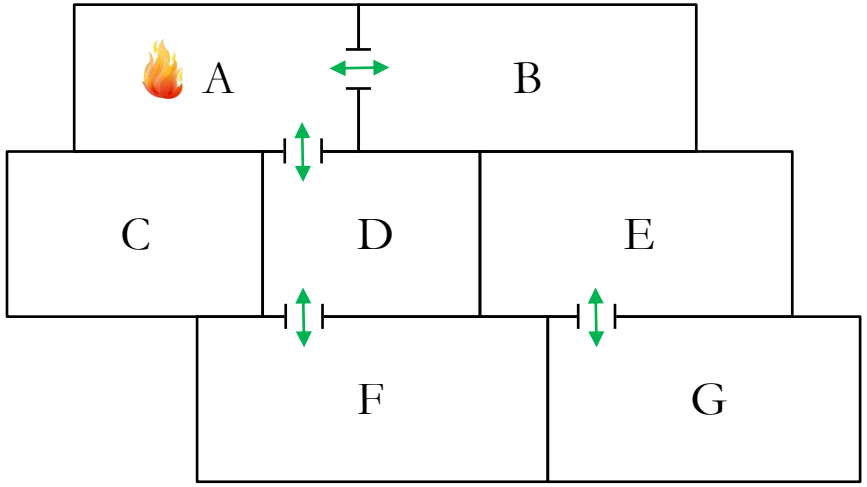
Représentation sous forme de graphe des chemins existants entre les différents locaux du navire :

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

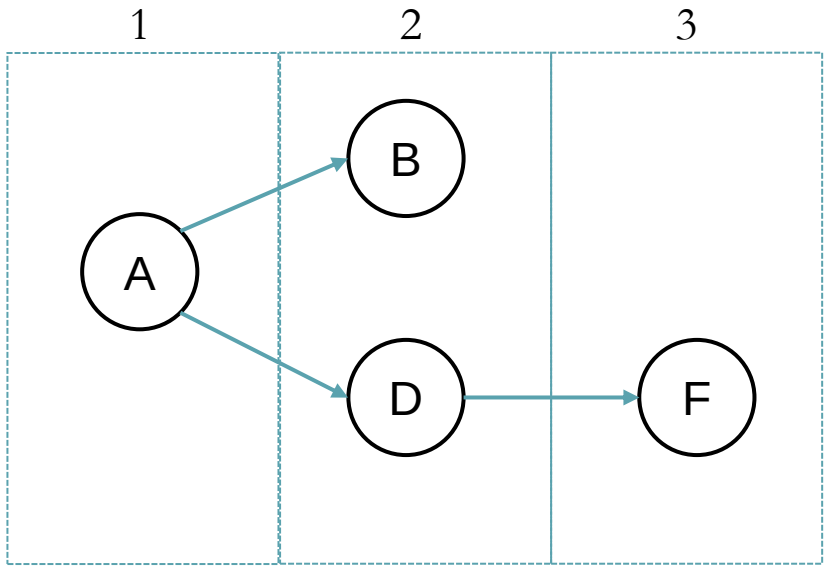
2. Modèle de réseau : LUCIFER

Propagation des fumées : Chronologie de remplissage/vidange

(limité aux cas où la ventilation n'a que peu d'influence ≠ « two-way interaction »)



Chemin possible des fumées à partir du local A



Représentation sous forme de graphe

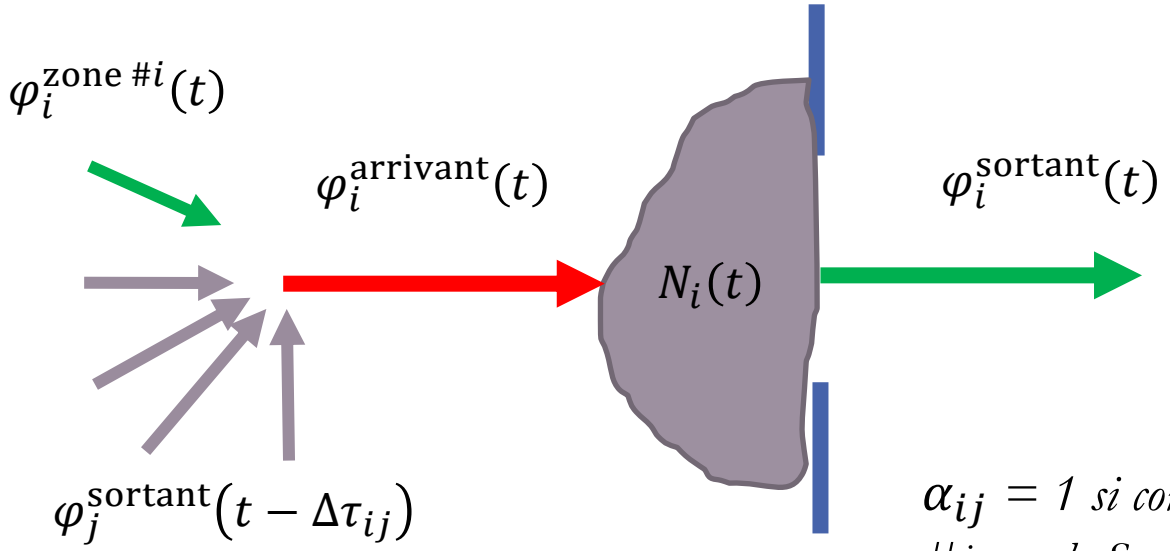
- ➔ Connection entre locaux : chemin possible pour les fumées
- ➔ Ordre de remplissage : distance au local source

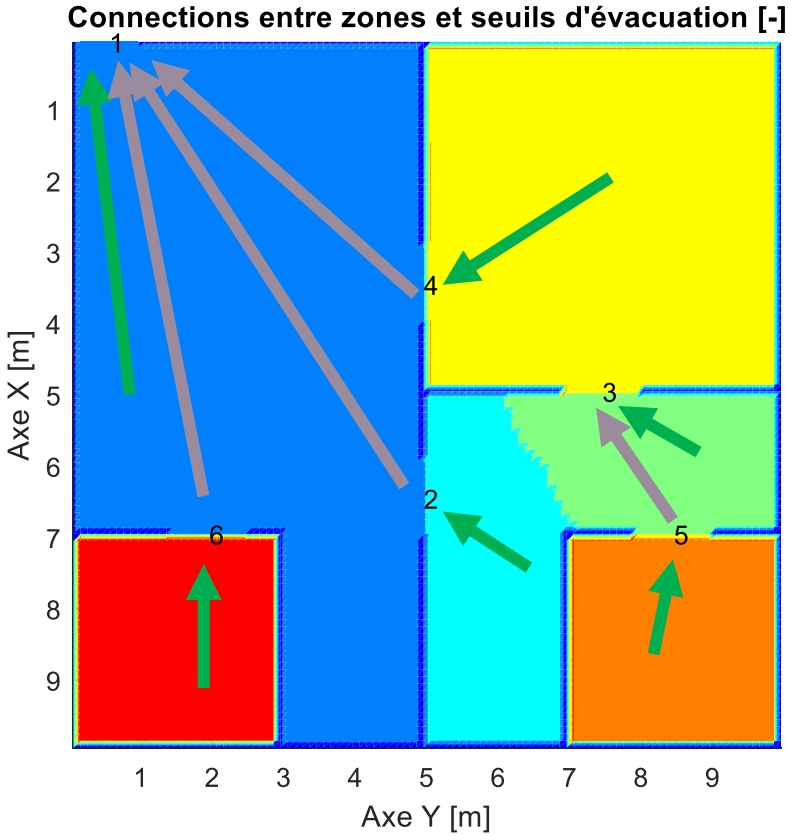
3. Modèle de CFD : SAFIR

- Ecoulement 2D ou 3D, stationnaire ou instationnaire
- Ecoulement compressible à faible nombre de Mach et de Froude
- RANS
- Turbulence avec loi de paroi
- Combustion turbulente (Eddy Break-up)
- Multiphasique (gaz, solide, liquide)
- Rayonnement multiphasique
- Transfert de chaleur dont conduction multi-matériaux
- Débit prescrit ou calculé (nappe d'hydrocarbure, thèse de M. Mense)
- Présence d'obstacles, îlots internes
- Algorithme totalement implicite

