



GDR-Feux Lille 13-14 Février 2020

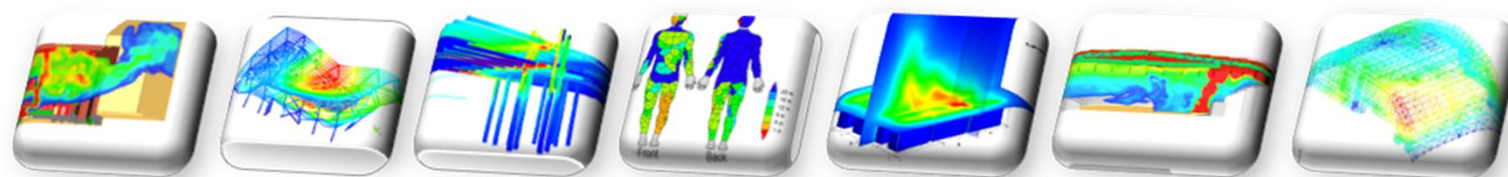
SIMULATIONS DES FLUX THERMIQUES RADIATIF ET CONVECTIF GÉNÉRÉS PAR UN FEU À L'INTERFACE FORÊT-HABITAT

Bruno Guillaume, Bertrand Girardin, Gildas Auguin, Bernard Porterie (IUSTI), Anne Ganteaume (IRSTEA)



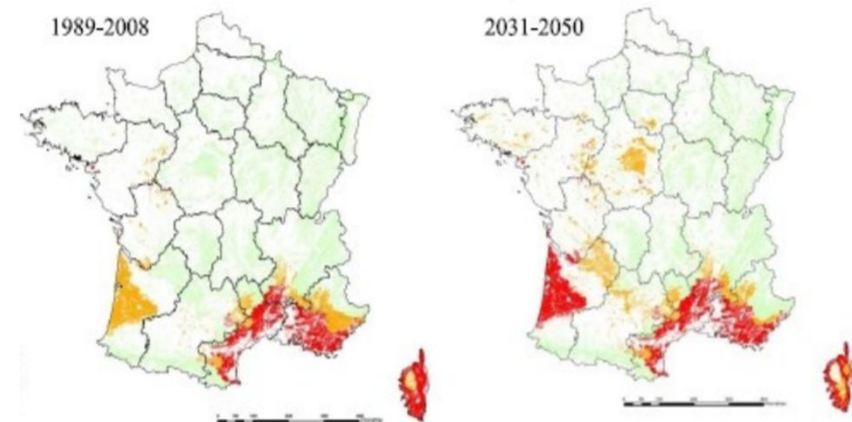
Efectis

CONTEXTE DES FEUX À L'INTERFACE FORÊT-HABITAT



EXTENSION DES ZONES À RISQUE

- ❑ **Extension des zones d'aléas:** augmentation des zones sensibles du fait du changement climatique



Source: rapport inter-ministériel 2010 sur l'extension des zones sensibles aux feux de forêt

- ❑ **Extension de la vulnérabilité:** pression d'urbanisation engendrant de plus en plus de zones à risque (mitage,...) => augmentation des zones d'interface habitat-forêt



Zone urbanisée en pleine pinède, à Cavalaire, dans le Var. Source: IRSTEA

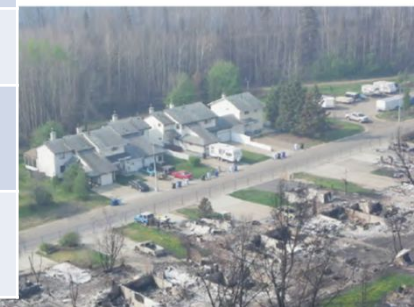
Risque majeur pour les forces d'intervention: risque de surchauffe, malgré la quantité de moyens engagés => ce phénomène est déjà présent certains étés en Catalogne espagnole

=> toutes les maisons ne peuvent plus être protégées

EFFETS DU FEU DE FORÊT ET MOYENS DE PROTECTION

Effet / Distance	<20m	20-50m	50-150m	>=150m
Contact direct flamme*	+++			
Flux radiatif*	+++	++		
Flux convectif (gaz chauds)*	++	++	++	
Brandons	+++	+++	+++	+++

