

# Comportement multi-fractal des grands incendies de forêts

**N.Zekri avec**

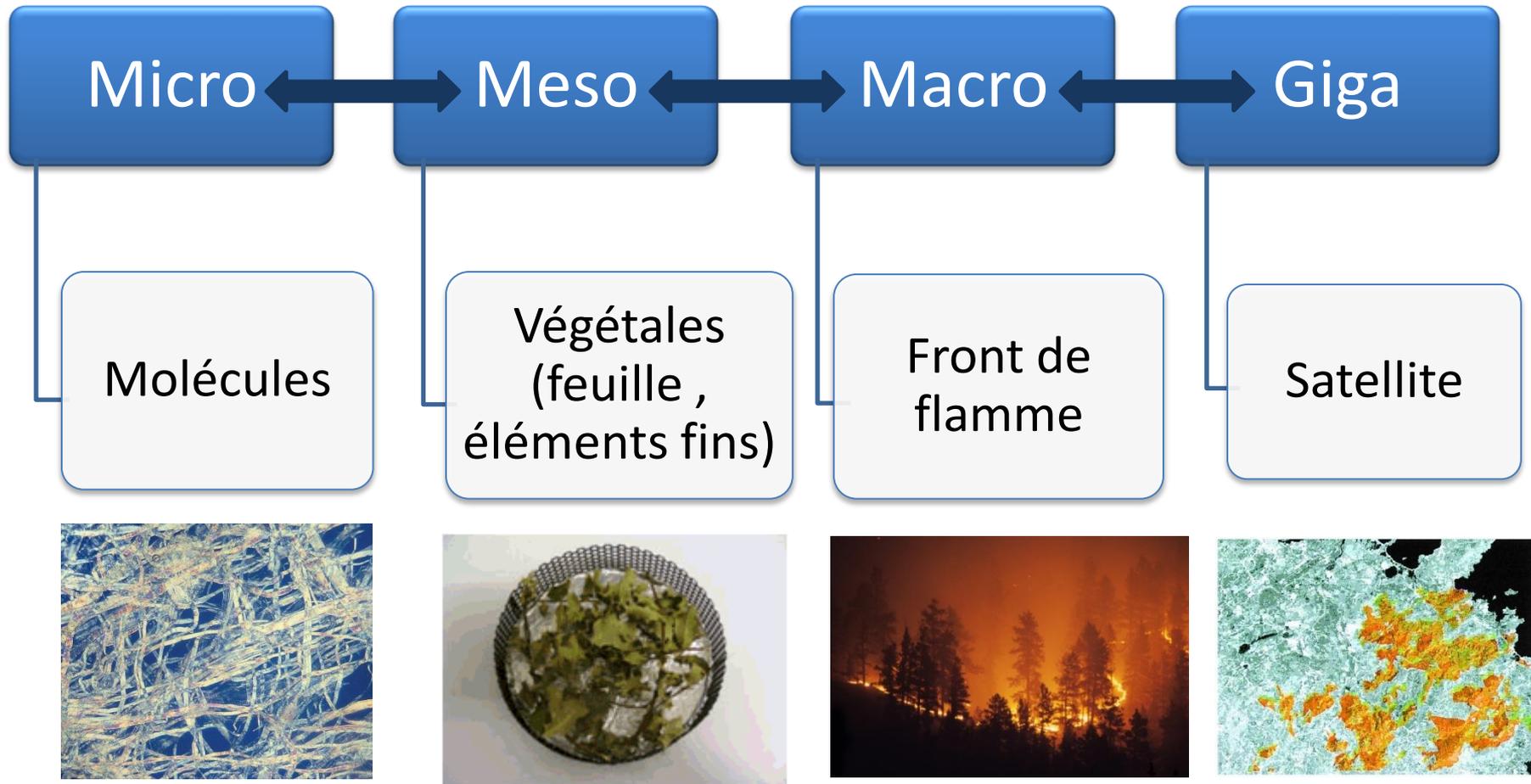
**Y.Baara et K.Khelloufi Doctorantes**

**LEPM USTO**

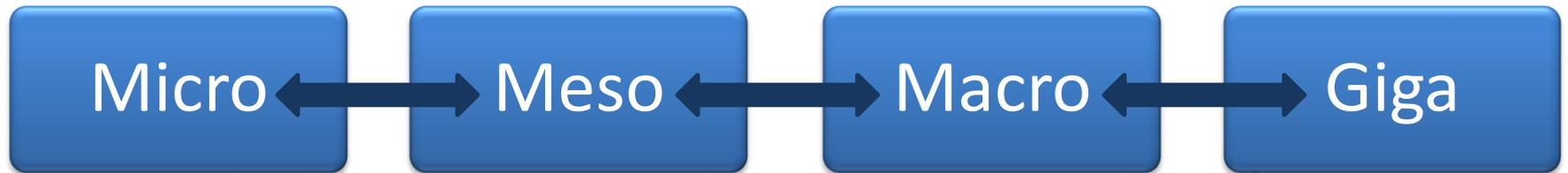
**Collaboration avec J.P.Clerc IUSTI**

**Marseille France**

# Problèmes multi-échelle et multi-physique



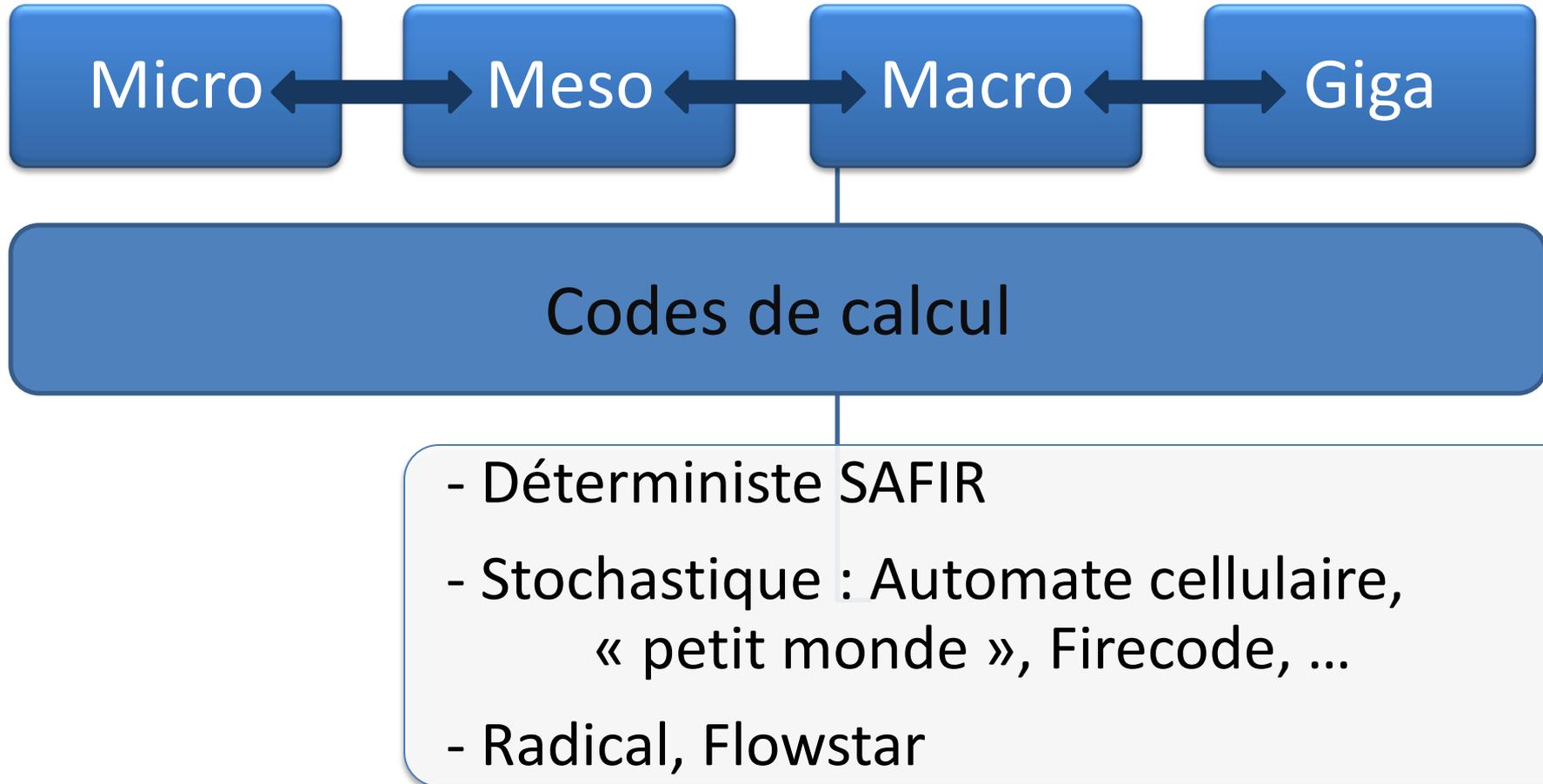
# Problèmes multi-échelle et multi-physique



Moyens expérimentaux

- Satellites
- Détection IR (multifréquences)
- Analyse fractales (surface brûlée, Landscape, ...)

# Problèmes multi-échelle et multi-physique



USTO - IUSTI –SPE

# Verrous technologiques : à chaque échelle

## MICRO

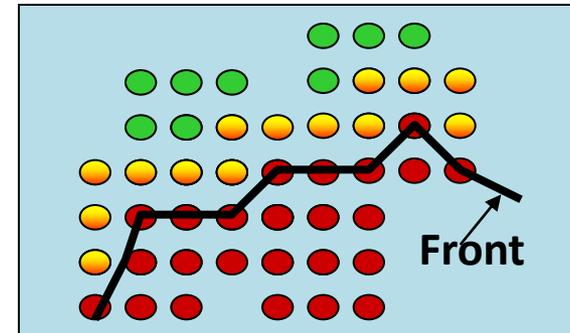
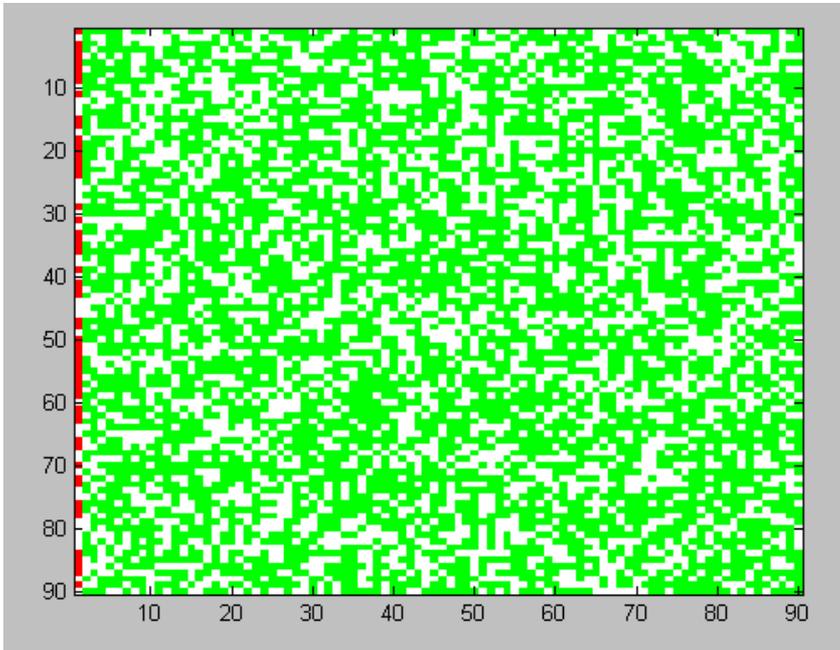
- Pyrolyse
- Combustion
- Suie

## MESO

- Banque de données :  
Thermo/Chimie des végétaux
- Rayonnement / milieux poreux
- Humidité ??

# Modèle stochastique de propagation Des feux de végétation

Réseaux réguliers (Automates cellulaires, percolation)



## Contacts locaux seulement

(plus proches voisins d'un site en feu)  
→ ignore les connexions à longue distance (sautes, ray. Flamme)

→ Ces réseaux ne décrivent pas correctement les feux réels (ros, surface brûlée, dimension fractale)

→ Limité à des configurations simples (végétation homogène et continue, terrain plat, sans vent, etc.) et pas de pondération en temps

# Modèle stochastique de propagation Des feux de végétation

## Une nouvelle approche...le réseau de petit monde

[D.J.Watts and S.H. Strogatz, Nature 393, 440 (1998)]

Bien adapté aux réseaux sociaux (épidémie, virus internet, connections d'aéroport)

**Réseau de petit monde** = + **réseau régulier (plus proches voisins)**  
+ **connections longue distance (ex. sautes)**

