

Feux de forêt & interface forêt habitat.



Dominique MORVAN, Aymeric LAMORLETTE
Université d'Aix-Marseille / UMR CNRS 7340 M2P2
dominique.morvan@univ-amu.fr

Moyenne des surfaces brûlées annuellement dans le monde

- **France: 30 000 ha,**
- **Europe: 500 000 ha,**
- **Australie: 1 200 000 ha,**
- **Etats Unis: 1 500 000 ha,**
- **Canada : 3 000 000 ha,**
- **Brésil : + 40 000 000 ha,**

Quelques grands feux historiques aux Etats Unis

**Peshtigo (Wisconsin, 1871):
2500 morts et 486 000 ha brûlés**



**Big Blowup (Idaho-Montana, 1910):
87 morts et 1 million ha brûlés**

Black Saturday (07/02/2009) Victoria district (Australie)

Tempête de feu (Kinglake)

100 000 ha brûlés en 12H

120 morts

$I \sim 80\,000 \text{ kW/m}$

ROS $\sim 1 \text{ à } 3 \text{ m/s}$

Hauteur du panache $\sim 15 \text{ km}$

$$I = \eta M_{\text{fuel}} \times \Delta H \times R \sim 300 \times H_f^2$$



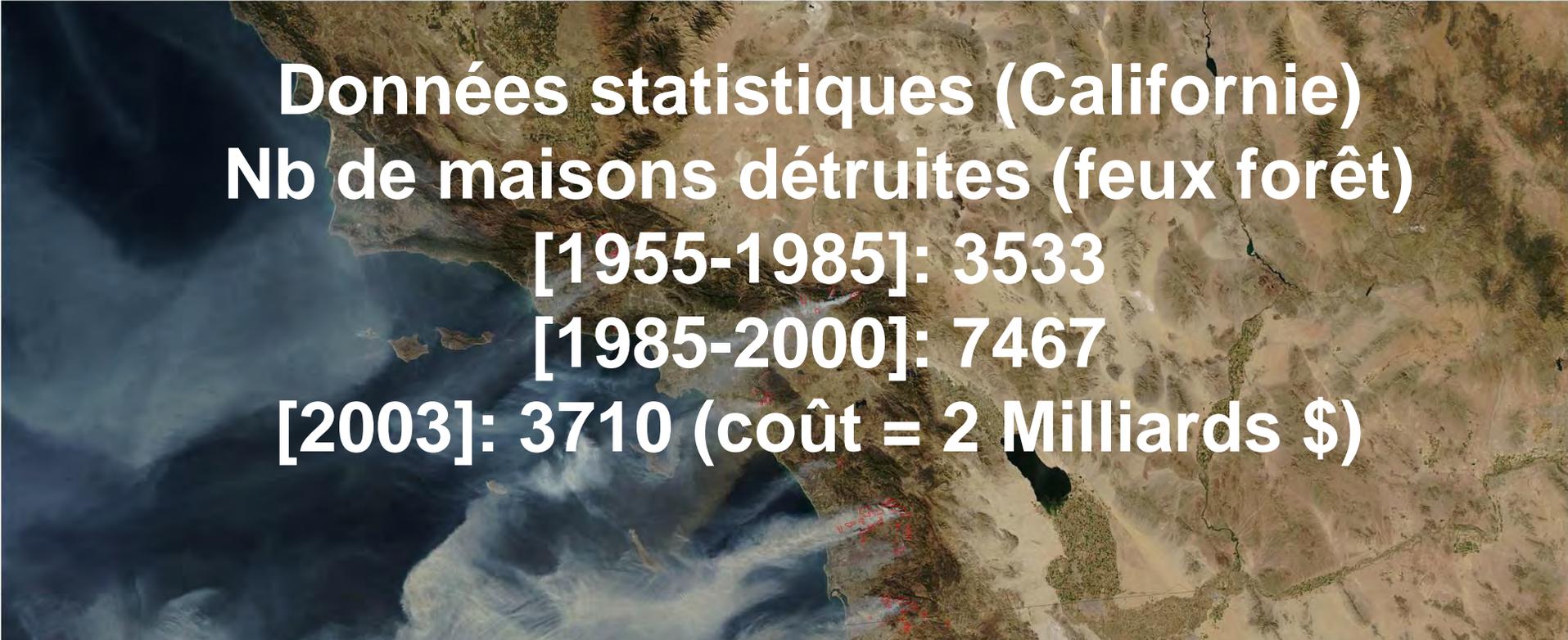
Feux de forêt: une catastrophe ou un phénomène naturel ?



Effet des fumées sur la santé



**Eté 2010: mortalité x 2 (Moscou)
Particules fines et très fines ($< 10 \mu\text{m}$ et $< 2.5 \mu\text{m}$)**



Données statistiques (Californie)
Nb de maisons détruites (feux forêt)

[1955-1985]: 3533

[1985-2000]: 7467

[2003]: 3710 (coût = 2 Milliards \$)



Ecologie des feux

Les feux contribuent au maintien de la biodiversité de la forêt

Régime d'incendie ("Fire regimes") dans différents écosystèmes:

- **Prairie: 1-3 ans**
- **Forêt de conifères: 25-300 ans**

Régime d'incendie:

- **Fréquence moyenne des feux**
- **Intensité**
- **Sévérité (impact)**
- **Saison à risque**
- **Type (surface, feu de cîme ...)**
- **Surface moyenne brûlée**

Ecologie des feux

Facteurs contribuant à modifier les régimes d'incendie:

Les activités humaines modifient la fréquence des feux, induisant une dégradation des sols (lessivage, modifications des paysages...) !

Impact sur le taux d'ignition:

+100 maisons → +0.17 feux/44 km²/an (USA)

• Politique d'exclusion systématique des feux →

Suppression des feux de faible intensité →

Accumulation de combustible →

Augmentation des feux de grande intensité

Moins de feux mais des feux plus intenses !

Evolution des paysages



2001

Interfaces forêt/habitat Wildland Urban Interface (WUI)



« Intermix WUI »



« Interface WUI »

Végétation naturelle < 50%

WUI = espace où des maisons rencontrent ou se mélangent au milieu naturel (>6.17 maisons/km²)

[US Federal Register Janvier 2001]

WUI (2000) = 9.4% du territoire et 38.5% des habitations
Nombre d'habitations en forte croissance: +44% [1990-2000]
2000 Wildland Urban Interface



Copyright 2011

Susan I. Stewart
USDA Forest Service
Northern Research Station
sistewart@fs.fed.us

Volker C. Radeloff
University of Wisconsin-Madison
radeloff@wisc.edu

WUI version 3 based on the 2000 Census,
the 1992-2001 NLCD Retrofit Change Product,
and the Protected Areas Database version 1.1

WUI

- Interface
- Intermix

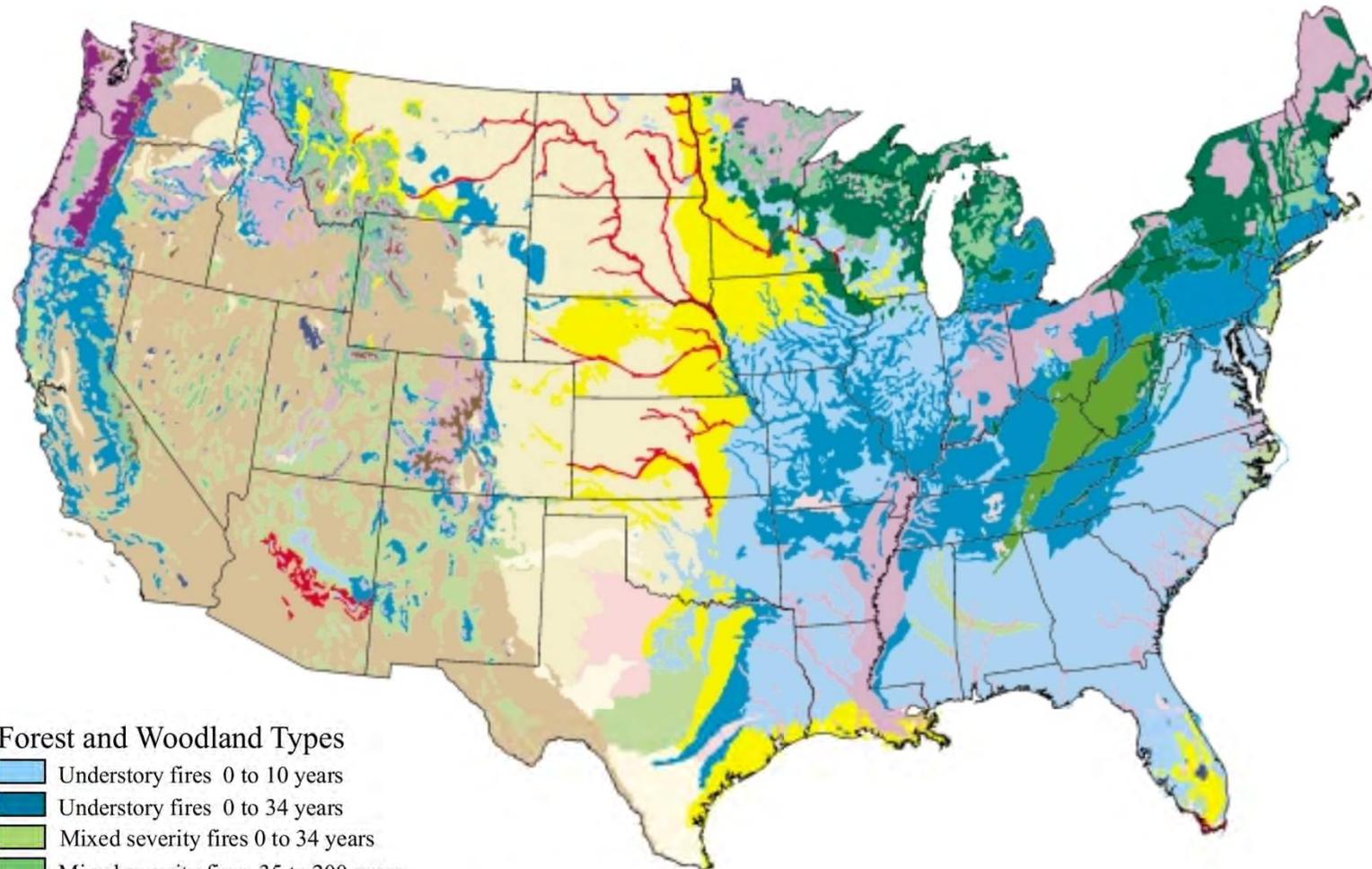
Non-WUI Vegetated

- No Housing
- Very Low Density Housing

Non-Vegetated or Agriculture

- Medium and High Density Housing
- Low and Very Low Housing Density
- Water

Carte de régime d'incendie aux Etats Unis



Forest and Woodland Types

- Understory fires 0 to 10 years
- Understory fires 0 to 34 years
- Mixed severity fires 0 to 34 years
- Mixed severity fires 35 to 200 years
- Mixed severity fires 201 to 500 years
- Mixed severity fires 500+ years
- Stand replacement fires 0 to 34 years
- Stand replacement fires 35 to 200 years
- Stand replacement fires 201 to 500 years
- Stand replacement fires 500+ years

