Caractérisation statistique des régimes de feux de forêt

Adrien Mangiavillano (ESPACE, Avignon)

8ème rencontre du GDR n°2864 « Feux de forêts et de Compartiments »

IUSTI - Marseille, le 15 janvier 2009

UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Une posture géographique sur le phénomène feu de forêt

- Physique et Climatologie : **propagation** des feux
  Géographie : **variations spatiales et temporelles** du phénomène

- Une **différenciation spatiale** basée sur des **indicateurs quantitatifs**

- Un jeu sur les **échelles** pour rendre compte
  des **structures** et des **dynamiques spatiales**

- L'expression régionale de la **variabilité d'un phénomène mondial**

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Une posture géographique sur le phénomène feu de forêt

- La statistique pour tendre vers la nature profonde du feu de forêt : **rechercher des récurrences, un ordre qui transcende les cas particuliers**.

- Participer à une **appréhension globalisante** du feu de forêt (**régimes**).

- **Améliorer l'aide à la décision** en proposant des **cartes** construites sur la **dimension structurelle du phénomène**.

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

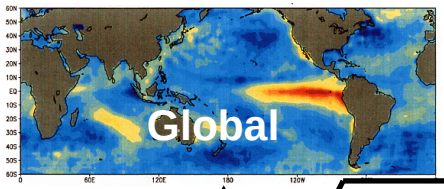
Une posture géographique sur le phénomène feu de forêt

- À partir de la **mémoire française** du phénomène, on peut étudier ses propriétés :

  - **Propriétés hiérarchiques** : une relation fréquences / tailles structurée
  - **Propriétés temporelles** : un enchaînement chronologique irrégulier
  - **Propriétés spatiales** : des traces de feux rugueuses

- L'échelle au centre des débats : une **démarche multi-scalaire et des mesures fractales**.

UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE



Modèles climatiques

Conditions environnementales
(T° ; Vent ; P↓; Ensoleillement)

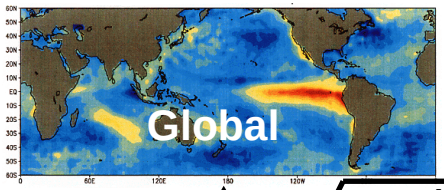
Modèles physiques

Percolation
« Petits mondes »

Propagation :
Structures spatiales
et rayonnement

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur



Modèles climatiques

Modèles physiques

Conditions environnementales
(T° ; Vent ; P↓; Ensoleillement)

Tailles

Régime

Fréquences ⟵ **Cyclicité**

Percolation
« Petits mondes »

Propagation :
Structures spatiales
et rayonnement

A. Mangiavillano

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERLEN
Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt

→ Fréquences simples

L'occurrence de chaque valeur de surface brûlée observée

→ Fréquences cumulées

Pour une valeur (en ha), le nombre de feux qui ont une surface supérieure à AF (pour Aire Feu)

→ Densités de fréquences

$$f(A_F) = -\frac{\delta N_F}{\delta A_F}$$

avec *AF* la surface brûlée et *δNF* le nombre de feux dans un intervalle *δAF*

Cette surface correspondante défini un intervalle compris entre la valeur et le minimum de la distribution

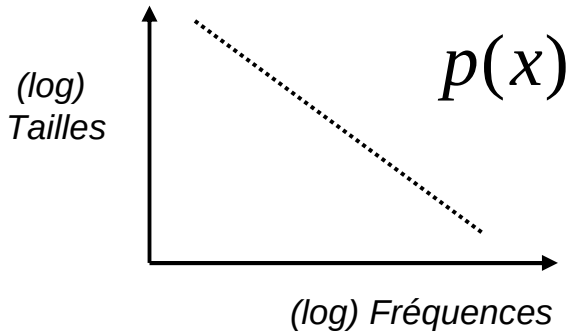
C'est donc une forme de discrétisation

A. Mangiavillano

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
cnrs
ESPACE
CERGN
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :

-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt



$$p(x) = Cx^{-\alpha}$$

Les séries statistiques de feux sont structurées en **loi puissance (α)**

- La moyenne n'a pas de **sens**
- Phénomène **invariant d'échelle**
- Phénomène **auto-organisé**
- Calcul possible des **probabilités**

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

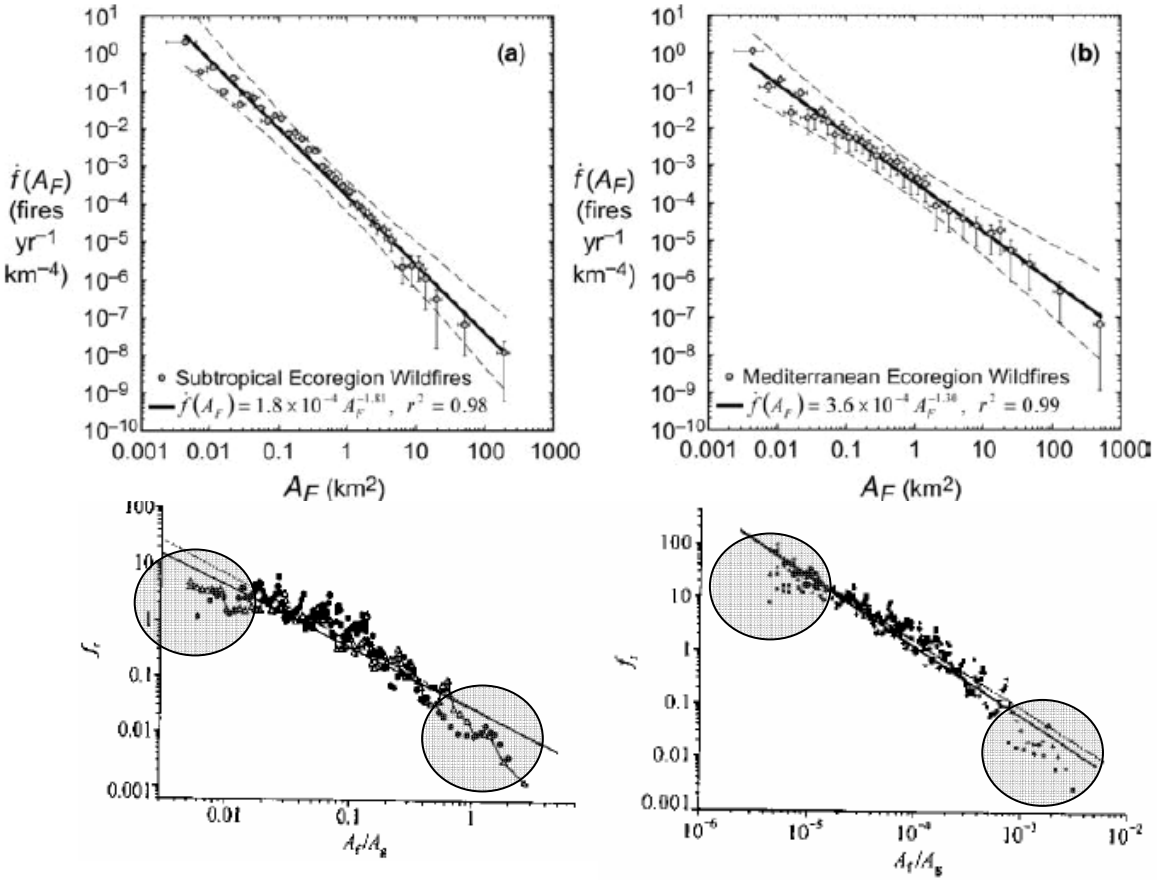
Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :

-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt

Méthode utilisée à l'étranger

(Malamud et *al.*, 2005 ; Song et *al.*, 2001 ; Ricotta et *al.*, 2001).



Plusieurs séries sont superposées (jusqu'à 50)

