

# Simulation du transport et diffusion atmosphérique de pyro-météores par méthode eulérienne dans un modèle atmosphérique

35èmes journées du Groupe du RésoFeux  
10 et 11 juillet 2025  
ASNR, Fontenay-aux-Roses

**Alberto Alonso Pinar**

Alexander Filkov - Jean Baptiste Filippi<sup>1</sup>

Gonfaron – Var 2021



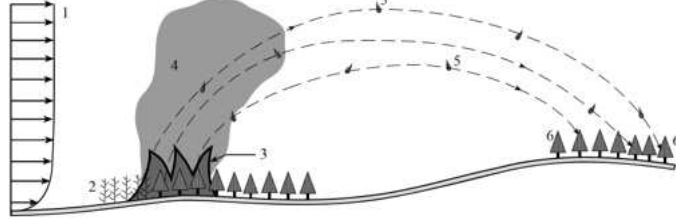


De grandes forces d'arrachement



# Introduction – Sautes de feu (Spotting)

Figure 1 – Spotting (Oliveira et al 2014).



Bear Fire (09/2024, California). Enregistré par le Nevada Seismological Laboratory.

Propagation du feu à l'avant du front en raison de transport de braises, mécanismes :

- Génération
- Transport
- Allumage
- Combustion
- Atmosphériques
- Topographiques

**Principale cause de perte d'habitat lors des feux de forêt**

Des conditions extrêmes peuvent entraîner des distances de ~ 30 km

Lacunes dans les connaissances sur le transport de brandons

Influence de la topographie

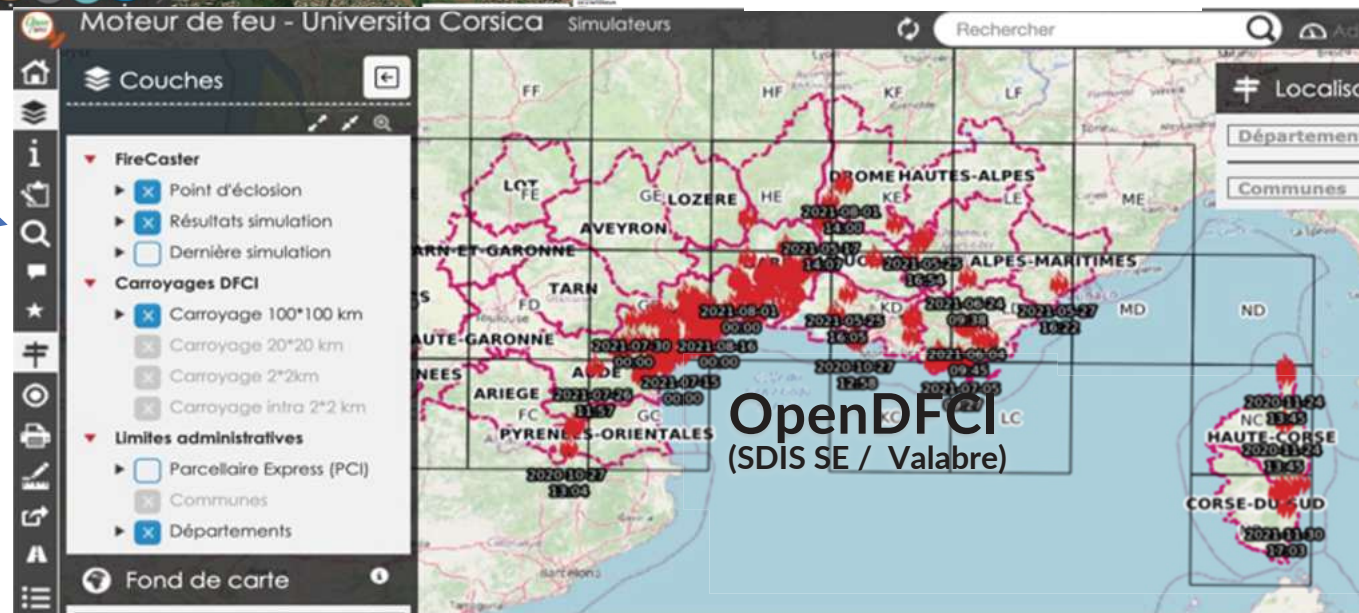
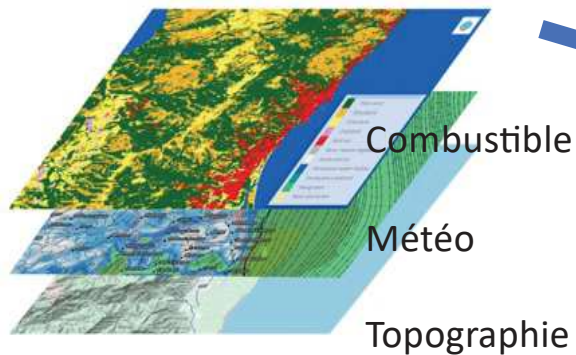
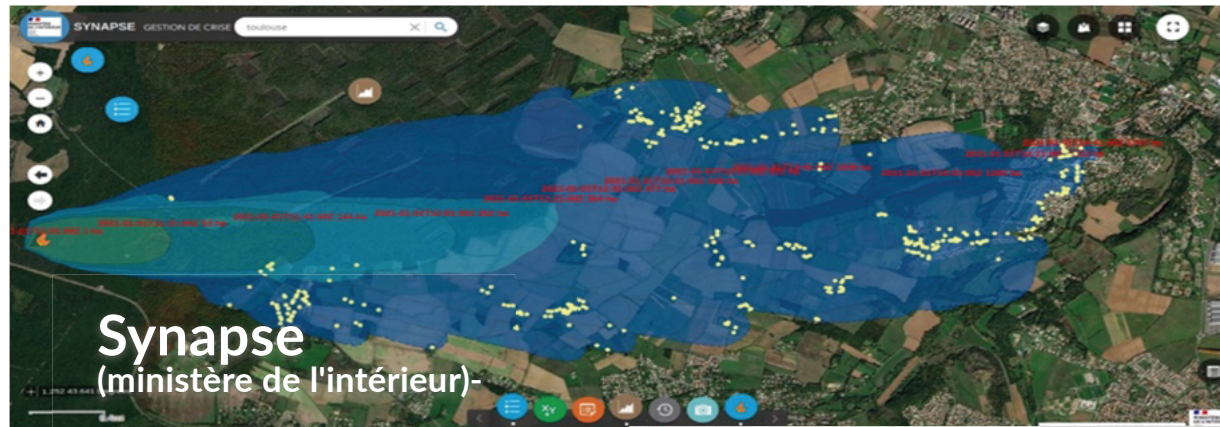
Rôle de l'atmosphère important

**Objectif : 12h de prévision numérique des sautes de feu 1h après éclosion**

**Système grande échelle complexe: Convection, Cisaillements...**

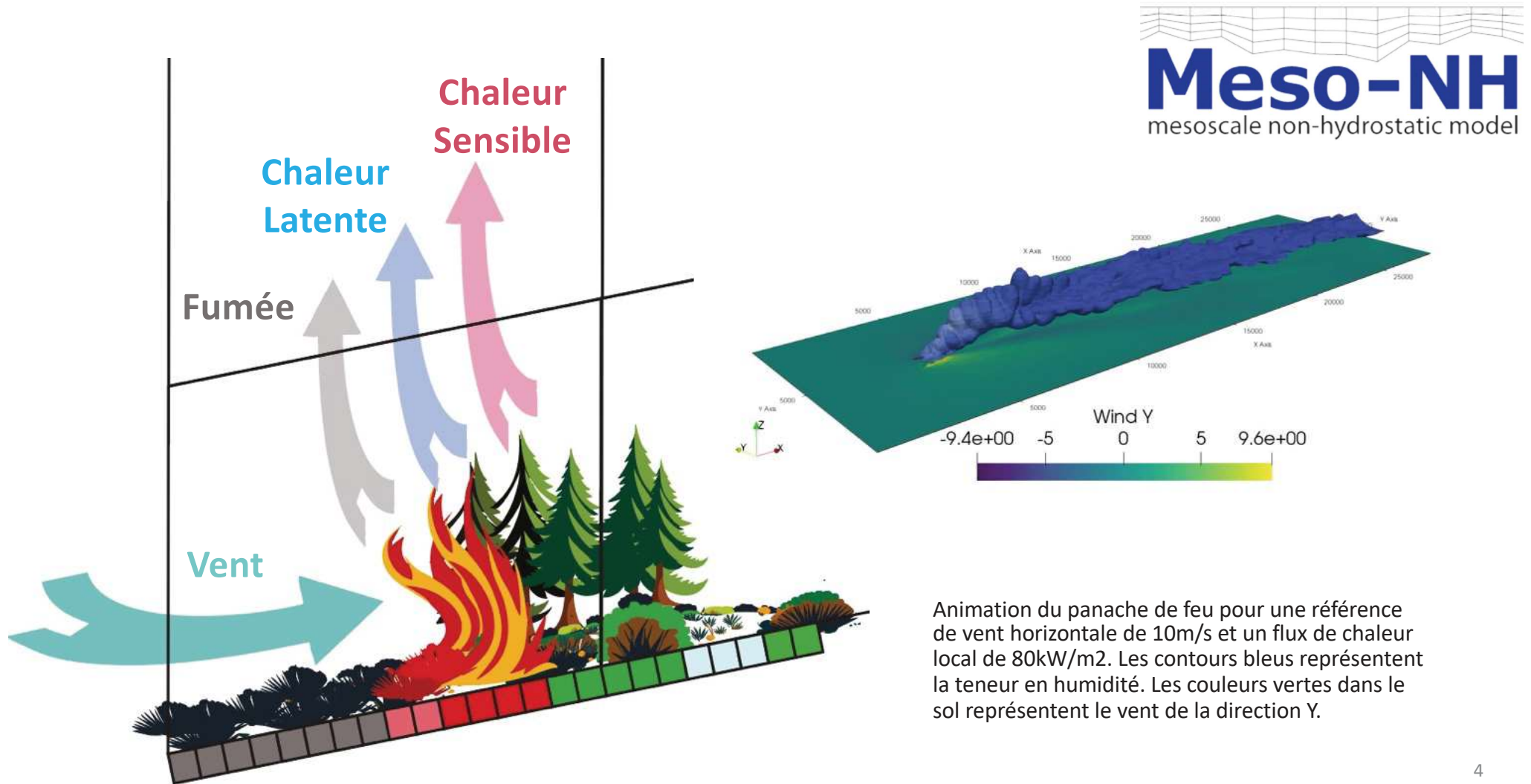


# Code Incendie - ForeFire (CNRS/SPE) outil opérationnel national





# Couplage Feu-Atmosphère –MesoNH (CNRS/Météo-France)



## **Objectif : 12h de prévision numérique des sautes de feu 1h après éclosion**

### **Stratégie :**

- Implantation de modèles complets (ex: Sardoy et al. (2007)) (Lagrangien)
- Test des modèles complets (Lagrangien)
- Implantation et proposition de modèles réduits (Lagrangien)
- Implantation Eulérienne et couplage modèle de propagation