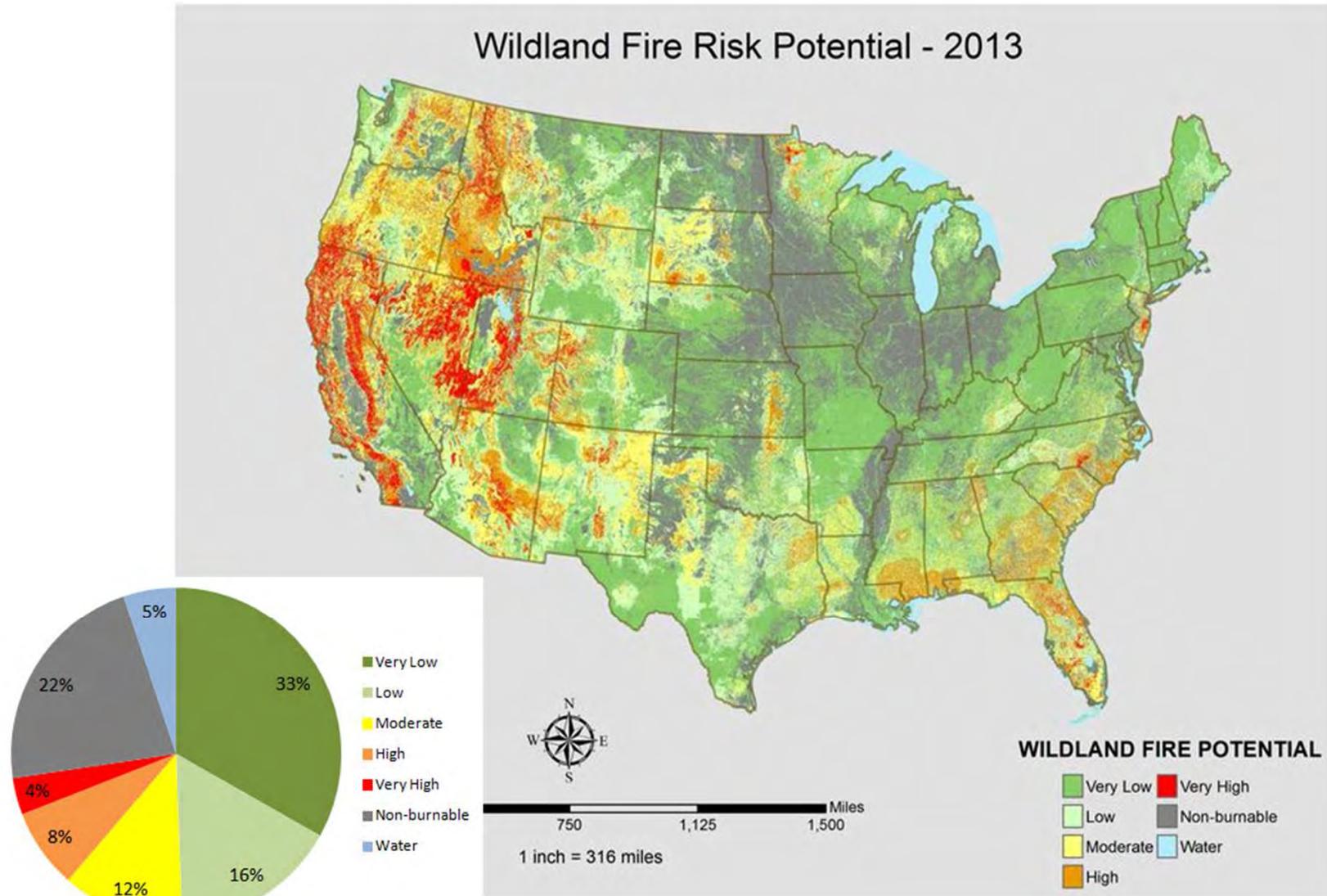
Grass and Shrub Types

- Mixed severity fires 0 to 34 years
- Stand replacement fires 0 to 10 years
- Stand replacement fires 0 to 34 years
- Stand replacement fires 35 to 100 years
- Stand replacement fires 101 to 500 years