Il y a un certain décalage par rapport la droite de Pareto

A. Mangiavillano

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

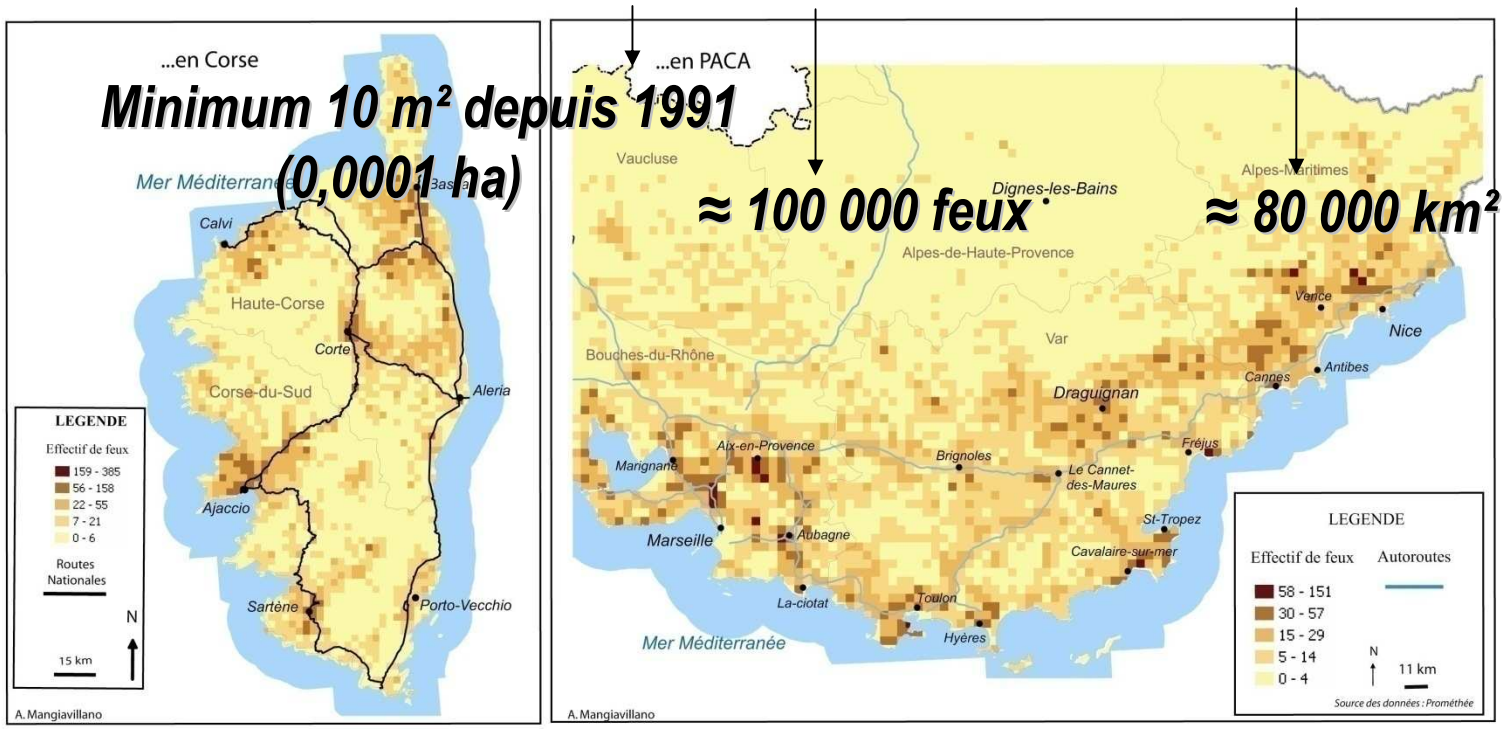
cnrs
ESPACE
CERTEN
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :

-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt

Méthode utilisée à l'étranger
(Malamud et *al.*, 2005 ; Song et *al.*, 2001 ; Ricotta et *al.*, 2001).

La base française est **plus précise**, **plus étoffée** et couvre un **large espace**



UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

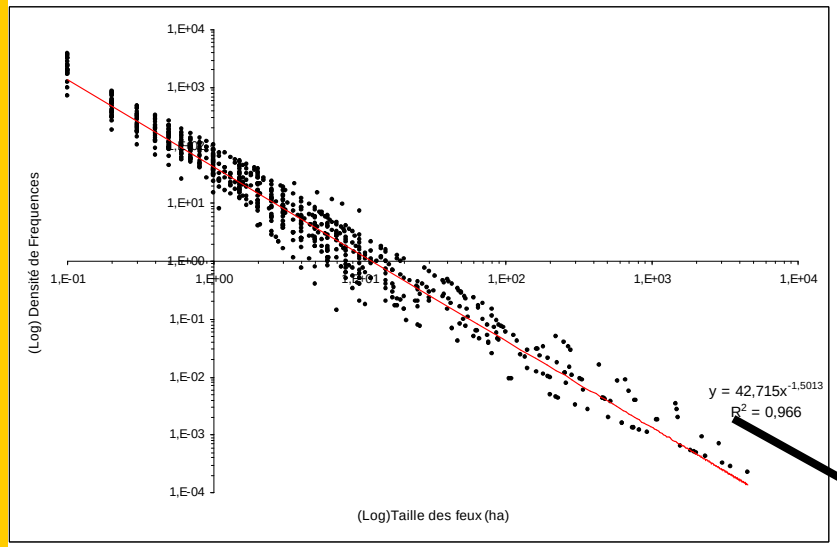
cnrs

ESPACE

CERTEN

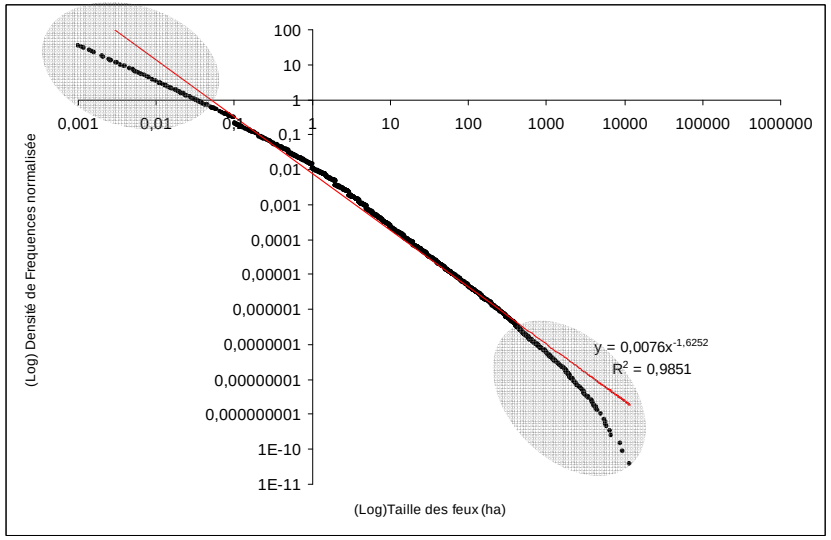
Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt



Superposition de plusieurs séries annuelles

Le bruit que l'on a crée masque une déviation !



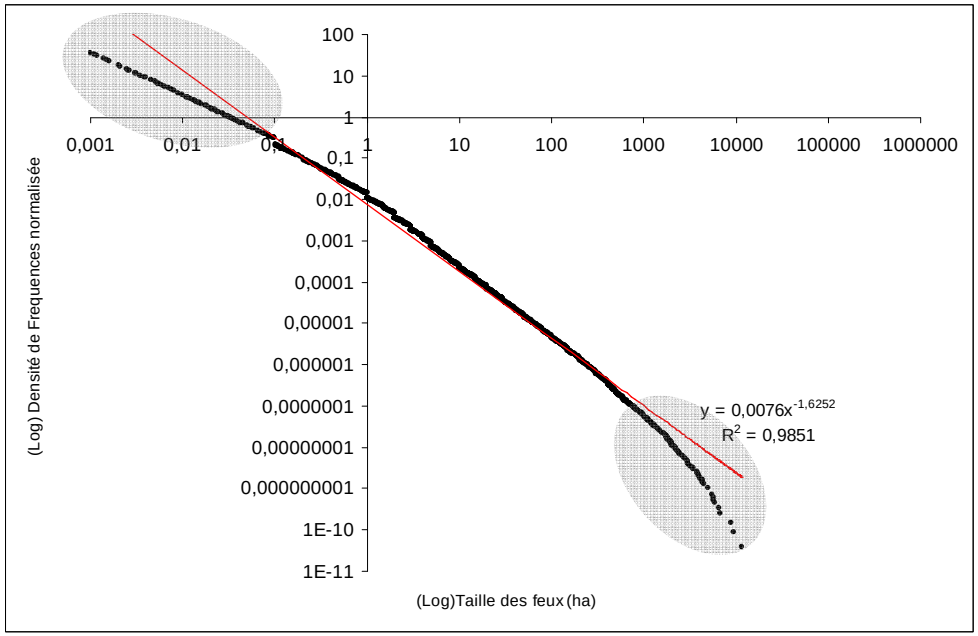
La distribution ne semble pas rectiligne mais courbe

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERGN
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :

-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt



La distribution est courbe :

- les rapports scalaires ne sont pas constants.
- l'exposant α est une approximation.