Source: Rapport dégâts
FortMcMurray (Canada)
ICLR, 2017



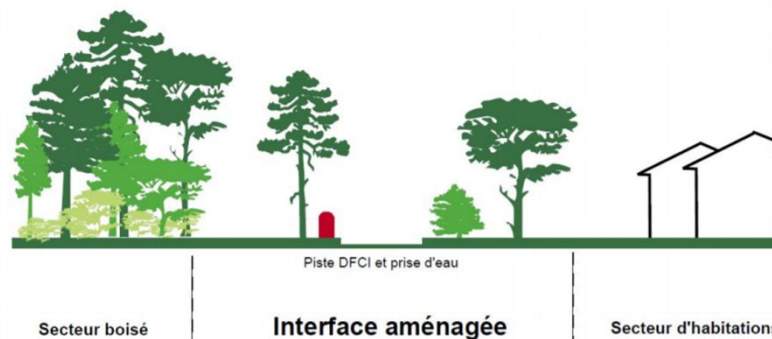
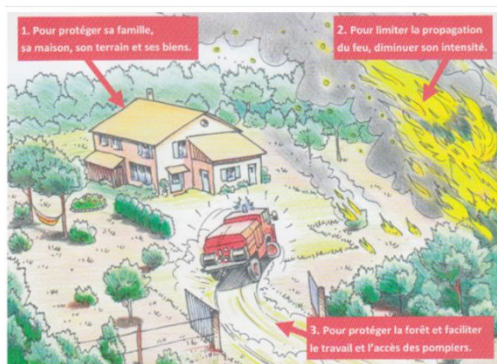
* Dépendant de la distance source-cible et en fonction de l'environnement

=> **Protection contre les effets dépendant de la distance :**

- débroussaillage sur profondeur de 50m ou 100m autour des bâtiments => discontinuité verticale et horizontale de végétation
- voie d'accès : chemins DFCI, voies d'accès pompier
- moyens en eau
- Classement au feu des bâtiments

=> **Protection contre les brandons: (cas extrême: 90% des dégâts à Fort McMurray 2016)**

- Etanchéité des bâtiments aux brandons
- Usages: pas d'accumulation de combustibles auprès des maisons



Source: FranSylva-PACA

ENTRETIEN DES MOYENS DE PROTECTION

Prise de conscience au Portugal après la catastrophe du Pedrogao Fire 2017

Importance des interfaces agricoles entre les villes et les forêts...



Edited by Jennifer Sills

Agricultural policy can reduce wildfires

Last year, once again, forest fires took their toll in southern Europe. In Portugal alone, at least 500,000 ha were burned, 100 people were killed, and 500 houses were lost (1, 2). As in most Mediterranean countries, wildfires raged mainly through abandoned farmland that has turned into forests and shrublands.

Agriculture is an important driver of European wildfires. It is a major source of fire ignitions (3, 4). Additionally, farmland abandonment and policies promoting forestry increase fire hazard, as they lead to vegetation growth and fuel build-up in the landscape (5). However, agriculture is also part of the solution. Agricultural areas, such as crops, orchards, and grasslands, are much less fire-prone, particularly if they include irrigated crops (5, 6). The European Union's Common Agricultural Policy (CAP) is a powerful financial instrument that can contribute to sustainable environmental management and climate change adaptation. The vision for CAP, recently proposed by the European Commission (7), addresses natural hazards from climate change, including fire, but focuses on farmers and their crops.

The CAP should assume a larger role in reducing fire hazard by addressing four priorities. First, CAP should foster the maintenance or reintroduction of extensive livestock grazing in areas prone to abandonment. Second, CAP should promote agricultural use in the wildland-urban interface, mainly around villages in remote areas where the historical surrounding agricultural area has been lost, resulting in vegetation succession and an

increased risk of economic damage and loss of human lives, as fires enter villages. These agricultural belts can passively protect urban areas and valuable infrastructures, in addition to facilitating both firefighting operations and the suppression of fire ignitions. Third, CAP should decrease fire ignitions by regulating the burning of crop residues, the use of fire by shepherds in mountain ranges, and the use of agricultural machinery during the dry season. Fourth, CAP should promote adequate forest management in high-fire risk areas, including protecting and restoring open woodland vegetation (such as wood pastures), giving preference to agro-forestry over dense tree plantations, restoring the use of understorey biomass as bio-energy to avoid accumulation of flammable material, and selecting native, less fire-prone, tree species in forestry (such as native oak species instead of pine or eucalyptus (5, 8)).