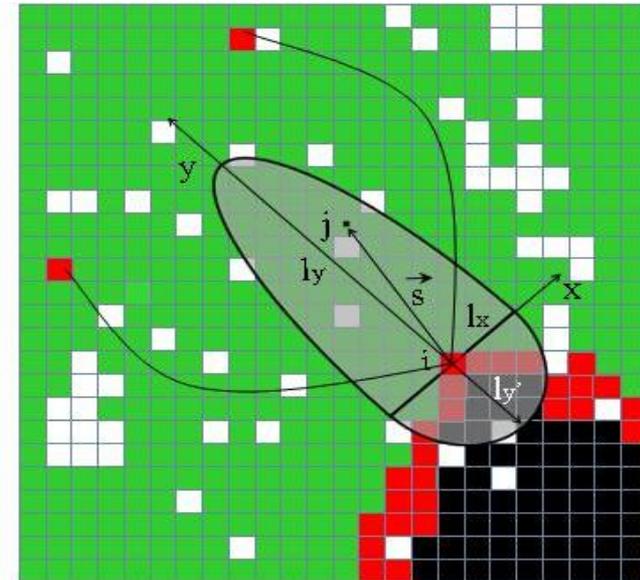
## Extension aux feux de forêts

*pp voisins* → *domaine d'interaction*  
(rayonnement de flamme)

## Introduction de la physique de la Combustion

(Temps d'allumage et de dégradation thermique de la végétation, hauteur de flamme, etc.)

*Rôle d'anisotropie* (Pente / Vent)

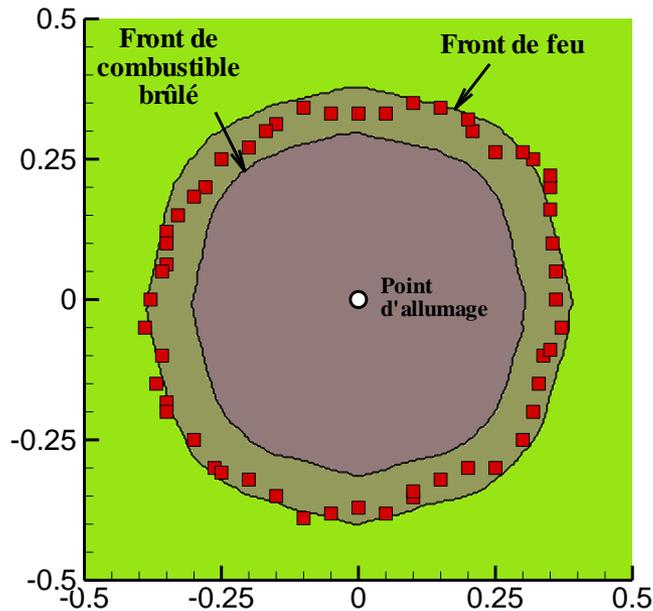


- Burning cell
- Non burning (healthy or heated) cell
- Interaction domain of burning cell  $i$
- Empty or non combustible cell
- Burned cell

# Modèle stochastique de propagation Des feux de végétation

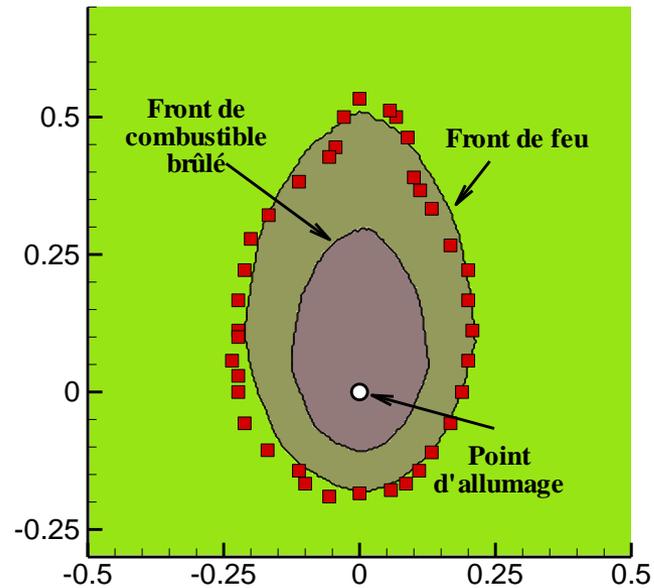
## Validation à l'échelle du laboratoire