Other

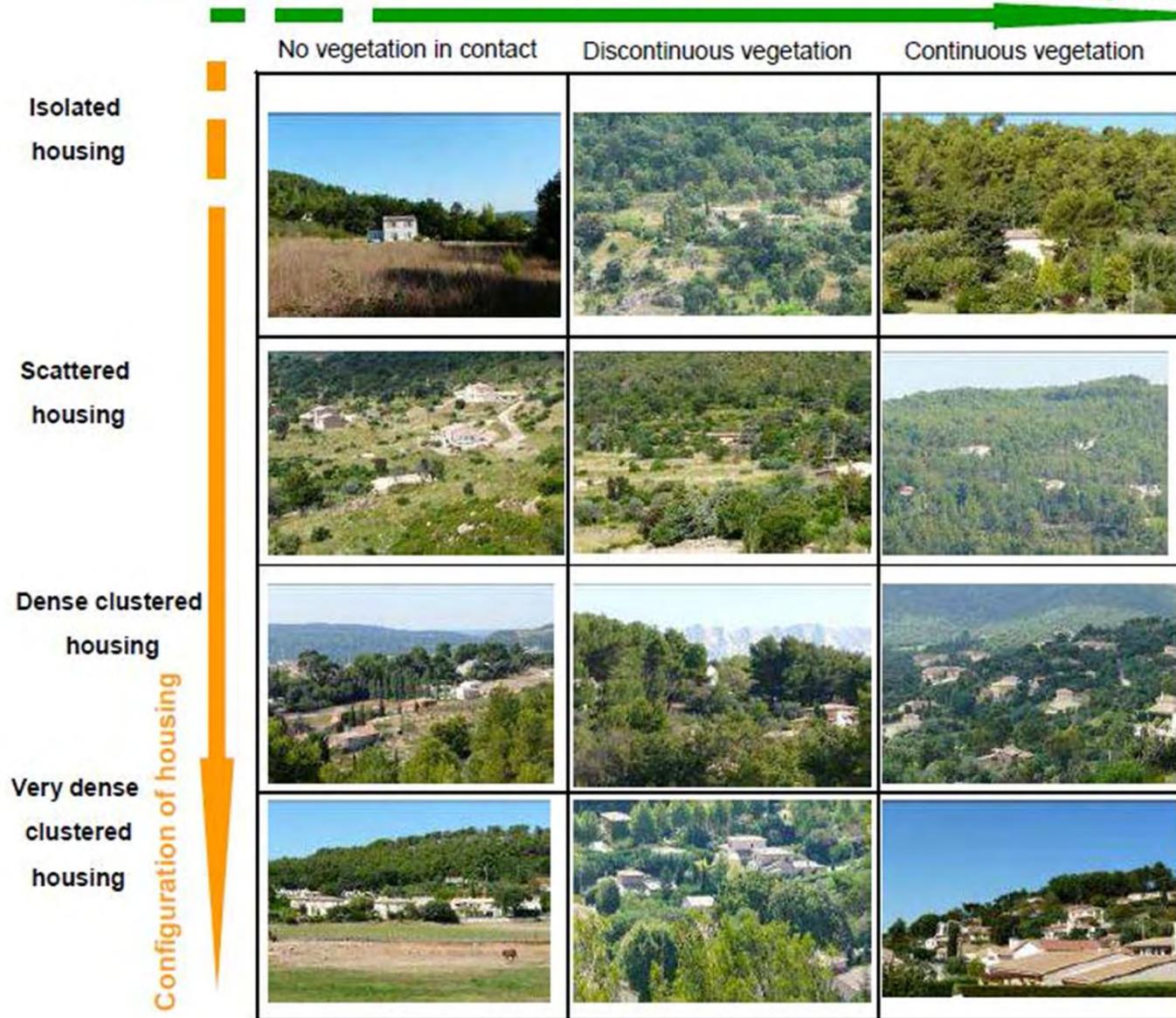
- Water

Carte du risque incendie de forêt aux Etats Unis



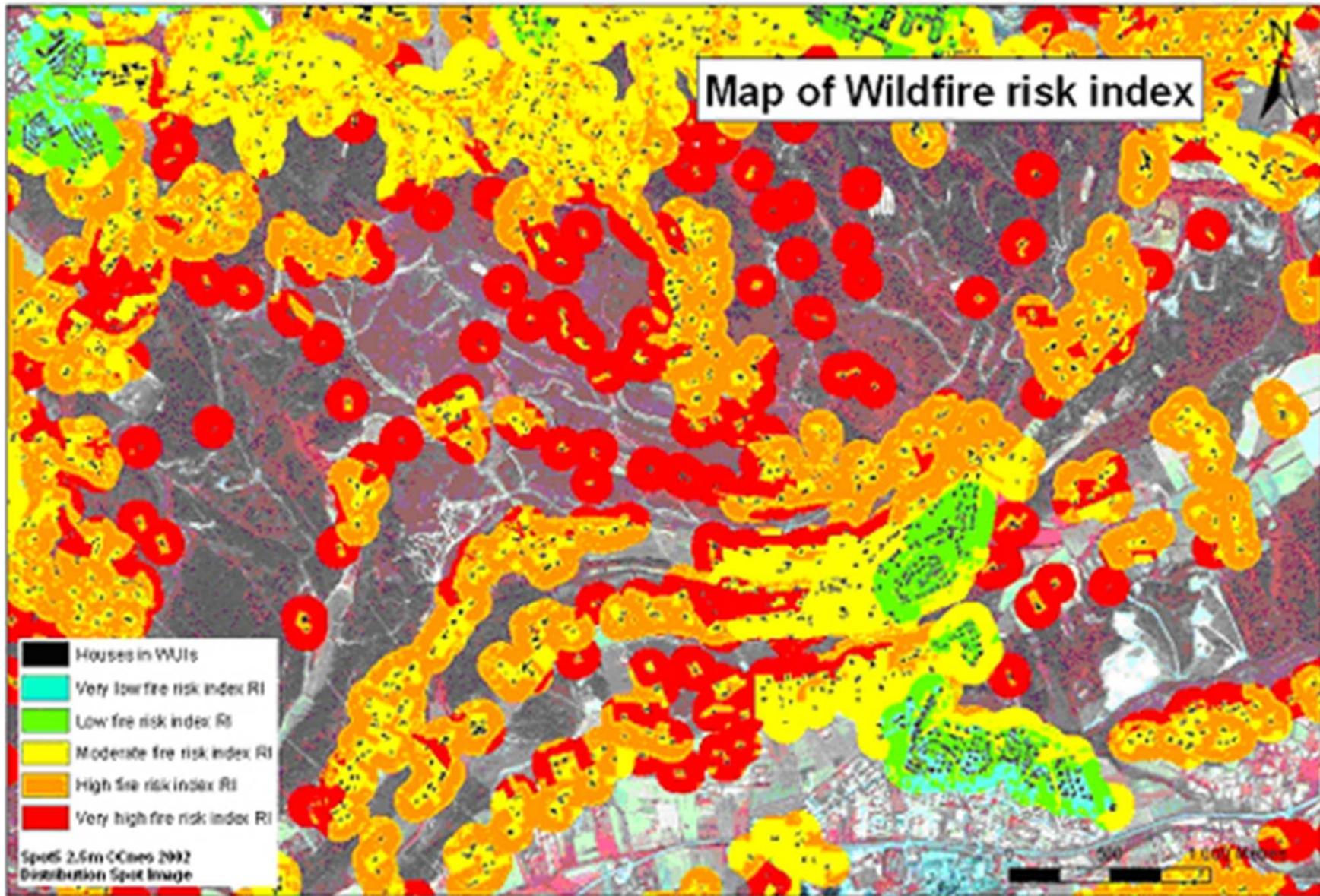
Wildland-urban interface typology

Vegetation Structure



Source: Cemagref
Lampin Corinne

Ref: Lampin-Maillet (IRSTEA)



Ref: Lampin-Maillet (IRSTEA)

Le risque feu de forêt en France

(Commissariat Général au Développement Durable, 2011)

- **Forêts = 16 millions d'ha (30% du territoire)**
- **+20% de surfaces combustibles entre 1975-2007**
- **6000 communes classées « à risque feux de forêts »: Corse, La Réunion (100%), PACA (90%), Languedoc-Roussillon (76%), Aquitaine (41%)**
- **Feux de forêt (moyennes): 30000 ha/an, 4000 départs (Var+Corse = 50% des feux), -2% des feux > 100ha**
- **Var = moyenne 1300 ha brûlés, 18 800 ha en 2003 !**
- **Coût (prévention et lutte): 536 M€ (2008)**
- **Changements climatiques: extension des régions à risque surfaces sensibles 5.5 Mha (2008) → 7 Mha (2040)
Centre, Poitou-Charentes, Pays de Loire, Bretagne**

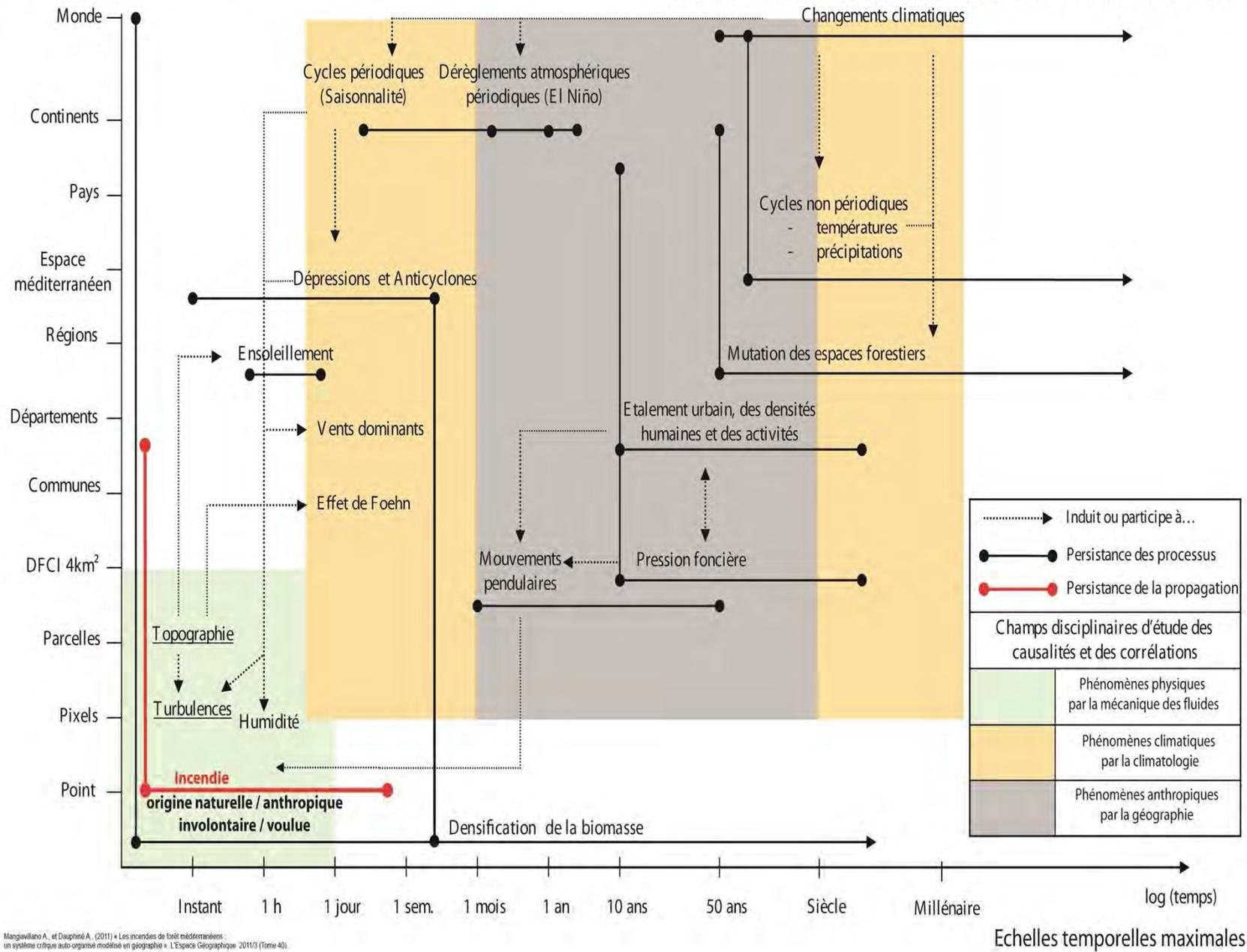
Changement climatique: projection d'évolution en région Provence Côte d'Azur (été) (2050)

**Projection (Météo France) réalisée à partir du
scénario modéré (GIEC 2007 B2):**

Température	+2.9 C	+ 13%
Précipitations	-0.3 mm/j	-38%
Réserves eau	-32,9 kg/m²	-15%