Megafires are mostly driven by weather conditions (9), and with climate change we should anticipate an increase in their frequency and impact, especially in southern Europe (10). The current strong investment in fire suppression, in a context of farmland abandonment, results in increased fuel loads and potential for larger future fires (11). The European agricultural policy should instead balance fire suppression with nature-based solutions. Multi-functional, fire-resilient, mosaic landscapes can maintain both natural and cultural assets and serve to reduce fire intensity and damage when burned.

Francisco Moreira^{1,2*} and Guy Pe'et^{3,4,5,6,7}
¹CIBIO/InBIO, University of Porto, 4485-601, Vairão, Portugal; ²CEABN/InBIO, School of Agronomy, University of Lisbon, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal; ³German Centre for Integrative Biodiversity Research (Div) Halle-Jena-Leipzig, 04103, Leipzig, Germany; ⁴University of Leipzig, 04109, Leipzig, Germany; ⁵UFZ-Helmholtz Centre for Environmental Research, 04318, Leipzig, Germany; ⁶Corresponding author. Email: fmoreira@cibio.up.pt

REFERENCES

1. S. Gómez-González et al. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **25**, 104 (2018).
2. "Portugal fires burn 500,000 hectares, nearly 60 percent of EU total" Reuters (2017). www.reuters.com/article/us-portugal-fire-area/portugal-fires-burn-500000-hectares-nearly-60-percent-of-eu-total-idUSKBN02N274.
3. A. Canteuano et al. *Environ. Management* **51**, 651 (2013).
4. F.X. Catry, F.C. Rego, F.L. Bação, F. Moreira. *Int. J. Wildland Fire* **18**, 503 (2009).
5. F. Moreira. *J. Environ. Management* **92**, 2389 (2011).
6. S. Oliveira, F. Moreira, R. Boca, J. San-Miguel-Ayanz, J. Pereira. *Int. J. Wildland Fire* **23**, 1501 (2013).
7. European Commission. "The future of food and farming: Communication from the Commission to the European Parliament" (European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, 2017).
8. F. Moreira, P. Vaz, F. Catry, J. Silva. *Int. J. Wildland Fire* **18**, 563 (2009).
9. P.M. Fernandes, A.M.G. Barros, A. Pinto, J.A. Santos, J. Geophy. *Res. Biogeosci.* **12**, 2141 (2015).
10. W. Li, J. Jolly et al. *Nat. Commun.* **6**, 7537 (2015).
11. R. D. Collins, R. deNeuville, J. Clark, T. Oliveira, A. P. Pacheco. *J. Environ. Management* **130**, 1 (2013).

10.1126/science.aat1359

Rethinking wildfires and forest watersheds

In December 2017, wildfires burned large swaths of southern California, dramatically ending an already destructive wildfire season in the United States. The 2017 wildfire season burned more than 3.9 million hectares in the United States, the third-most area burned in 1 year since 1960 (1). The largest of the fires, the Thomas Fire in Ventura County, CA, burned more than 1140 km², including thousands of structures, forcing more than 100,000 residents from their homes (2).

The devastating impacts of the most recent wildfire season are consistent with the trends of increasing occurrence of large wildfire activity, longer wildfire durations, and longer wildfire seasons that have been evident since the mid-1980s (3). Similar trends of increasing wildfire activity have occurred elsewhere in the world, including

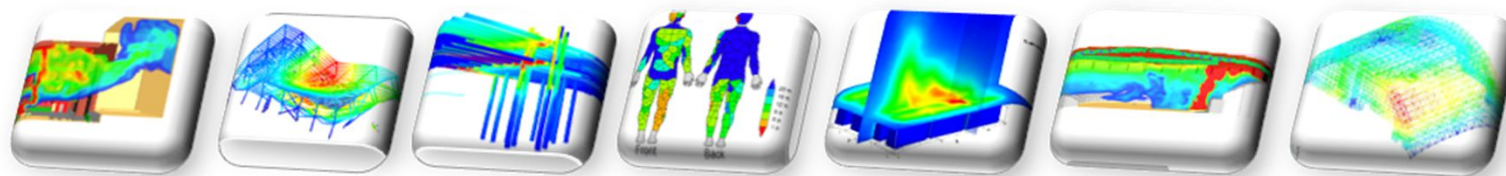
Le Portugal a déployé 18 500 chèvres pour lutter contre les feux de forêt

Cette opération expérimentale va mobiliser une quarantaine de bergers pendant 5 ans. Payés 25 euros pour chaque hectare nettoyé, le retour des bergers dans les collines portugaises permet de repeupler des régions fortement touchées par l'exode rural. Le phénomène est tel qu'il est à l'heure actuelle plus difficile pour le gouvernement de trouver des bergers que des subventions pour financer le projet.