# Modélisation complète

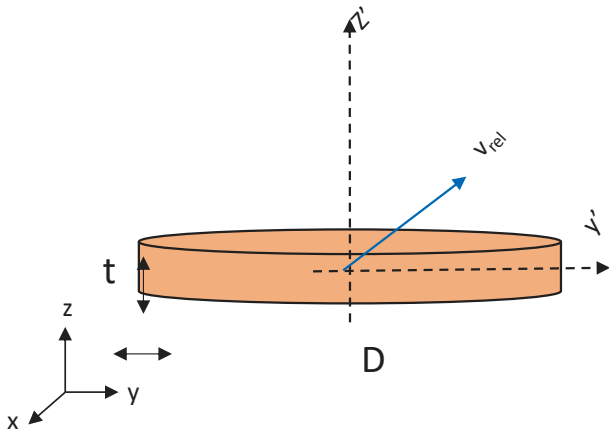
Transport (1) par brandon est calculé à l'aide de différents modèles

$$\frac{dx}{dt} = v, \quad \frac{d\rho V v}{dt} = F_D + F_L + mg, \quad (1)$$

Forces aérodynamiques (Trainée (2) et Portance (3))

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_{atm} S C_D |v_{rel}(t)| v_{rel}(t), \quad (2)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho_{atm} S C_L \frac{\mathbf{z}' \cdot \mathbf{v}_{rel}(t)}{|\mathbf{v}_{rel}(t)|} \times \mathbf{v}_{rel}(t), \quad (3)$$



Brandon type disque

Rotation (4)

$$I \frac{d\omega}{dt} + \omega \times I \omega = \delta_{cp} \mathbf{z}' \times (F_D + F_L), \quad (4)$$

Combustion

# Modélisation réduite

**Peut on réduire cela à une durée de vie et des vitesses de chutes terminales ?**

- Temps de calcul /1000 (pas de rotation, pas de calcul de trainée, combustion constante, moins de contrainte sur le pas de temps)

Vitesse de chute dépendant de la taille de la particule  $\lambda$  (Tarifa et al., 1965):

$$w_g = \sqrt{2g \frac{\rho_0}{\rho_{atm}} \lambda}$$

Prise en compte de l'Energie cinétique turbulente (TKE) en sous maille pour la diffusion :

$$v_x = u_x + \gamma TKE^{0.5}$$

$$v_y = u_y + \gamma TKE^{0.5}$$

# Tests sur différentes topographies

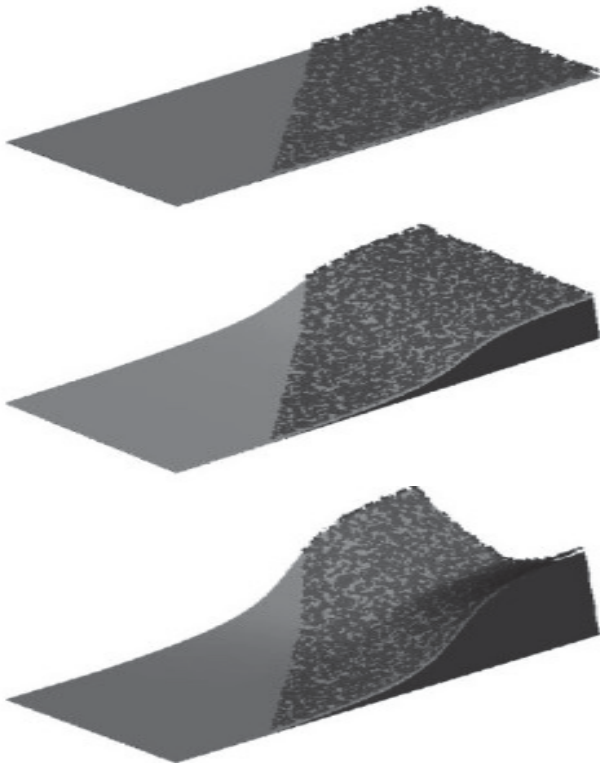


Figure 5 - Topographies used in the simulations. Extracted from *Coupled influences of topography and wind on wildland fire behaviour*, Linn et al., 2007.

## Topographies

- Plat
- Colline
- Canyon

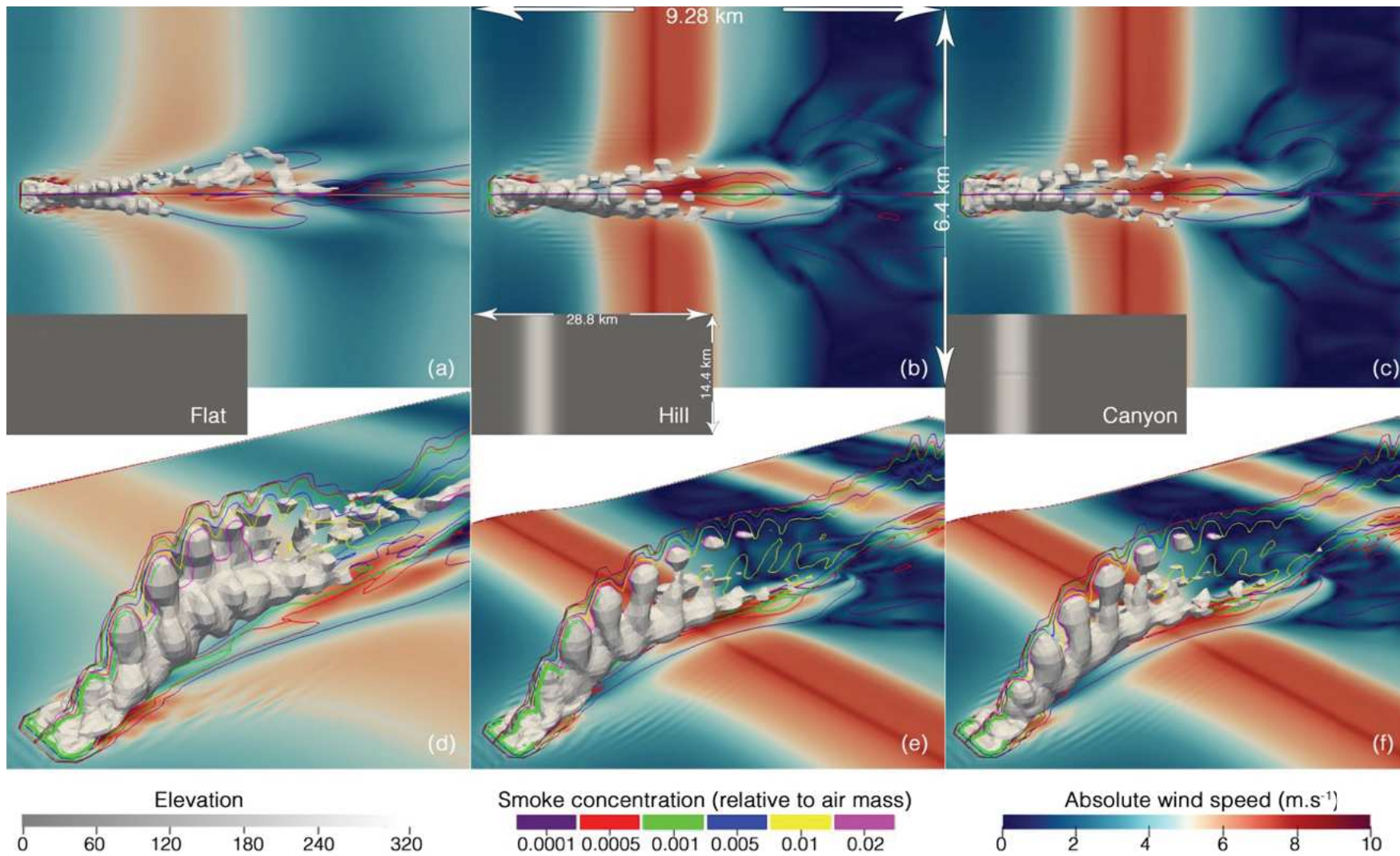
## Atmosphère

- Stable
- Instable

## Taille de domaine:

30km\*15km Hauteur 10km  
Grille 360\*180\*60

## Impacts – Flat / Hill / Canyon





Time: 0s

Spot Program - CNRS@Corsica/U.Melbourne A.Alonso-Pinar, J.B. Filippi, H.N NGuyen, A.Filkov