I. Présentation des modèles

4. Modèle d'évacuation : AMERIGO





α_{ij} = *1 si connexion entre le Seuil #j vers le Seuil #i, sinon 0*

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}N_i(t)}{\mathrm{d}t} = \varphi_i^{\text{arrivant}}(t) - \varphi_i^{\text{sortant}}(t) \\ \text{avec } \varphi_i^{\text{arrivant}}(t) = \varphi_i^{\text{zone }\#i}(t) + \displaystyle\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N_{seuil}} \alpha_{ij}\varphi_j^{\text{sortant}}(t-\Delta\tau_{ij}) \\ \text{et } \varphi_i^{\text{sortant}}(t) = \begin{cases} \varphi_i^{\text{sortant max}} \text{ si } N_i(t) > 0 \\ \arg\left(\displaystyle\min_{\varphi\epsilon[0;\varphi_i^{\text{sortant max}}]} \left|\varphi(t) - \varphi_i^{\text{arrivant}}(t)\right|\right) \text{ si } N_i(t) = 0 \end{cases} \end{cases}$$

Temps de transit entre le Seuil #j et le Seuil #i

I. Présentation des modèles

5. Méthodologie

Modèle à zones à l'échelle d'un local:

- Temps de transmission par les parois
- Temps de transmission par les ouvertures
- Temps des différentes phases du feu
- Pour les fumées :
  - Evolution du débit
  - Evolution de la masse volumique
  - Evolution de la température

5. Méthodologie

Modèle à zones à l'échelle d'un local:

- Temps de transmission par les parois
- Temps de transmission par les ouvertures
- Temps des différentes phases du feu
- Pour les fumées :
  - Evolution du débit
  - Evolution de la masse volumique
  - Evolution de la température

→

Pas d'influence de la ventilation

Modèle de réseau pour la propagation du feu et des fumées dans toute la structure:

- Cartographie du feu (locaux touchés, en feu pleinement développé, brûlés) vs. temps
- Cartographie des locaux enfumés vs. temps

5. Méthodologie

Modèle à zones à l'échelle d'un local:

- Temps de transmission par les parois
- Temps de transmission par les ouvertures
- Temps des différentes phases du feu
- Pour les fumées :
  - Evolution du débit
  - Evolution de la masse volumique
  - Evolution de la température

→

Pas d'influence de la ventilation

Modèle de réseau pour la propagation du feu et des fumées dans toute la structure:

- Cartographie du feu (locaux touchés, en feu pleinement développé, brûlés) vs. temps
- Cartographie des locaux enfumés vs. temps

→

Influence de la ventilation

Modèle de réseau pour la propagation du feu

Code SAFIR pour la propagation des fumées

5. Méthodologie

Modèle à zones à l'échelle d'un local:

- Temps de transmission par les parois
- Temps de transmission par les ouvertures
- Temps des différentes phases du feu
- Pour les fumées :
  - Evolution du débit
  - Evolution de la masse volumique
  - Evolution de la température

Pas d'influence de la ventilation

Modèle de réseau pour la propagation du feu et des fumées dans toute la structure:

- Cartographie du feu (locaux touchés, en feu pleinement développé, brûlés) vs. temps
- Cartographie des locaux enfumés vs. temps

Influence de la ventilation

Modèle de réseau pour la propagation du feu

Code SAFIR pour la propagation des fumées

Modèle d'évacuation (LEMTA)