Efectis

CONTEXTE SCIENTIFIQUE ACTUEL ET OBJECTIF DE L'ETUDE



CONTEXTE

Effet / Distance	<20m	20-50m	50-150m	>=150m
Contact direct flamme	+++			
Flux radiatif	+++	++		
Flux convectif (gaz chauds)	++	++	++	
Brandons	+++	+++	+++	+++

Pendant longtemps dans les modèles d'effets des incendies de forêt sur les bâtiments, seuls la flamme directe et le radiatif étaient pris en compte, le flux convectif n'étant pas influant dans les 20 premiers mètres était négligé.

Durant les 10 dernières années, revisite grâce à l'amélioration des mesures du flux convectif (Butler 2014, Finney 2018).

=> or, le flux convectif est critique pour la réglementation dans la zone des 50-150m autour du bâtiment

Les modèles physiques (WFDS-FDS, Porterie CFD, modèle M2P2) reproduisent tous les phénomènes fonction de la distance, alors que les modèles semi-empiriques reproduisent rarement la convection des gaz chauds.

Note1: sur les brandons, nombreuses études sur plusieurs caractéristiques (distance max atteignable SALTUS, Porterie...,...), mais la reconstitution par modélisation de départs de feu à partir de sautes implique beaucoup trop de paramètres pour être validée dans la réalité : face à une forêt susceptible d'émettre des brandons lors d'un feu, toute zone potentielle d'accumulation située à côté de combustible doit être vue comme un potentiel point de départ

Note2: la phénoménologie des incendies de forêt beaucoup plus large sur les feux extrêmes : tornades/tourbillons de feu, downdraft (cas de Pedrogao Fire, selon enquête nationale par DX Viegas et al.),..., encore peu explorés par les modèles (problème de rareté des mesures): l'occurrence d'un tel phénomène juste à côté d'une maison est extrêmement peu probable

OBJECTIF

Objectif général: Avoir un modèle rapide d'effet des incendies de forêt sur les bâtiments à méso-échelle (quartier):

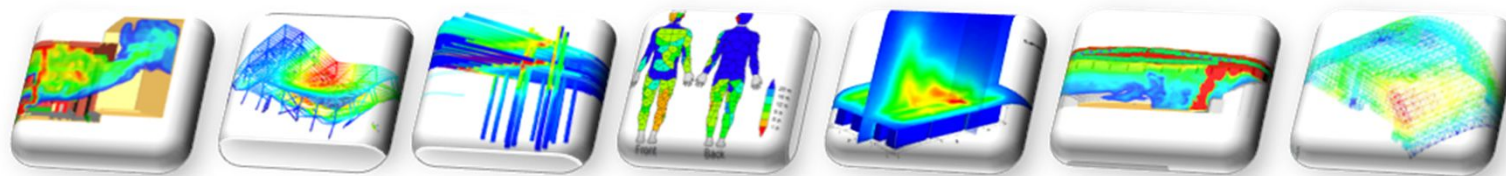
- qui tienne bien compte de tous les effets modélisables,
- et qui soit cohérent dans ses effets avec un modèle numériquement plus coûteux à micro-échelle (bâtiments individuels)

Objectif étude: Comparaison simple inter-modèles des flux thermiques (radiatif et convectif) reçus par une cible lors d'un incendie de forêt, tels que modélisés par :

- (1) un modèle physique: FDS ;
- (2) un modèle semi-empirique: SWIFFT ;
- (3) des formules analytiques (pour les flux radiatifs uniquement).