Echelles spatiales maximales

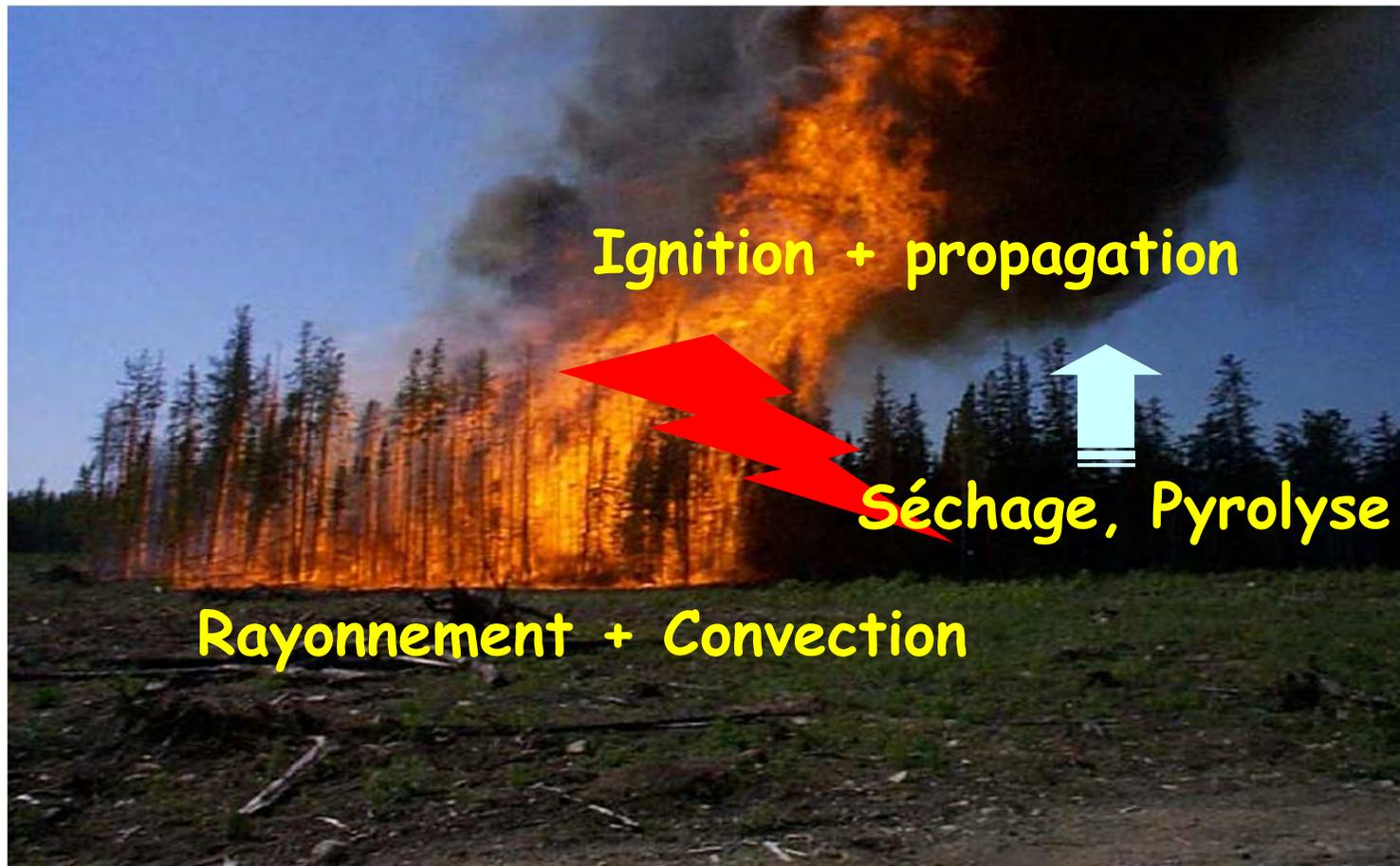
L'incendie de forêt : un produit d'interactions non linéaires articulées dans les échelles



Mangiavillano A., et Dauphiné A. (2011) « Les incendies de forêt méditerranéens : un système critique auto-organisé modélisé en géographie ». L'Espace Géographique 2011/3 (Tome 40).

A. Mangiavillano et A. Dauphiné (2011)

Mécanismes de transfert de chaleur gouvernant la propagation des feux en milieu naturel



Un autre mécanisme de propagation des feux: les brandons



Distance parcourue par un brandon > 2400 m (source: SALTUS) !

Feu de Colorado Spring 2012



Régimes de propagation des feux de forêt

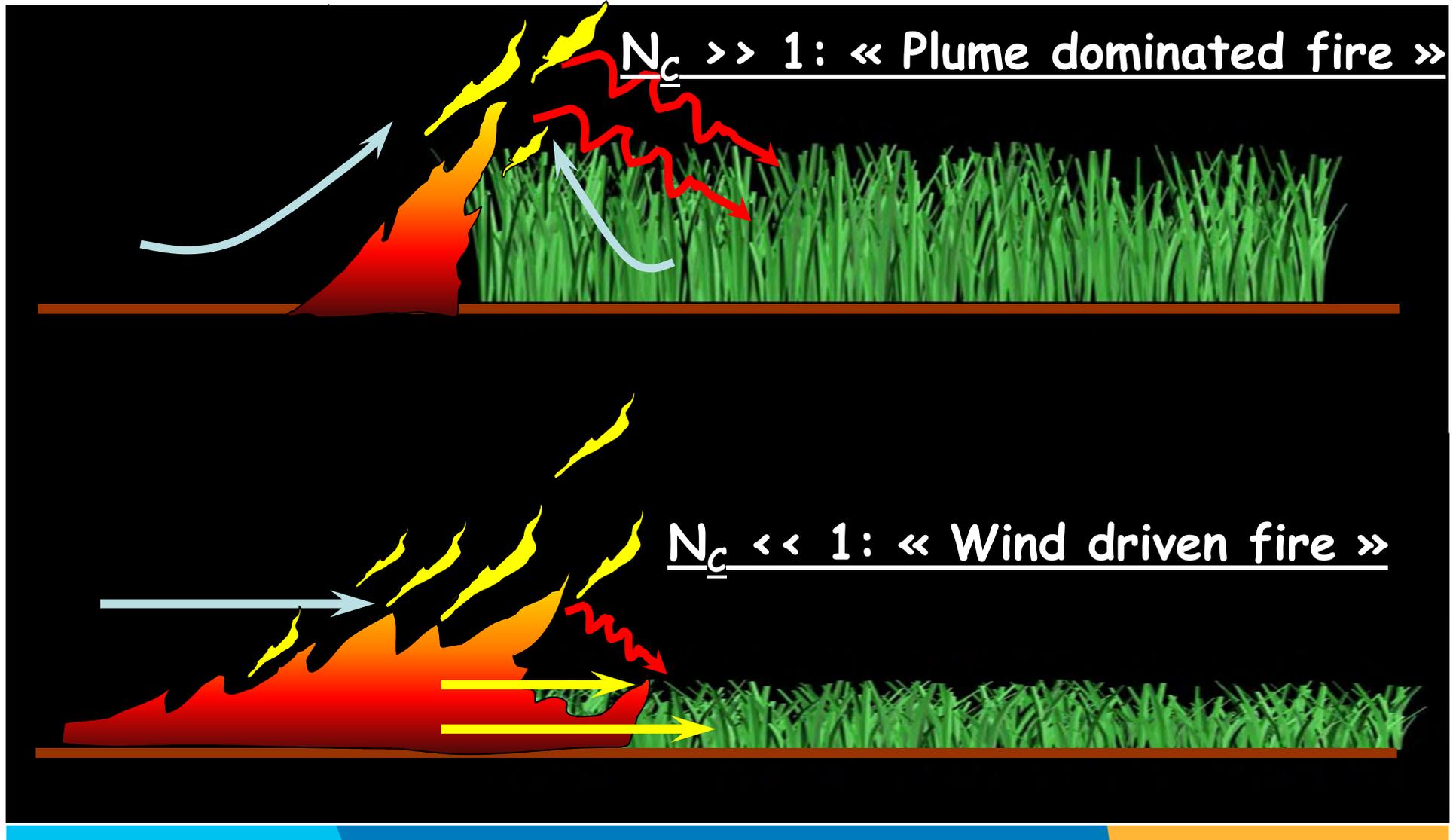
Nombre convectif de Byram

$$P_{Plume} = 2 g I$$

$$P_{Wind} = \rho C_P T_0 (U_W - ROS)^3$$

$$N_C = \frac{P_{Plume}}{P_{Wind}} = \frac{2 g I}{\rho C_P T_0 (U_W - ROS)^3}$$

Regimes de propagation des feux de forêt



Flux reçu par rayonnement



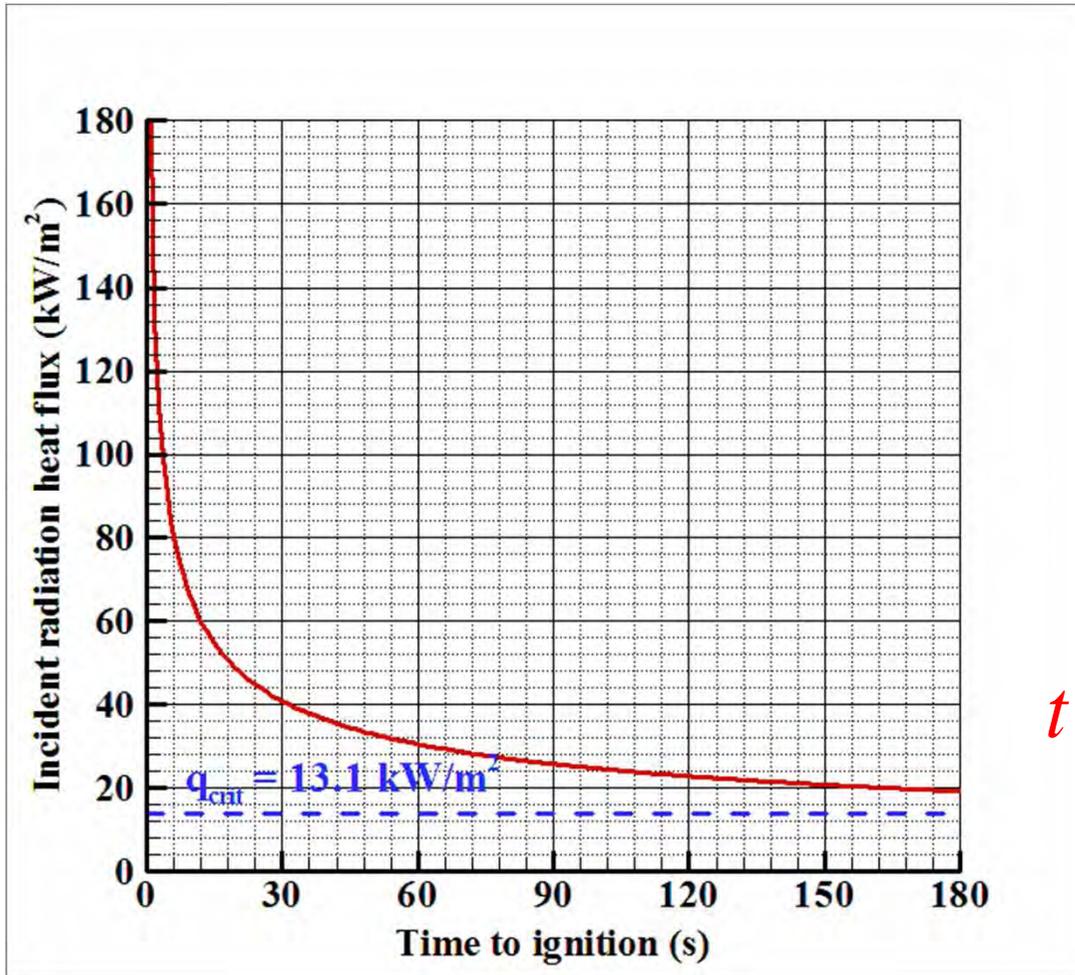
$$\dot{q}_w'' = F_{f,w} \epsilon_f \sigma T_f^4 \quad T_f \approx 1273 \text{ K}$$

$$\epsilon_f = 1 - \exp(-\kappa \times L_f) \quad \kappa \approx 1862 \times f_{soot} \times T_f$$