PLAN

Contexte du projet

I. Présentation des modèles

II. Applications

   I. Immeuble

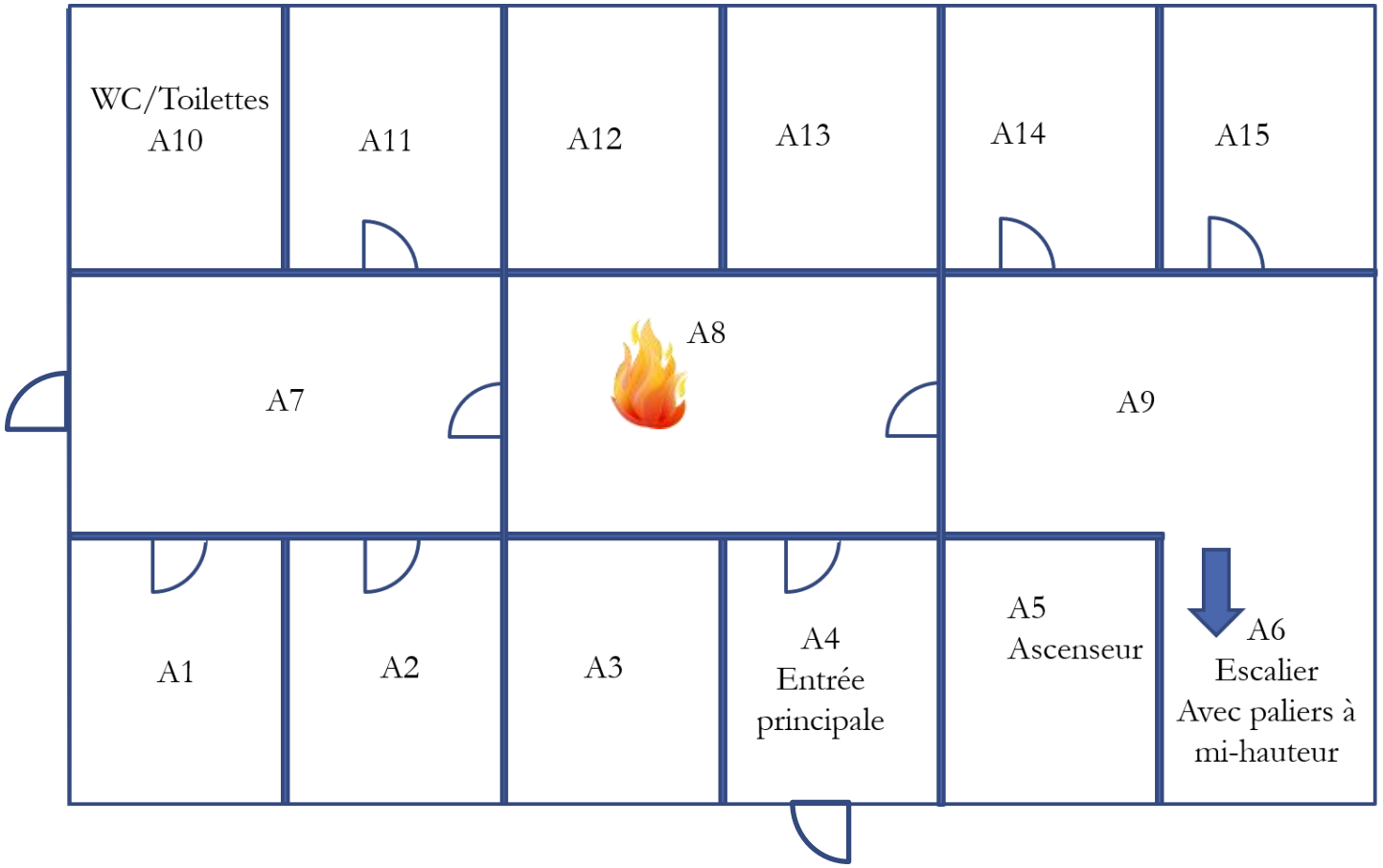
   II. Navire militaire

Conclusion

II. Applications

1. Immeuble civil

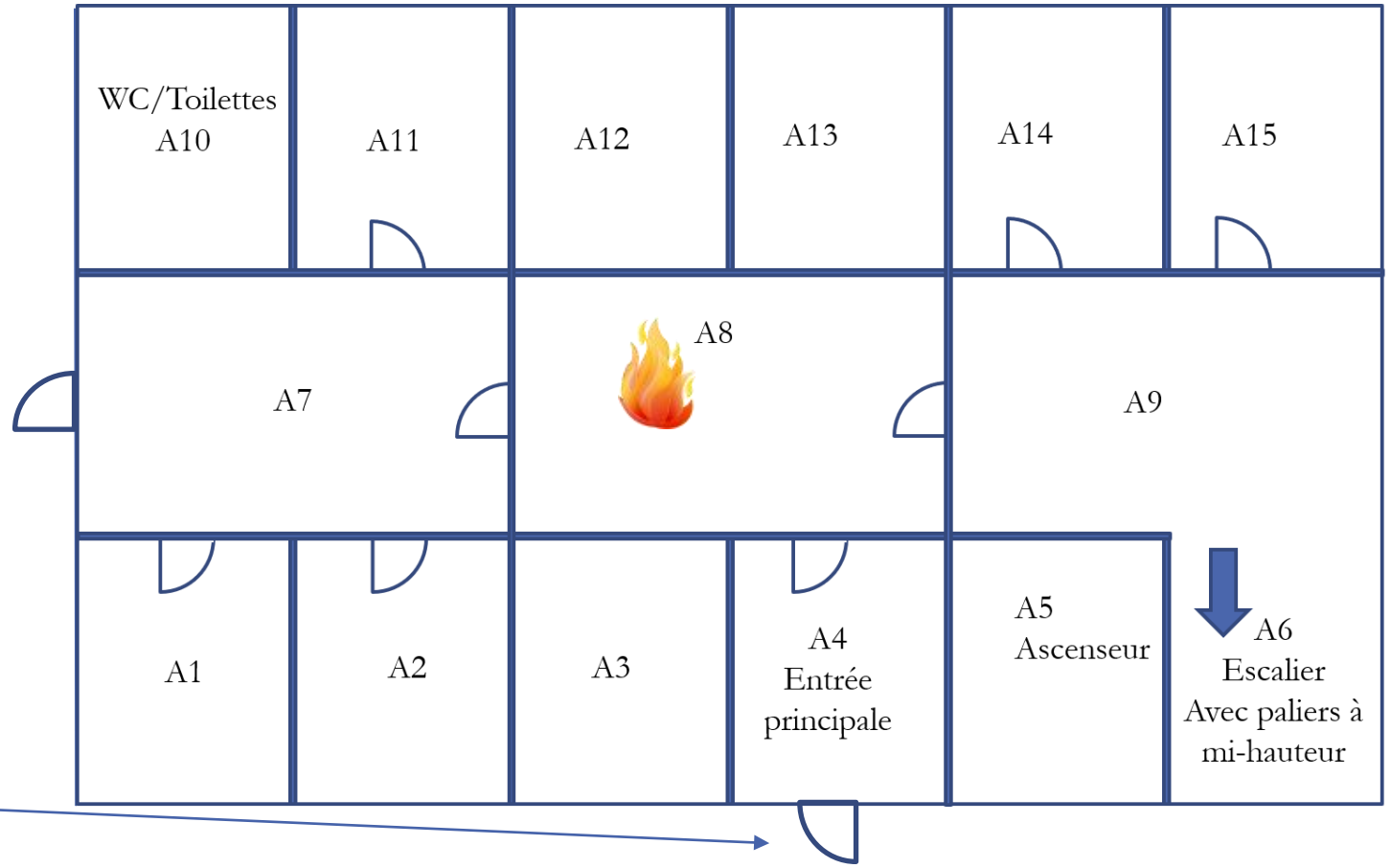
- Echelle du local :
  - Feu dans le local A8
  - 4 MW
  - Equivalent Bois



II. Applications

1. Immeuble civil

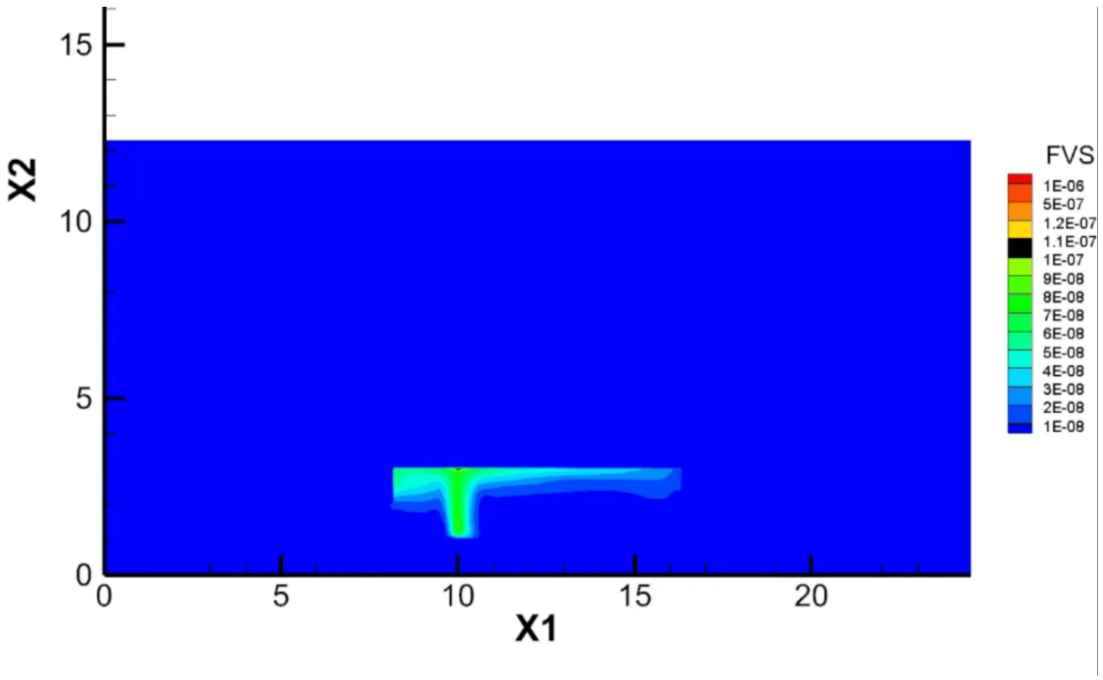
- Echelle de la structure :
  - 4 étages identiques
    - Hauteur sous plafond : 3 m
    - Parois en placo
  - 15 locaux par étages
    - Bureau : 4 m x 5 m
    - Couloir : 8 m x 5 m
- Deux cas tests :
  - Portes ouvertes
  - Portes fermées