Efectis

PRÉSENTATION DES MODÈLES



PRÉSENTATION DES MODÈLES

FDS utilisé pour les incendies de forêt :

- Modèle physique CFD-LES, intégrant en 3Dxtemps tous les processus relatifs au développement d'un incendie de structure
- très récente version FDS 6.7.1 (début 2019) réintègre bien de WFDS les éléments végétaux 3D, moins bien les végétaux 2D décrivant la surface (Mell, pers. comm.)
- Note: ici dans l'étude, on utilise des sources fixes (HRRPUA imposé) pour étudier la dynamique des flux thermiques reçus à distance par des capteurs (remarque: ne contient pas la turbulence liée à la radiation)



Intérêt: permet de tourner très précisément (25cm résolution maximale recommandée pour cette problématique), mais à micro-échelle (ou bien avec très gros moyens de calcul)

SWIFFT: Porterie et al. (2007), Fernandez et al (2017):

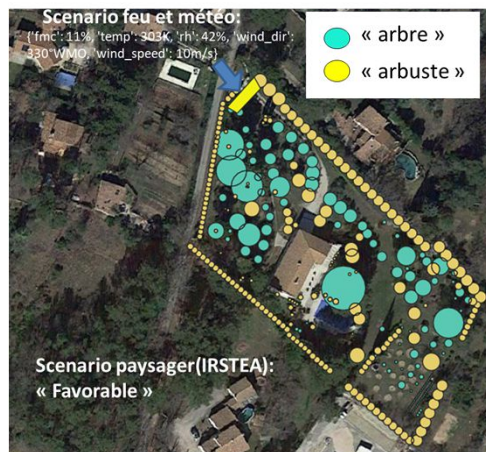
- Modèle semi-empirique « Petit Monde » IUSTI, intégrant en 2D½xtemps des paramétrisations :
 - 1/ des flux thermiques émis par le feu de forêt;
 - 2/ de l'échauffement/inflammation/combustion des éléments végétaux;
 - 3/ des flux thermiques reçus par les bâtiments et d'un niveau de dégât de façade fonction d'un critère de criticité



Intérêt: permet de tourner à méso-échelle dans des temps de calcul adaptés



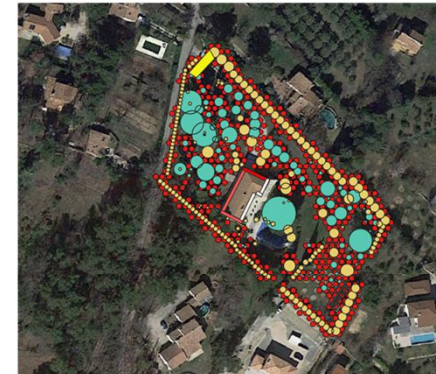
APPLICATION DE SWIFFT A UN JARDIN AVEC VÉGÉTATION ORNEMENTALE



T=10s



T=150s



Intensité de feu

- très faible (<=350kW/m)
- faible (350-1700kW/m)
- moyen (1700-3500kW/m)
- élevé (3500-7000kW/m)
- très élevé (7000-20000kW/m)
- exceptionnel (>=20000kW/m)

Dégâts de façade

- pas de degat
- degat exterieur leger
- degat exterieur moyen
- degat exterieur lourd

Dégâts importants sur les façades les plus exposées – les arbres continuent à brûler pendant 2-5min, augmentant le transfert thermique vers les façades et donc les dégâts
 => Il faut :

- (1) que les arbustes soient plus éloignés des façades,
- (2) que les branches basses des arbres soient supprimées

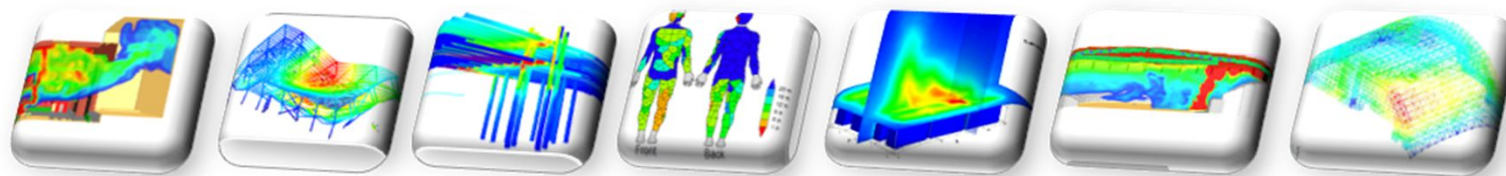
Limitations:

- pas de contamination directe de canopée (exit: brandon attaquant la canopée),
- nombre de strates végétales <=2 (exit: herbe + arbuste + couronne d'arbre)

Note: Equivalent grille FDS sur toute la zone à 25cm de résolution = 30Mio cellules (150mx80m - au moins jusque 40m de hauteur) -Simulations avec de très nombreuses particules de végétation

