



**HAL**  
open science

# Les évolutions des incendies de forêt dans l'Ouest américain et en Europe du sud -Implications pour la gestion du risque

Jean-Luc Dupuy

► **To cite this version:**

Jean-Luc Dupuy. Les évolutions des incendies de forêt dans l'Ouest américain et en Europe du sud - Implications pour la gestion du risque. Contribution au Groupe de travail interacadémique – Académie des Sciences et Académie de l'Agriculture, Académie des Sciences et Académie de l'Agriculture, Sep 2021, Paris, France. hal-04196200

**HAL Id: hal-04196200**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04196200v1>**

Submitted on 5 Sep 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# **Les évolutions des incendies de forêt dans l'Ouest américain et en Europe du sud – Implications pour la gestion du risque**

Jean-Luc DUPUY, Directeur de recherche INRAE

Ecologie des Forêts Méditerranéennes (URFM), Avignon

Groupe de travail inter-académique - Académie des Sciences et Académie de l'Agriculture  
24 septembre 2021



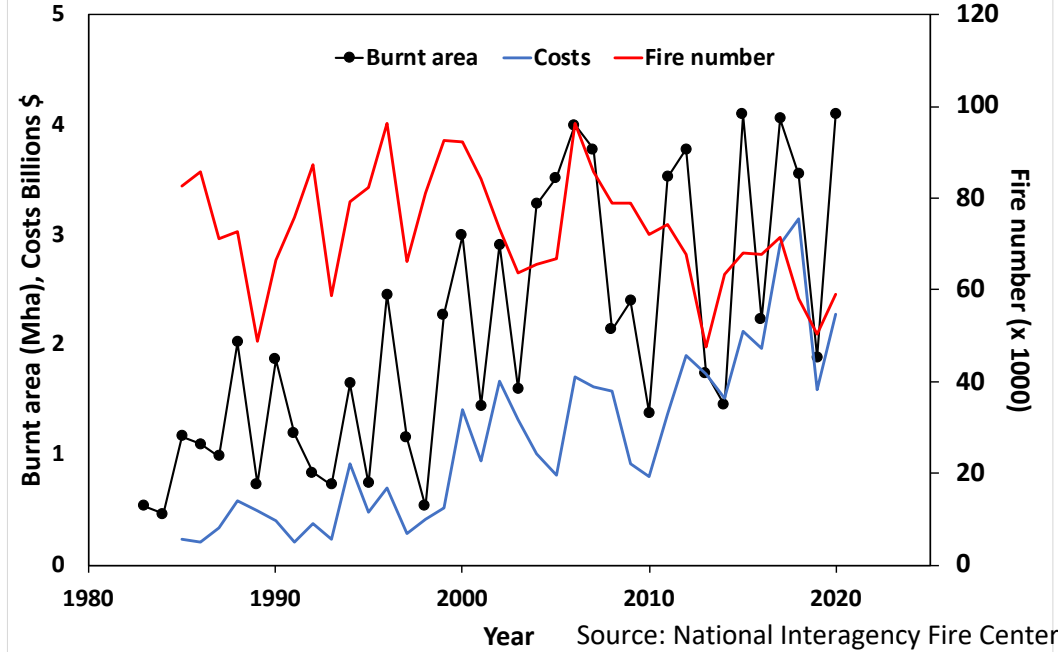
# Les tendances observées aux Etats-Unis

Les surfaces brûlées sont *en augmentation nette* depuis 40 ans.

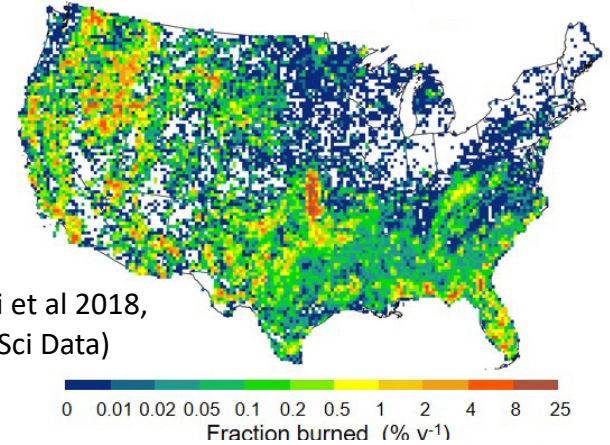
Deux facteurs d'explication sont avancés :

- variations et réchauffement climatiques
- accumulation et changements de combustible

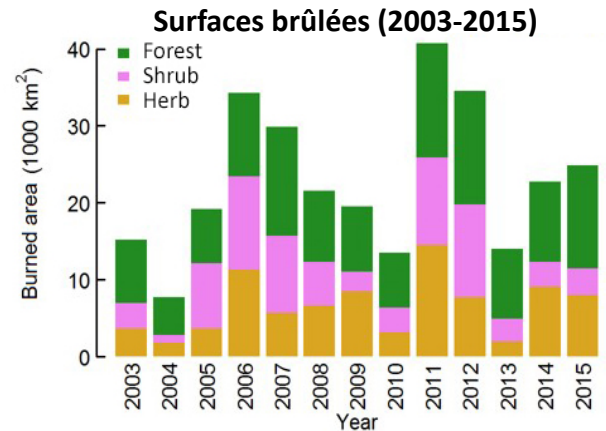
Nombre de feux, surfaces brûlées et coûts de la lutte de 1983 à 2020



Fraction de territoire brûlée (% par an, 2003-2015)

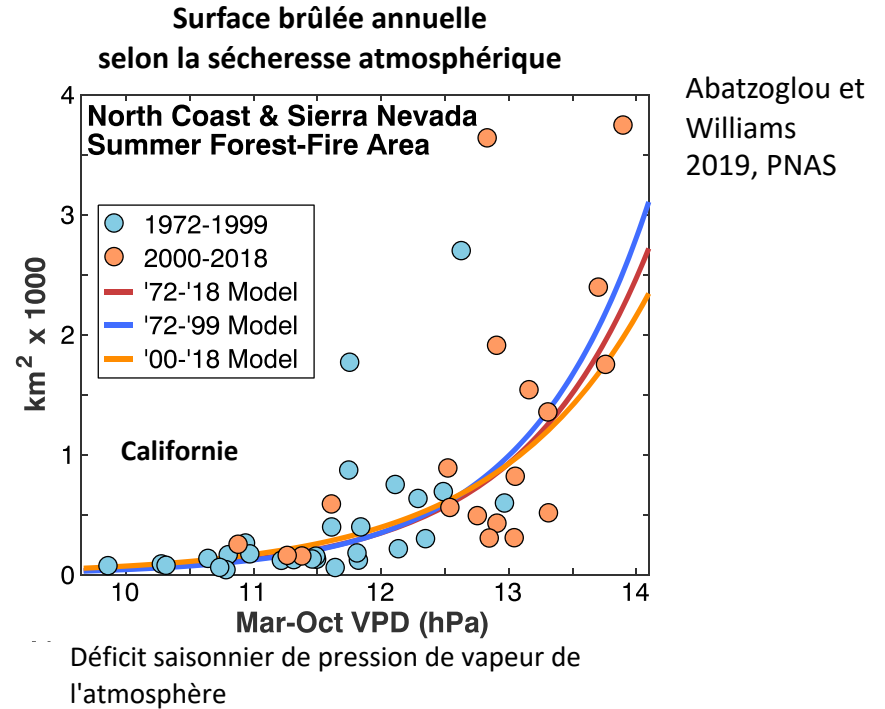
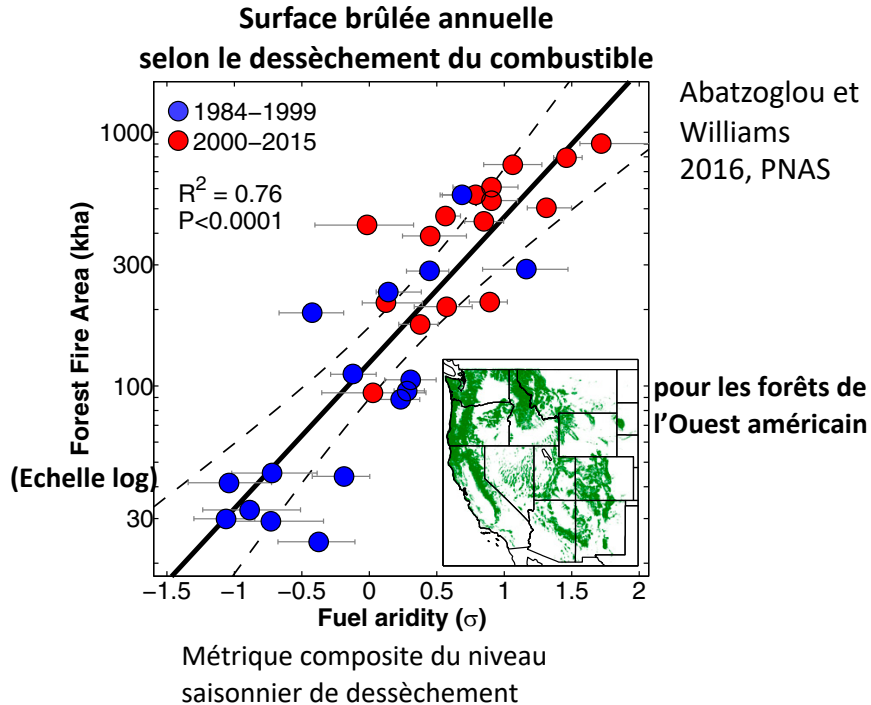