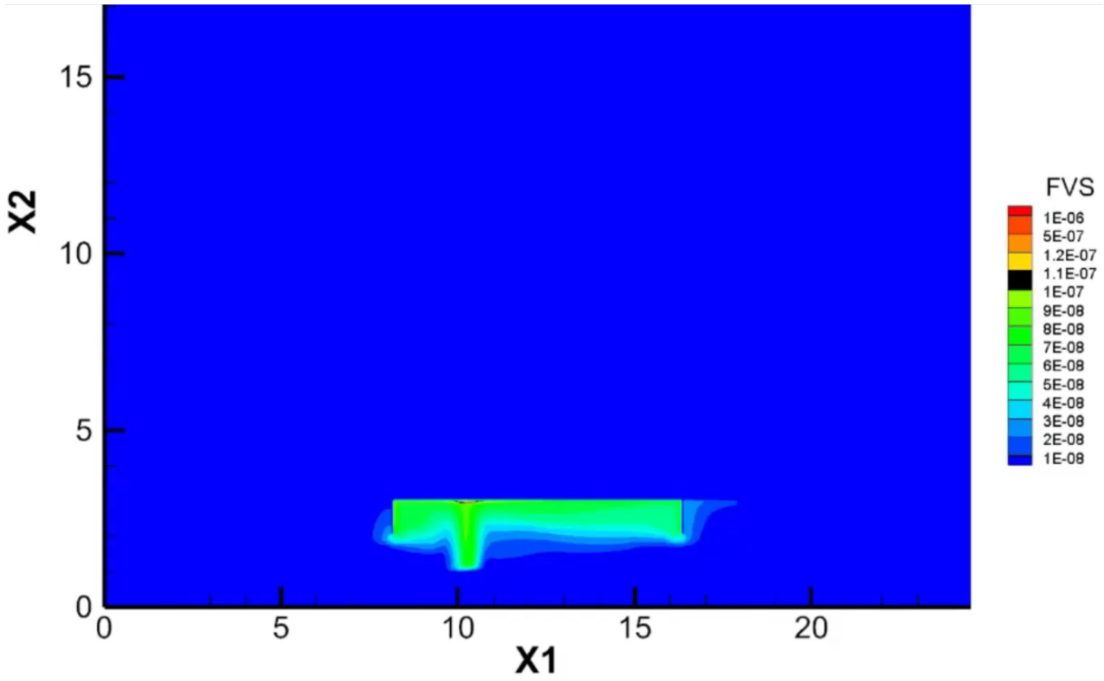
II. Applications

1. Immeuble civil

- Remplissage de l'immeuble lorsque les portes de secours sont fermées



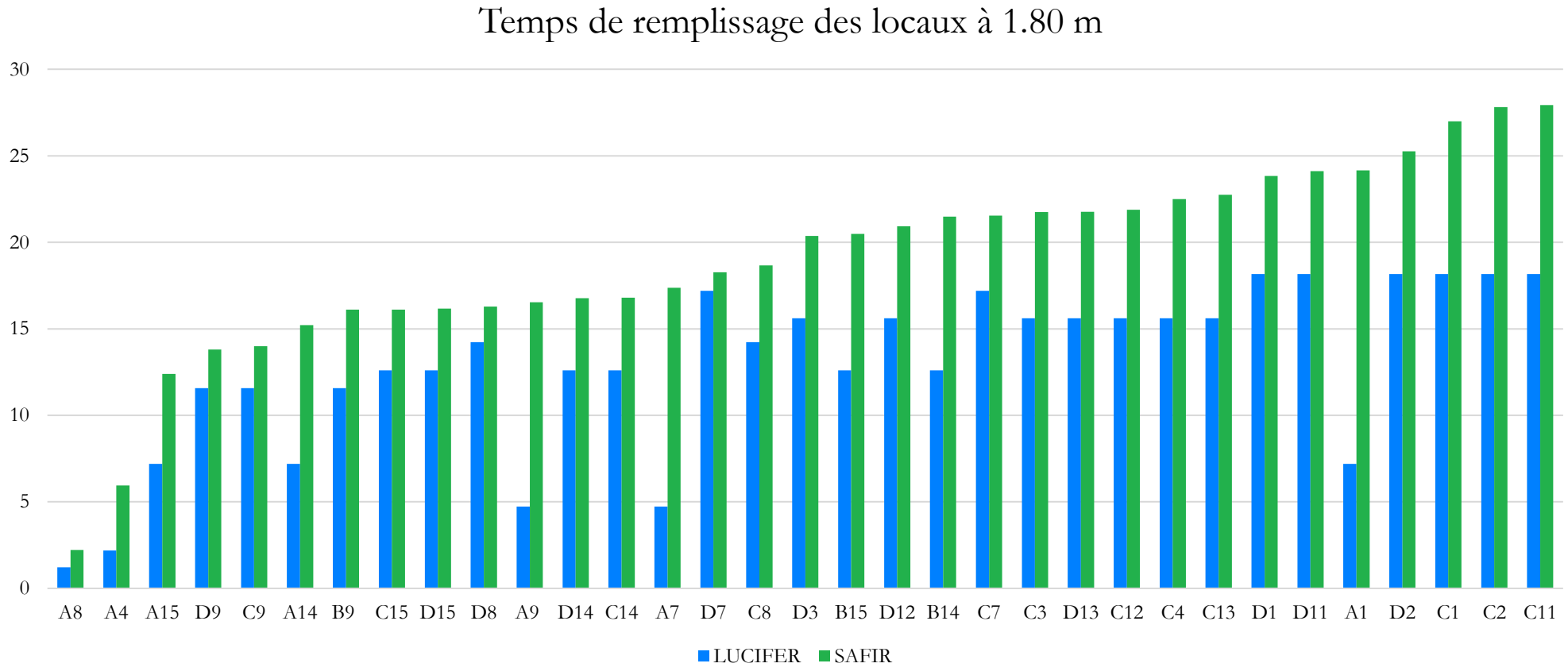
- Remplissage de l'immeuble lorsque les portes de secours sont ouvertes