→ **Comment mesurer cette courbure ?**

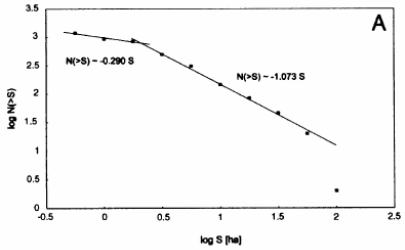
→ **Quelle en est la signification ?**

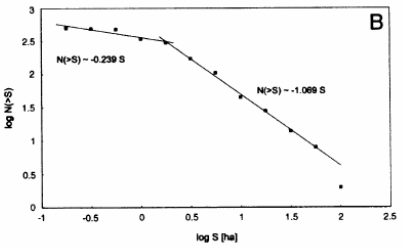
UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

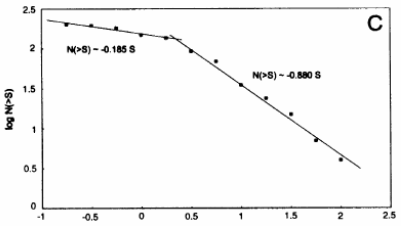
Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

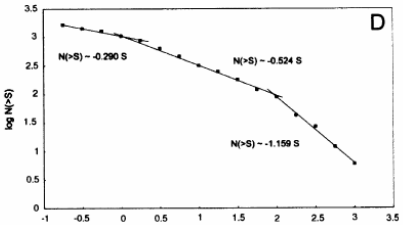
Résultats :

-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt



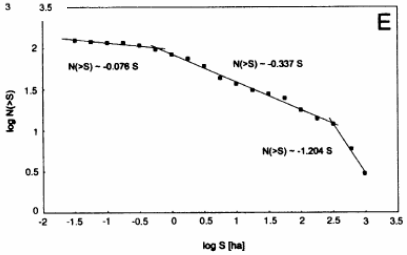


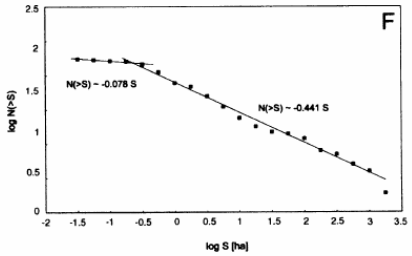




(Ricotta et al, 2001)

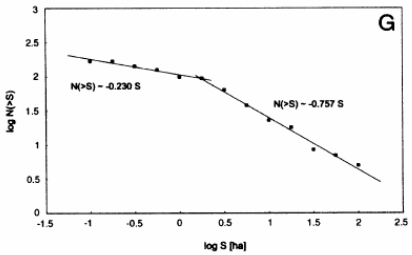
Une solution pratique :
des segments de droite

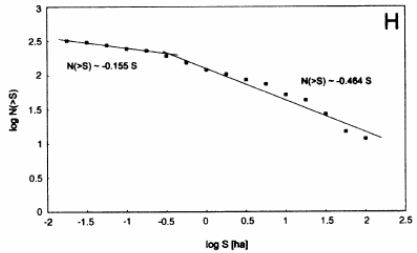




Quel sens donner aux seuils ?

Comment justifier leur nombre ?





A. Mangiavillano

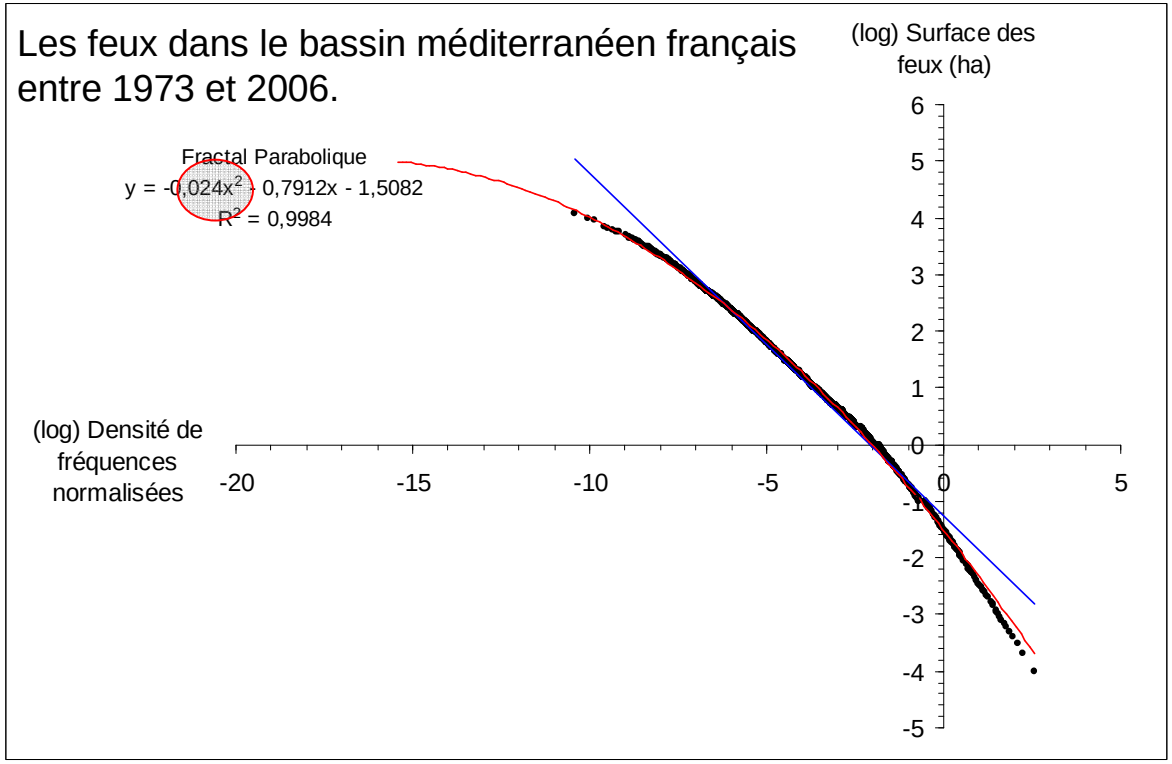
UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt

Modèle Fractal Parabolique

Régression polynomiale d'ordre deux : $y = ax^2 + bx + c$



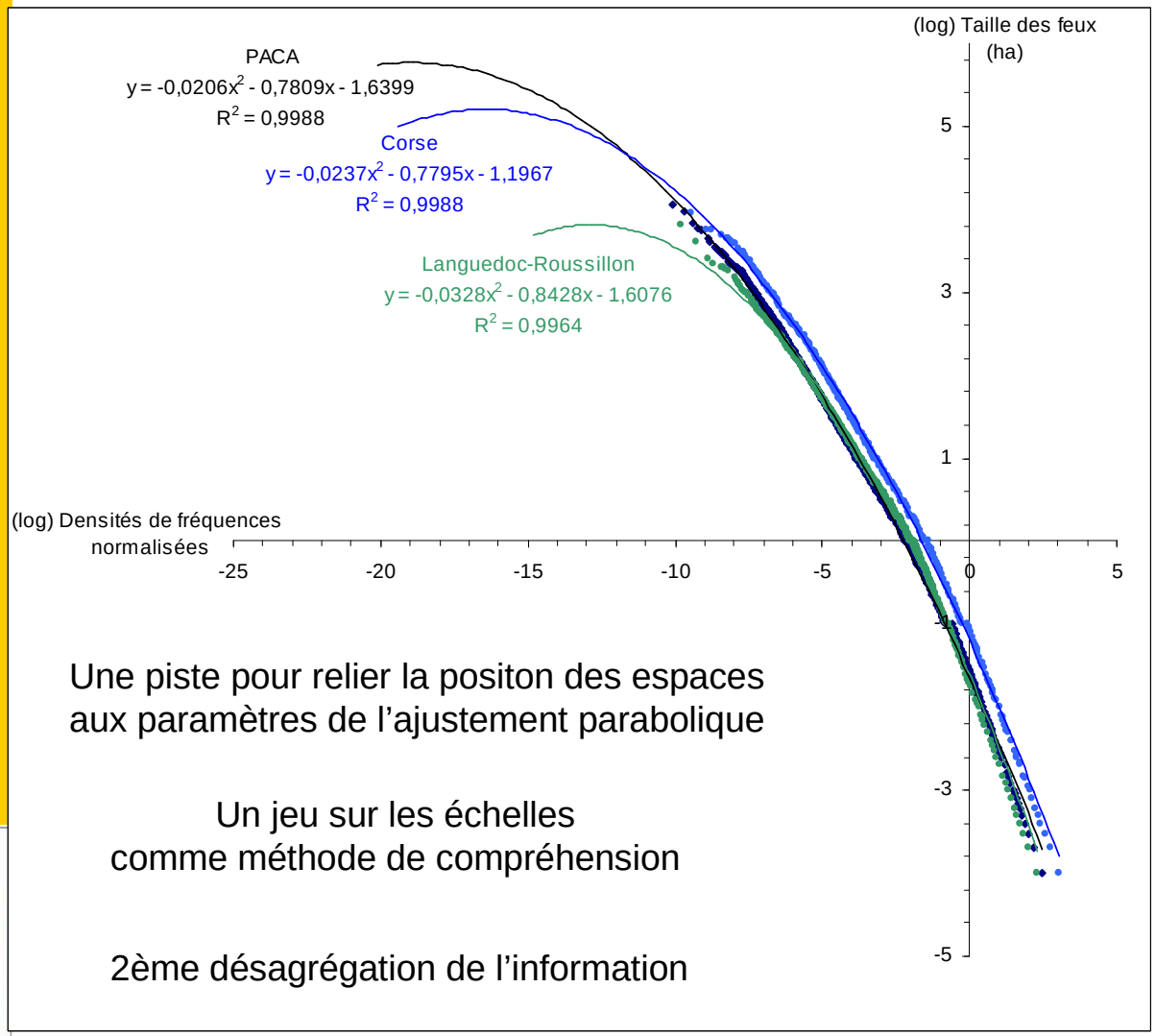
Coefficient de courbure *(Cc)*
=
Dérive continue
de la dimension fractale

Cc illustre
les effets des contraintes
(structures spatiales, rayonnements thermiques)
sur l'auto-organisation du phénomène.