Les brandons sont transportés dans des courants ascendants



Combustion model density, 1 injection @T0, 5000 firebrands

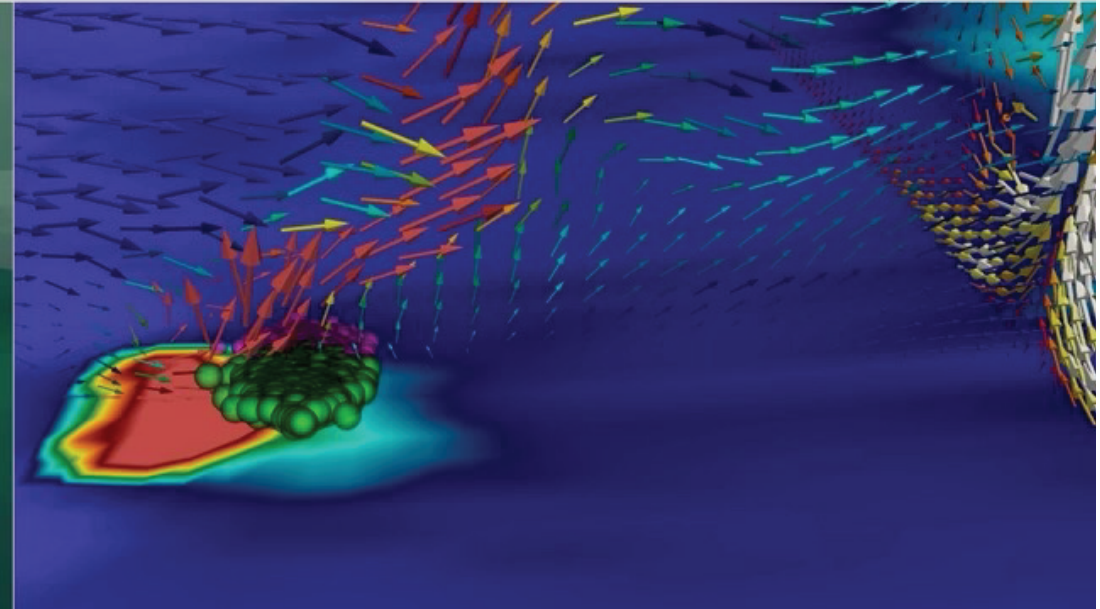


6.1e-02 0.2 0.5 1 2 5 10 20 50 100 200 6.1e+02

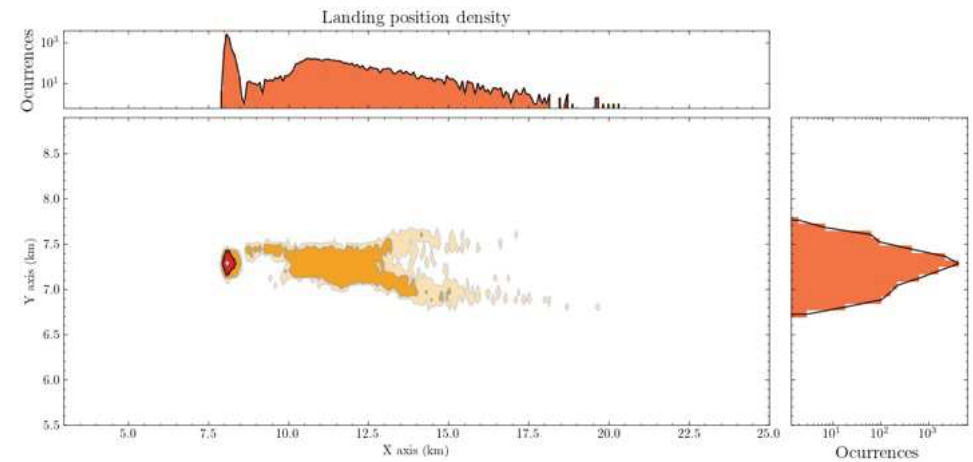
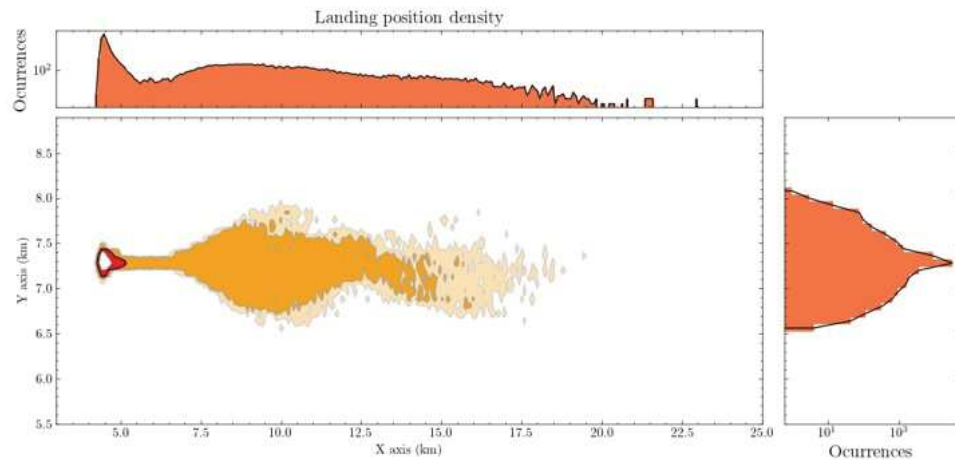
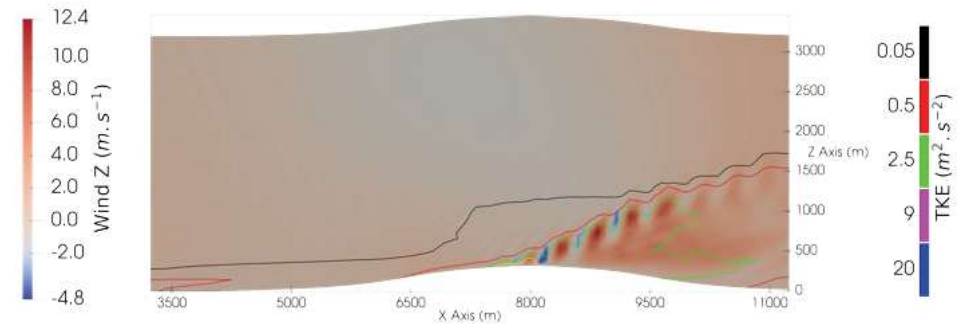
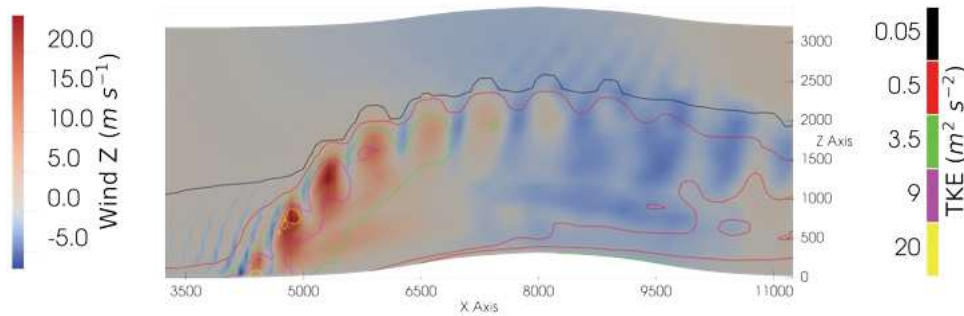
Reduced model (200X faster computation)



-4.6e-02 0.2 0.4 0.6 0.8 1 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0e+00



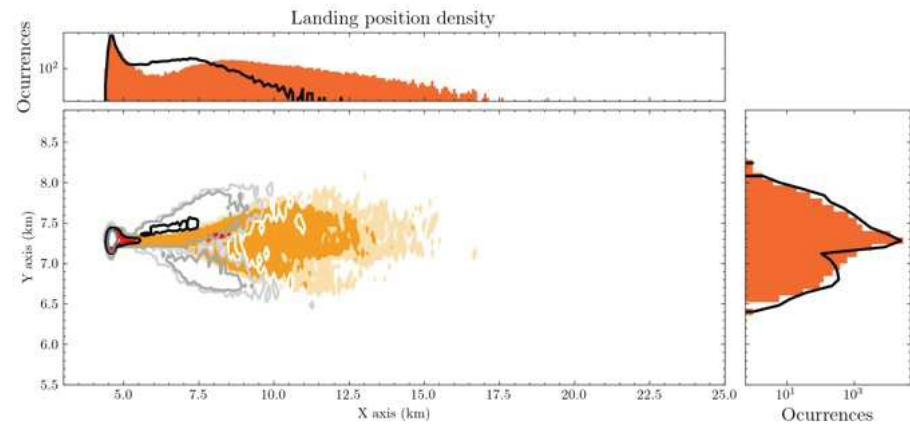
# Impacts topographiques – Colline



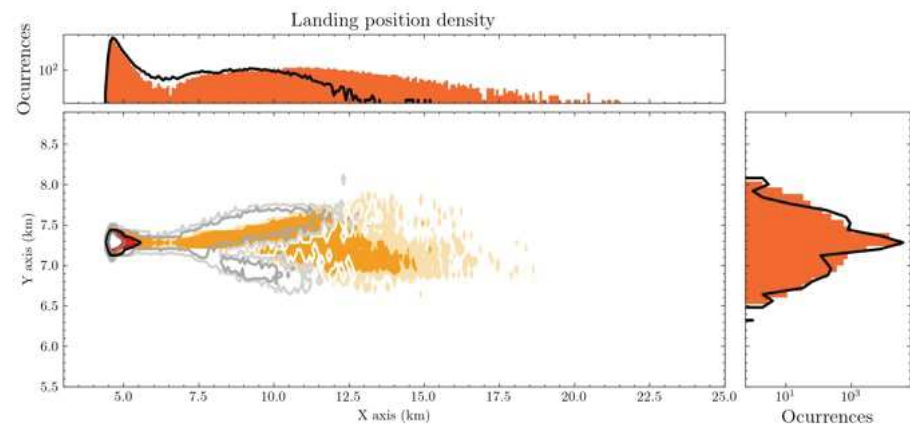
# Impacts atmosphériques – Situation instable



Skew-T diagram used in the idealized unstable atmosphere simulation.