II. Applications

1. Immeuble civil

Comparaison des résultats SAFIR vs. LUCIFER cas portes de secours ouvertes

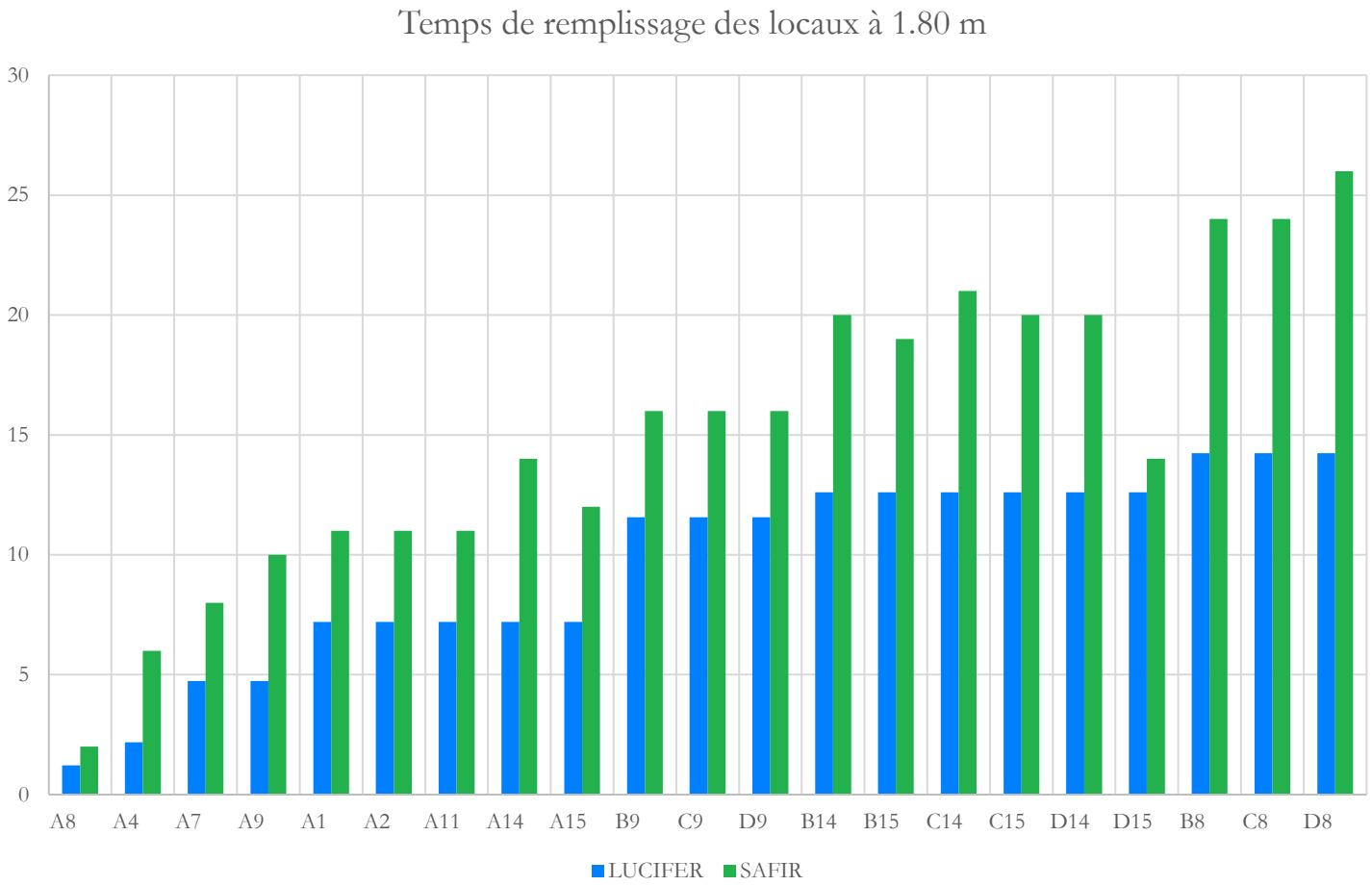


LUCIFER limité lorsque la ventilation génère une interaction local/structure

II. Applications

1. Immeuble civil

Comparaison des résultats SAFIR vs. LUCIFER cas portes de secours fermées



Chronologie de LUCIFER en accord avec celle de SAFIR

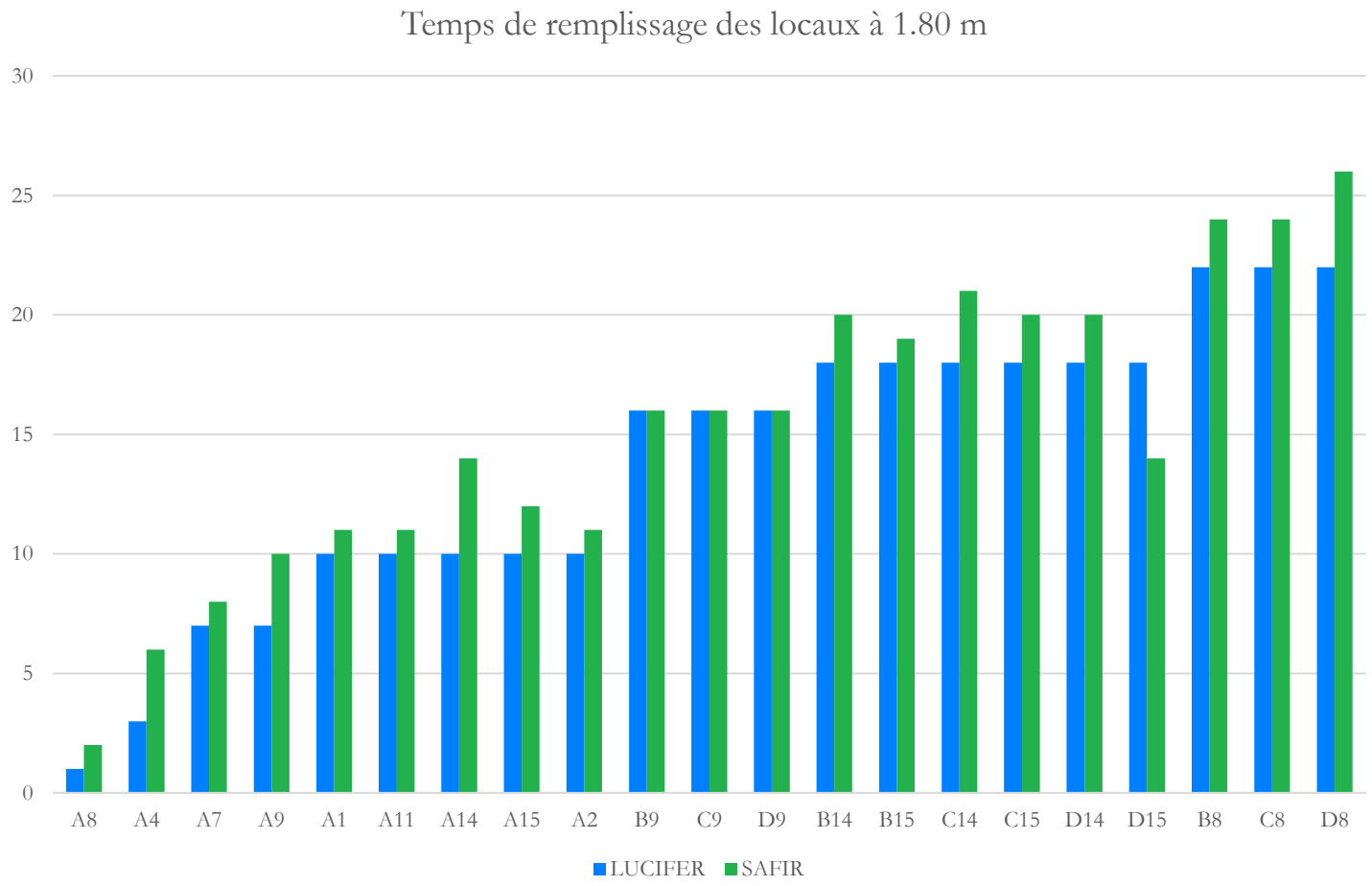
Mais, temps de remplissage trop rapides

Ralentissement/refroidissement des fumées lors de leur trajet

II. Applications

1. Immeuble civil

Comparaison des résultats SAFIR vs. LUCIFER cas fermé avec ralentissement / refroidissement des fumées