(Urbanski et al 2018, Earth Syst Sci Data)



# Les tendances observées dans l'Ouest américain

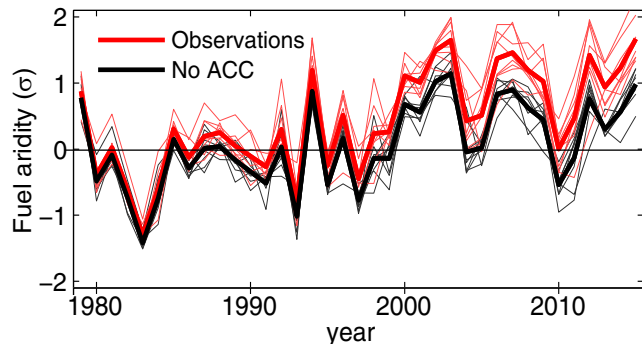
*Le dessèchement des combustibles explique largement les variations de surface brûlée.*



# Les tendances observées dans l'Ouest américain

**Une augmentation des conditions favorables aux feux depuis ~2000 ...**

Evolution du dessèchement du combustible forestier

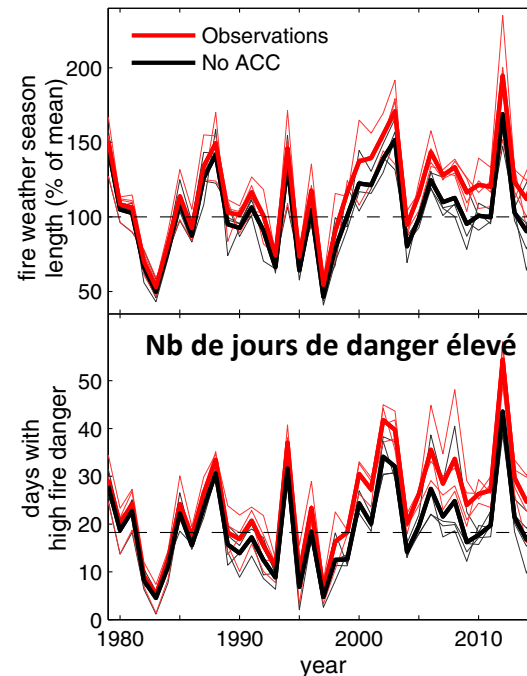


Abatzoglou et Williams  
2016, PNAS

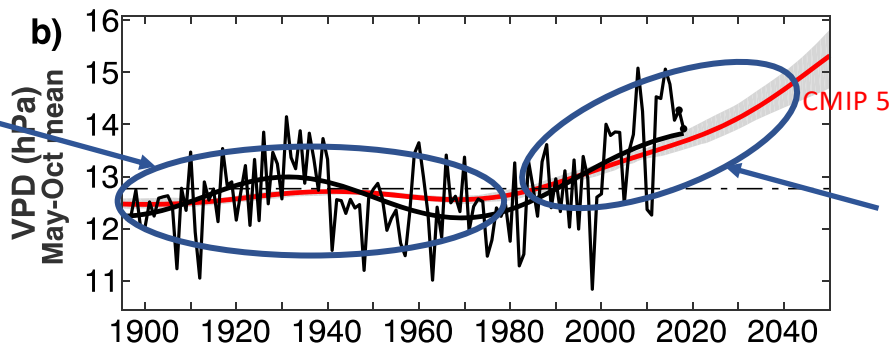
Les courbes en noir  
montrent l'évolution qui  
aurait eu lieu sans  
changement climatique  
d'origine anthropique  
(modèle)

**.... d'origine majoritairement (>50%) anthropique.**

Durée de la saison de feu



Déficit de pression de vapeur d'eau de l'atmosphère (Californie)



Oscillation  
naturelle

Réchauffement  
anthropogénique +  
variabilité naturelle

# Les tendances observées dans l'Ouest américain



## Cascading Effects of Fire Exclusion in Rocky Mountain Ecosystems:

### A Literature Review

Robert E. Keane, Kevin C. Ryan  
Tom T. Veblen, Craig D. Allen  
Jesse Logan, Brad Hawkes

Keane et al 2002

## Douglas fir stand, Bitterroot Valley, Montana

1909



1979



**L'exclusion des feux et la gestion forestière ont profondément modifié la composition, la structure et le fonctionnement des forêts, aux échelles des peuplements et des paysages**

**Les nouvelles conditions sont plus favorables à des feux sévères (dommages)**

**(voir aussi revue de Hagman et al 2021, Ecol. Appl.)**

## Lewis and Clark National Forest

1909



1980



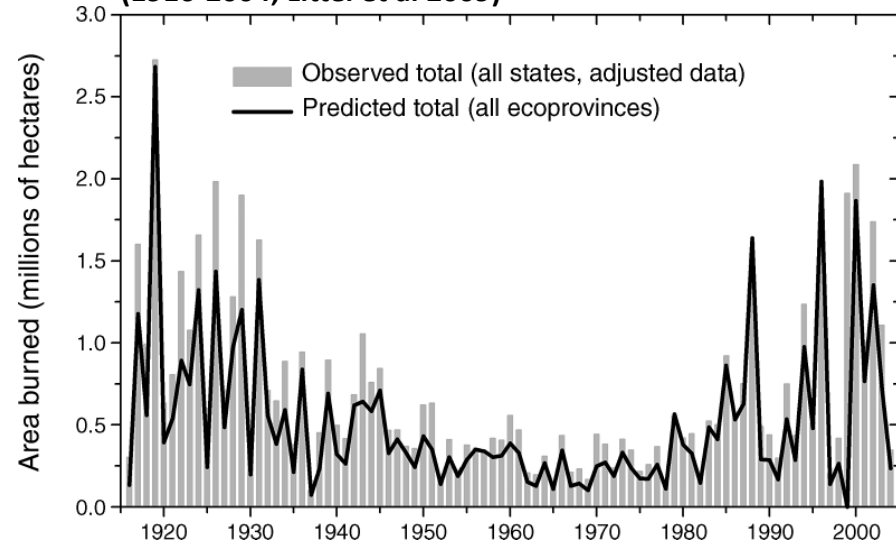
# Les tendances observées dans l'Ouest américain

## En résumé

**Le climat joue un rôle majeur dans les évolutions observées et la hausse récente des grands feux.**

**Les politiques forestières et d'exclusion ont probablement contribué à augmenter la sévérité des feux des dernières décennies.**

**Surfaces brûlées annuelles dans l'Ouest américain (1916-2004; Littel et al 2009)**



### Climat

← Sécheresses prononcées → Conditions plus humides → Sécheresse, températures ↑, printemps plus précoce →