Reference wind at 100 m height: 10 m/s



Reference wind at 100 m height: 15 m/s

# Formulation Eulerienne

Brandons considéré comme un champ de densité, mais avec une masse (plusieurs champs de densité pour plusieurs tailles de brandons)

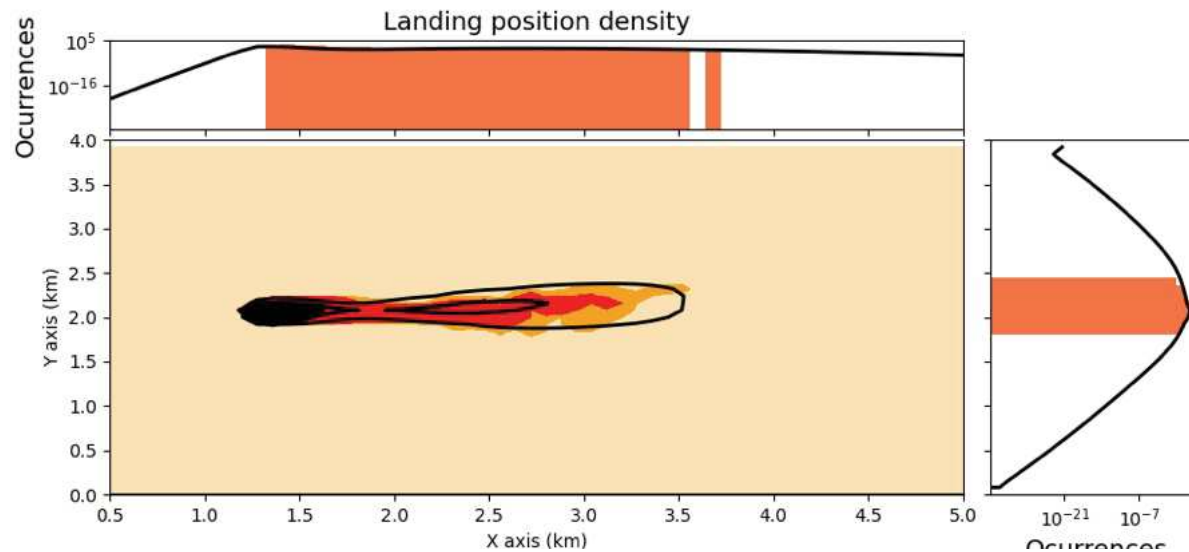
$$\bullet \frac{\partial(\rho_{ref}C_i)}{\partial t} + \nabla(\rho_{ref}C_i\mathbf{U}) = \rho_{ref}S_i \quad (1)$$

Age de la particule (durée de combustion) comme une autre champ diffuse/transporté/consommé (Moyenne des distributions de taille)

Approche similaire aux schemas 2 moments utilisés pour les particules dans modèles atmosphériques (DUST)



# Comparaison Lagrangian - Eulerien



100 particles every 10 seconds

From  $t=200s$  until  $t=600s$

= 4000 Lagrangian particles

1  $kg/m^2/s$  in 2 cells ( $160 \times 80m^2$ )

From  $t=200s$  until  $t=600s$

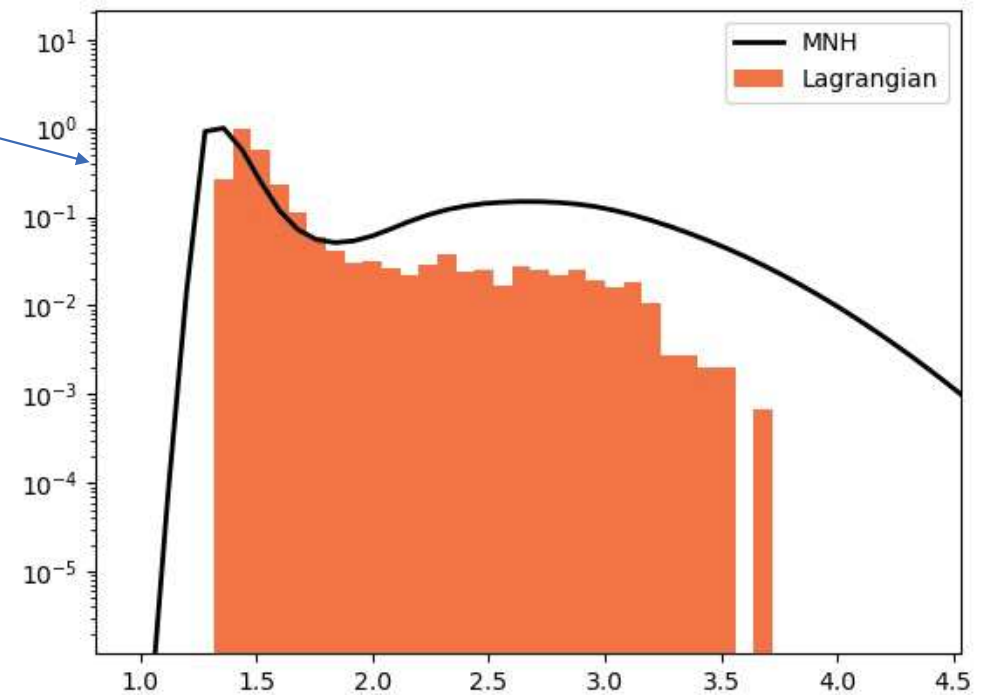
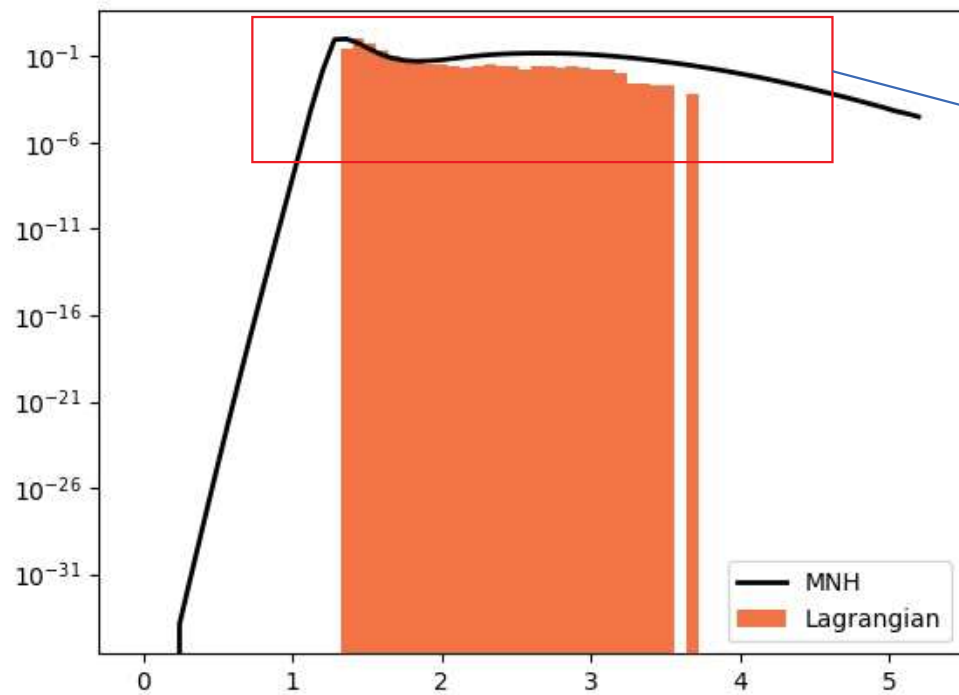
= 900  $kg/m^2/s$  ??