Chronologie de LUCIFER en accord avec celle SAFIR

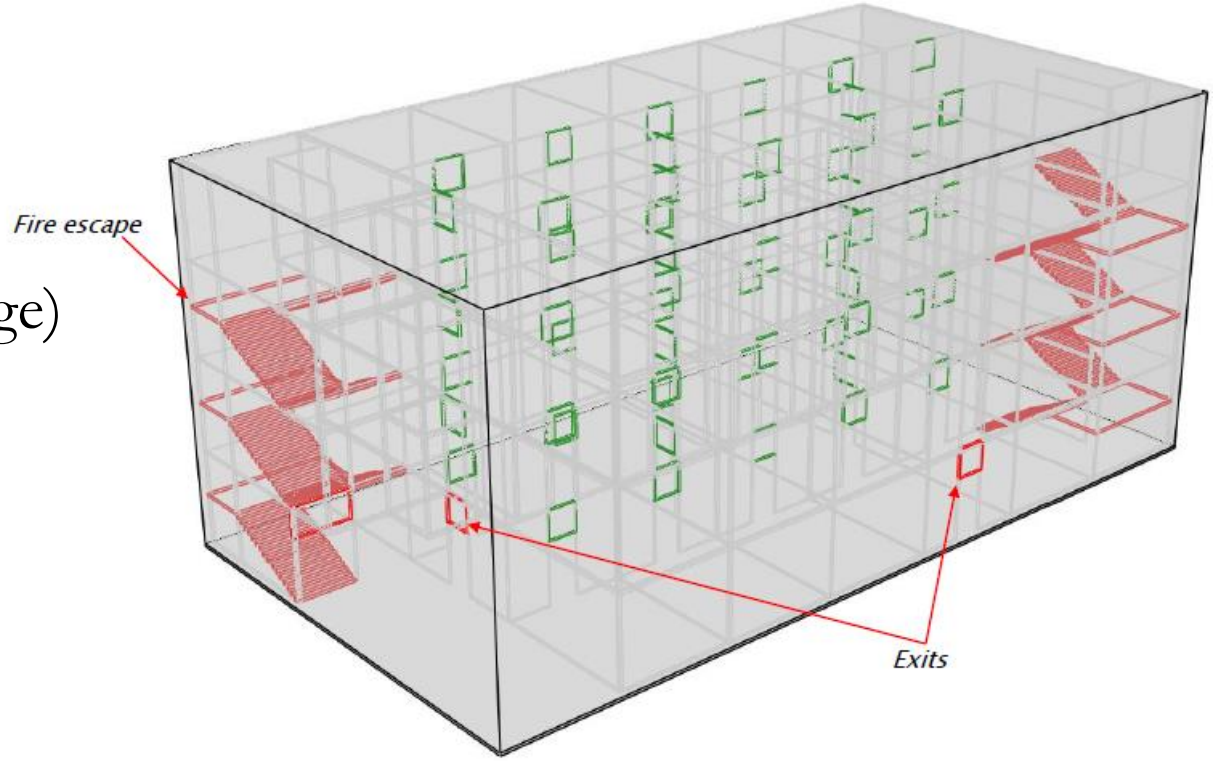
Temps de remplissage en accord avec ceux de SAFIR

II. Applications

1. Immeuble civil

- Evacuation :
  - 2 personnes par bureau
  - 5 personnes par couloir

  ➔ 146 pers.
  - 2 portes de sortie au RDC (1 m de large)
  - 1 porte de secours à chaque étage supérieur (2 m de large)

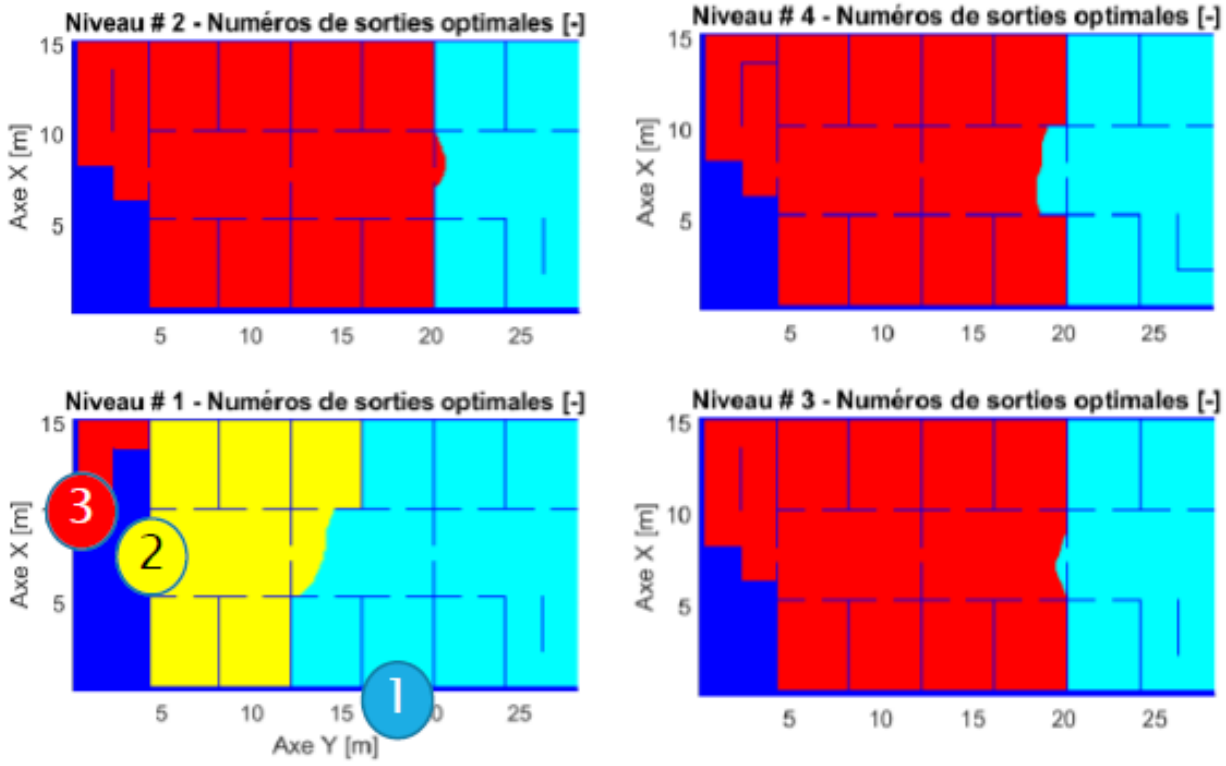


- Condition d'évacuation
  - Vitesse de marche : 1.5 m/s
  - Flux maximum de personne : 1.16 pers/s/m
  - Pas de temps 0.5 s

II. Applications

1. Immeuble civil

- 1, 2, et 3 sont les sorties principales
- Découpage en 3 zones en fonction de la sortie la plus proche
  - Sortie 3 utilisée par les étages supérieurs
  - Sortie 2 uniquement pour le premier étage