Efectis

COMPARAISON INTER-MODÈLES DES FLUX RADIATIFS



SCHÉMAS DE MODÉLISATION

☐ Comparaison 1 entre:

- Formules analytiques:
 - ✓ Mur de flamme (base: Tien, Lee, Stetten)
 - ✓ Source cylindrique (base: Shokri and Beyler)

et

- Schéma radiatif de SWIFFT: résolution par méthode Monte Carlo « ray tracing » (Billaut et al., 2011)

☐ Comparaison 2 entre:

- Formules analytiques:
 - ✓ Mur de flamme (base: Tien, Lee, Stetten, Heskestad)

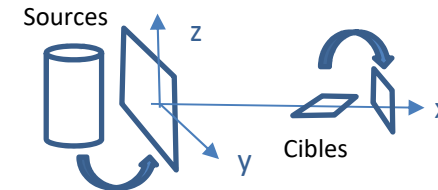
et

- Schéma radiatif de FDS: solver volume finis de l'équation RTE (NIST)

COMPARAISON 1 : SWIFFT VS FORMULES ANALYTIQUES

❑ Configuration du cas test:

- 1/ Panneau radiant avec même pouvoir émissif, uniforme sur la surface de la source : 25kW/m²
- 2/ Deux configurations :
 - ✓ Mur de flamme rectangulaire L=8m x H=14m
 - ✓ Cylindre D=8m x H=14m



❑ Résultats:

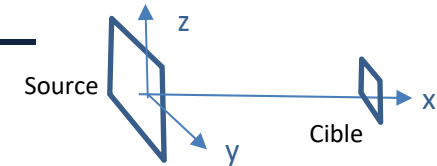
EP=25kW/m ²		Flamme panneau "mur de flamme": Lx=8m, LF=14m - Flux reçu (kW/m ²)		
		MonteCarlo	Formule analytique (Tien, Lee and Stetten)	Formule analytique (Tien, Lee and Stetten)
Distance pied de flamme-cible (m)		Cible horizontale 1mx1m, située à z=0m	Cible verticale 1mx1m, située à z=0m	Cible verticale 1mx1m, située à z=1m
1		10	12	21
5		4.6	6.9	8.5
10		1.7	3.6	4.1
15		0.9	2.2	2.3
20			1.4	1.5
25			0.96	0.99

EP=25kW/m ²		Flamme cylindrique: Diamètre=8m, LF=14m - Flux reçu (kW/m ²)			
		MonteCarlo	MonteCarlo	MonteCarlo	Formule analytique (Shokri and Beyler)
Distance pied de flamme-cible (m)		Cible horizontale 1mx1m, située à z=0m	Cible verticale 1mx1m, située à z=0m	Cible verticale 1mx1m, située à z=1m	Cible verticale 1mx1m, située à z=0m
1		6.4	14.3	18.4	9.9
5		1.9	4.7	7.3	5.4
10		1.37	3.35	3.7	3.2
15		0.9	2.2	2.2	2
20			1.43	1.5	1.4
25			0.97	1	1

❑ Conclusions:

- - Pour flamme cylindre ou mur de flamme, la cible horizontale reçoit nettement moins de flux à même distance de la source que la cible verticale
- - Pour flamme cylindre ou mur de flamme, MonteCarlo (module de SWIFFT) et solution analytique TLS comparent bien à distance de la flamme, moins bien proche de la flamme