Si épaisseur de front > 2 - 3m $\rightarrow \epsilon_f \sim 1$ (corps noir)

$F_{f,w}$ = facteur de vue cible/flamme (décroît avec la distance)

Critère d'ignition (bois)



$$t = 60 \text{ s} \Rightarrow \dot{q}_w'' = 31 \text{ kW} / \text{m}^2$$



$$t \times \left(\dot{q}_w'' - \dot{q}_{crit}'' \right)^{1.828} \geq A \quad (A = 11501 \text{ si } t(\text{s}), \dot{q}_w''(\text{kW} / \text{m}^2))$$

Flux maximum reçu à 10m par rayonnement (ICFME)

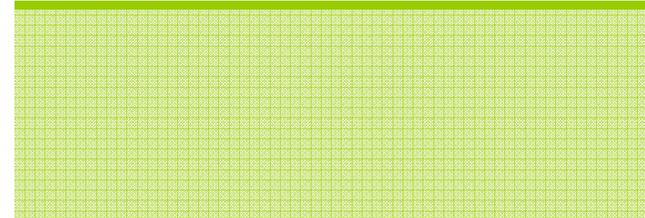


Flux (kW/m²)	40	150
Ignition (s)	30	1.4

Temps d'ignition en flamme pilote

- Matériaux d'épaisseur infini

$$\frac{1}{\sqrt{t_{ign}}} \approx \frac{\dot{q}_w''}{\sqrt{k\rho c (T_{ign} - T_0)}}$$

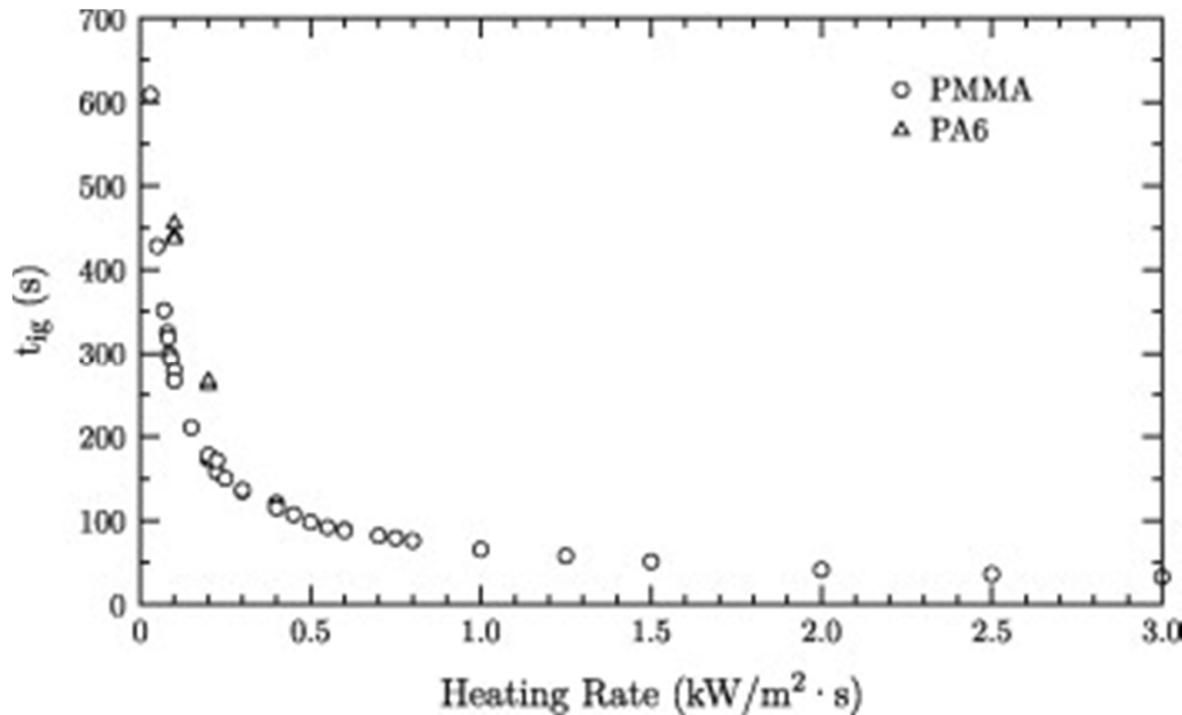


- Matériaux d'épaisseur finie

$$\frac{1}{t_{ign}} \approx \frac{\dot{q}_w''}{\rho c e (T_{ign} - T_0)} \approx \frac{k}{\rho c e^2}$$



Ignition en flamme pilote

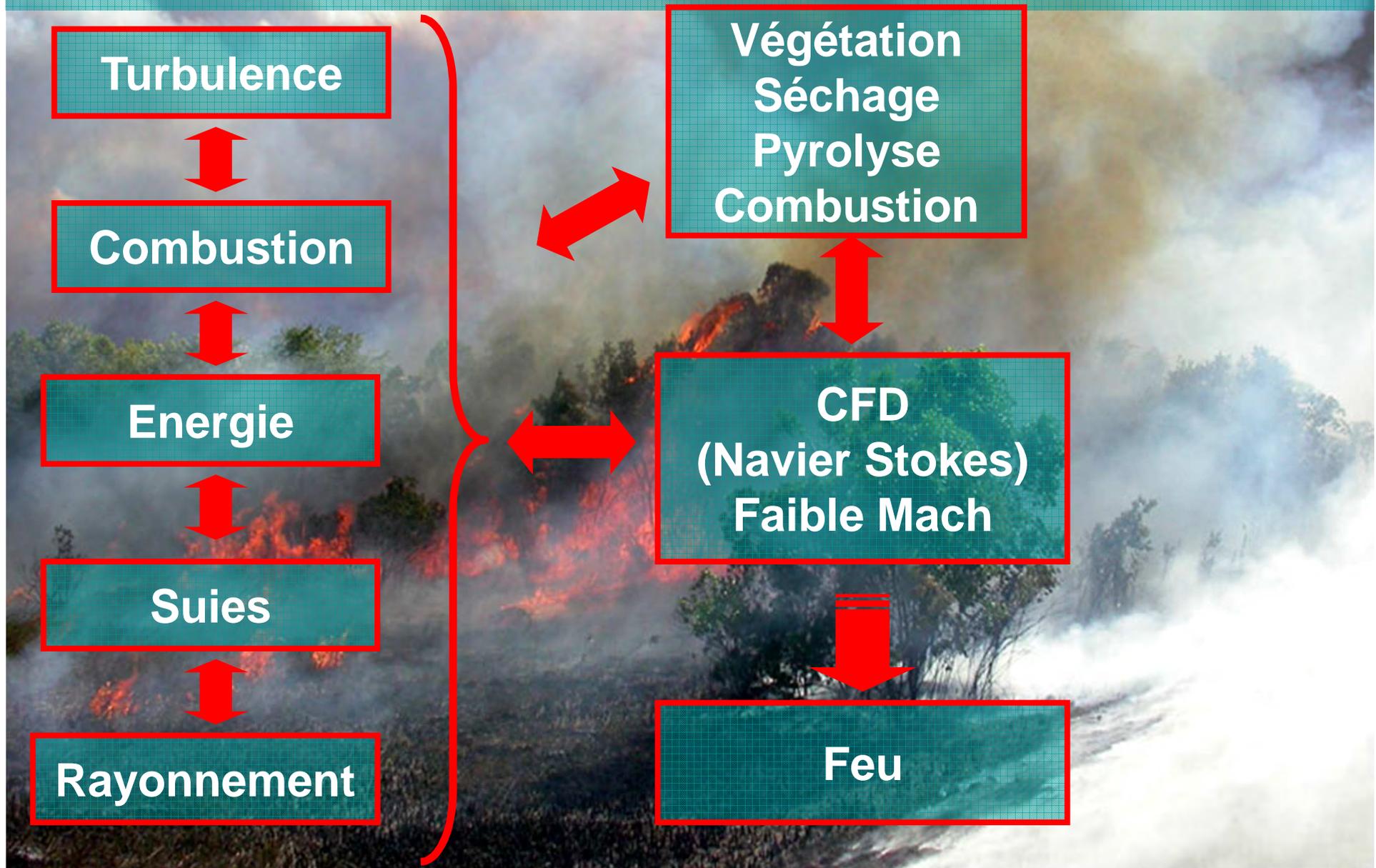


$$\text{Heating rate} = \int_0^{t_{ign}} \dot{q}_w'' dt$$

**PMMA: polyméthacrylate de méthyle
(thermoplastique transparent)**

PA6: aiguilles de pin d'Alep

Modèles physiques de simulation des feux de forêt: l'approche multiphasique



Interaction CLA/canopée



Leaf Area Density

$$a_L = LAD = \frac{\alpha_s \sigma_s}{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \langle u_i \rangle) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \langle u_i \rangle \langle u_j \rangle) = \frac{\partial \langle \sigma_{ij} \rangle}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} - a_L C_D \rho |\langle u \rangle| \langle u_i \rangle$$

$$\frac{\partial \langle u'w' \rangle}{\partial z} = -C_D \times LAD \times \langle u \rangle^2 \Rightarrow C_D = 0.1 - 0.4$$

$$\frac{D\rho K}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial K}{\partial x_j} \right] + \rho P - \rho \varepsilon + a_L C_D \rho \left[\langle U \rangle^3 - 4 \langle U \rangle K \right]$$