*Terrain plat, sans vent*



Isotrope

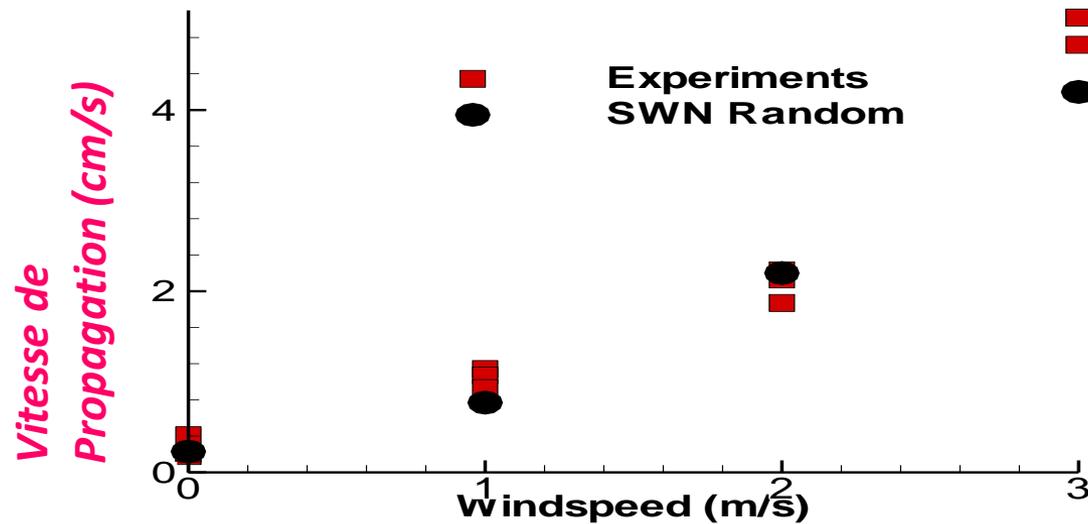
*Pente 30°, sans vent*



Anisotrope

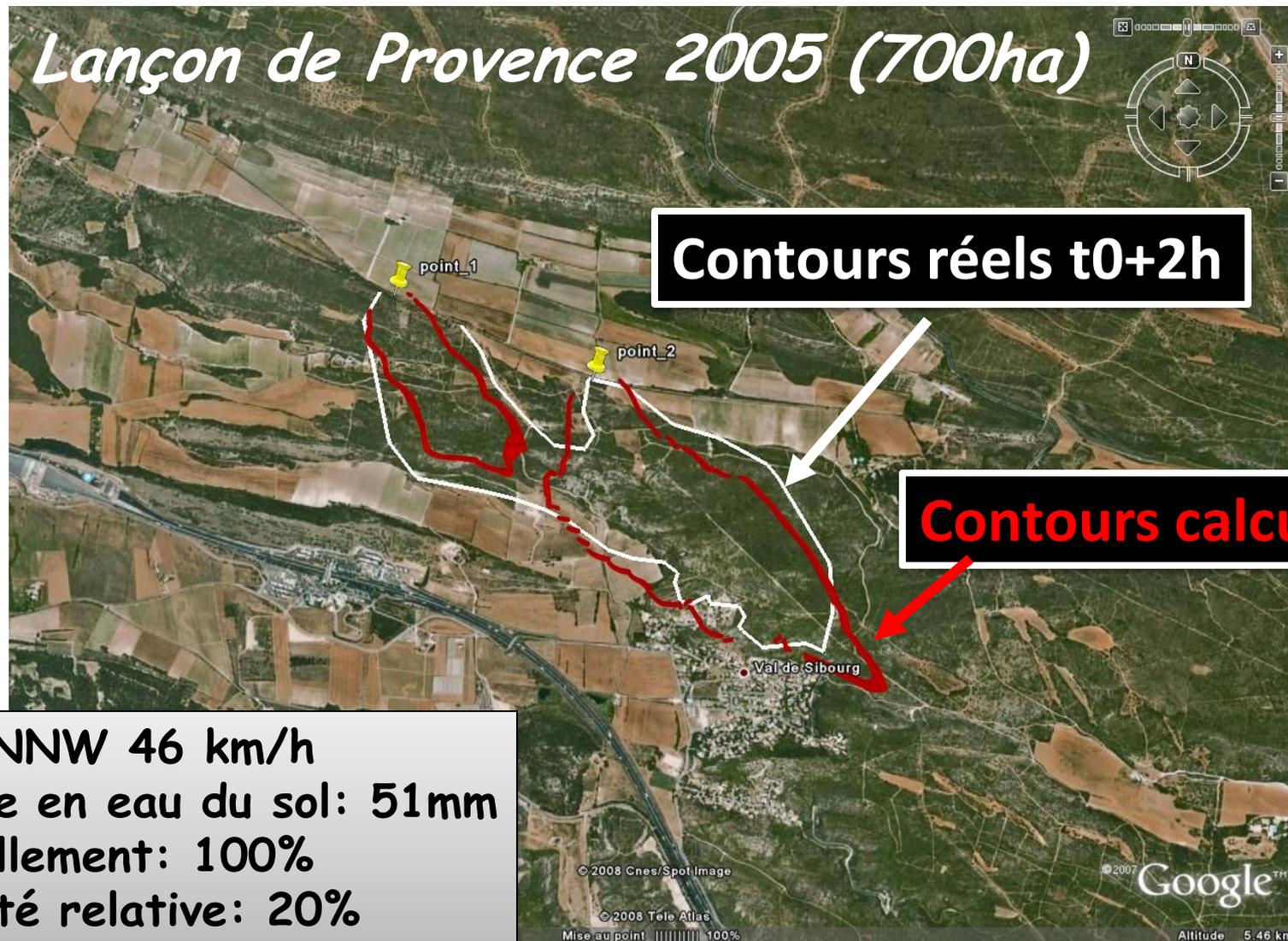
# Modèle stochastique de propagation Des feux de végétation

## Validation à l'échelle du laboratoire



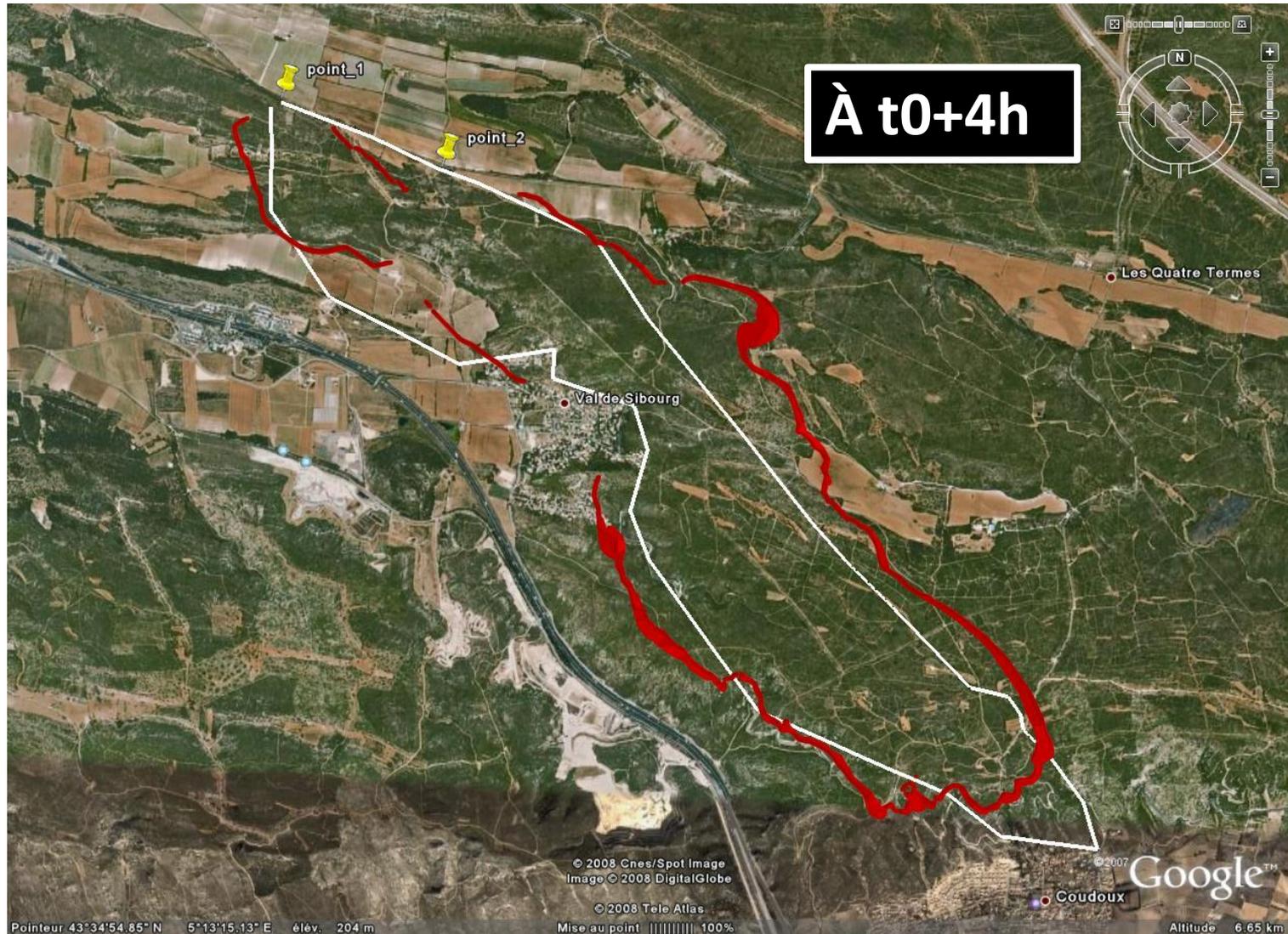
# Validation grande échelle Benchmark GdR Feux du CNRS