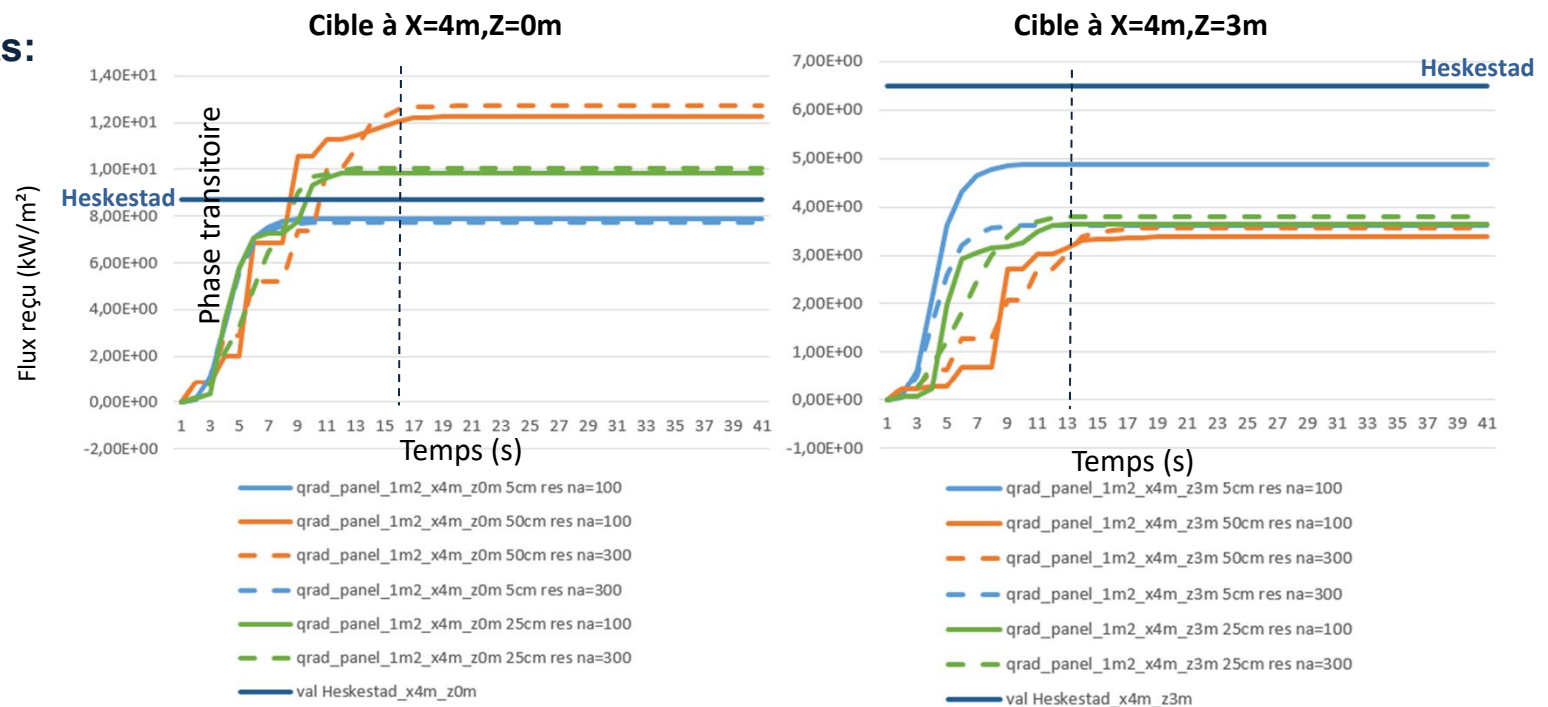
COMPARAISON 2 : FDS VS FORMULES ANALYTIQUES



Configuration du cas test:

- Panneau radiant avec même pouvoir émissif : 147kW/m^2
- Mur de flamme rectangulaire $L=2\text{m}\times H=2\text{m}$
- FDS à 3 résolutions différentes de grille (5cm, 25cm, 50cm) et 2 valeurs de nombre d'angles solides (100 et 300), comparé à formule analytique Heskestad

Résultats:

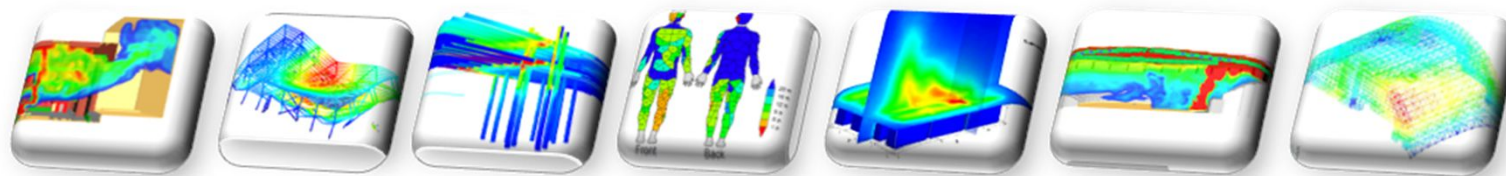


Conclusions:

- Sur-estimation FDS pour la cible à $z=0\text{m}$ et sous-estimation FDS pour la cible à $z=3\text{m}$
- Grande sensibilité à la résolution de grille de la méthode FVM du transport de chaleur par radiation, particulièrement à 0m de hauteur