Nouveaux outils de simulation numériques

WFDS: Wildland Fire Dynamic Simulator



Ignition



24 seconds



32 seconds



46 seconds



56 seconds



68 seconds

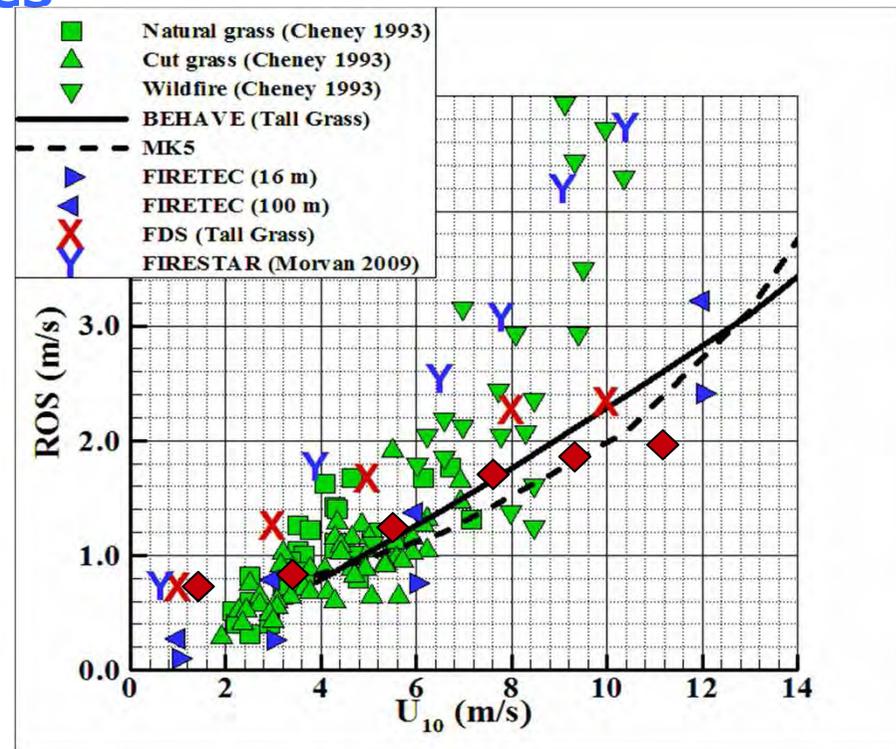


US Forest Services Pacific Wildland Fire Sciences Lab. (Seattle)
NIST National Fire Research Lab. (Gaithersburg)

Feux expérimentaux à grande échelle (prairie, CSIRO, Australie)

Parcelle: 20 m x 50 m (+ bande de sécurité)

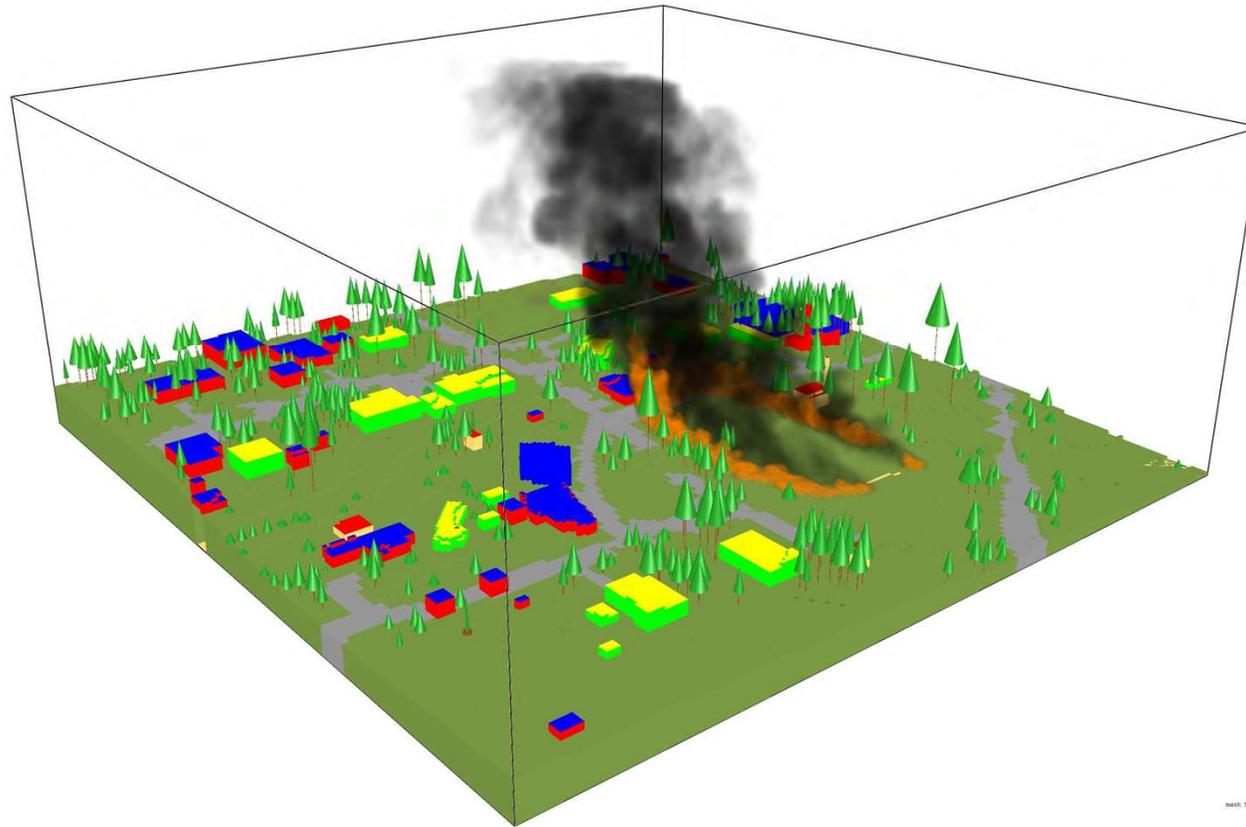
Maillage > 20 Millions de cellules



Nouveaux outils de simulation numériques

WFDS: Wildland Fire Dynamic Simulator

Smokeview 5.4.6 - Oct 22 2009



page 1

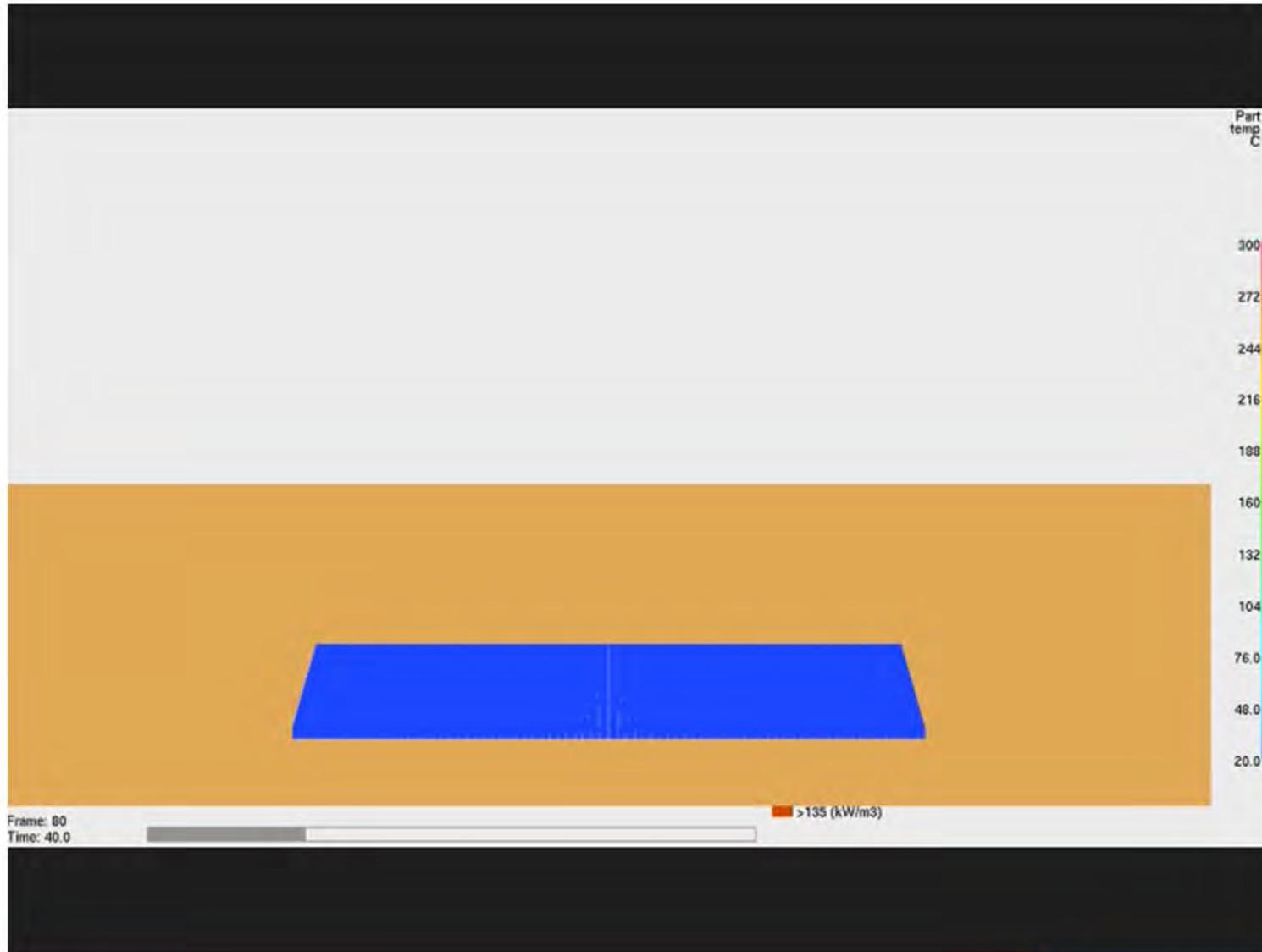
Feu de prairie: simulation 3D (WFDS)