*Lançon de Provence 2005 (700ha)*



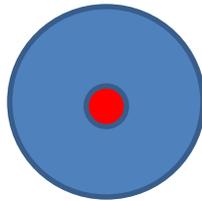
Vent: NNW 46 km/h  
Réserve en eau du sol: 51mm  
Ensoleillement: 100%  
Humidité relative: 20%

# Validation grande échelle Benchmark GdR Feux du CNRS



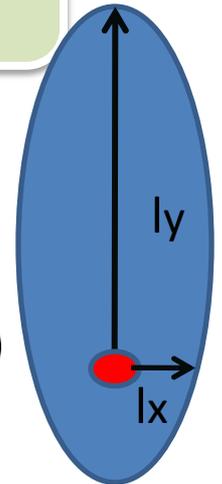
# Transition de phase propagation / non propagation

Domaine d'interaction  
Circulaire (ni vent, ni pente)



1

Domaine d'interaction  
Très étiré  
(vent et/ou pente)

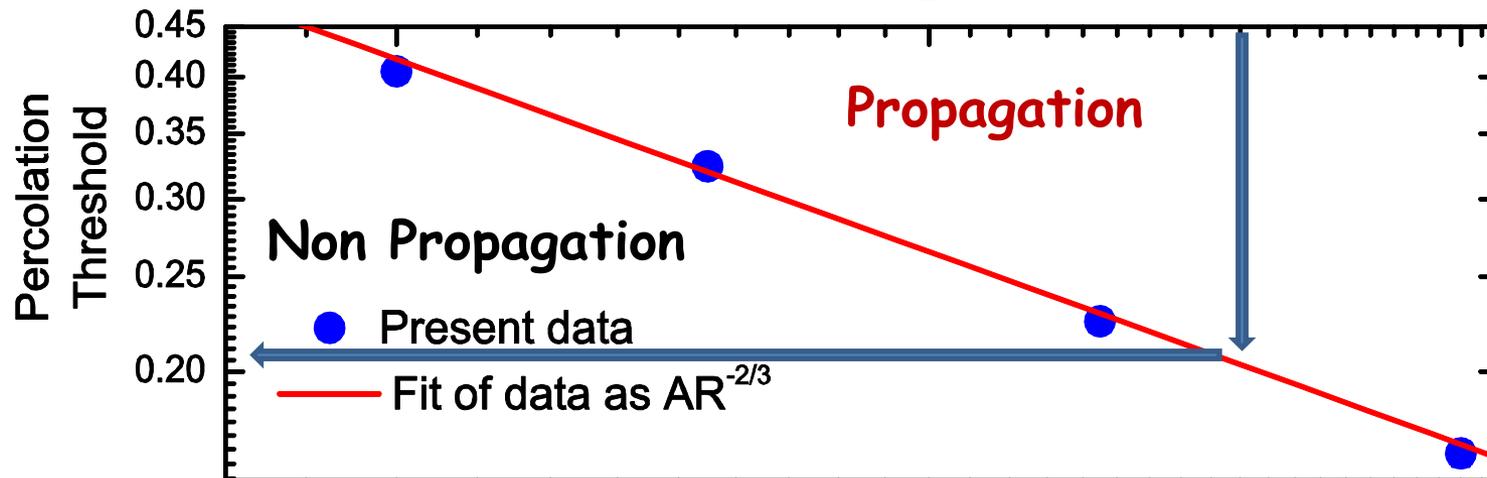


$$AR = l_y / l_x$$

2

3

4



**Pour un rapport d'anisotropie de 3 (fort vent et/ou pente): la propagation a lieu lorsque la végétation couvre plus de 20% du terrain**

# Fractal dimension ( $D_f$ ) determination

## Definition of $D_f$ :

More information is available in:

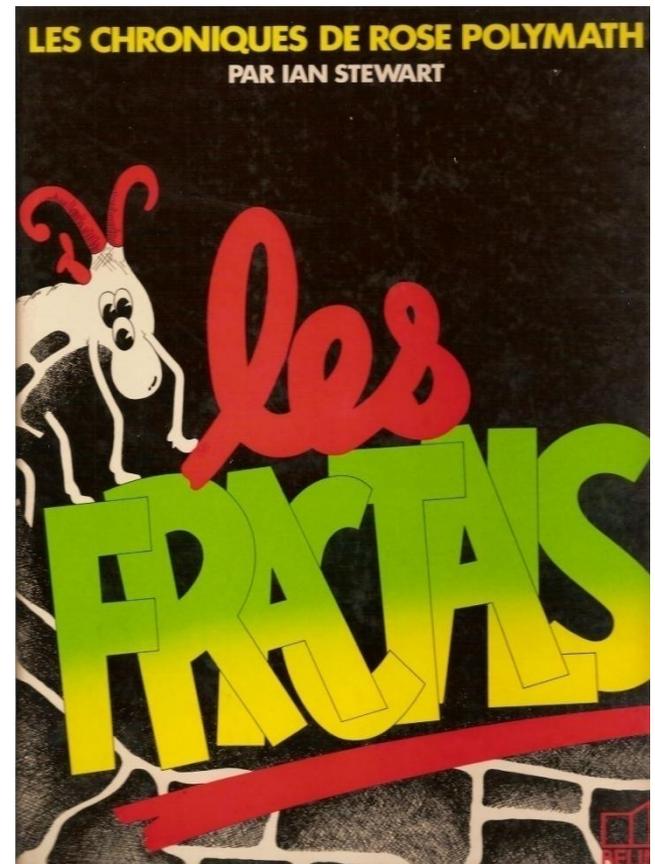
*Les Chroniques de Rose Polymath*

*Par Ian Stewart*

*Book of Mandelbrot*

Surface brûlée / en feu:

Taille  $D_f \Rightarrow$  intensité/vitesse du feu



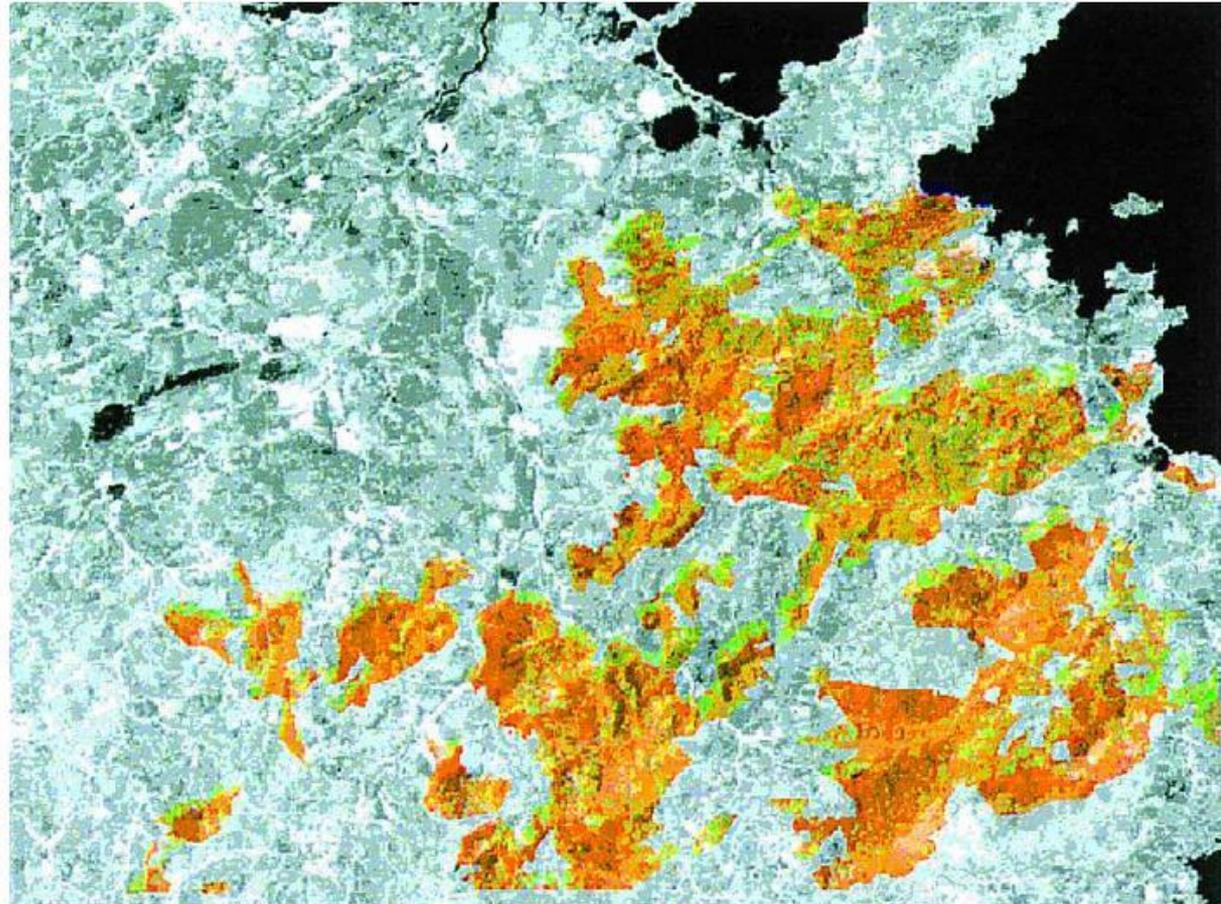
# Les fondements physiques du modèle stochastique de propagation des feux de végétation

Échelle gigascopique

Images satellites:  
Comportement fractal  
du feu  
(hétérogénéités locales:  
Vent, terrain, végétation)



Modèle stochastique



# Overview

## Goal:

Introduce a real landscape (fractal) and to study the influence in the forest fire propagation

## Know-how:

The small world local network...

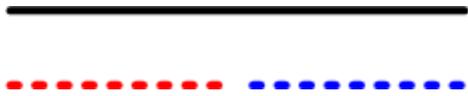
## To improve:

- Modeling the fractal landscape
- A representative dynamic of fire propagation behavior...

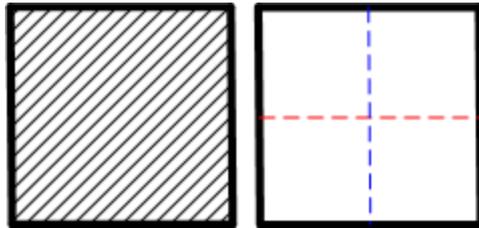


# Fractal dimension ( $D_f$ ) determination

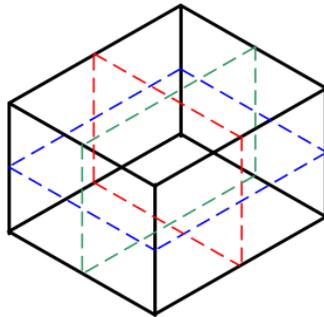
Definition of  $D_f$ :



$$2 = 2^1$$



$$4 = 2^2$$



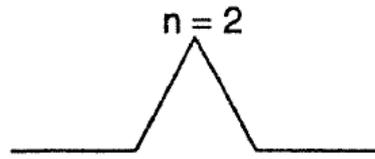
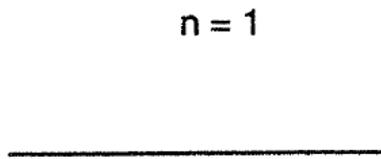
$$8 = 2^3$$

$$n = b^D$$

# Fractal dimension ( $D_f$ ) determination

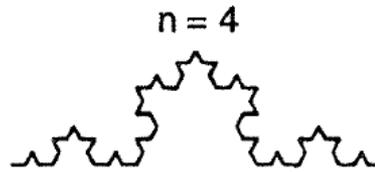
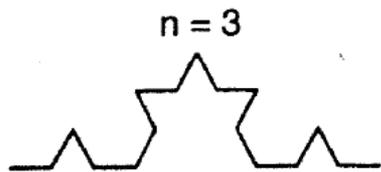
## Definition of $D_f$ :

The *Koch* curve  $\Rightarrow$  divide each line segment into three ( $b=3$ ) segments and replace the center segment with two segments the same length as the segment being replaced, and then to repeat...



$$m = b^D$$

$$D_f = \ln(m)/\ln(b)$$



$$D_f = \ln(4)/\ln(3)$$

$$D_f \approx 1.26$$

# Fractal landscape generation

Weierstrass Model:

$$X(x, y) = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \lambda^{-\alpha k} \sin (\lambda^k (x \cos(B_k) + y \sin(B_k))) + A_k$$

$A_k$  and  $B_k$ : are independent, uniformly distributed in  $[0; 2\pi)$ .

$C_k$  : are independent, normally distributed with mean 0 and variance 1.

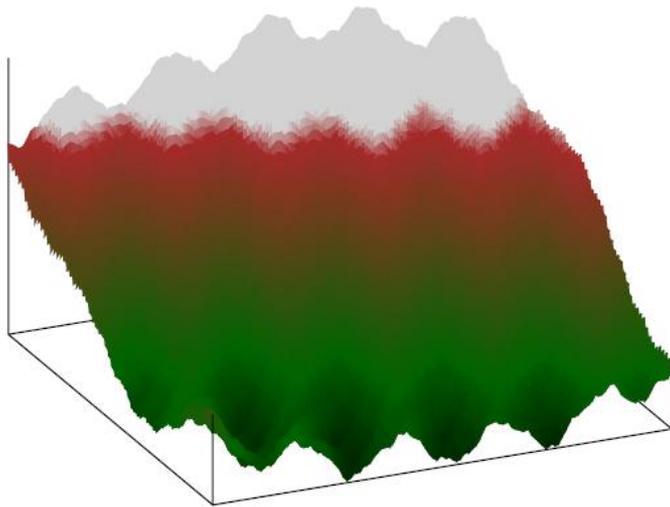
$\lambda$  : a parameter  $> 1$ .

$\alpha$  : the index of the surface.

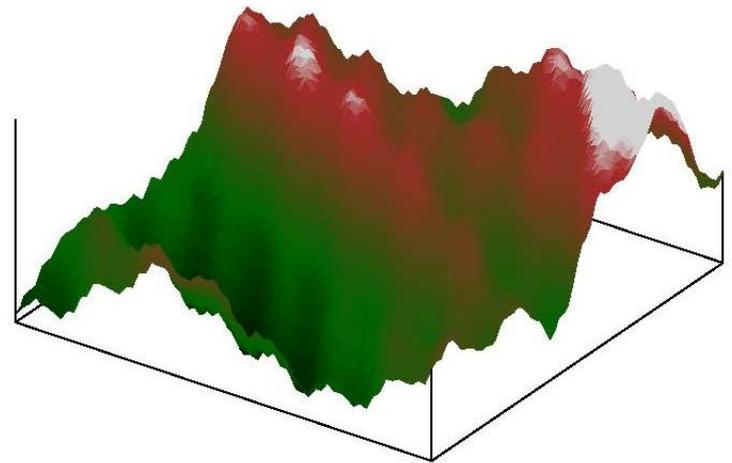
# Fractal landscape generation

## Weierstrass Model:

Some examples...



$D_f = 2.1$



$D_f = 2.2$

# Fractal dimension ( $D_f$ ) determination

## Box counting method:

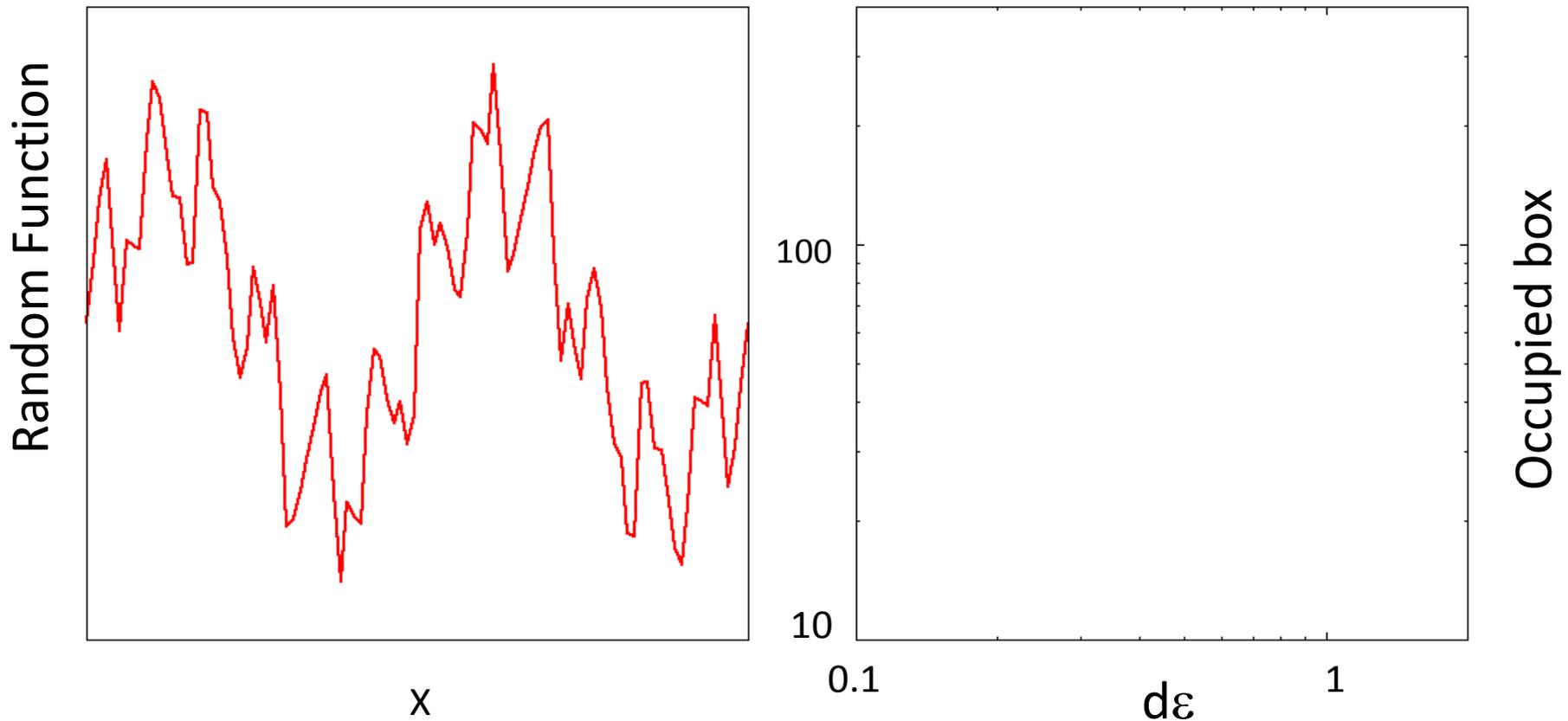
In Euclidean space the volume  $V$  of an object scales as:  $V \propto L^d$   
where  $L$  stands for the side of the object and  $d$  is its usual Euclidean dimension.