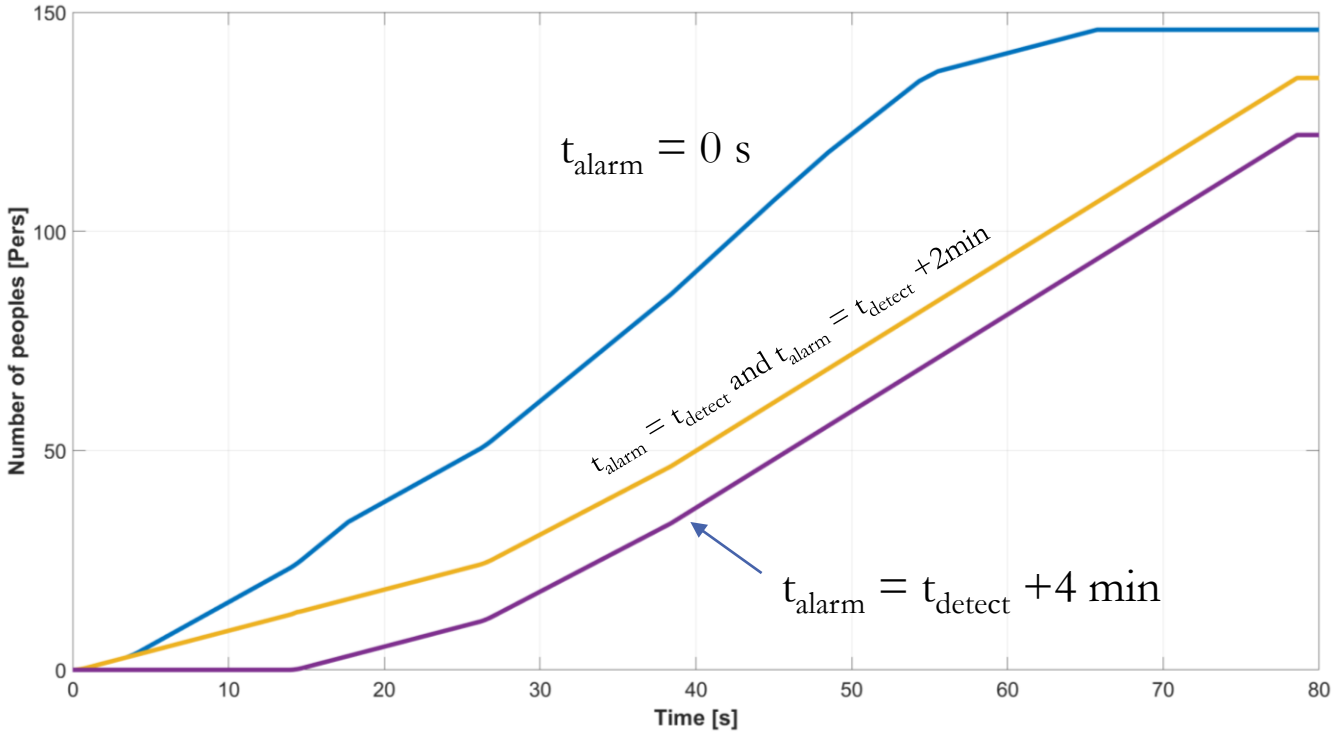


II. Applications

1. Immeuble civil

- 1, 2, et 3 sont les sorties principales

- Découpage en 3 zones en fonction de la sortie la plus proche
  - Sortie 3 utilisée par les étages supérieurs
  - Sortie 2 uniquement pour le premier étage



➔ Evacuation à t_{alarm} = 0 s, $t_{évac}$ = 65.8 s pour évacuer sans feu ni fumée ;

➔ Evacuation à t_{alarm} = t_{detect} (46°C), $t_{évac}$ = 78.6 s et **11 personnes bloquées** par le foyer ;

➔ Evacuation à t_{alarm} = t_{detect} + 2 min, $t_{évac}$ = 78.6 s et 11 personnes bloquées par le foyer ;

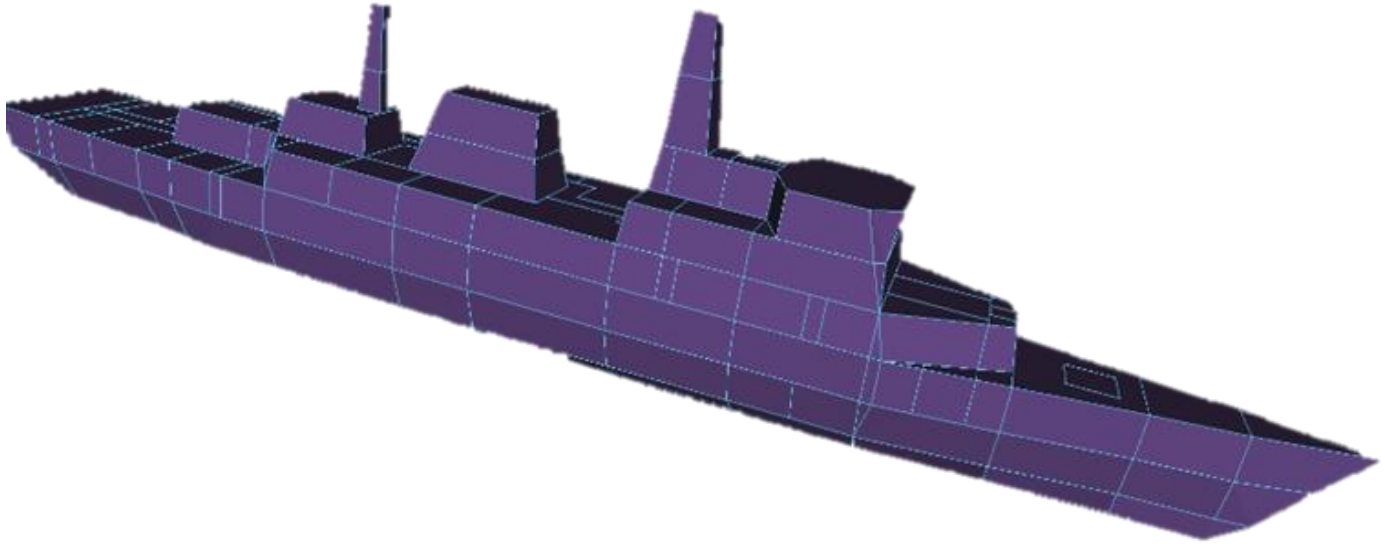
➔ Evacuation à t_{alarm} = t_{detect} + 4 min, $t_{évac}$ = 78.6 s et **24 personnes bloquées** par le foyer ;

II. Applications

2. Navire militaire : corvette

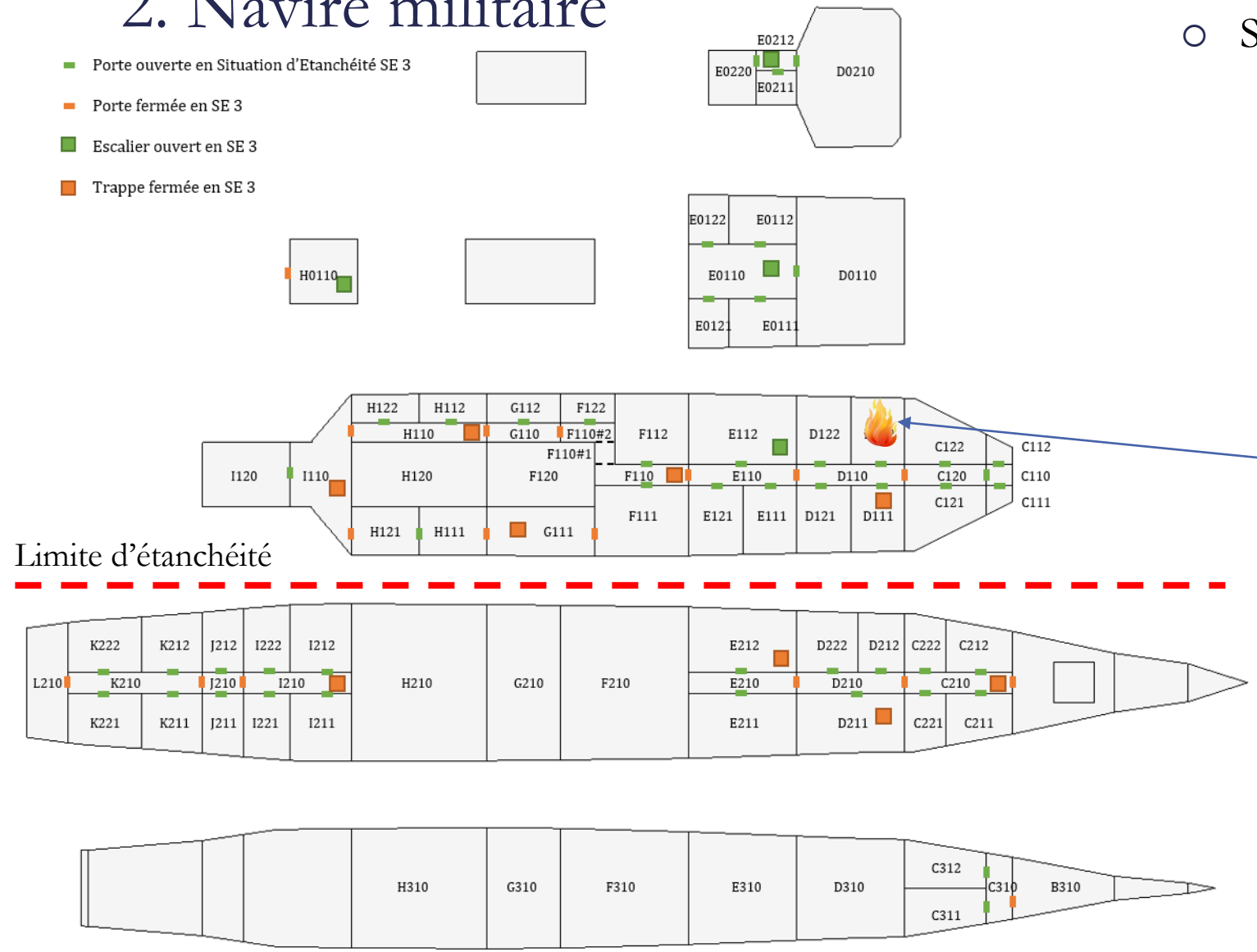
- 7 ponts
- 110 locaux dont 80 susceptibles de propager le feu
- Combustibles multi-matériaux en fonction du type de local