Parcelle: 50m x 20m $U_{10} = 1$ m/s



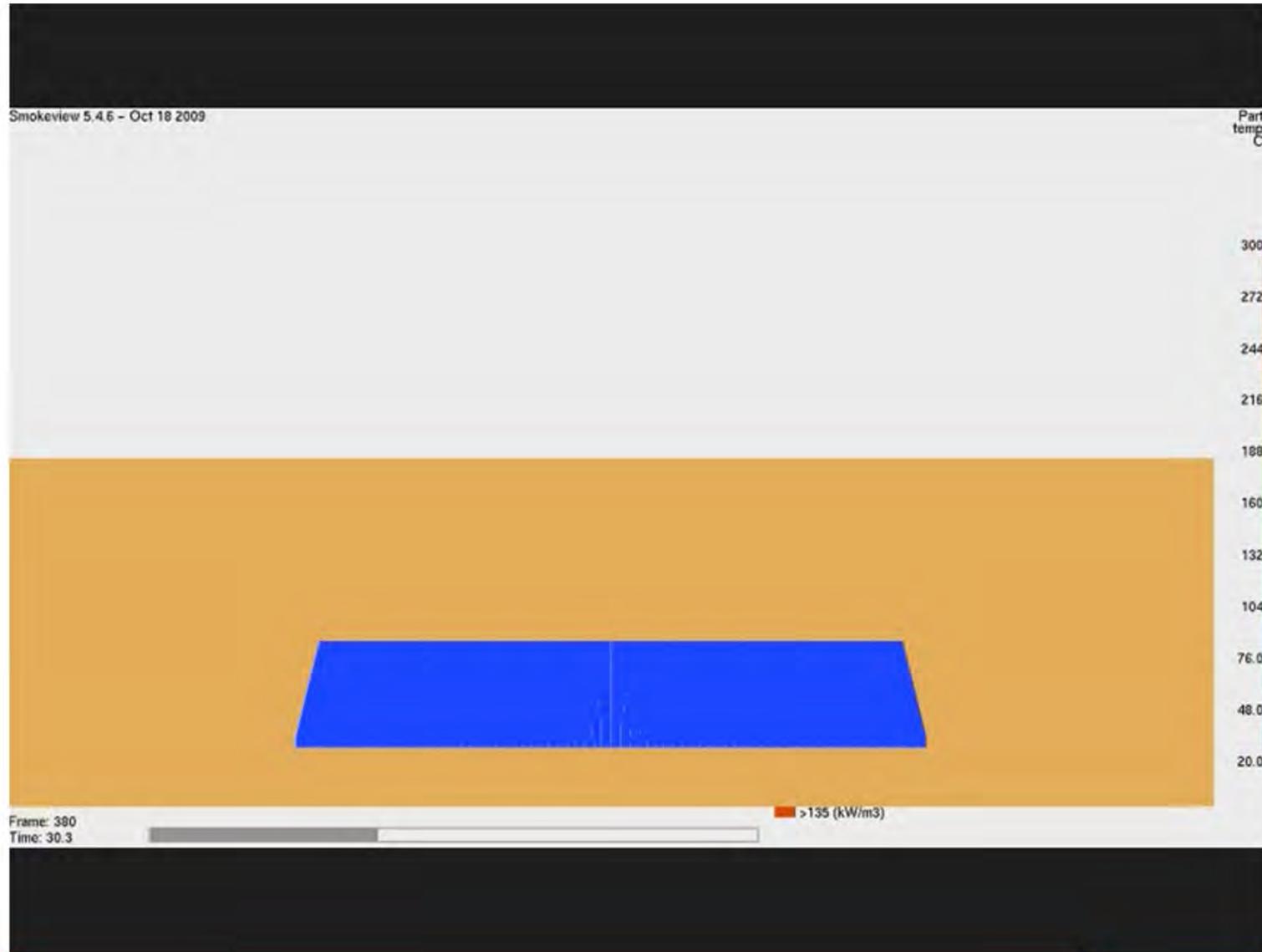
Feu de prairie: simulation 3D (WFDS)

Parcelle: 50m x 20m $U_{10} = 3$ m/s



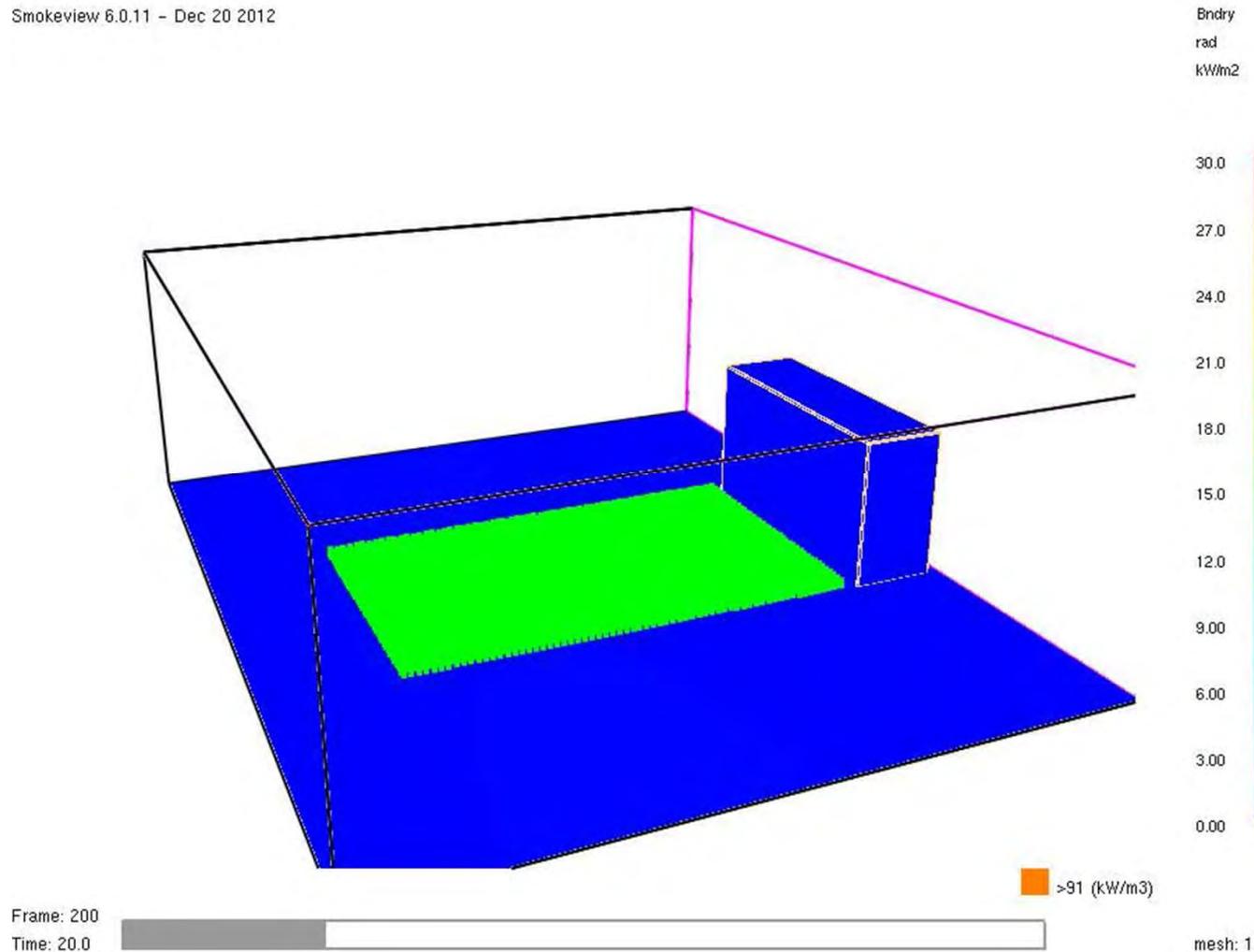
Feu de prairie: simulation 3D (WFDS)