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERGN
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt



Une piste pour relier la positon des espaces aux paramètres de l'ajustement parabolique

Un jeu sur les échelles
comme méthode de compréhension

2ème désagrégation de l'information

Le coefficient de courbure n'est pas constant

PACA : *Cc* = -0.021

Corse : *Cc* = -0.024

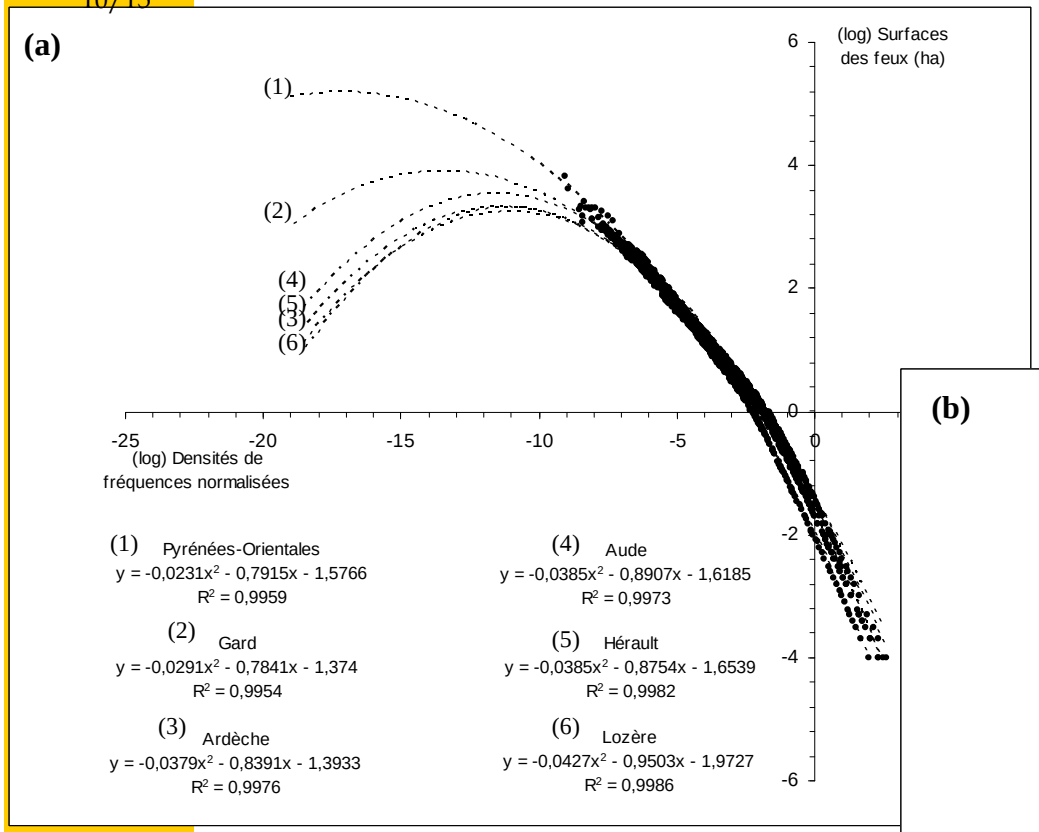
Languedoc-R. : *Cc* = -0.033

A. Mangiavillano

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

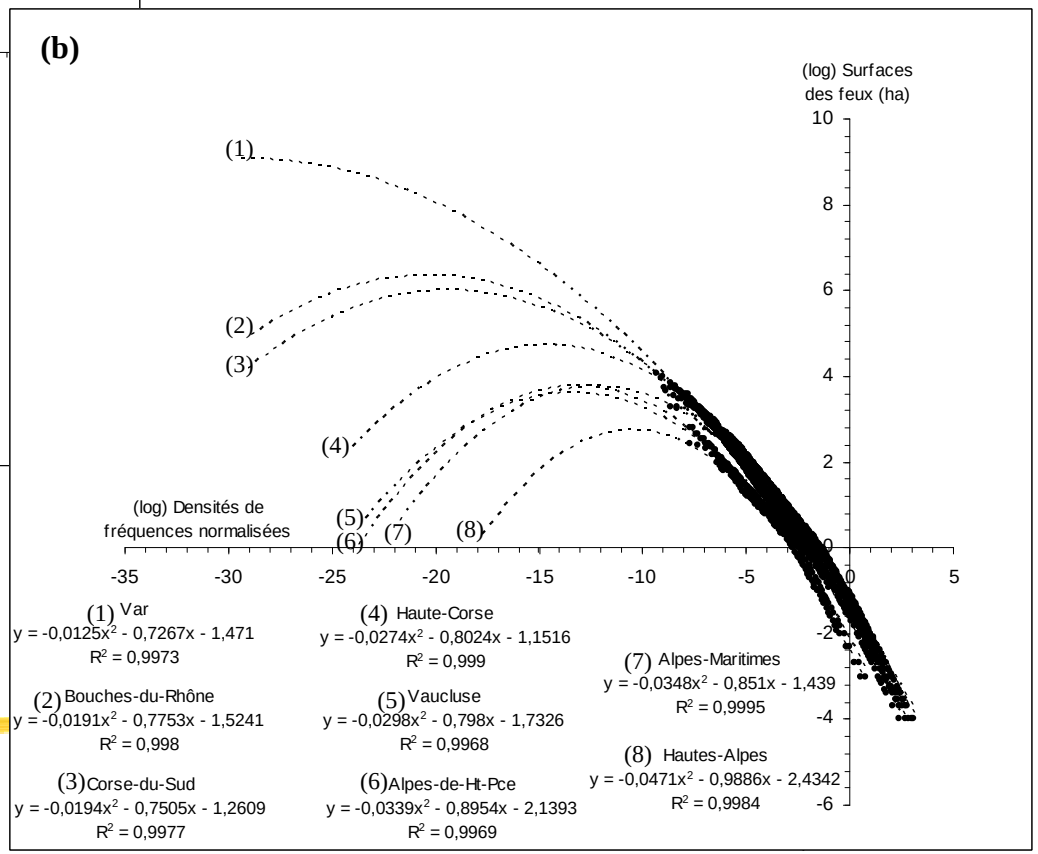
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt



Chaque département à une signature particulière mais…

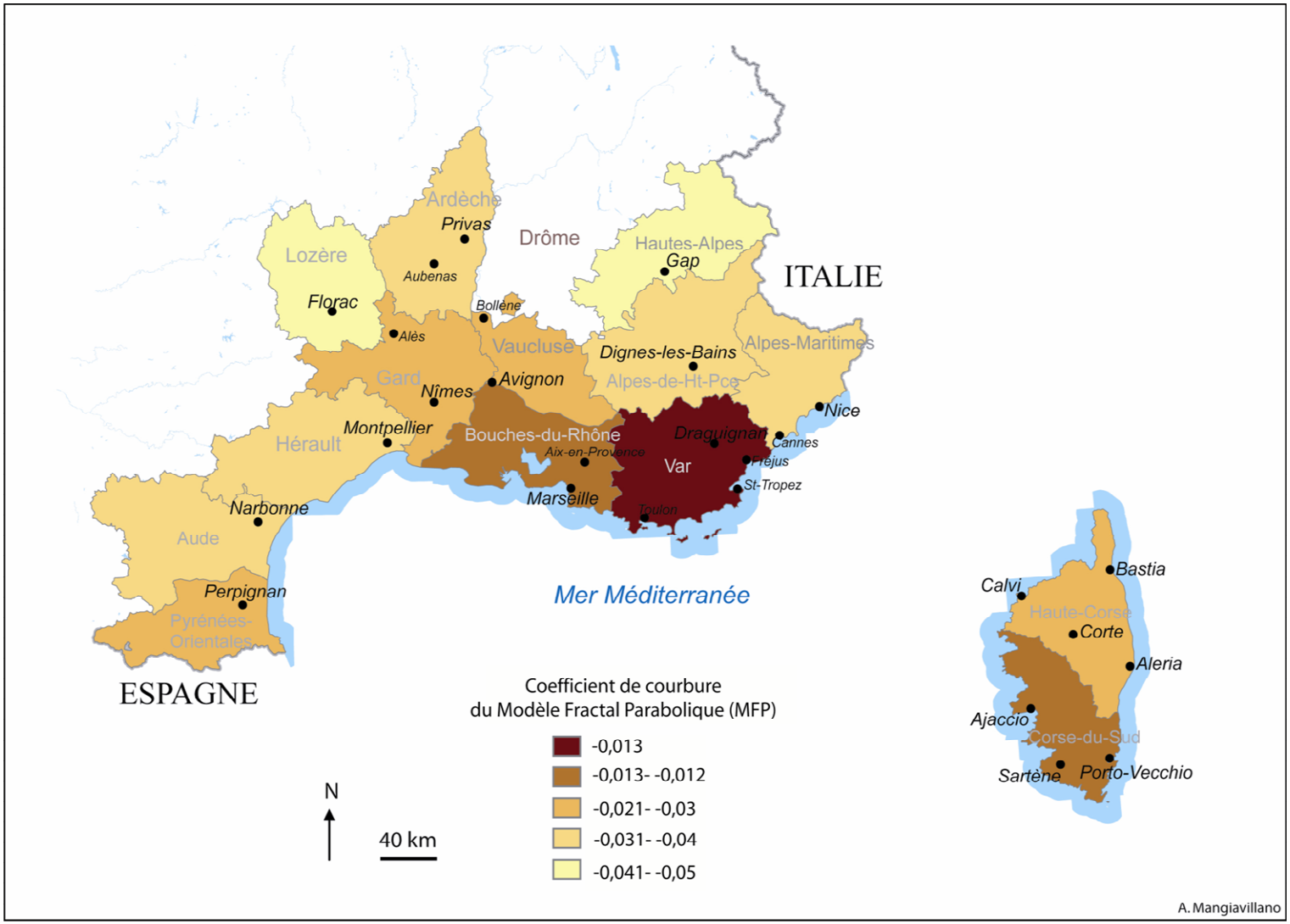
Certains se ressemblent et d'autres se distinguent



UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
cnrs
ESPACE

Résultats :

-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt

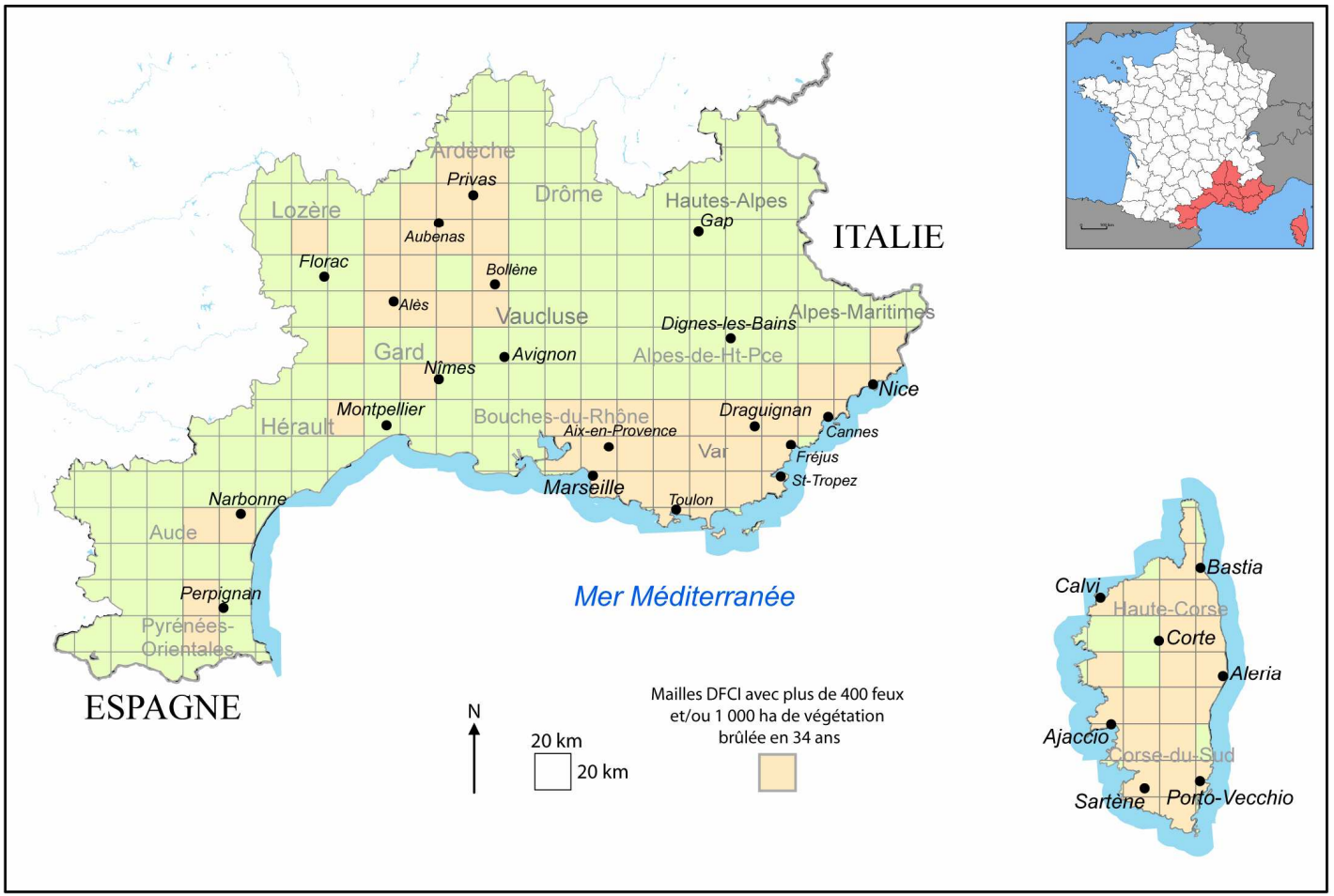


A. Mangiavillano

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
cnrs
ESPACE
CERTEN
Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt

⟶ Contraintes méthodologiques spécifiques à une échelle fine

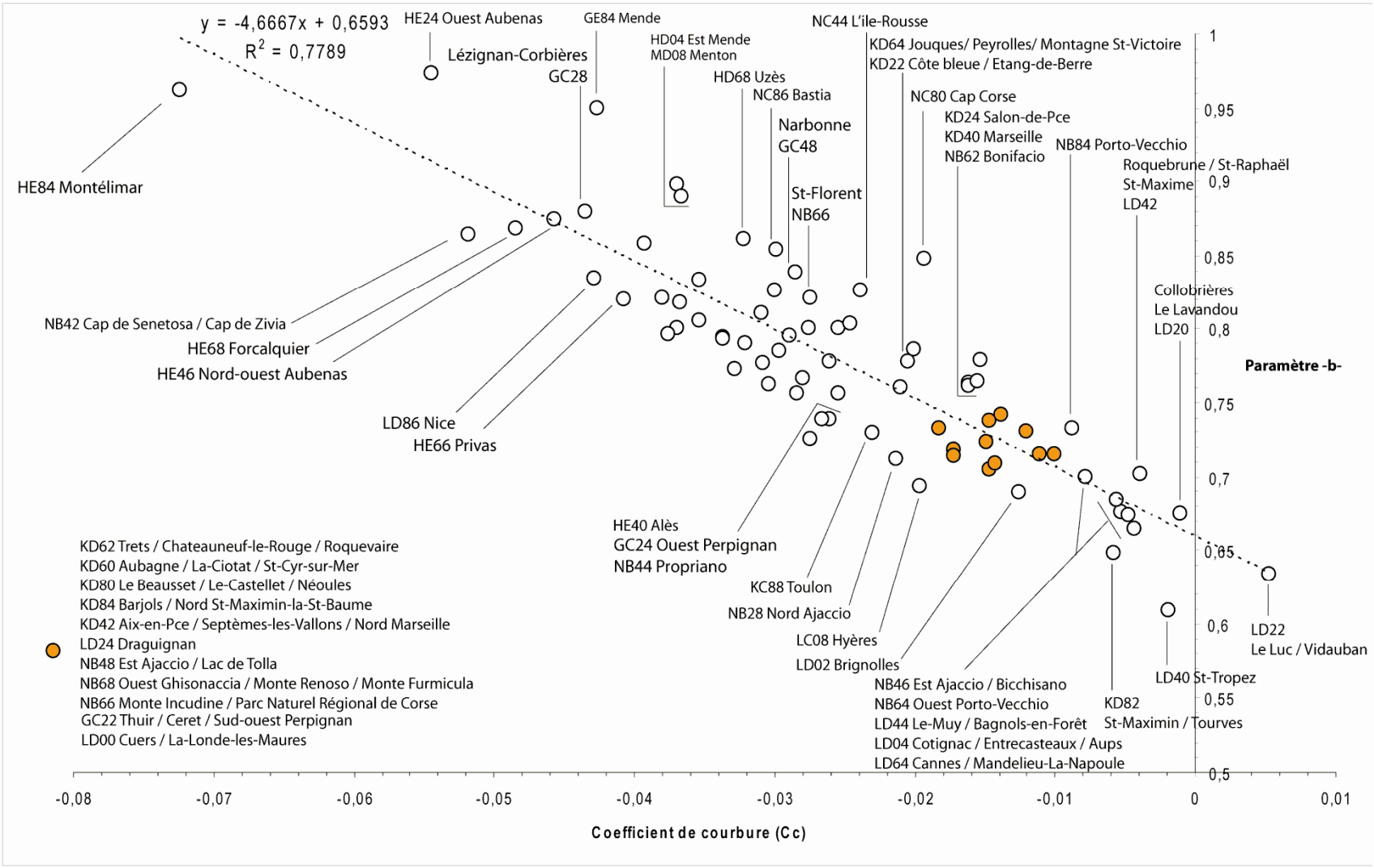


A. Mangiavillano

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERGN
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt



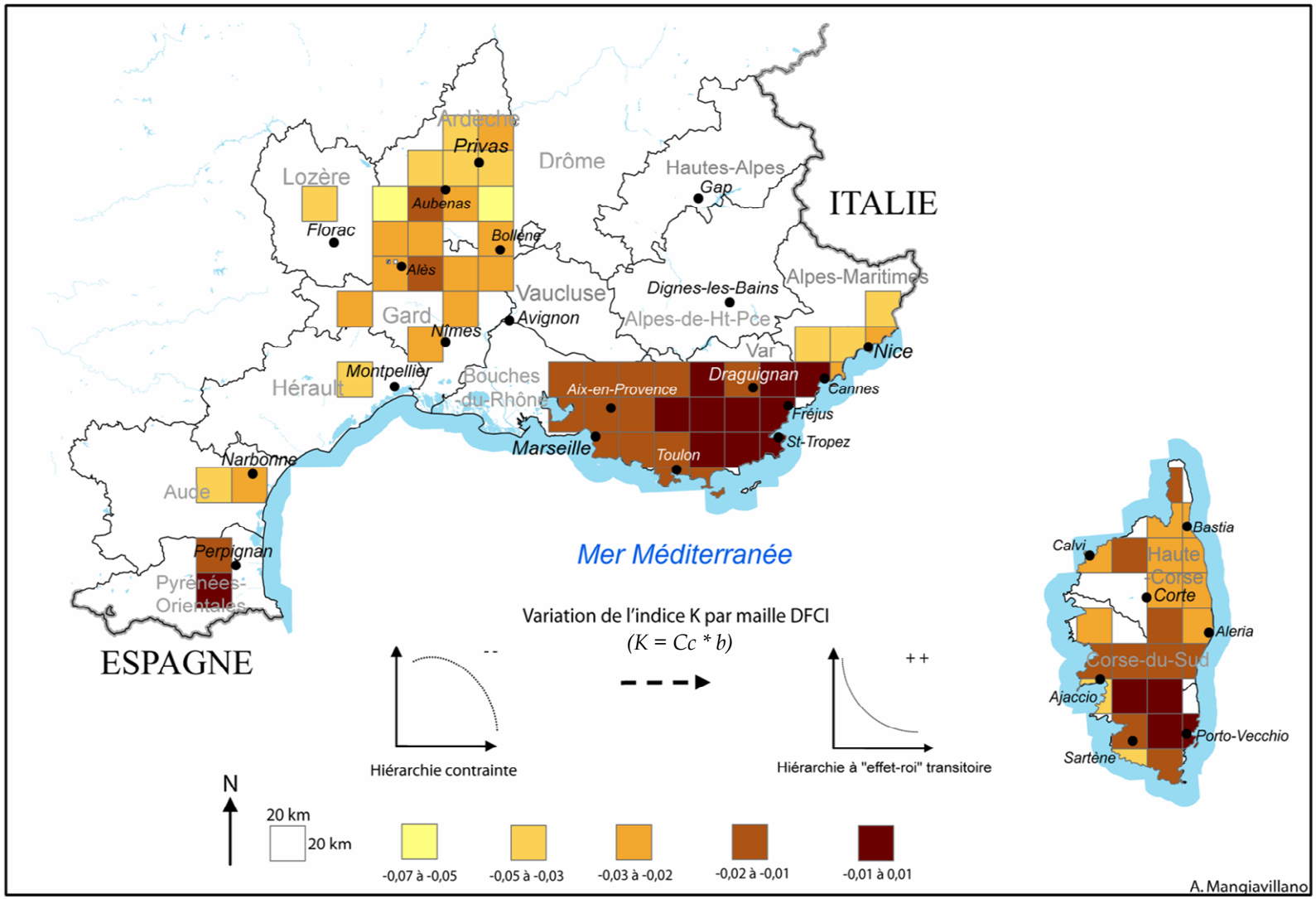
A. Mangiavillano

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERLEN
Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :

-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt



UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs

ESPACE

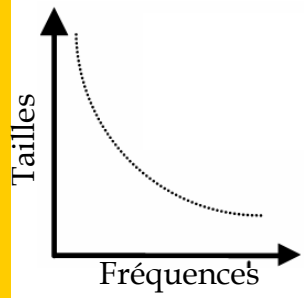
CERIEN

Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :

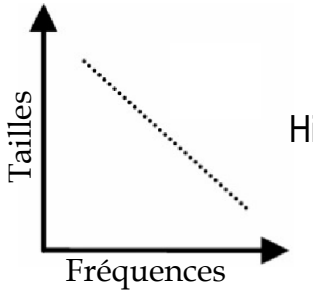
-1- Les propriétés hiérarchiques du phénomène feu de forêt

La forme des distributions évoque l'intensité de l'activité incendiaire

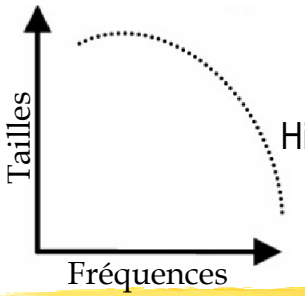


Hiérarchies ouvertes

+

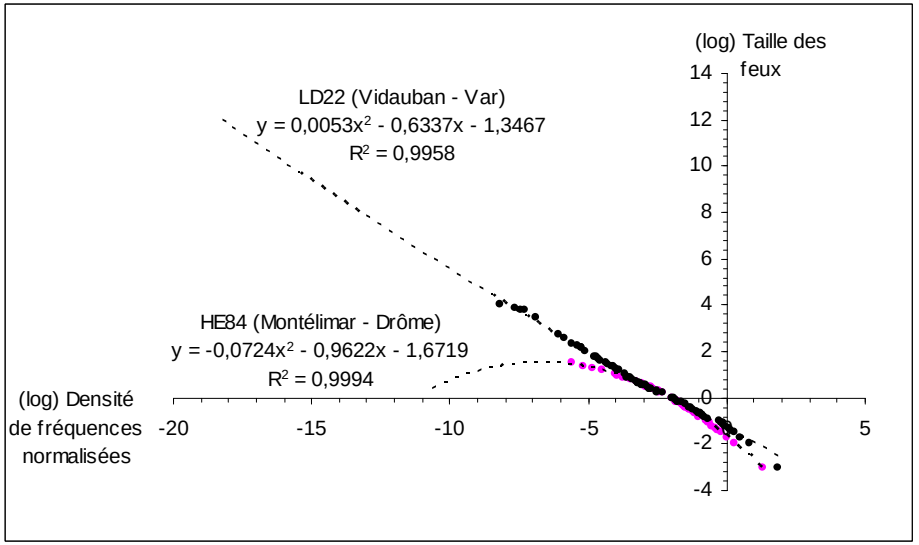


Hiérarchies parétiennes



Hiérarchies contraintes

–



A. Mangiavillano

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERTEN
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-2- Les propriétés temporelles du phénomène feu de forêt

- **Un phénomène très fluctuant** dans l'intensité de ses manifestations…

  …« sans qu'on puisse en attribuer le mérite à la prévention plutôt qu'à la lutte, à la météorologie ou à la chance ».
  (B. Foucault et E. Cabane, DPFM, 3 juin 2008).

- La variabilité des feux dans le temps : **un sujet peu abordé**

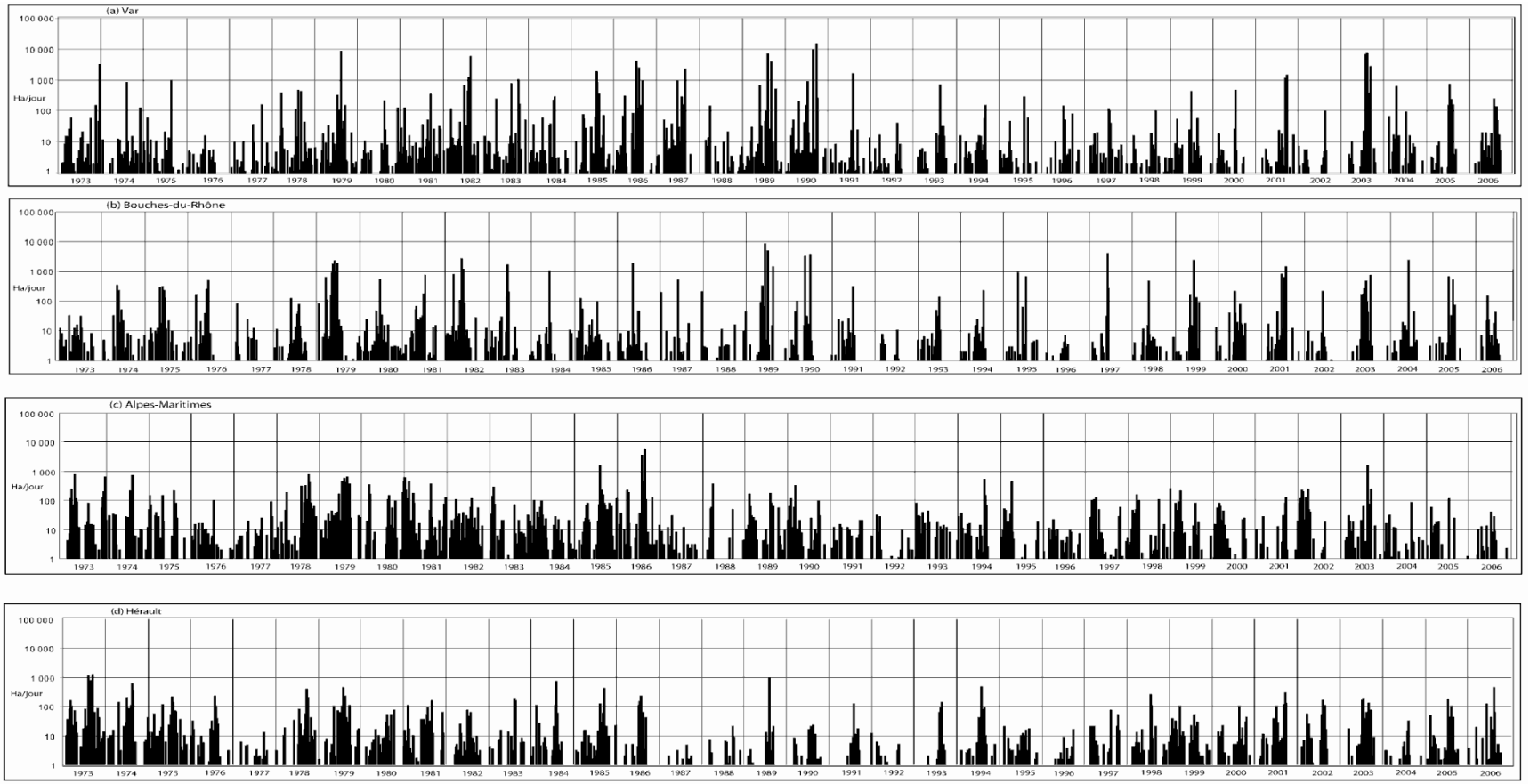
- Ouvrir la question de **l'autocorrélation temporelle** des feux