Efectis

COMPARAISON INTER-MODÈLES AVEC FLUX CONVectif



OBSERVATION DU PHÉNOMÈNE

- Panache de gaz chauds sous l'effet de rafales de vent
 - Petit feu: brûlage agricole fixe
 - Rafales mesurées d'intensité 5m/s, stabilité atmosphérique neutre



OBSERVATION (2)

☐ Panache sous effet de rafales de vent

- Images toutes les 15s



SCHÉMAS DE MODÉLISATION

Comparaison flux convectif entre:

- SWIFFT:
 - modélisation 1D (suivant x): flux=f(distance source-cible)
 - intermittence de durée arbitraire (basée sur l'observation montrée précédemment, typique de vent rafaleux comme le Mistral):
 - 3/4 temps: flux=0 : le panache s'élève et ne touche pas la cible ;
 - 1/4 temps: flux_max: le panache touche la cible -> modélisation en écoulement turbulent sur plaque plane

$$q_{conv}^+(i) = h(T_f - T_j)e^{-0.3d_{ij}/L_f}$$

où h est le coefficient de transfert convectif d'un écoulement turbulent sur une plaque plane

d_{ij} est la distance entre le centre des sites i et j

- FDS:
 - modélisation 3D : flux=f(fonction de la distance source-cible, dispersion xyz du panache, profil atmosphérique)
 - flux_max: on impose un vent de vitesse maximale rafaleuse pendant 1min

RÉSULTATS

Configuration du cas test:

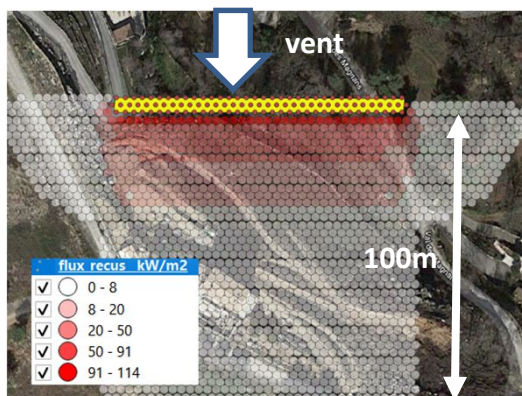
HRRPUA = 3MW/m², longueur de flamme=10m,

vitesse de vent rafaleux=5m/s à 2m du sol, cible verticale de 1mx1m située à z=0m

Résultats:

Distance source-cible / Modèle	SWIFFT flux radiatif reçu (kW/m ²)	FDS flux radiatif reçu (kW/m ²)	SWIFFT flux convectif reçu max (kW/m ²)	FDS flux convectif reçu max (kW/m ²)
30m	3.8	7,0 ± 2,1	6.5	7,1 ± 1,1
50m	0	1,0 ± 0,2	3.4	3,3 ± 0,4
70m	0	0,5	1.3	1,2 ± 0,2

SWIFFT



FDS

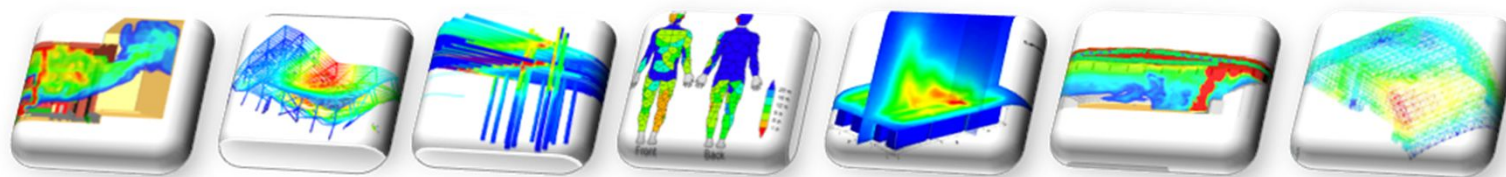


Conclusion:

- Bonne comparaison : 30m,50m,70m entre les 2 modèles

Efectis

CONCLUSION



CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Comparaisons encourageantes :

1/ sur le radiatif entre chaque modèle et les formules analytiques

2/ sur le radiatif et le convectif entre les 2 modèles

=> pour le flux convectif, besoin de calibrer les modèles sur des observations de vent à haute fréquence typiques de rafales