Parcelle: 50m x 20m $U_{10} = 10$ m/s

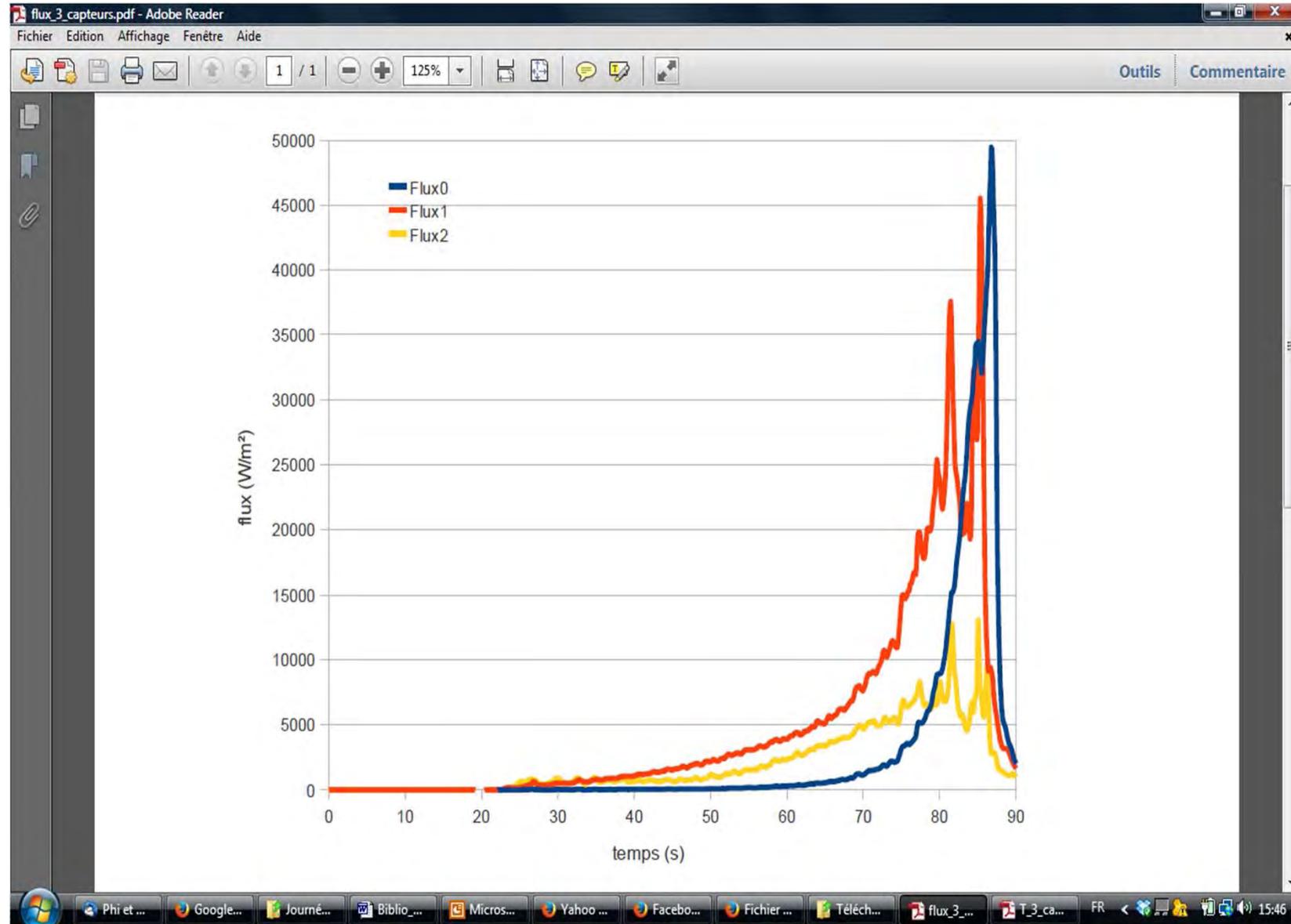


Propagation d'un dans la WUI ($U_{10}=1$ m/s)

Smokeview 6.0.11 - Dec 20 2012

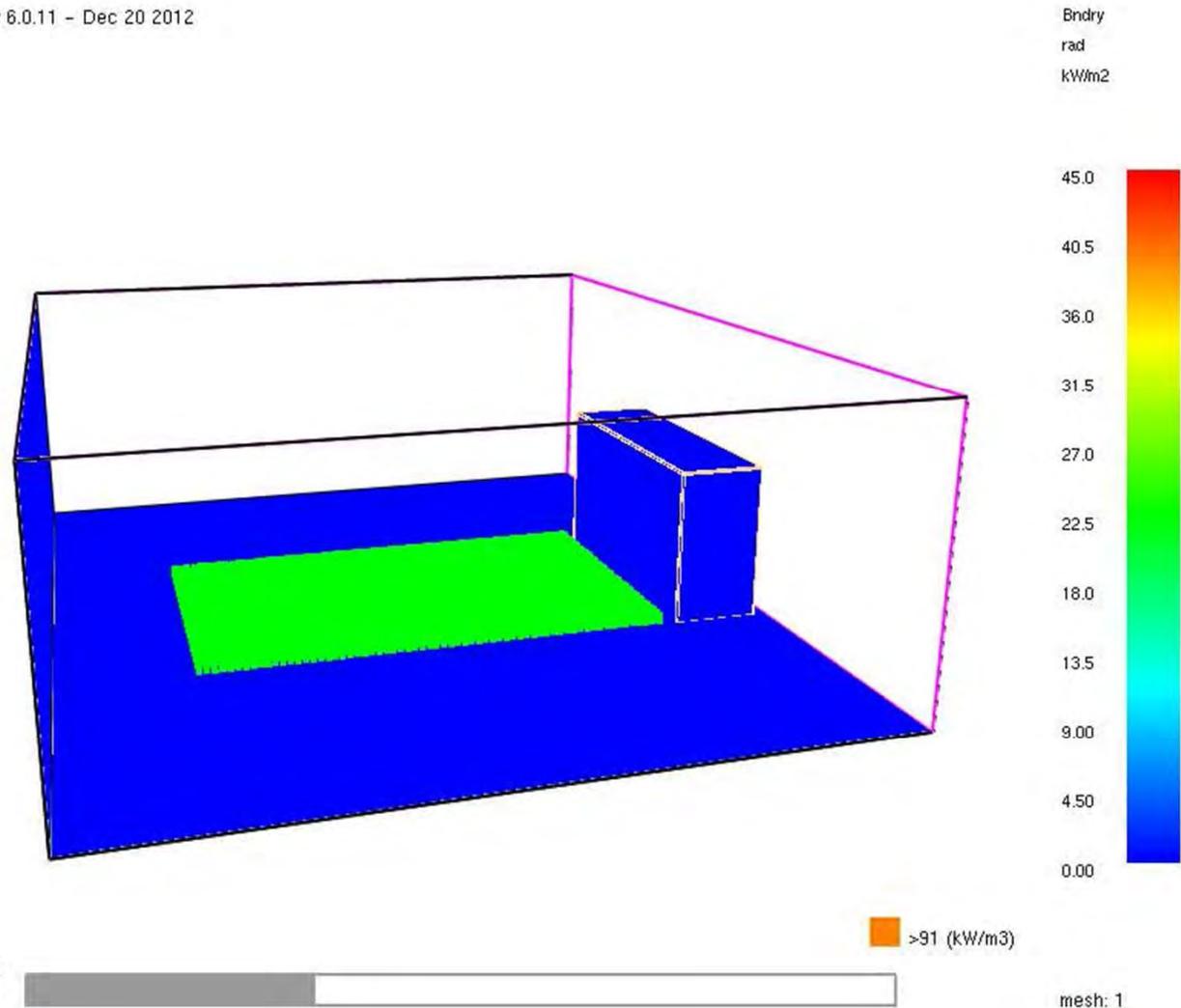


Flux de chaleur reçu à $Z = 0, 5.5$ et 10m

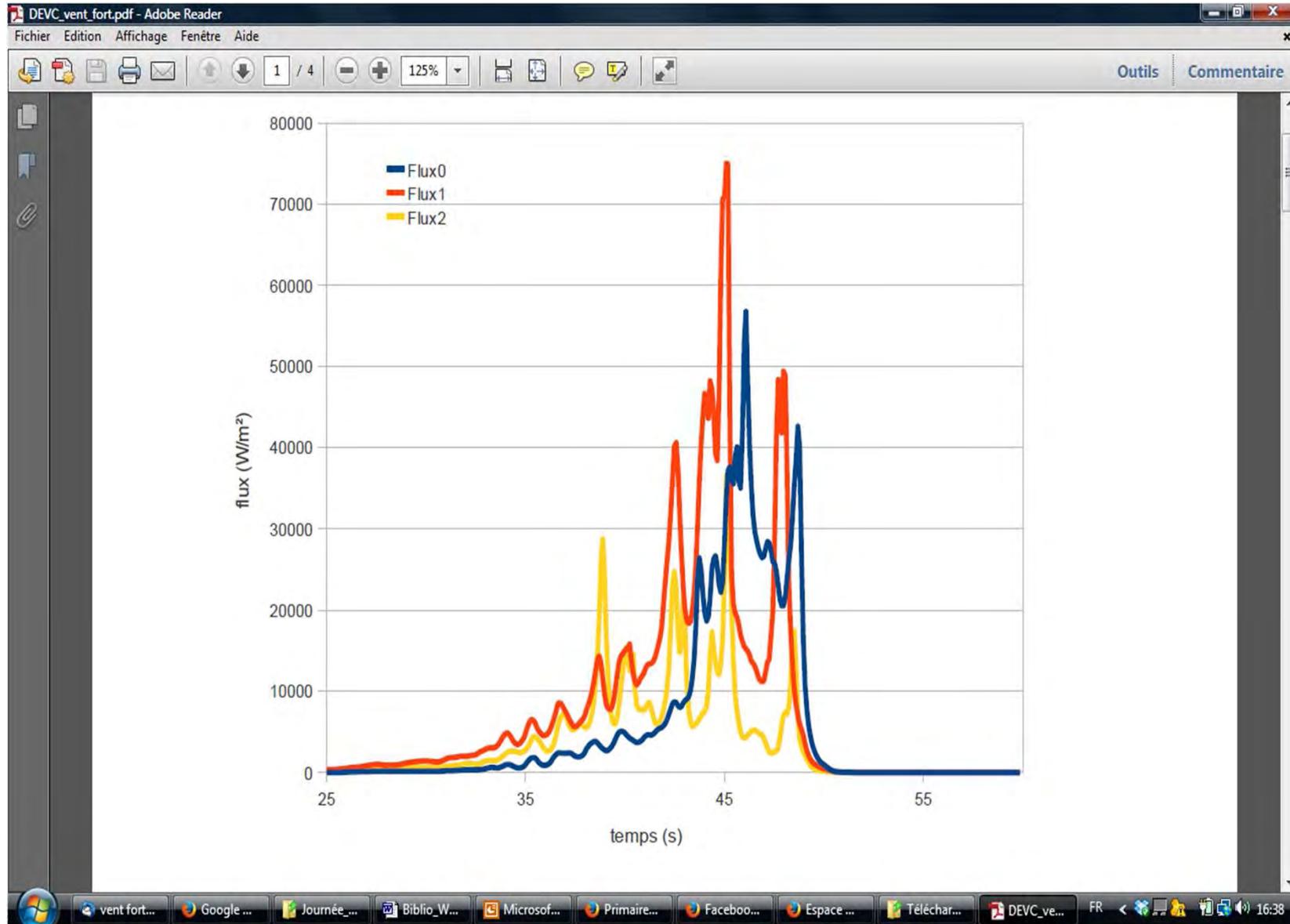


Propagation d'un dans la WUI ($U_{10}=10$ m/s)

Smokeview 6.0.11 - Dec 20 2012



Flux de chaleur reçu à $Z = 0, 5.5$ et 10m



Vers la conception d'un habitat résistant au feu.



**Ref: I. Weir Queensland University of Technology
(Australie).**

Questions ?