Basic comparison

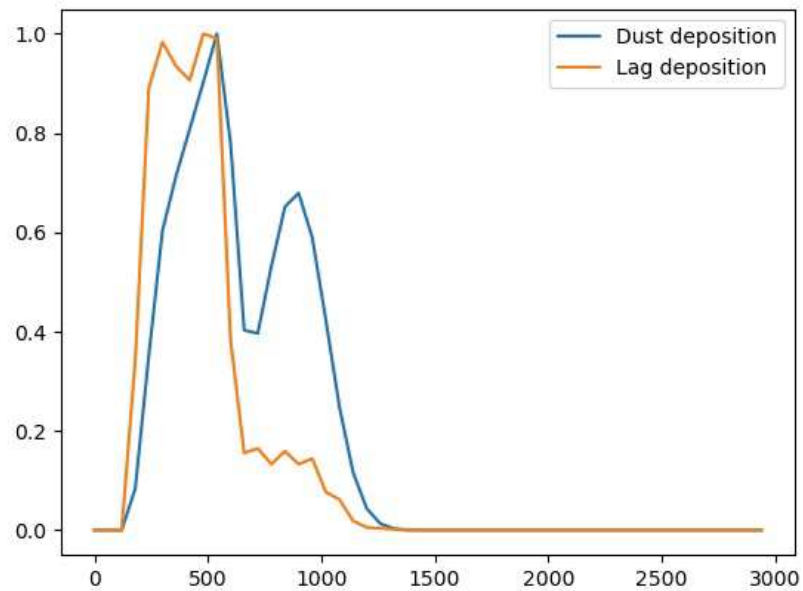
Colours : Lagrangian, # of particles

Black : Eulerian,  $kg/m^2/s$  of particles

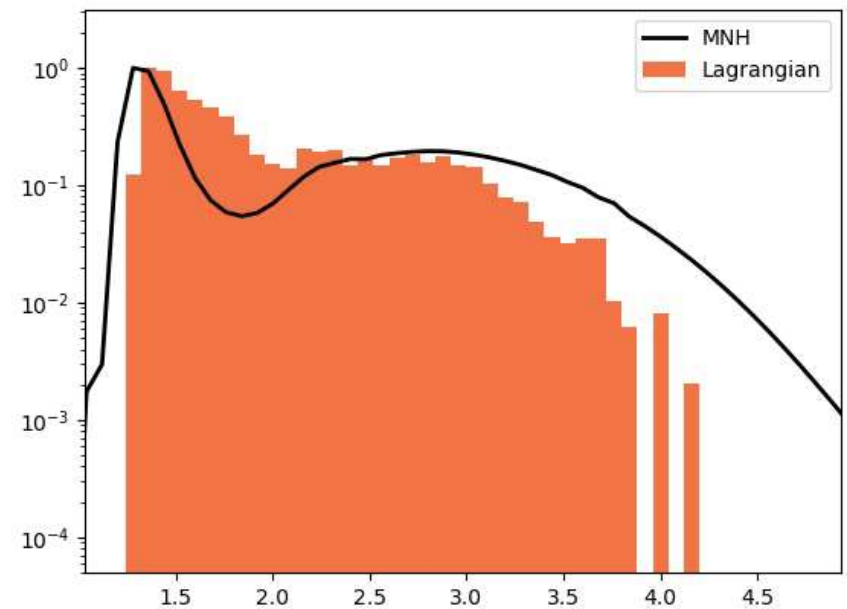
# Comparison along x-axis



# Temporal deposition

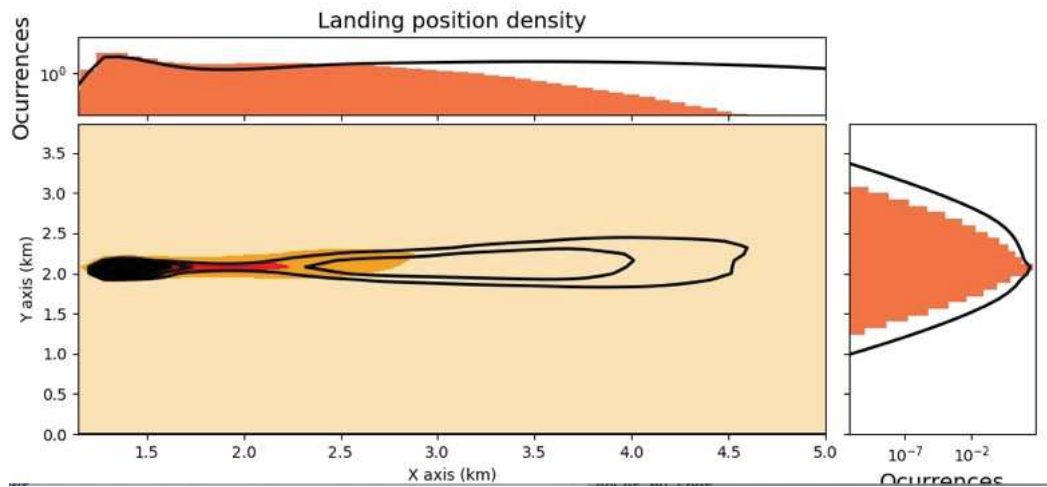


Normalized by  
Max of #nb of particles (Lagrangian)  
Max of kg/m<sup>2</sup>/s (Dust)

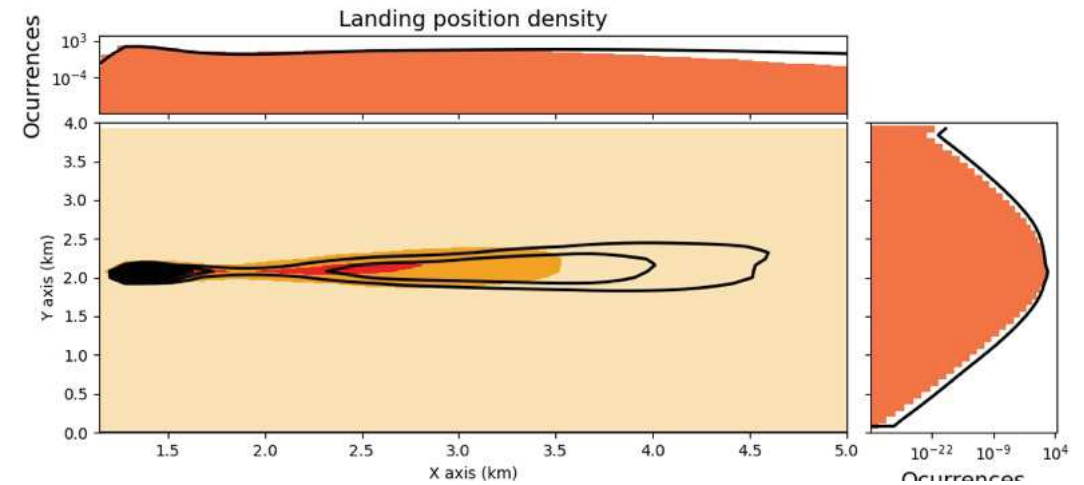


Spotting flux = 2.5 (4000/1600)