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERLN
Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-2- Les propriétés temporelles du phénomène feu de forêt

Construction de chroniques



A. Mangiavillano

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERTEN
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-2- Les propriétés temporelles du phénomène feu de forêt

Mesure de ces chroniques

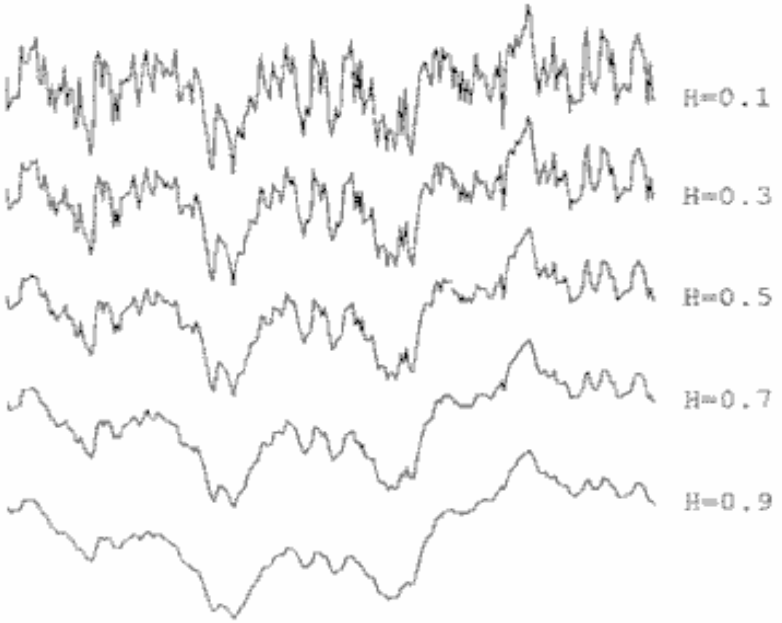
$$R/S = \frac{R(\tau)}{S(\tau)}$$

$\alpha = 2H-1$
et
$H = 2-D$

Exposant de **Hurst**
(Hurst, 1951 ; Mandelbrot, 1968, 1997)

(Anti-persistance) $H < 0,5$ **0 à 1** *(Persistance)* $H > 0,5$

L'absence de feux est plutôt annonciatrice de feux !



Exemple du Nil

L'absence de feux est plutôt un bon signe.

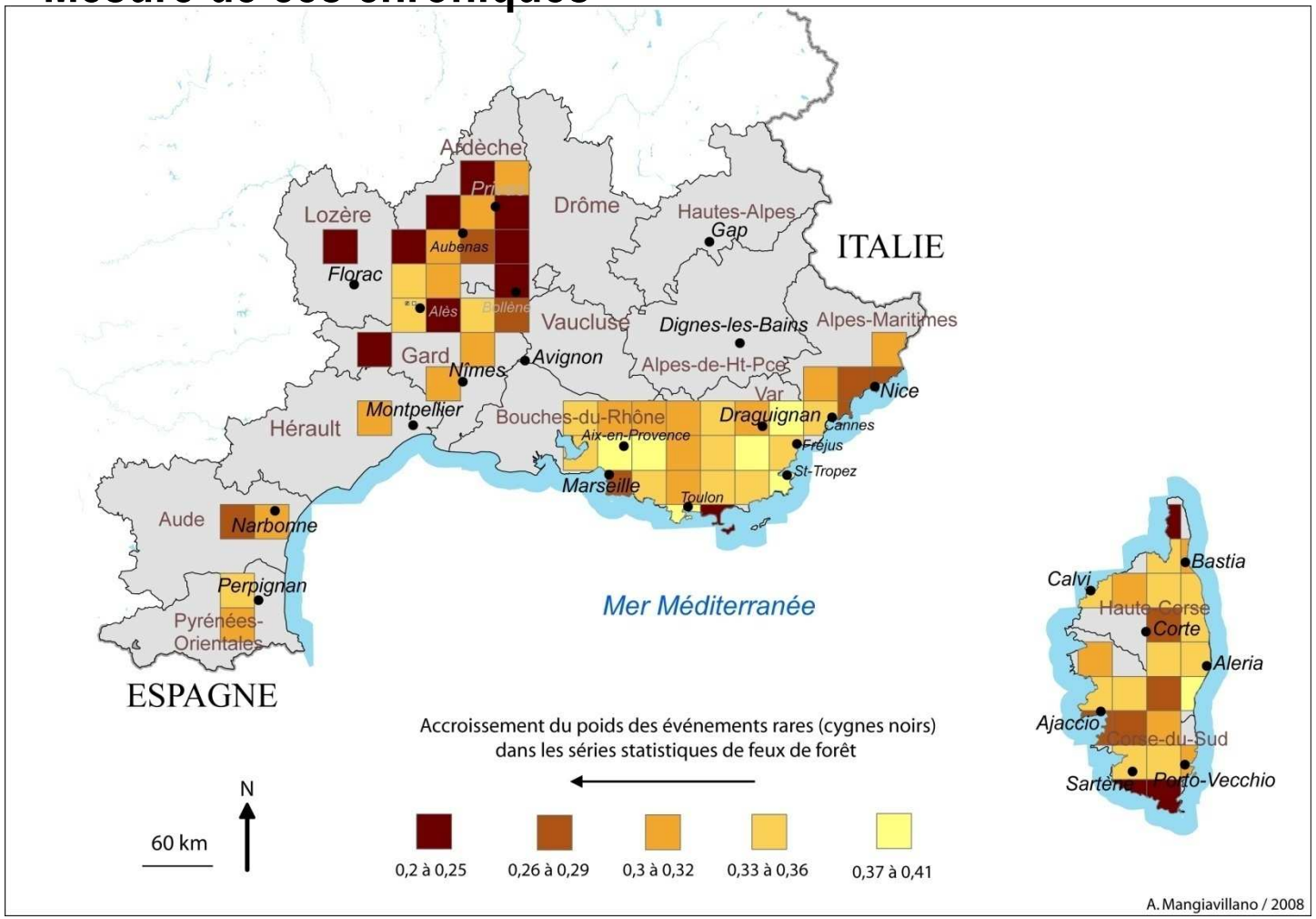
A. Mangiavillano

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERN
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-2- Les propriétés temporelles du phénomène feu de forêt