### Gestion

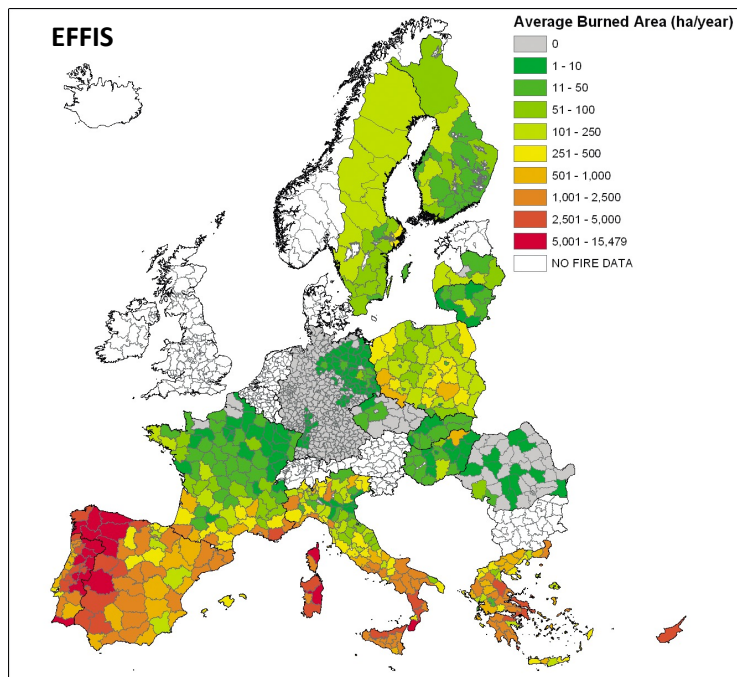
← Mise en place et montée en puissance de la politique d'exclusion des feux → Exclusion dominante, mais non systématique ; feux prescrits et gestion du combustible →

Stephens et al 2005,  
Ecol Appl

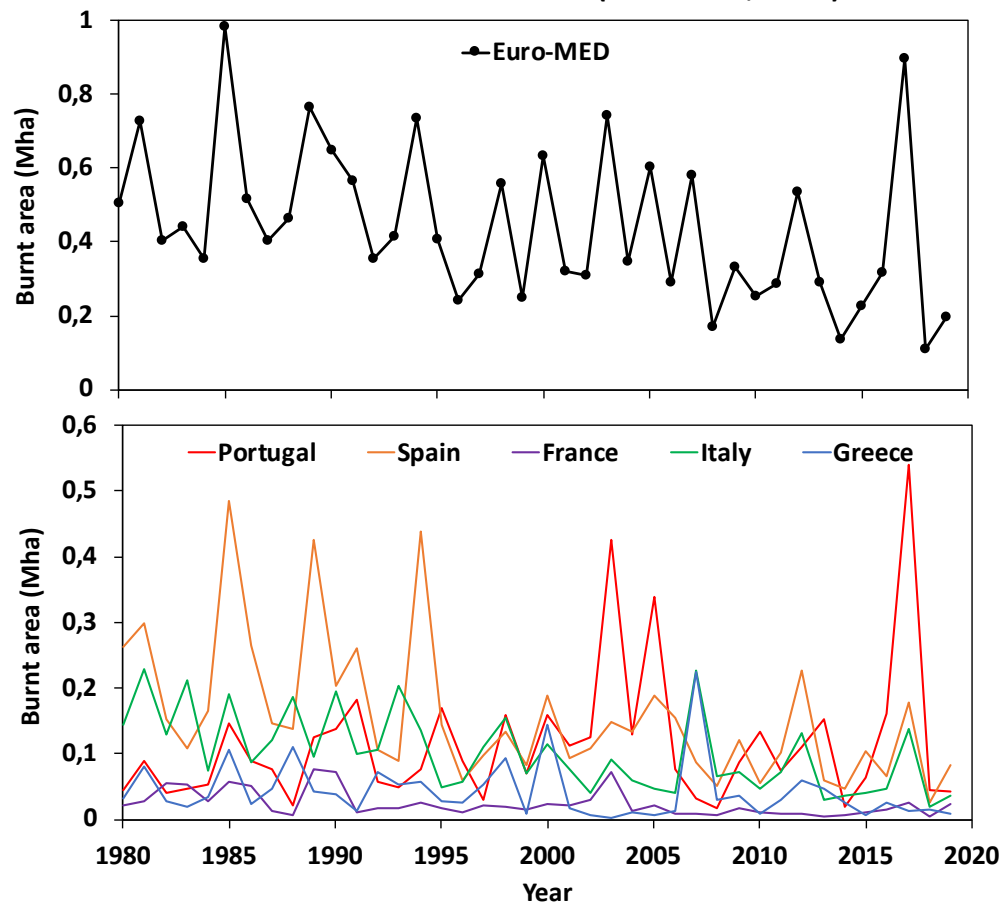
# Les tendances observées en Europe du sud

*Les surfaces brûlées ont diminué depuis 40 ans dans tous les pays, à l'exception du Portugal*

*Surface brûlées annuelles par unité administrative (1980-2006; San Miguel Ayanz and Camia 2009)*



Surfaces brûlées annuelles (1980-2018; EFFIS)



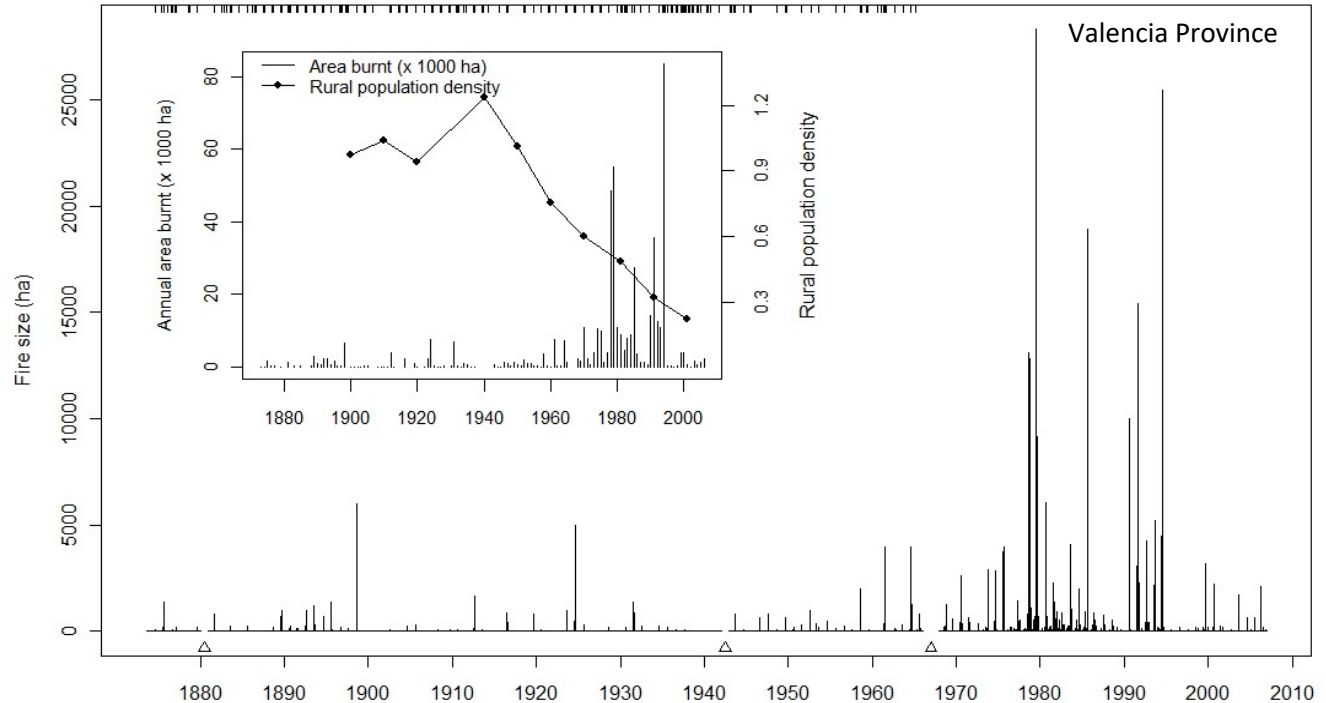
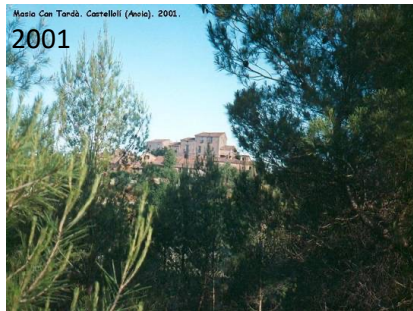


# Les tendances observées en Europe du sud

*Les incendies des années 80 succèdent à une longue période de faible activité.*

*Ce nouveau régime apparaît après la déprise rurale.*

Pausas and Fernandez-Munoz 2012, Climatic change



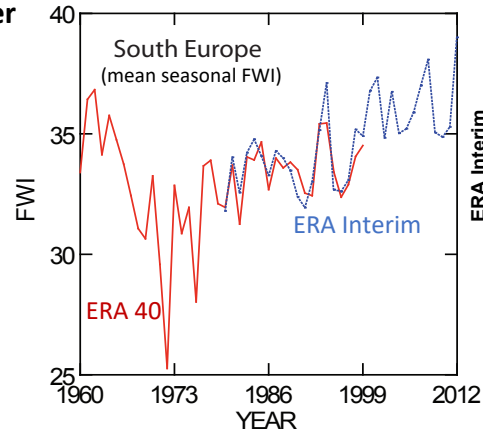
# Les tendances observées en Europe du sud

## Le danger météorologique est stable ou a augmenté

### Evolution du danger saisonnier (Mars-Sept.) de 1960 à 2012 en Europe du sud

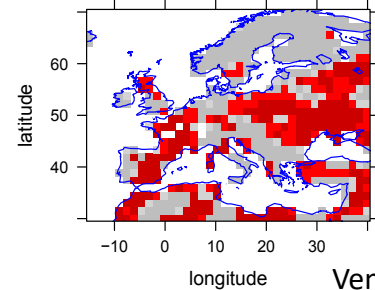
ERA 40 et ERA Interim sont deux ré-analyses du climat observé.