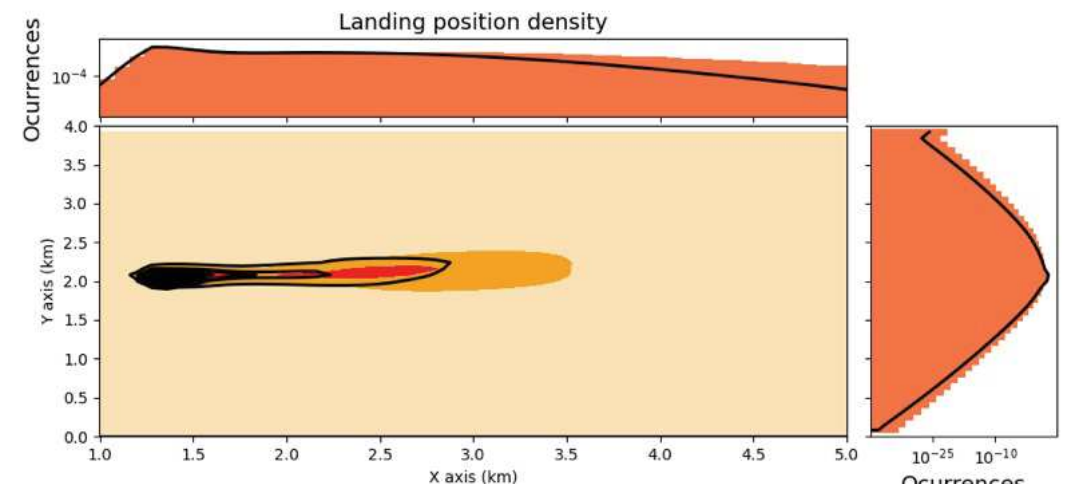
# Influence Vt



Double vs half vt



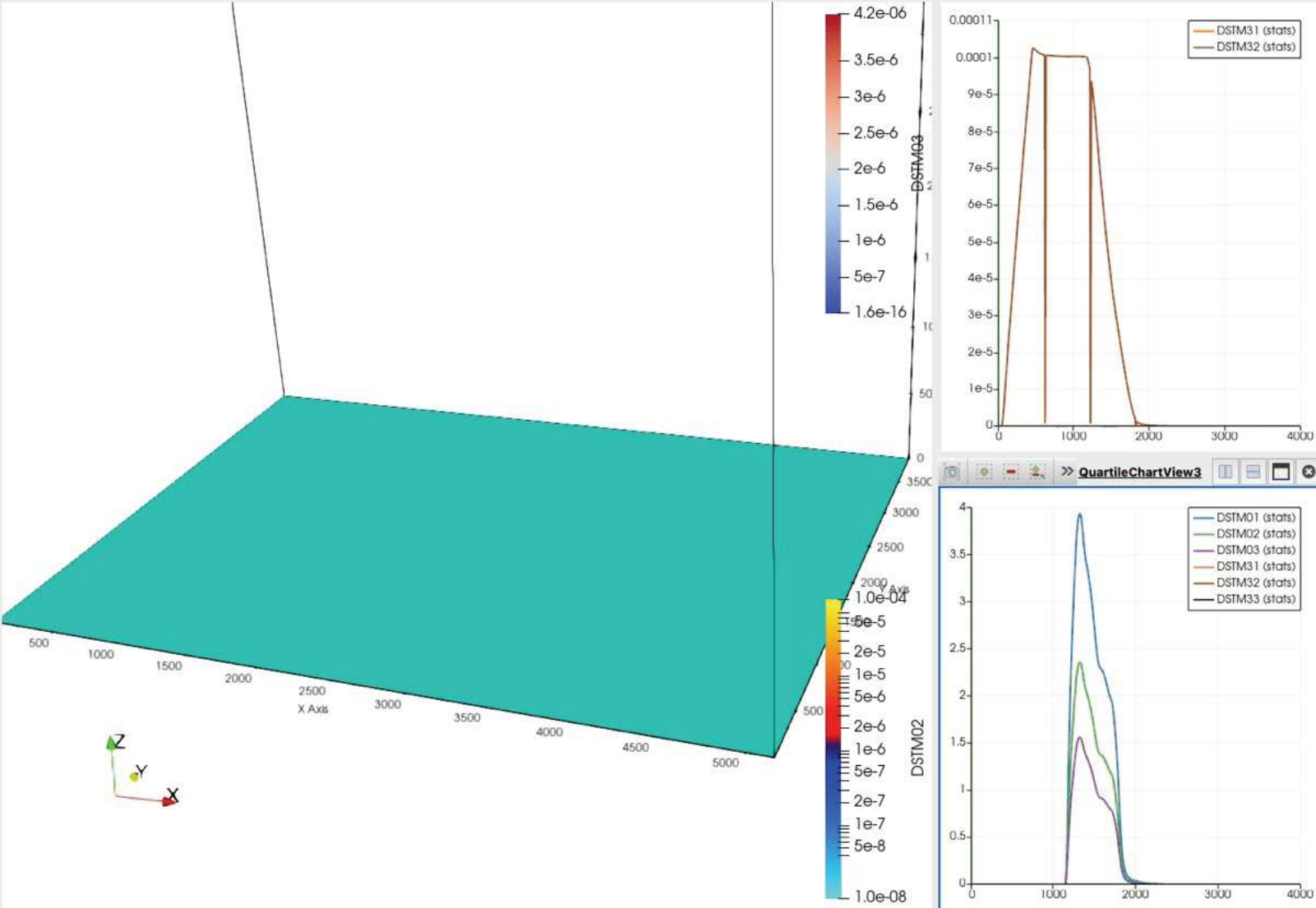
Normal vs half



Normal vs double



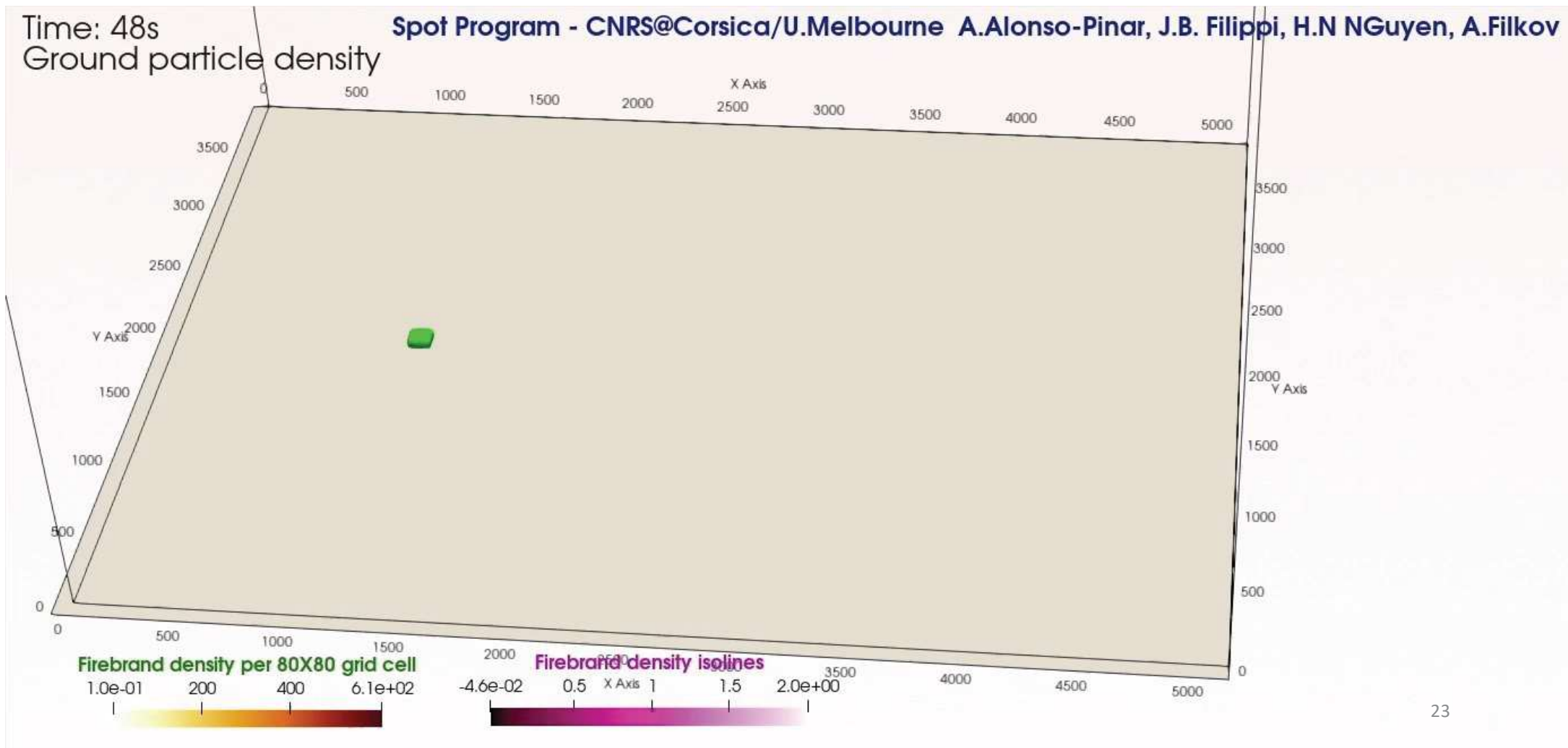
# Eulerien – Bilans aux frontières



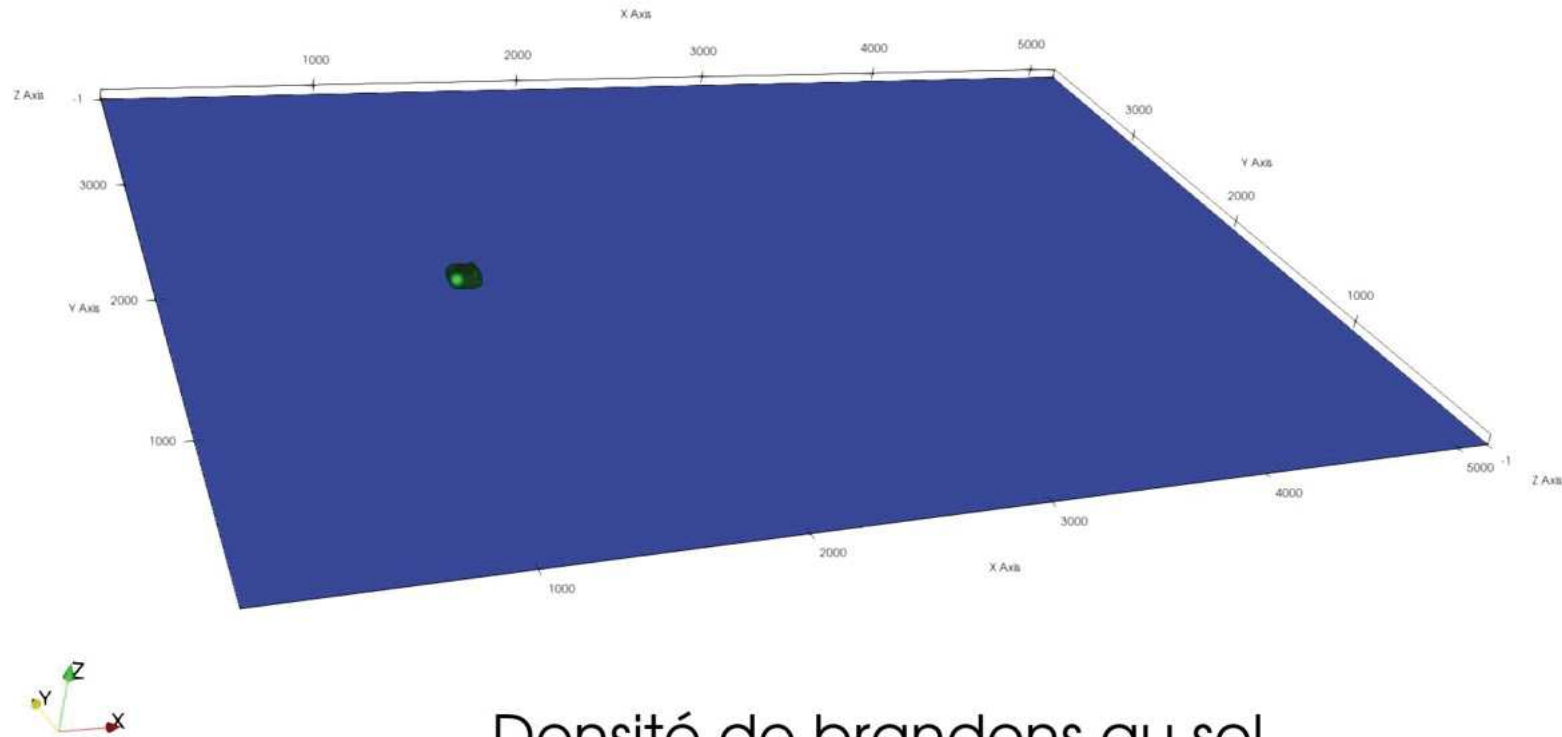
## Deux modes : Des brandons aux cendres



# Comparaison Eulerien/Lagrangien



# Comparaison Eulerien/Lagrangien



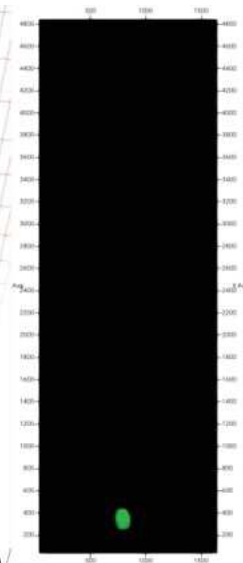
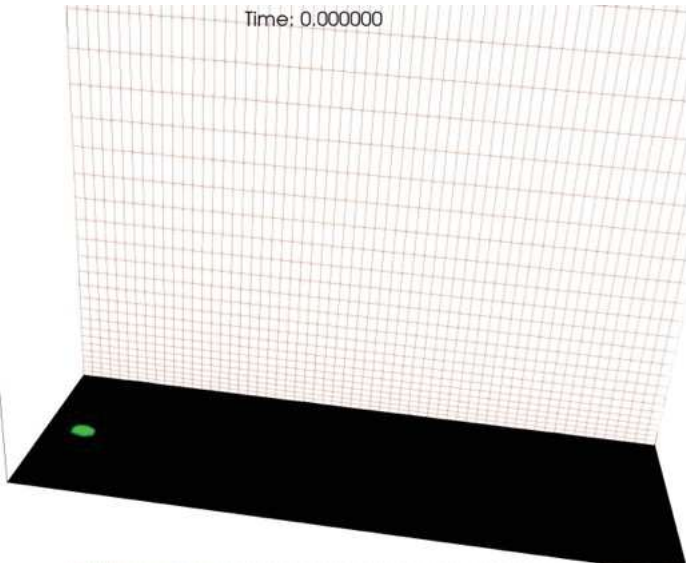
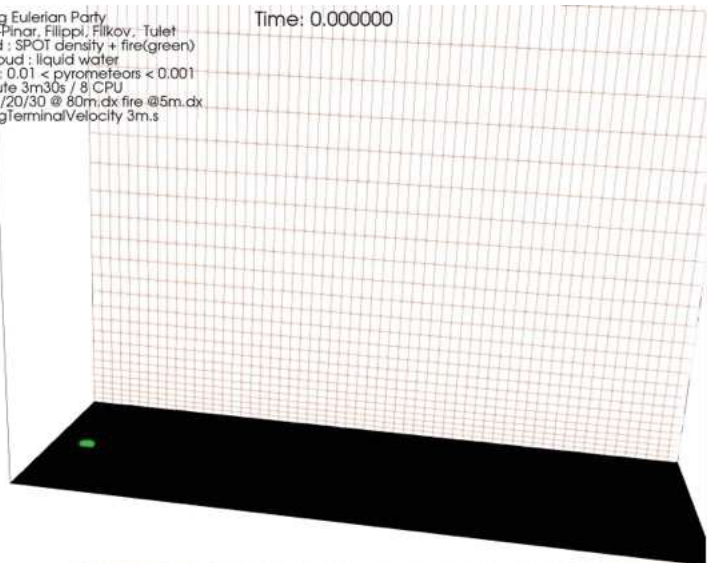
Densité de brandons au sol



# Essai de d'allumage – ensembles et aléatoire

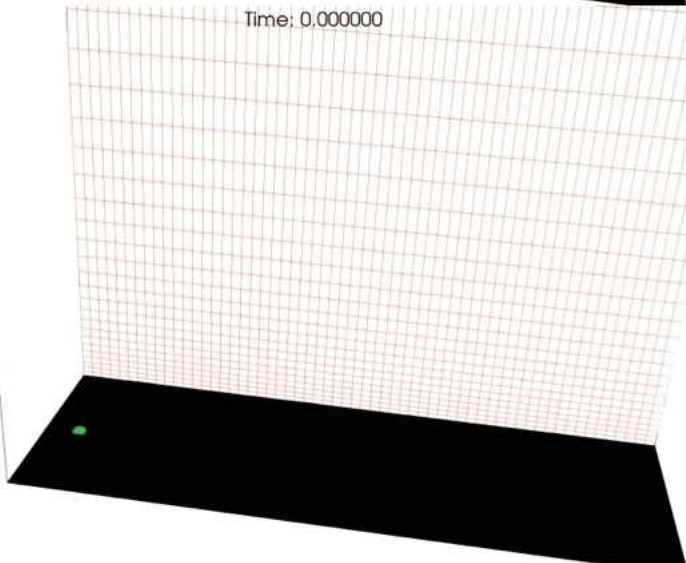
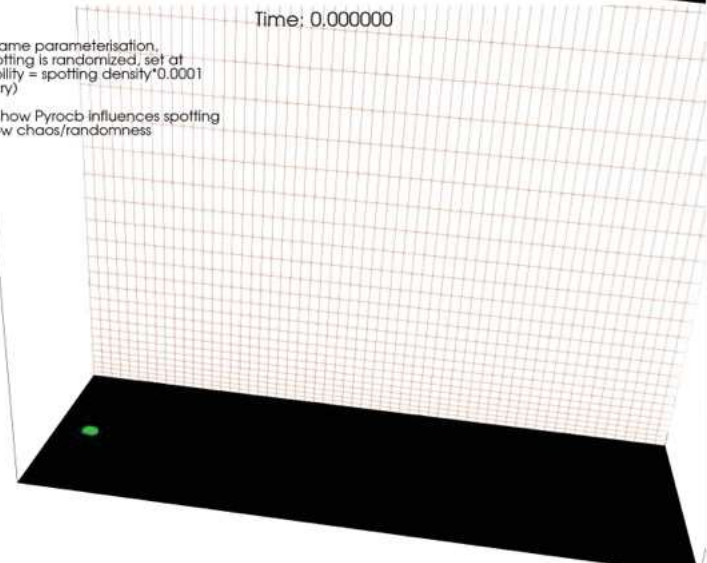
Spotting Eulerian Party  
Alonso-Pinar, Filippl, Filkov, Tulef  
Ground : SPOT density + fire(green)  
Blue cloud : liquid water  
purple :  $0.01 < \text{pyrometeors} < 0.001$   
Compute 3m30s / 8 CPU  
Grid 60/20/30 @ 80m.dx fire @5m.dx  
SpottingTerminalVelocity 3m.s

Time: 0.000000



Exact same parameterisation,  
but Spotting is randomized, set at  
 $\text{probability} = \text{spotting density} * 0.0001$   
(arbitrary)

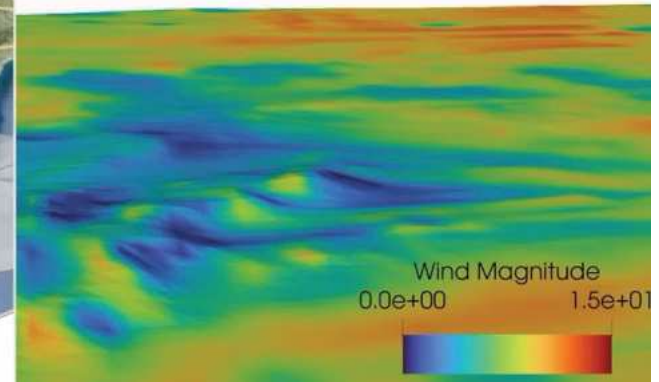
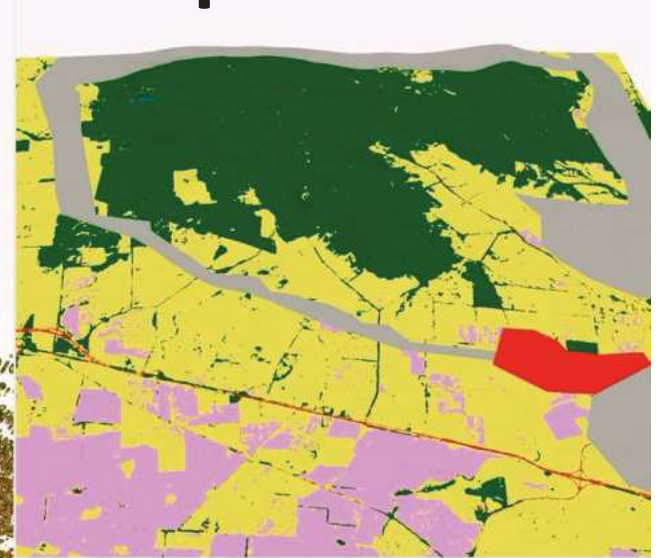
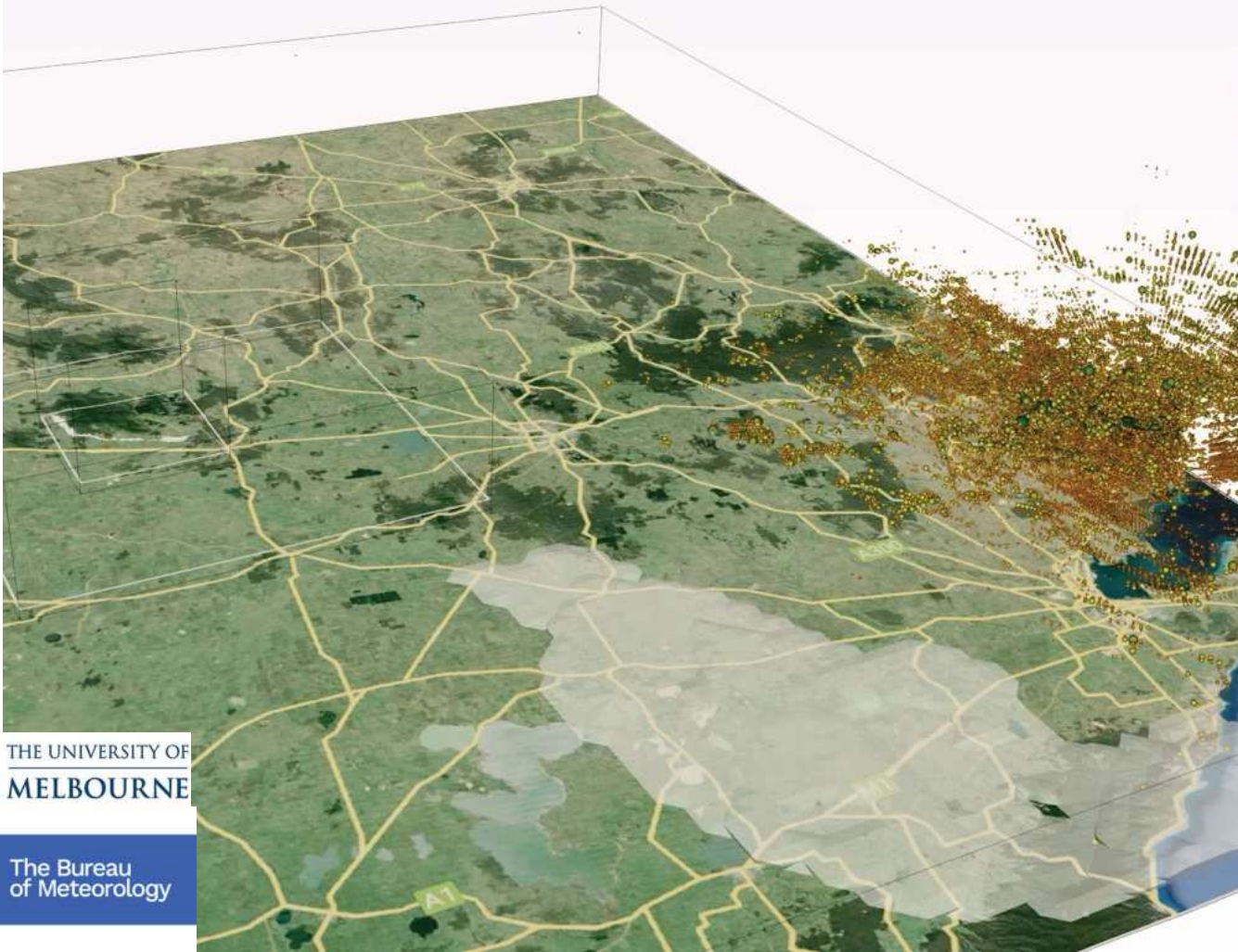
Time: 0.000000