- For this we enclose the object in a cube with dimension  $d_E$
- Then we divide the side of the cube in segments of length  $\varepsilon$
- The volume  $V$  will be directly proportional to the number of little cubes  $N_\varepsilon$  of volume  $1/\varepsilon^{d_E}$  needed to cover the object

$$N_\varepsilon \sim 1/\varepsilon^d \qquad d = - \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(N_\varepsilon)}{\ln(\varepsilon)}$$

# Fractal dimension ( $D_f$ ) determination

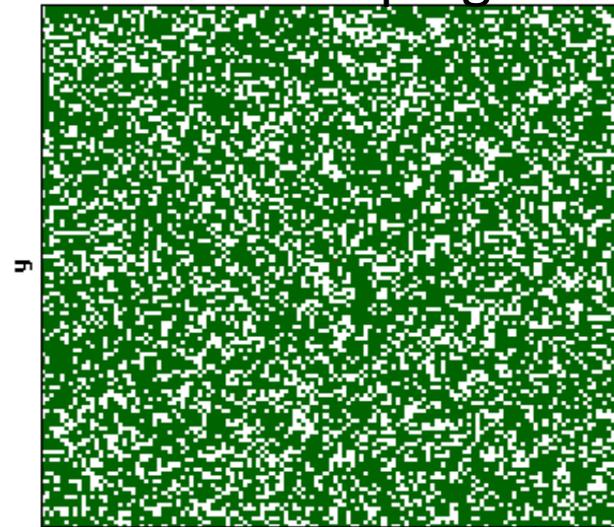
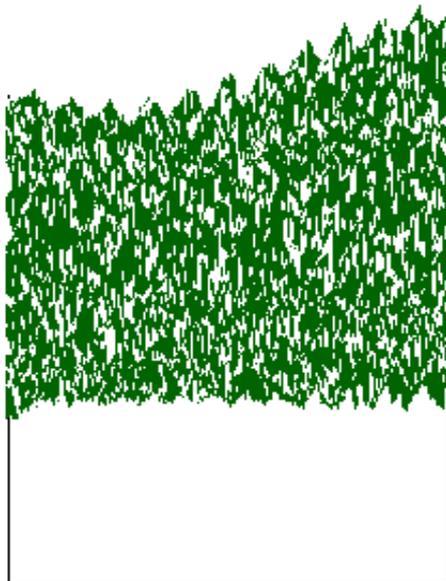
## Box counting method:



# Some results

Propagation of a forest fire in a fractal landscape:  $D_f = 2.2$

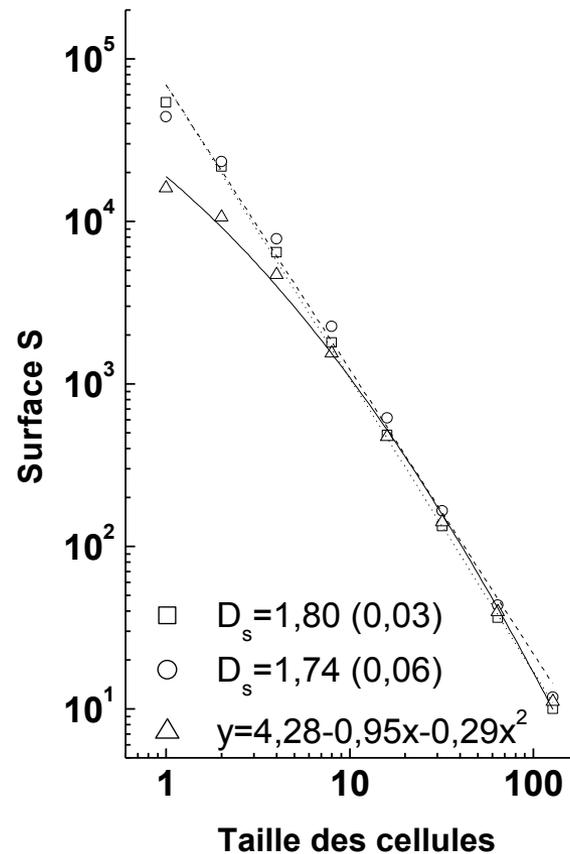
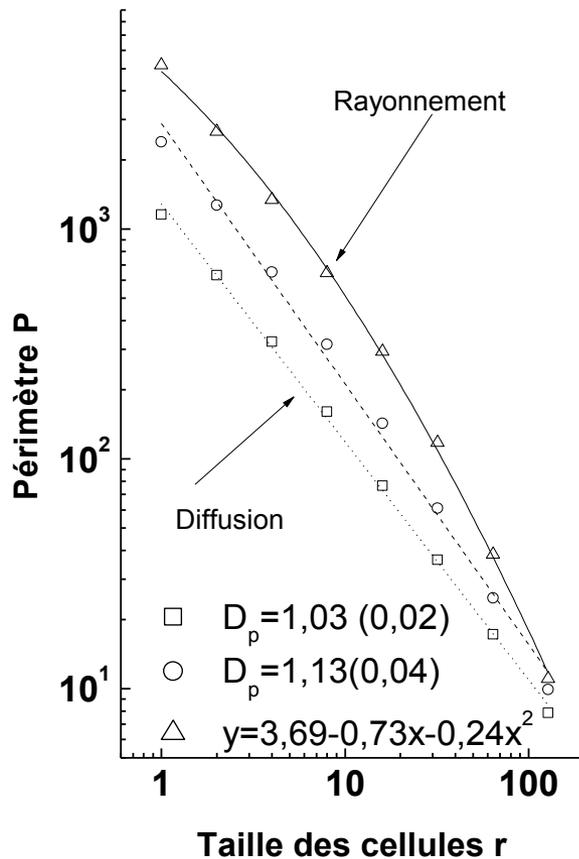
Doping = 0.7



x

x

# Analyse fractal du processus de propagation



# Conclusion

- Analyse fractale du périmètre du feu  $P=L^{D_f}$  (optimisation des moyens de lutte)
- Surface brûlée (au-delà de la zone d'impact) fractale  $D_f \sim 1,8$  (accord avec Caldarelli 2001)
- Périmètre du feu: dépend du processus de propagation
  - A) fractal si le processus est une diffusion
  - B) parabolique ou multifractal si le processus est le rayonnement (super-diffusif); vent ou pente
- Caldarelli 2001: Périmètre fractal ( $D_f=1,3$ ) A-t-il trouvé une fractale ou multifractale ?

# Perspectives

- Caractérisation du vent et pente par l'analyse multi-fractale
- Influence de la rugosité du terrain/végétation sur la dimension fractale/multifractale du front
- Image satellite: périmètre multifractal => **estimation du vent et de la pente**