Venäläinen et al 2014,  
Nat Hazards Earth Syst sci



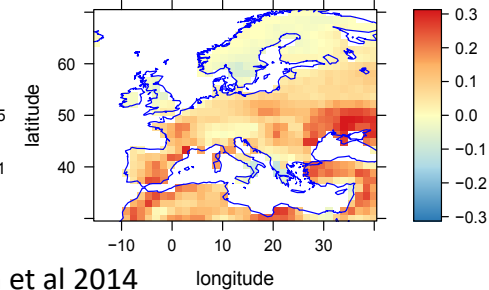
## Tendances du danger météorologique de 1980 à 2012 (été)

### Trend significance (p-value)



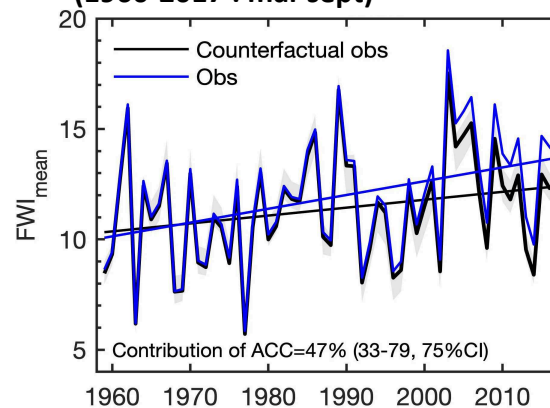
Venäläinen et al 2014

### Slope (FWI unit/year)



## Evolution du danger saisonnier en France (1960-2017 : mai-sept)

Barbero et al 2020,  
Front Earth Sci



Temps de retour de l'année  
2003 de plus de 500 ans sans  
ACC, de 10 ans avec ACC ...

L'indice de danger météo (FWI) journalier traduit l'effet du vent et de la teneur en eau du combustible sur l'intensité du feu.

La teneur en eau répond aux conditions météo du jour à la saison (3 échelles temporelles).

Le danger saisonnier est une statistique calculée sur la saison à partir des valeurs du danger journalier.

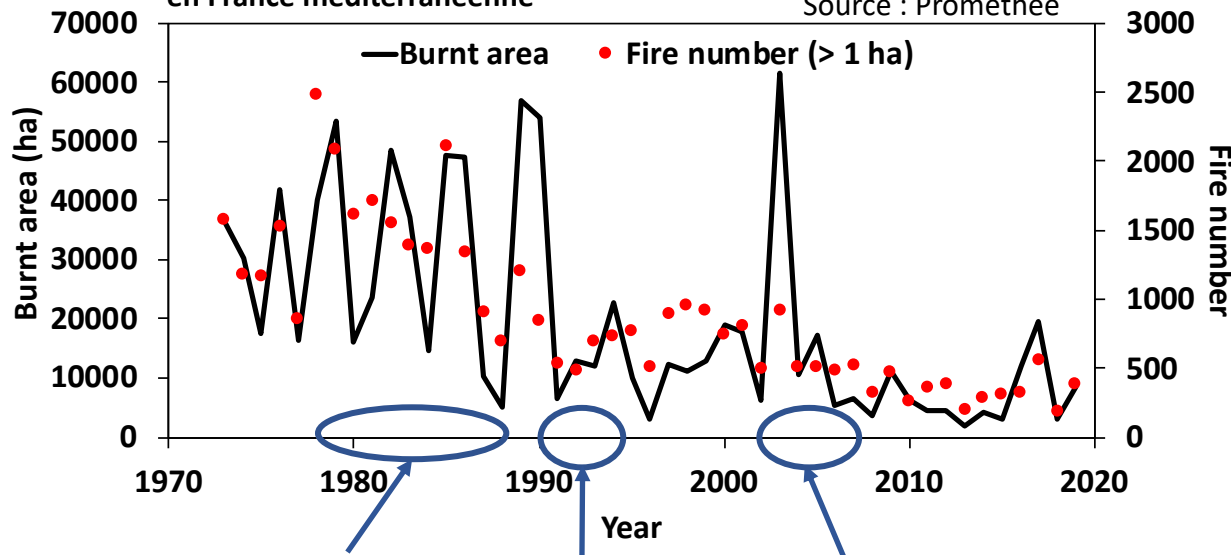


# Les tendances observées en France méditerranéenne

*La diminution de l'activité des feux succède à un renforcement des politiques et des moyens de lutte*

Evolution des surfaces brûlées et du nombre de feux > 1ha de 1973 à 2019  
en France méditerranéenne

Source : Prométhée

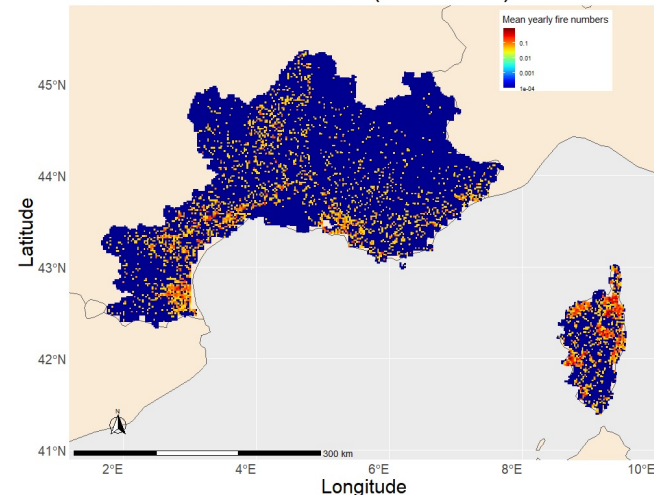


Définition et mise en place  
de la politique de prévention  
et de lutte

Stabilisation de la doctrine  
d'attaque des feux naissants

Renforcement des politiques  
de lutte, post -2003  
Professionalisation

Nombre annuel de feux > 1 ha, par pixel (2 km)  
Observations (1993-2018)



# Les tendances observées en France méditerranéenne

**Une modélisation probabiliste de l'activité des feux permet de préciser les tendances et leurs causes**

Effets temporels réel et attendus (scénarios) entre deux décennies  
(1993-2003 et 2009-2018) – Modèle Firelihood (Pimont et al 2021, Ecol. Appl.)