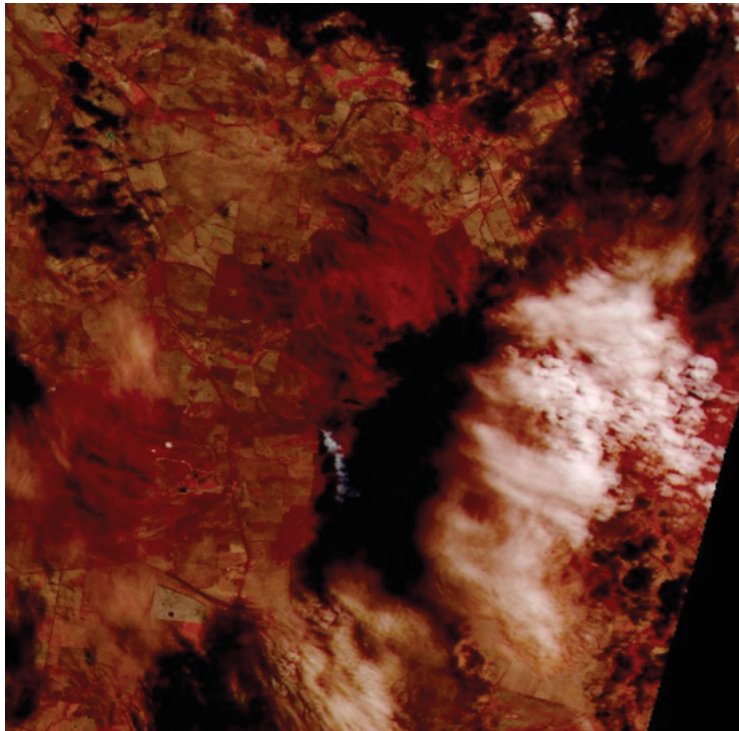


# Comparaison au réel : le radar atmosphérique

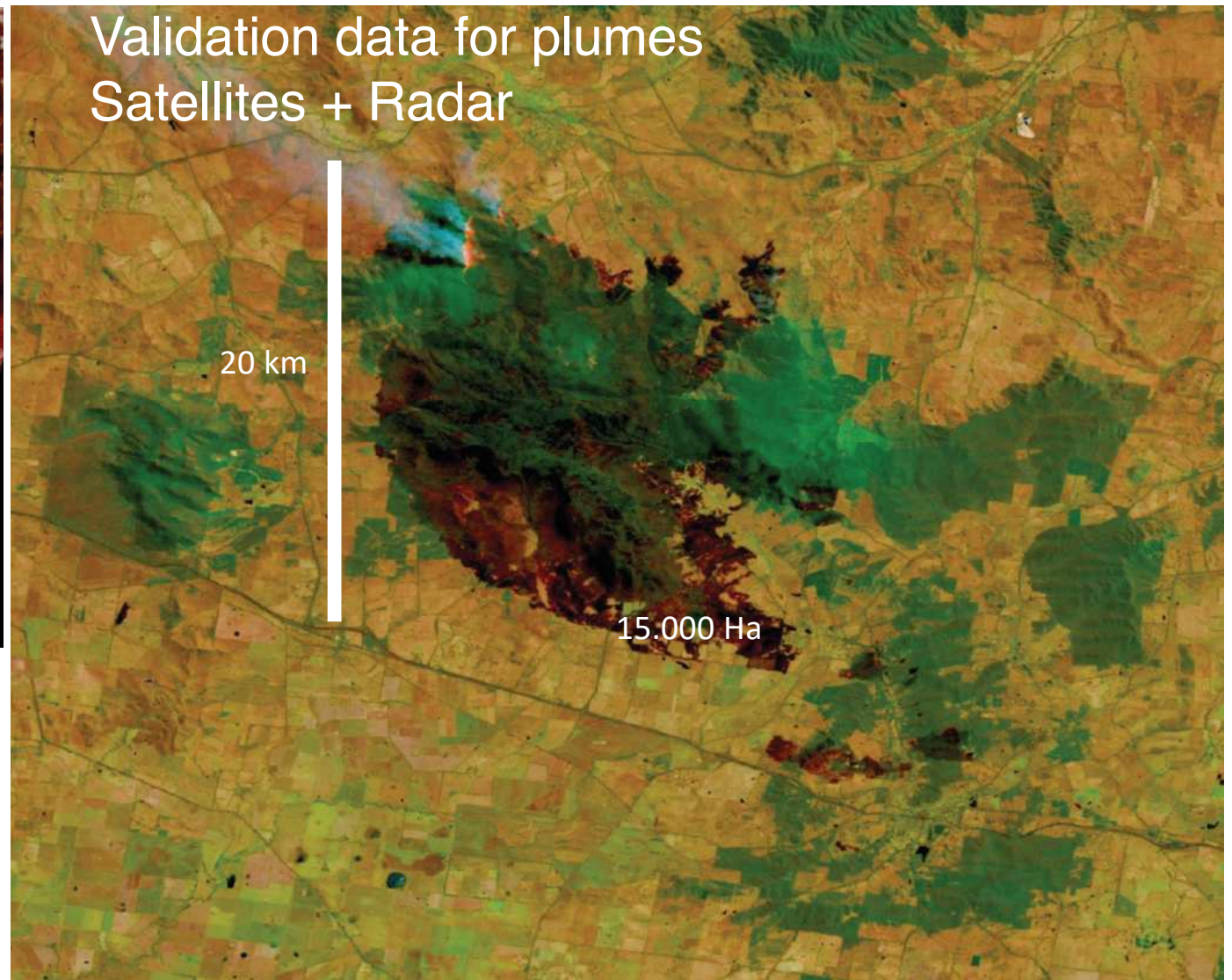
22/02/2024 MtCole fire radar+ForeFireMesoNH - BOM/CNRS - Current Time: 12:06:00



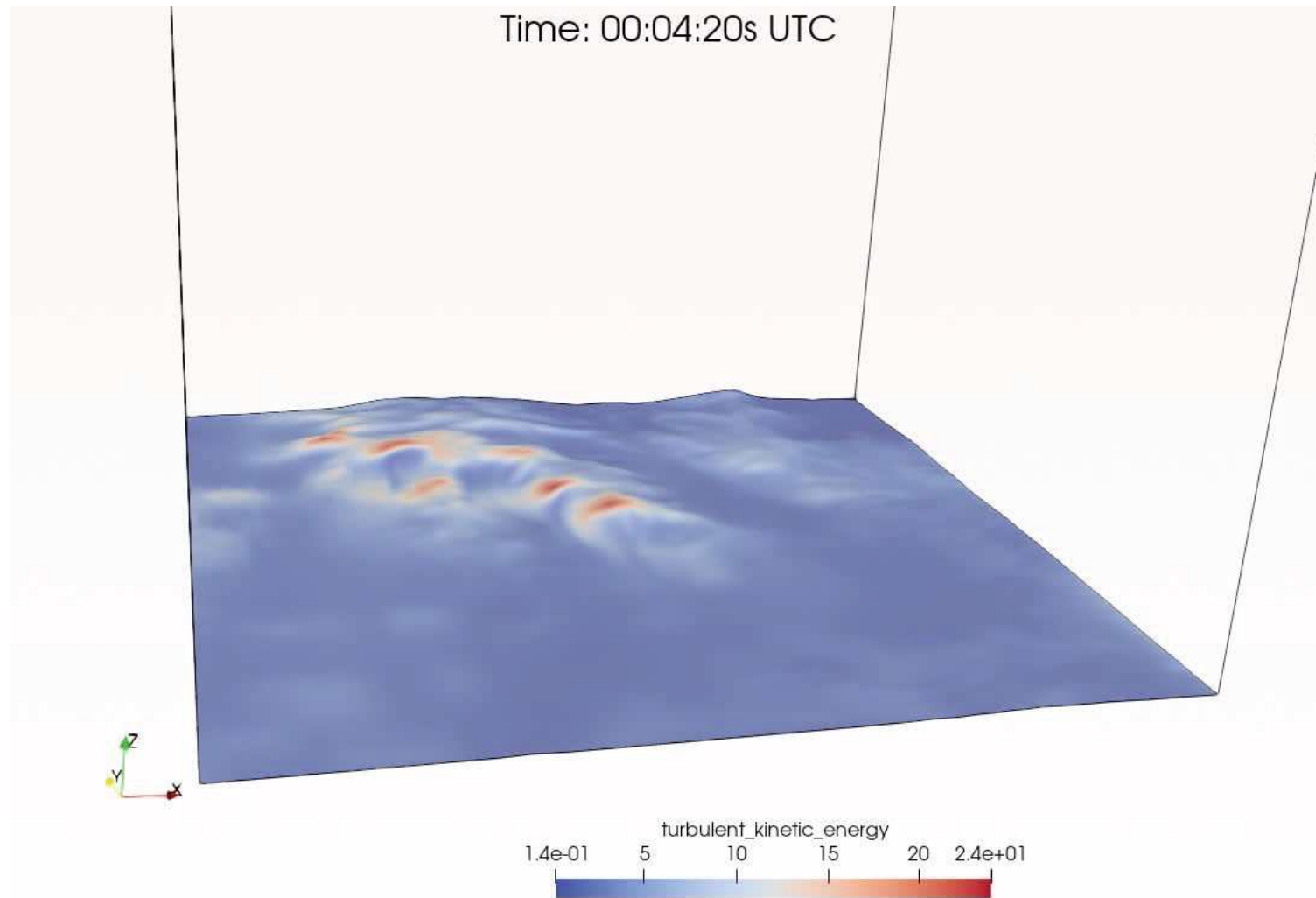




**Mount Cole Fire**  
**22/02/2024**  
**Australie (Melbourne)**  
**8000 Ha in 1 day**  
**Images - Sentinel**



# Cas Réel - Mt Bolton – premier résultat







Conclusion :  
**Objectif : 12h de prévision**  
**1h après éclosion :**  
**OK**

Bravo Alberto (Soutenance en Novembre)  
Et merci à tous



LABORATOIRE  
SCIENCES POUR  
L'ENVIRONNEMENT  
UMR 6134 SPE