  ➔ combustibles équivalents : mousse polyuréthane (logement), heptane (énergie, atelier), bois (magasin) et PMMA (coursives, opérationnel)
- Critère de transmission par les parois : 350°C (Essais DIAMAN, matériaux cellulosiques, Y. Pizzo)



II. Applications

2. Navire militaire



- Situation d'étanchéité SE 3 :
  - Poste de veille
  - Portes et panneaux étanches fermés sauf au dessus de la limite d'étanchéité
  - Porte et panneaux non étanches ouverts

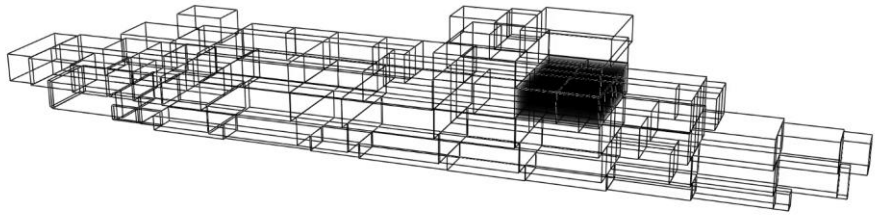
Déclenchement du feu dans le local D112

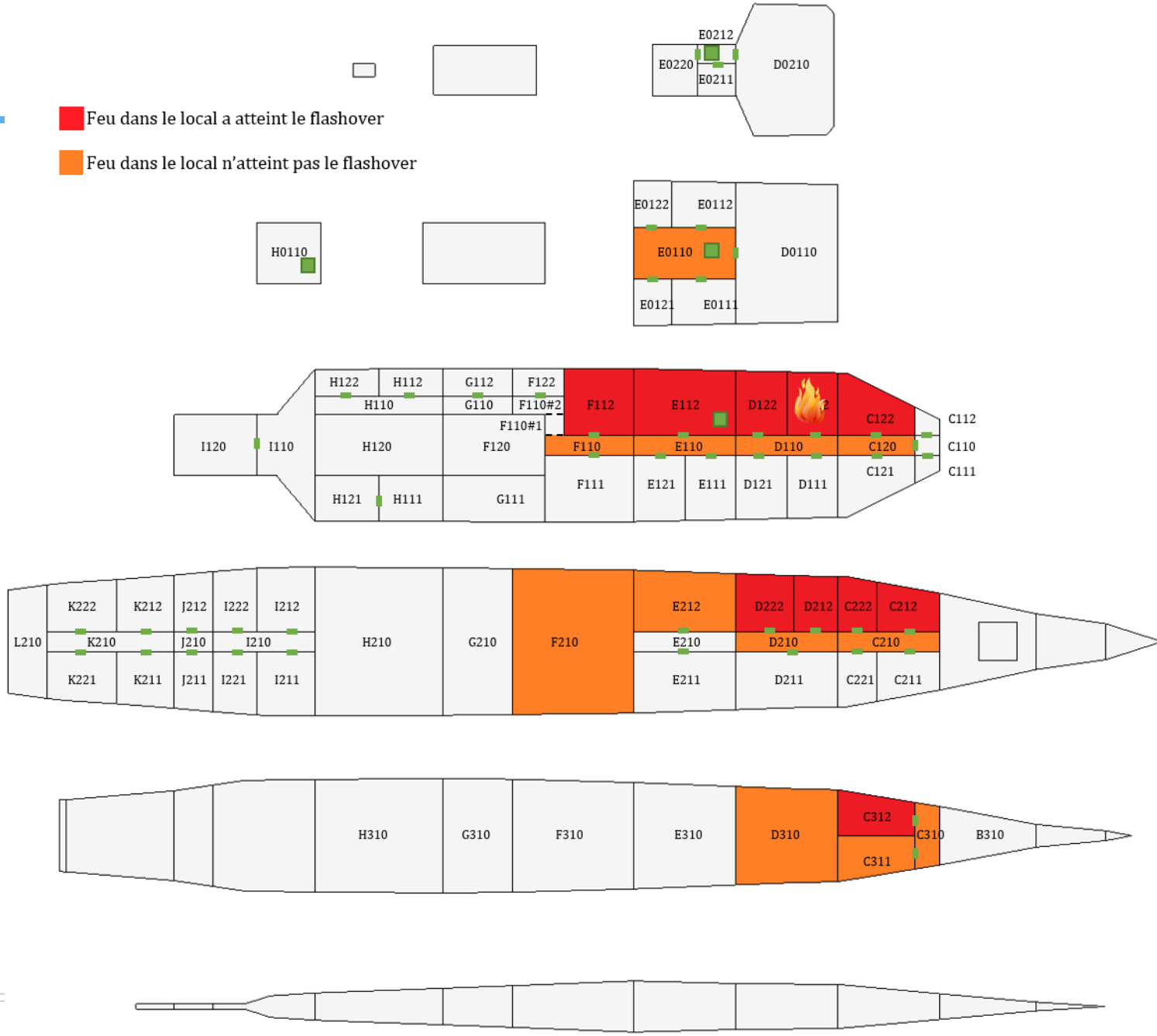
II. Applications

2. Navire militaire

Feu dans le local D112

- 2 h de feu
- 22 locaux touchés dont 10 avec flashover/ 12 sans flashover
- CPU time ≈ 2 secondes (pour 100 tirages statistiques)





PLAN

Contexte du projet

I. Présentation des modèles

II. Applications

1. Immeuble civil
2. Navire militaire

Conclusion

Conclusions et perspectives

- Développement d'une approche hybride couplant modèle à zones/modèle de réseau ……+ code CFD pour les fumées si interaction local/structure
- Démonstrateurs civil et militaire

- Pour la suite du projet :
  - Appliquer le modèle d'évacuation à la corvette
  - Application de l'approche complète à un navire roulier : le ro-pax Stena Flavia (SAFIR dans les grands espaces ro-ro)
  - Assimilation de données (détection, lutte) pour corriger en temps réel la cartographie du feu