Variation	Feux > 1 ha	Feux > 100 ha
Effet réel	- 43 %	- 38 %
Danger météo	+30 %	+ 62%
Couvert végétal et variables socio-éco	+2%	-8%
Autres effets temporels	- 57%	-62%



Hypothèse : prévention, lutte

Castel-Clavera, 2021

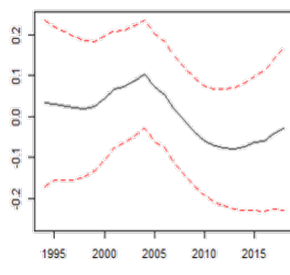
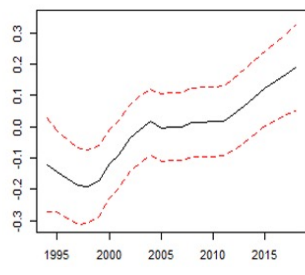
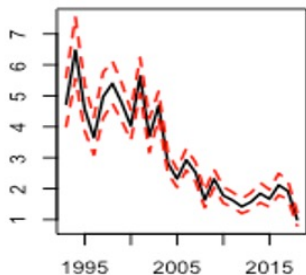
**La probabilité qu'un feu devienne grand n'a pas diminué dans le temps :**

Nombre de feux > 1 ha

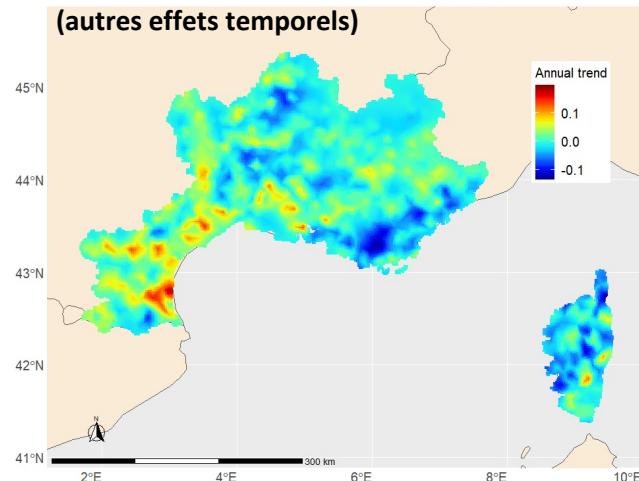
Proba de dépasser 10 ha

Proba de dépasser 100 ha

Effets  
"année"  
(Firelihood)

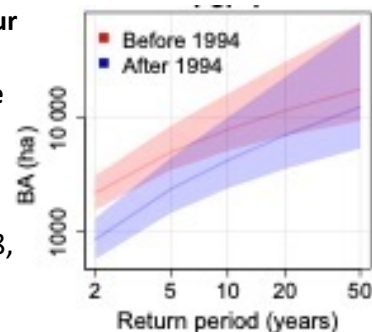


Distribution spatiale du changement temporel  
(autres effets temporels)



Temps de retour  
des feux  
selon leur taille

Evin et al 2018,  
NHESS



# Les évolutions futures projetées en Europe du sud

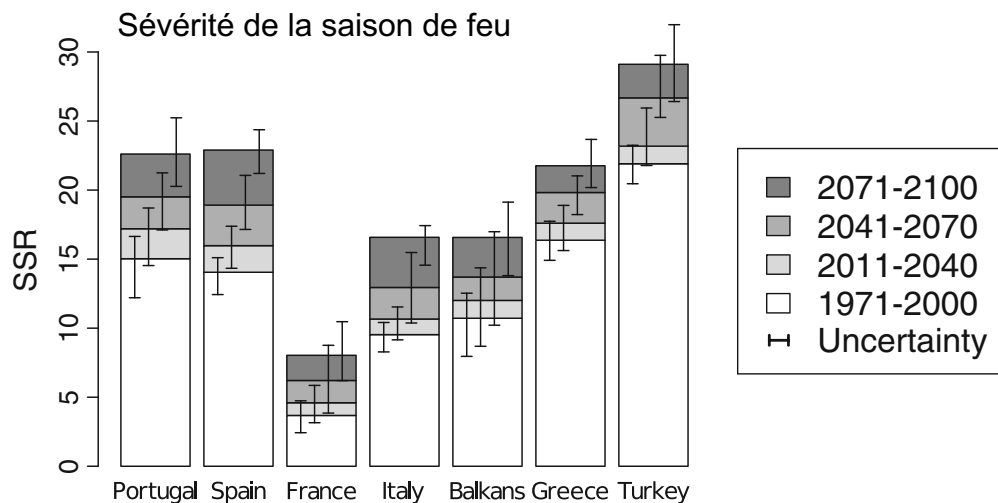
**Une revue de 23 études scientifiques projetant le danger ou les surfaces brûlées futures sous scénarios pessimistes conclut à une augmentation :**

- de 2 à 4% par décennie du danger météorologique saisonnier
- de 15 à 25% par décennie des surfaces brûlées, soit un facteur de l'ordre de 3 à la fin du siècle.

**selon les modèles utilisés et les régions.** (Dupuy et al 2020, Ann For Sci)

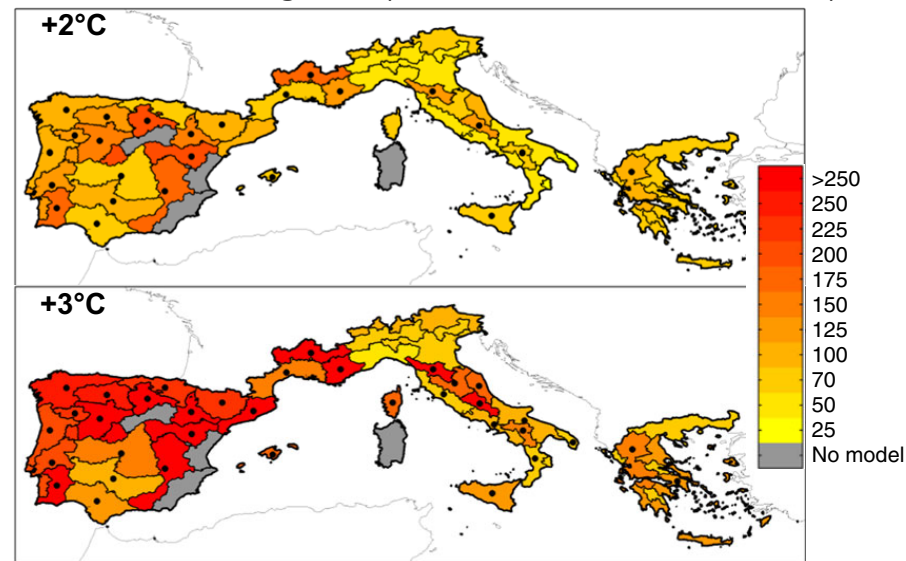
## Augmentation du danger météorologique

(Bedia et al 2014, Clim Change)



SSR, métrique cumulant le danger météorologique, de Juin à Sept.

## Augmentation des surfaces brûlées (%) selon le niveau de réchauffement global (Turco et al 2018, Nat Commun)



Modèles empiriques de corrélation sécheresse – surface brûlée

# Les évolutions futures projetées en France

*L'augmentation du danger dans le sud et à l'ouest est confirmée*

*(cf Chatry et al 2010, Bedia et al 2014).*

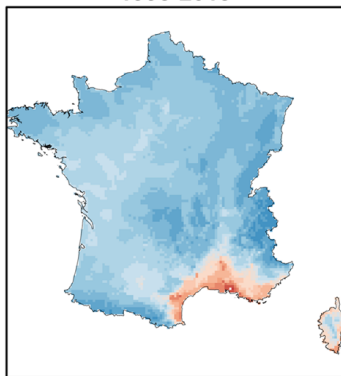
*L'augmentation est importante et assez certaine dans le sud-est.*

*Son ampleur est plus incertaine à l'ouest.*

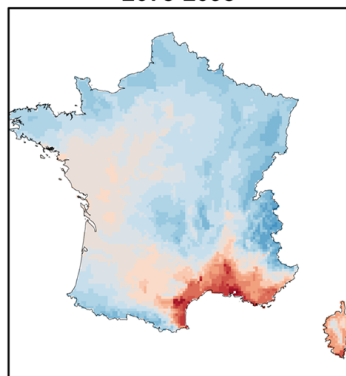
*La tendance émerge de la variabilité naturelle en 2060 (RCP8.5)*

Evolution du danger saisonnier (FWI) entre 1995-2015 et 2078-2098 (5 modèles)

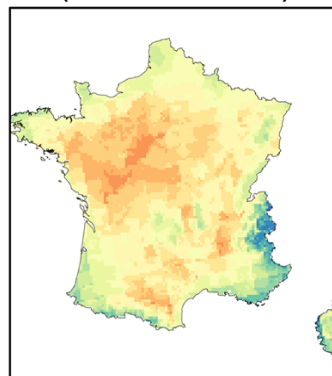
Multimodel mean  
1995-2015



Multimodel mean rcp8.5  
2078-2098



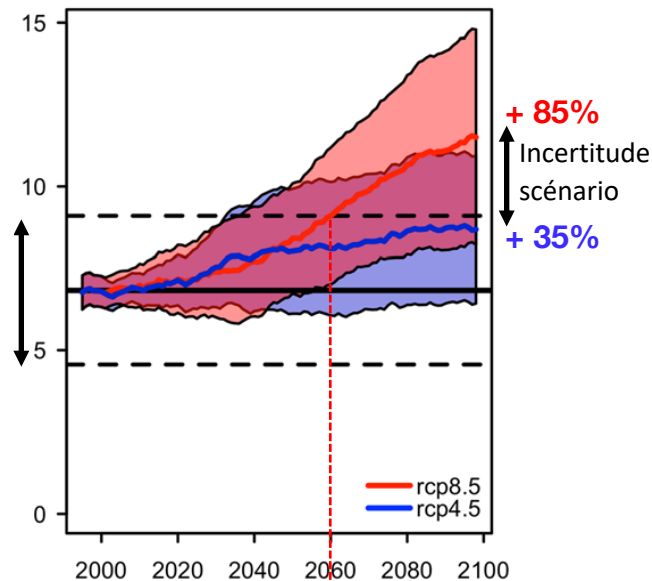
Model uncertainty  
(standard deviation)



FWI moyen saisonnier (juin-septembre)

Variabilité  
naturelle  
du climat

Mean FWI  
during fire season

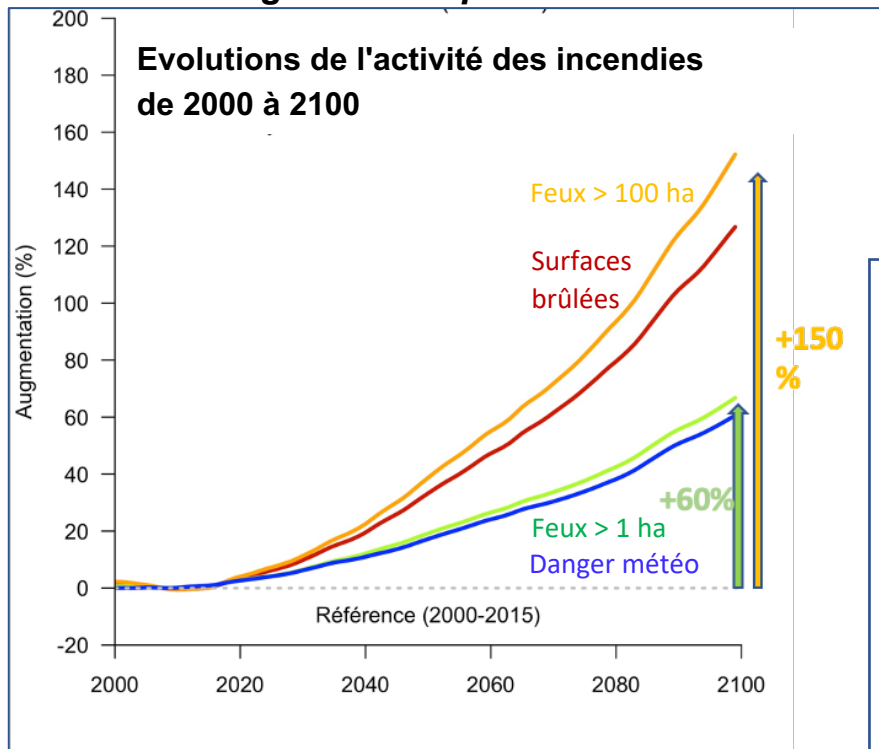


Emergence du  
signal (RCP 8.5)

Fargeon2019, thèse de doctorat  
Fargeon et al 2020, Clim Change

# Les évolutions futures projetées en France

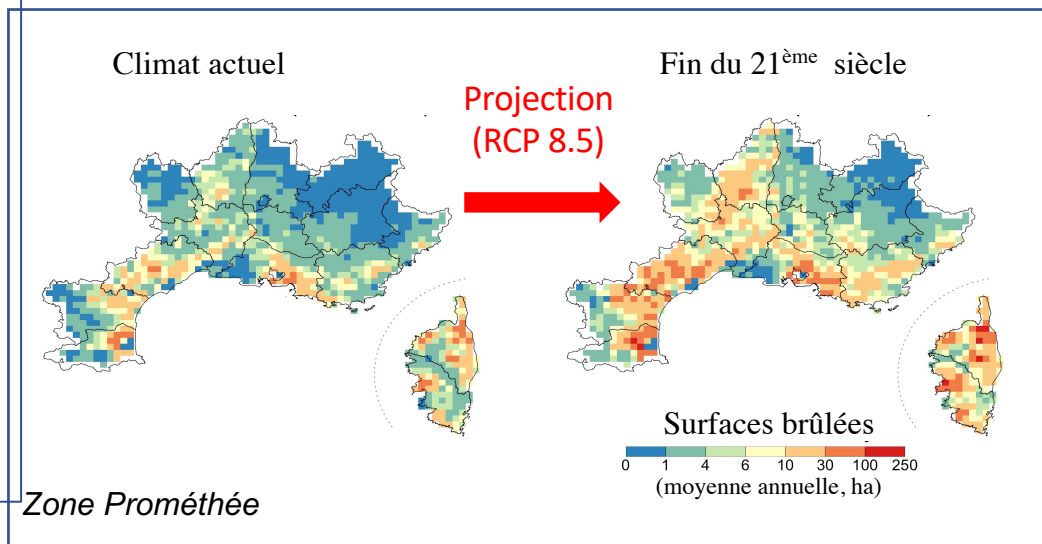
**Le modèle probabiliste *Firelihood* simule les occurrences et les tailles de feu de la zone Prométhée selon le danger météo quotidien et la surface forestière de chaque pixel de 2000 à 2100 (Feux d'été)**



Hypothèses :

- la lutte conserve la même efficacité (niveau post-2003)
- les surfaces forestières sont stables

**Surfaces brûlées annuelles (ha) par pixel de 8 km (6400 ha)**



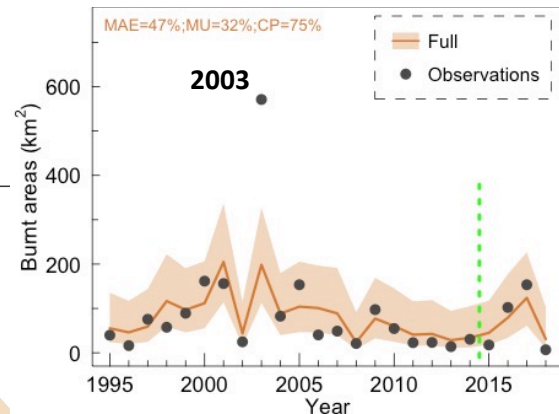
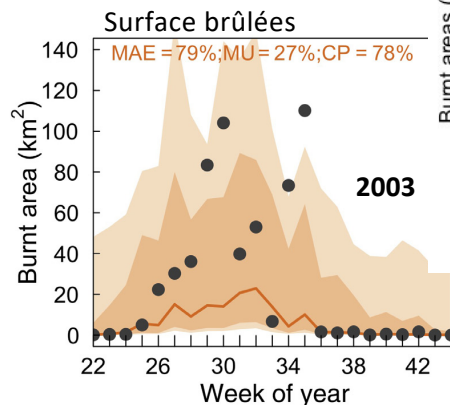
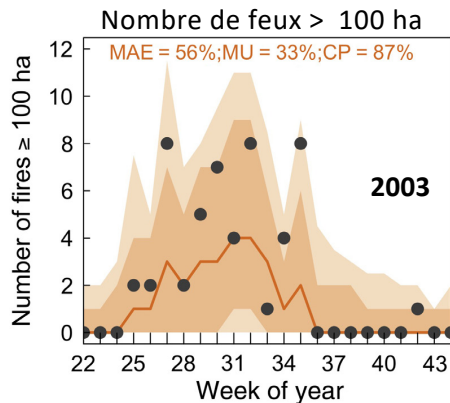
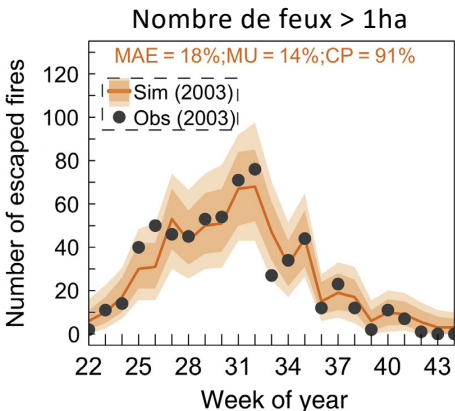
Fargeon2019, thèse de doctorat

Pimont et al 2021, Ecological Applications

# Limites et incertitudes

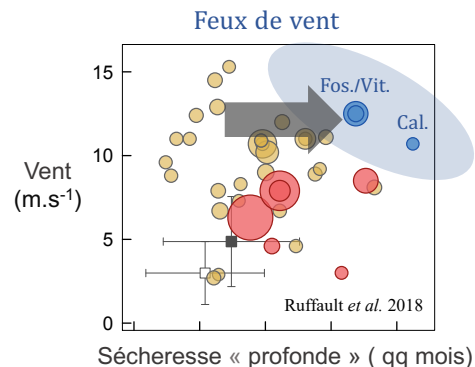
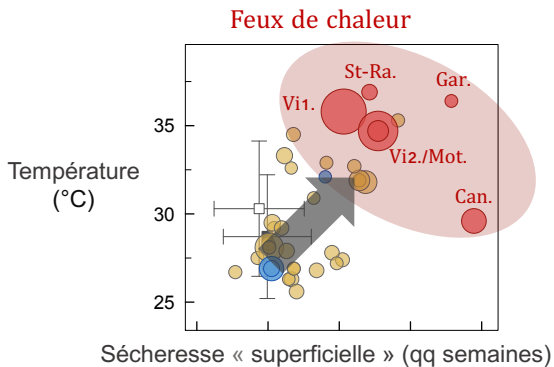
## • Prévisions en conditions sévères (grands feux, feux extrêmes)

Firelihood (avec le FWI) sous-estime le nombre de grands feux et les surfaces brûlées en 2003



2015-2018 :  
échantillon  
de validation

- Feux extrêmes de 2003
- Feux extrêmes de 2016
- Autres grands feux



# Limites et incertitudes

- **Dynamiques de végétation : sécheresse, mortalité et teneur en eau**

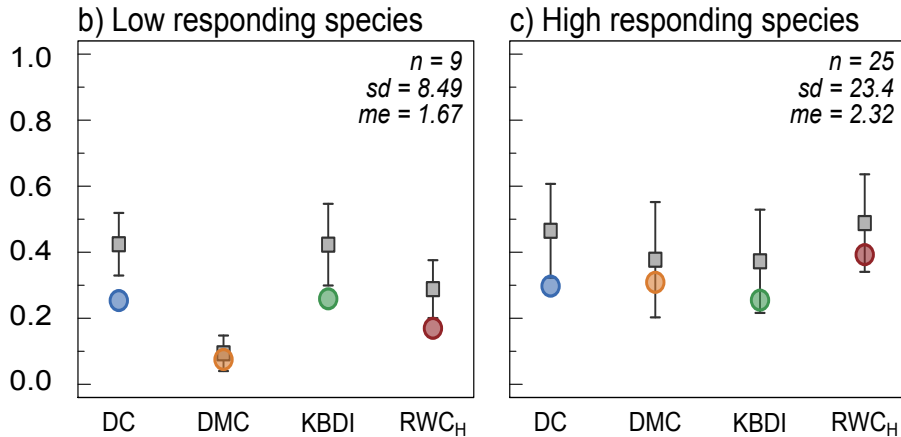
Les indices de sécheresse reflètent imparfaitement les dynamiques de teneur en eau de la végétation (feuilles vivantes).

La mortalité du feuillage induit une baisse de la teneur en eau de canopée.

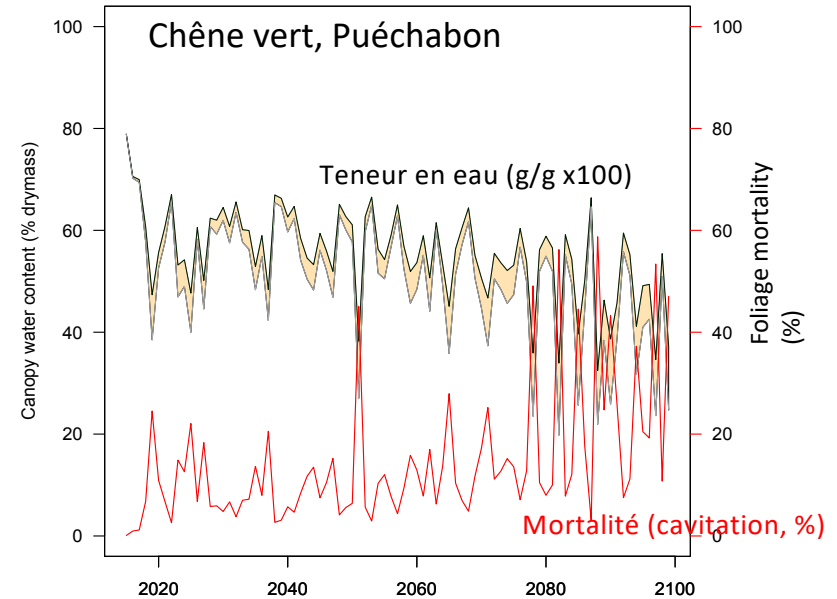


Variations interannuelles de teneur en eau et mortalité du feuillage projetées jusque 2100 (RCP 8.5, MPI-RCA4 ; modèle SUREAU-ECOS)

## Corrélations teneur en eau – indice de sécheresse ( $R^2$ )



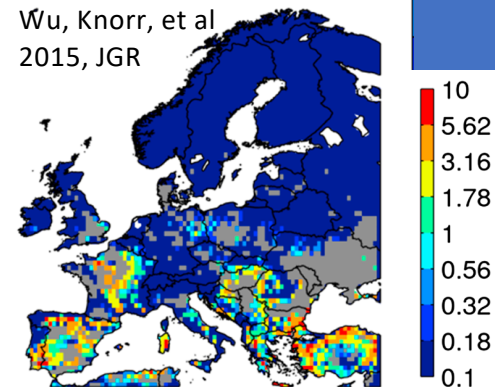
Ruffault et al 2018  
Agr For Meteor





# Limites et incertitudes

Wu, Knorr, et al  
2015, JGR



Fraction de surface brûlée (% par an), simulée par LPJmL (1997-2009)  
Incohérences régionales avec les observations

- Dynamiques couplées feu-végétation**

***Forts biais, forte incertitude entre modèles***

(voir aussi : Migliavacca et al 2013, JGR ; Hantson et al 2020, GMD)

## Impacts du climat, du CO2 et de la population sur les surfaces brûlées

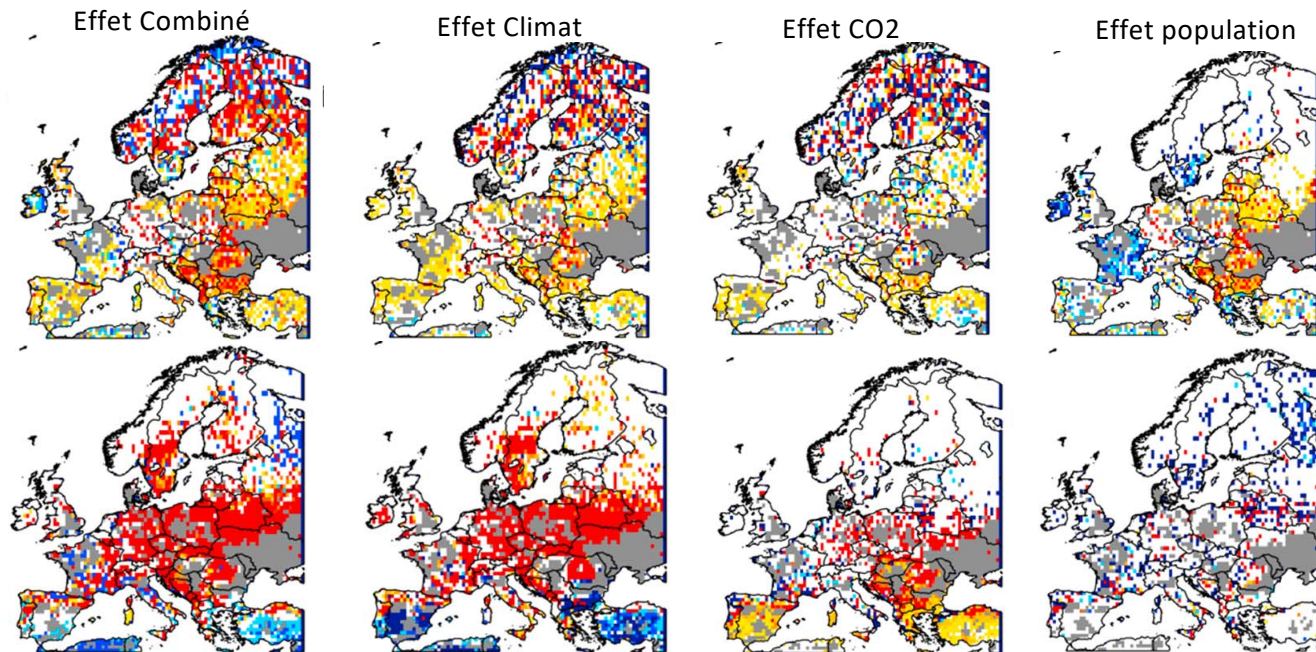
Changements relatifs en fin de siècle

(2081-2100, RCP8.5; Réf. 1981-2000)

LPJ-GUESS-SIMFIRE

Wu, Knorr, et al 2015, JGR

LPJmL-SPITFIRE





# Scénario pour les régimes de feux futurs

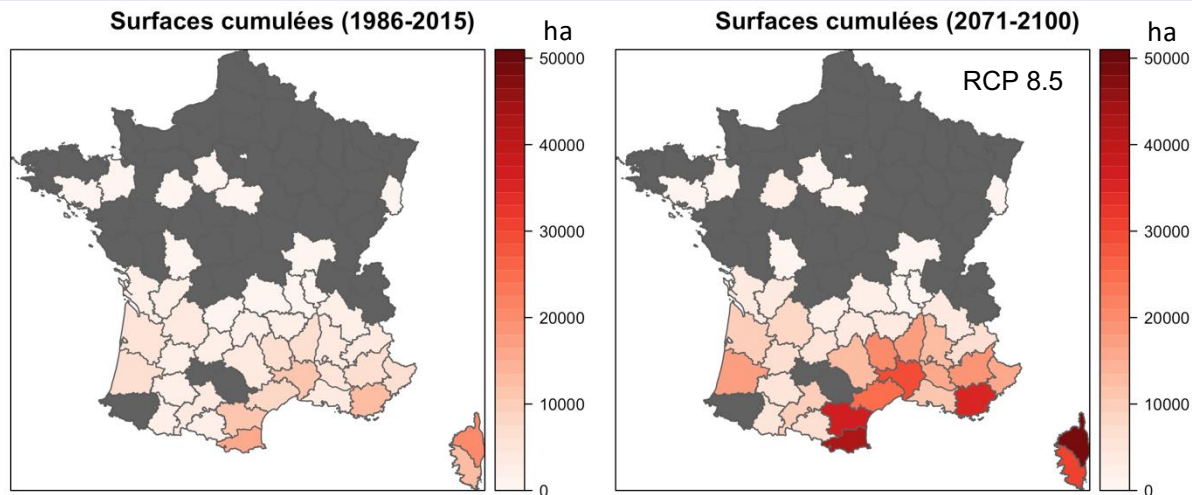
## Simulations exploratoires avec Firelihood

Facteurs : FWI et Surface forestière

Sans effets spatio-temporels

Hypothèse : la lutte

conserve la même efficacité



Fargeon 2019, thèse

<b>France</b>	<b>Saison de feux plus longue et feux plus intenses</b>
<b>Sud-est</b>	<b>Surfaces augmentées d'un facteur 2 à 3 dans le sud-est Territoires de moyenne montagne au niveau du risque actuel des zones littorales Risque de feux extrêmes fortement accru Fréquence des feux conduisant à des conversions Forêt → Lande</b>
<b>Sud-ouest</b>	<b>Régime des feux similaire à celui observé dans le sud-est aujourd'hui Risque de feux extrêmes dans les Landes de Gascogne (forte combustibilité)</b>
<b>Nord</b>	<b>Evolutions a priori peu sensibles (mais forte incertitude; dépérissements; feux agricoles)</b>

# Gestion du risque incendie : agir sur les trois composantes du risque



*Débroussailler aux interfaces*

*Sylviculture préventive*

*Normes construction*

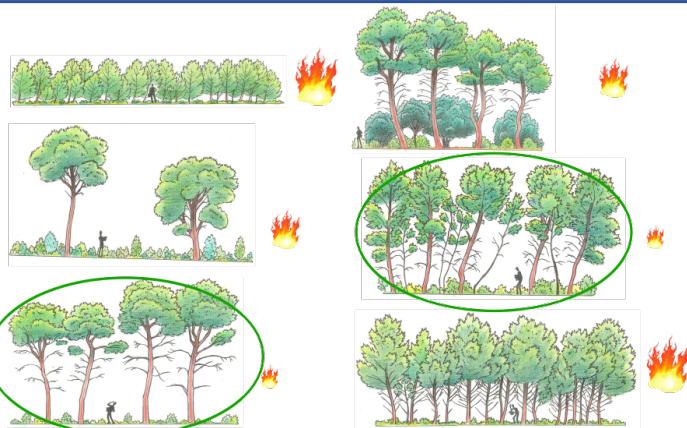
**Vulnérabilité**  
sensibilité, capacité  
d'adaptation

**RISQUE**

**Aléa**  
fréquence,  
intensité

**Enjeux**  
exposition, valeur

- Aménagement du territoire
- Constructibilité



*Le pin d'Alep en France,  
B Prévosto, coord. Ed. Quae*



*Réduire les départs de feu*

*Réduire la biomasse combustible*

*Contenir les feux (lutte)*

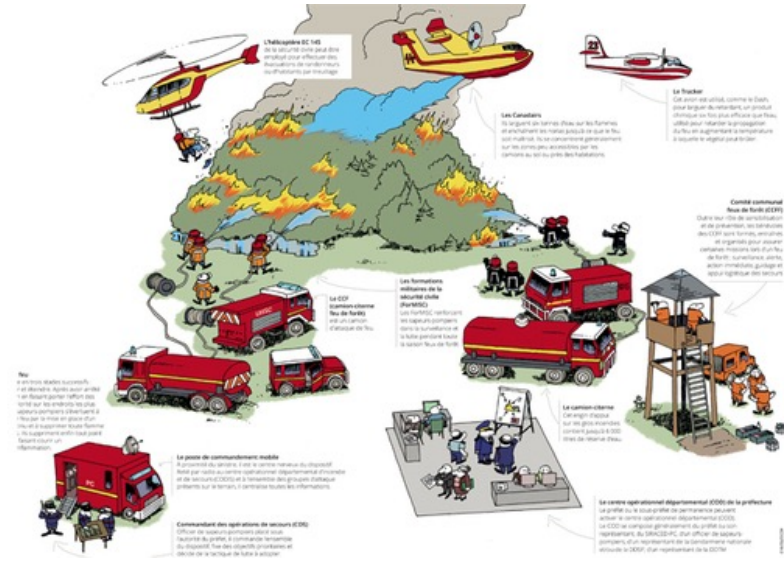
# Gestion du risque incendie : stratégie actuelle

## La stratégie appliquée dans le sud-est et les Landes de Gascogne

- **attaquer feux naissants (systématique et rapide)**
- **protéger les enjeux humains**
- **En conditions extrêmes :**
  - évacuer, attendre des conditions plus propices à la lutte

## Implications

- **prévisions (mise en alerte, fermeture des massifs)**
- **détection précoce**
- **accès au feu (pistes, coupures, aménagements DFCI)**
- **accès aux interfaces (forêt-habitat, forêt-infrastructures)**
- **obligations légales de débroussaillage (OLD), normes de construction**



**Coûts annuels (Chatry et al 2010) : 500 M€ dont 3/4 lutte et 1/4 prévention (massivement DFCI)**

**La prévention est vue comme préparation et appui à la lutte**

# Gestion du risque incendie : stratégie pour le futur ?

*La stratégie actuelle pourra être efficace dans le sud-ouest, au prix de coûts croissants*

*Le risque accru de feux extrêmes (surtout le sud-est), non contrôlables, impose une approche plus systémique, avec un rééquilibrage prévention - lutte*  
**Anticiper**

- *alerte feux extrêmes (prévision), éviter les éclosions*
- *préparation aux crises (simulations d'évènements, retours d'expérience)*
- *planification et aménagement territoire (simulations des régimes de feu)*

**Réduire le combustible à grande échelle – utopique ?**

- *brûlage dirigé*
- *pastoralisme*
- *fragmentation du paysage (agriculture)*

**Augmenter la résilience des socio-écosystèmes**

- *gestion forestière (réduire la sévérité; interventions post-incendie)*
- *culture du risque (informer, éduquer, préparer)*
- *auto-protection des enjeux*





# Gestion du risque incendie : leviers

## Leviers socio-économiques et financiers

- valorisation de la ressource, bio-économie
- assurances, paiements pour service
- politiques agricole et environnementale

## Recherche et innovation

- connaissance et prévision des feux extrêmes
- interactions et dynamiques feux-végétation
- incendies, usages du feu et services écosystémiques
- coûts et impacts socio-économiques des incendies