Mesure de ces chroniques



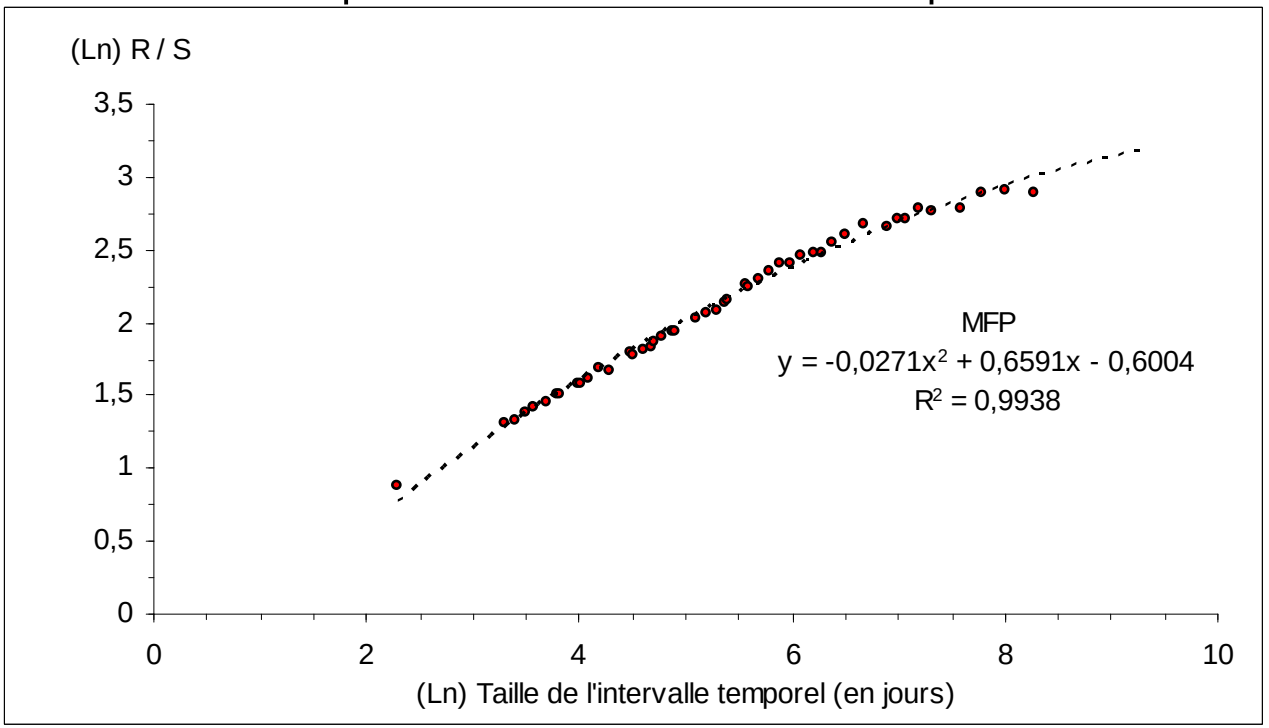
UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERTEN
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-2- Les propriétés temporelles du phénomène feu de forêt

Mesure de ces chroniques

La structure temporelle des feux de forêt n'est pas auto-similaire



Ajustement parabolique des valeurs de R/S dans le calcul de l'exposant de Hurst à l'échelle du bassin méditerranéen français

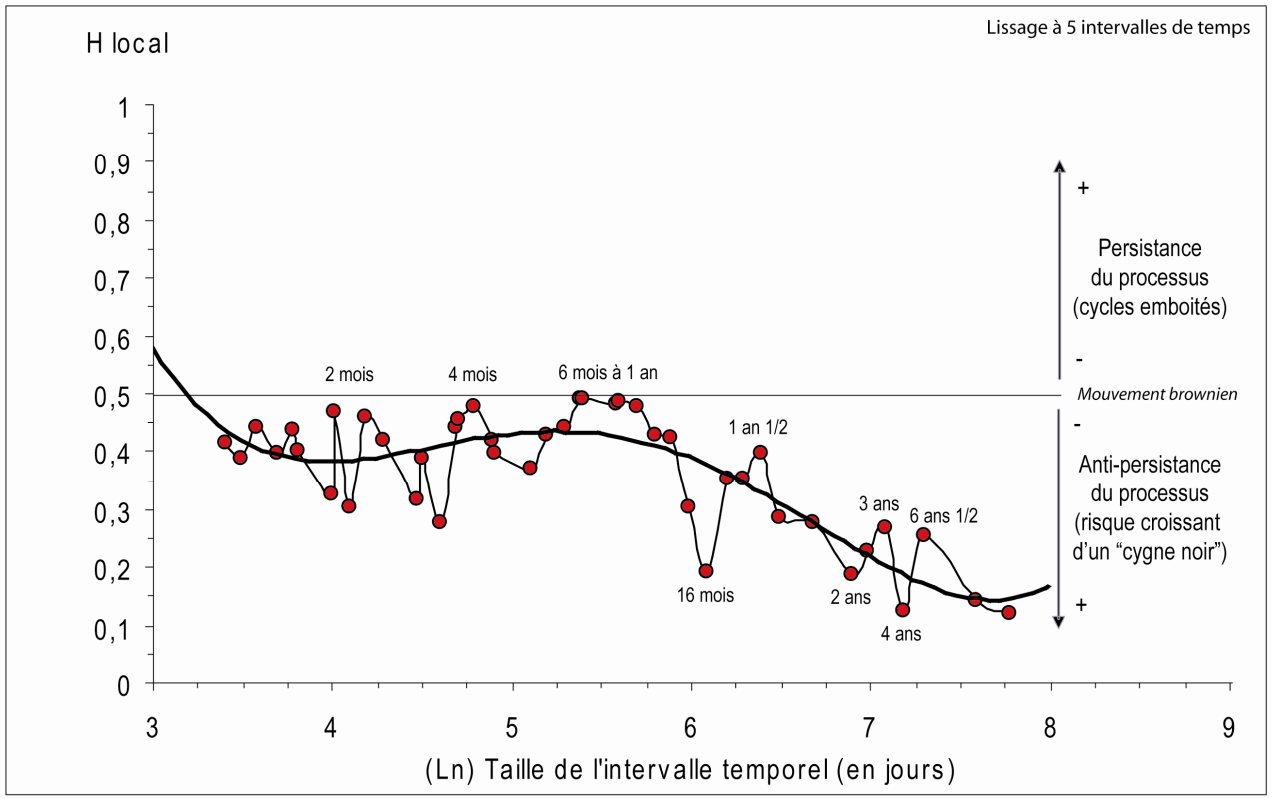
UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERTEN
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-2- Les propriétés temporelles du phénomène feu de forêt

Mesure de ces chroniques

Mise en lumière de structures épisodiques (*H-local*) dans le Sud-est français



A. Mangiavillano

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERGN
Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Résultats :
-3- Les propriétés spatiales du phénomène feu de forêt

- **Émergence de traces rugueuses**

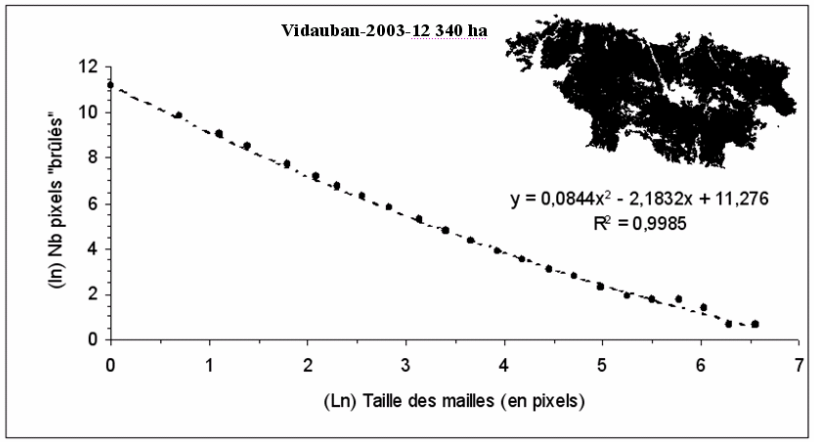
- Vers la mise en rapport des **caractéristiques spatiales et scalaires** des traces des incendies avec les **conditions des processus**

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

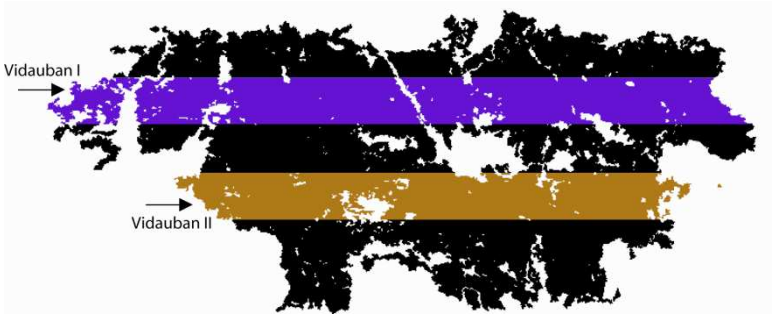
Résultats :
-3- Les propriétés spatiales du phénomène feu de forêt

La variation spatiale de l'irrégularité morphologique des traces…

…de manière globale…



…ou par des coupes longitudinales…



UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

cnrs
ESPACE
CERGN
Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Synthèse, limites et perspectives :

- **Une approche géographique** : abstraction, échelles, indicateurs, cartes

  ↳ *Envisager **la variabilité du feu** comme un **symptôme de sa complexité**.*

  ↳ *Accumulation d'indices sur la **nature auto-organisée du feu de forêt***

  ↳ *Un **milieu hétérogène et discontinu : courbure de la structuration puissance***

  ↳ ***Différencier les espaces à partir des paramètres de l'ajustement parabolique***

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Synthèse, **limites** et perspectives :

Des résultats aux **limites** qu'il convient de rappeler :

↳ ***Empirisme*** *: Prométhée n'est* ***qu'une base*** *et l'approche parabolique,* ***qu'un modèle****.*

↳ *Mieux faire appel aux* ***théories de la complexité****.*

↳ ***Finitude****,* ***hétérogénéité*** *et* ***diversité*** *de l'espace tangible, un rôle supposé à vérifier.*

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Synthèse, limites et perspectives :

3 pistes pluri-disciplinaires :

- **Formaliser une distribution de probabilité qui tienne compte de la courbure**
- **Confronter les méthodes aux données issues de la simulation**
- **Affiner la mesure des surfaces fractales réelles et/ou simulées**

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

- **Merci de votre attention** -

UNIVERSITÉ D'AVIGNON
ET DES PAYS DE VAUCLUSE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur