



HAL
open science

Le risque lié aux incendies de forêt : contexte et contribution de l'INRA

Eric Rigolot, François Pimont, Jean-Luc Dupuy, Nicolas Martin-StPaul,
Julien Ruffault

► To cite this version:

Eric Rigolot, François Pimont, Jean-Luc Dupuy, Nicolas Martin-StPaul, Julien Ruffault. Le risque lié aux incendies de forêt : contexte et contribution de l'INRA. Réunion de la section forêt-bois, Académie d'Agriculture de France (AAF). FRA., Nov 2019, Paris, France. pp.35. hal-02789051

HAL Id: hal-02789051

<https://hal.inrae.fr/hal-02789051>

Submitted on 5 Jun 2020

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.



Le risque lié aux incendies de forêt

Contexte et contribution de l'INRA

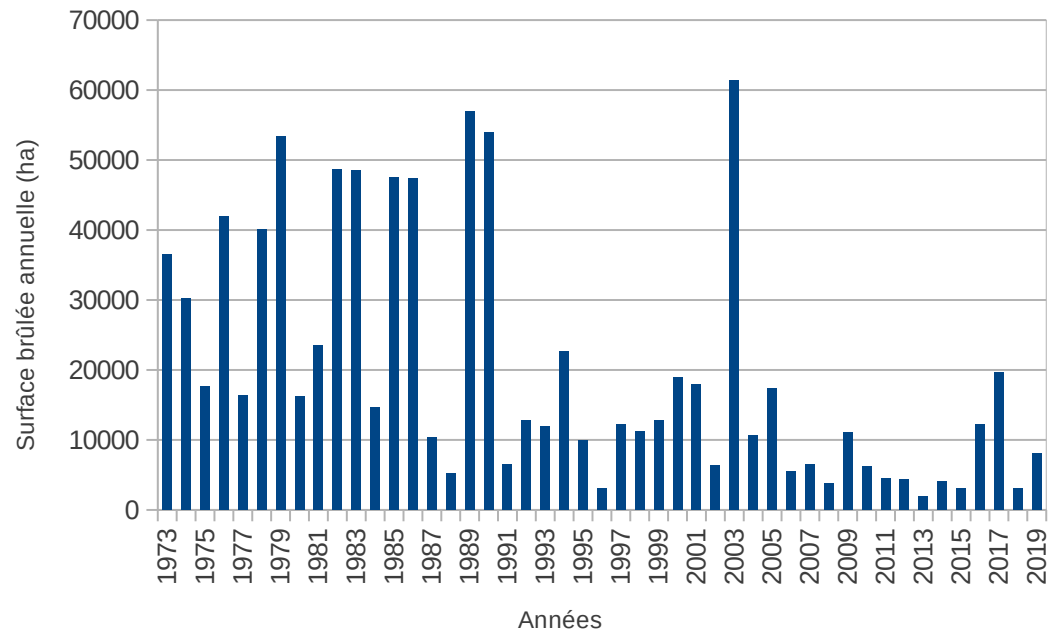
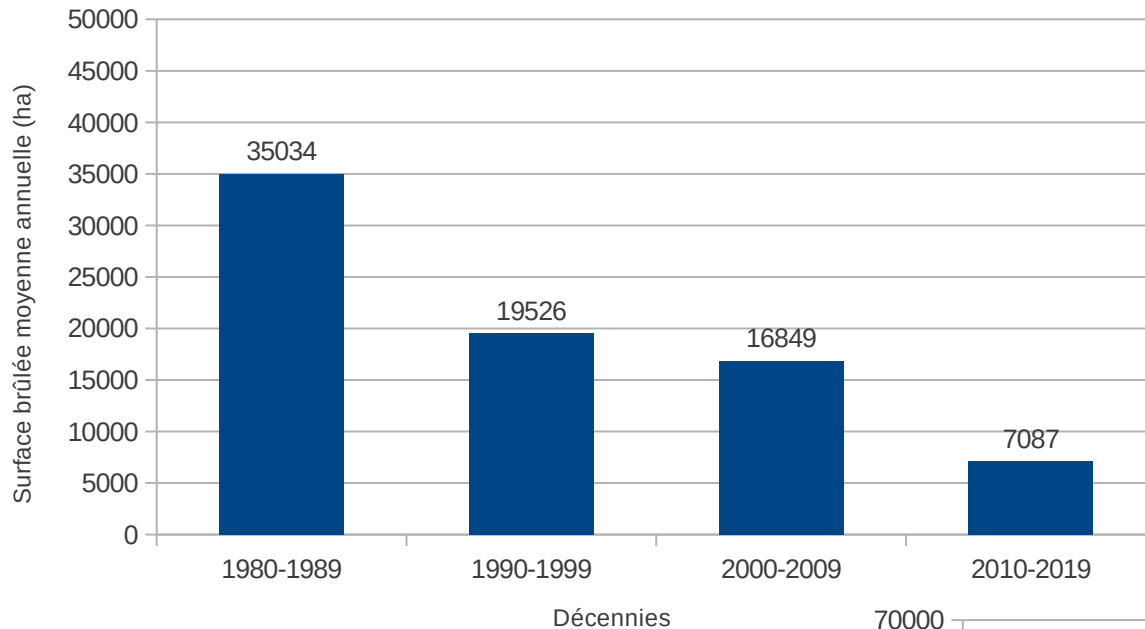
Eric Rigolot, Jean-Luc Dupuy, Nicolas Martin, François Pimont,
Julien Ruffault



INRA, Unité de recherche
Écologie des Forêts Méditerranéennes, Avignon

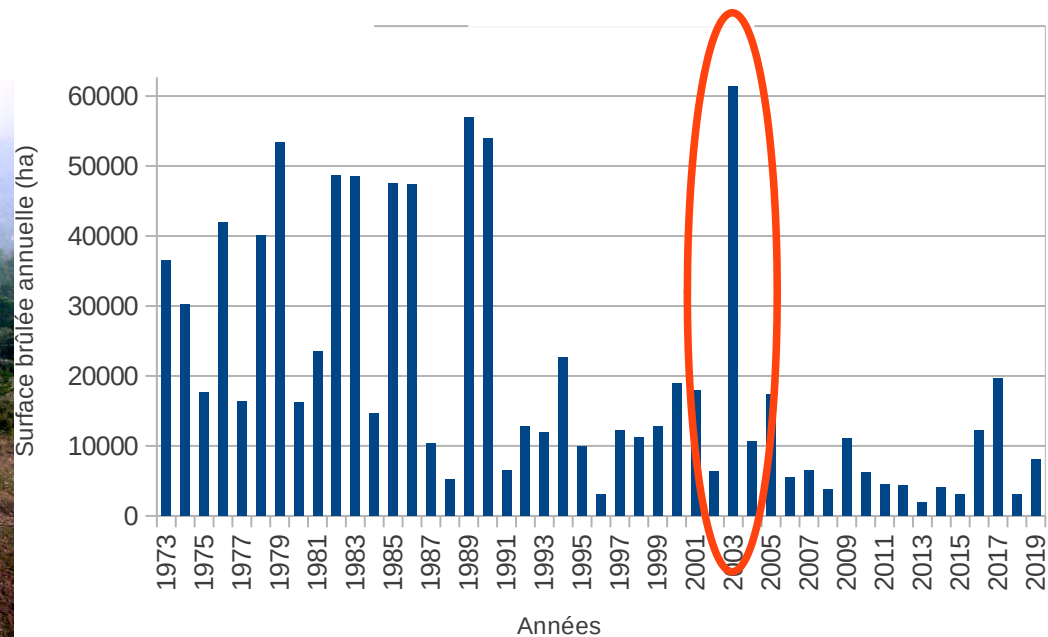
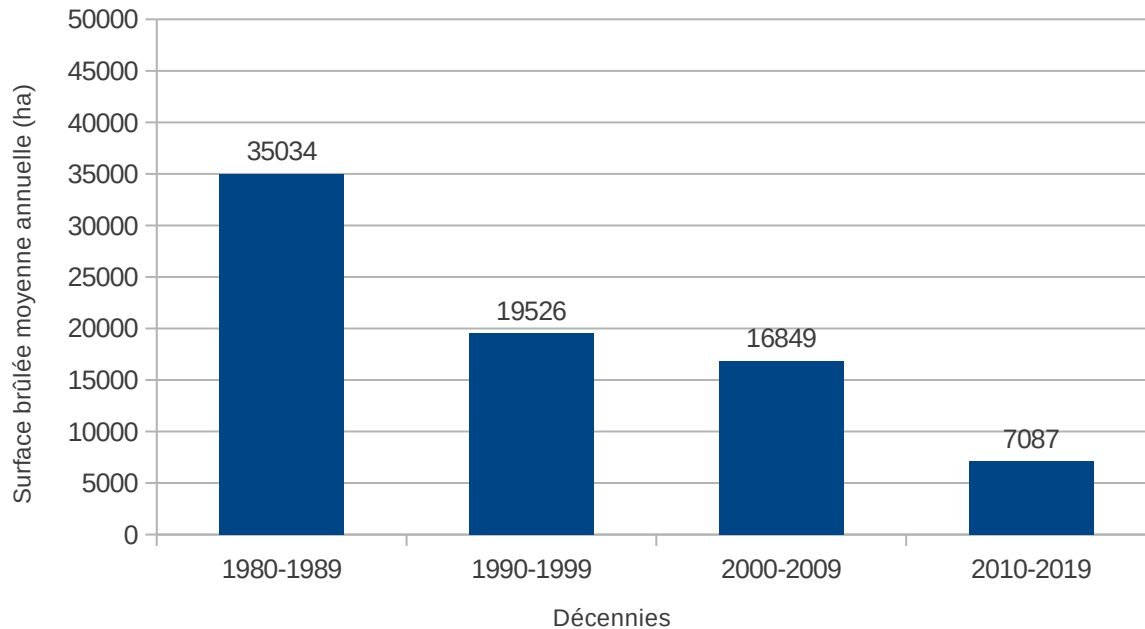
Les feux de forêt en France

Un risque sous contrôle ?



Les feux de forêt en France

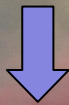
Un risque sous contrôle ?



Les limites du système

En situation normale,
les parades en place pour atténuer le risque feux de forêt
jouent efficacement leur rôle.

Conditions
météorologiques
peu sévères



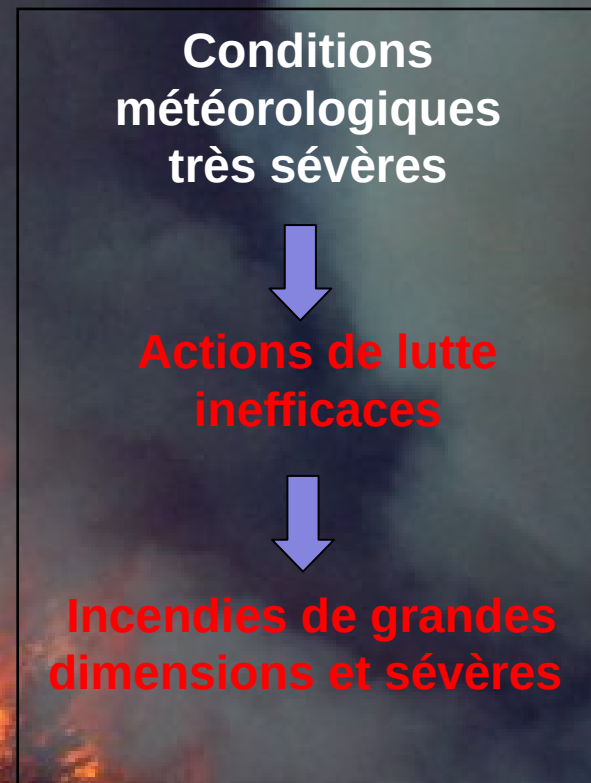
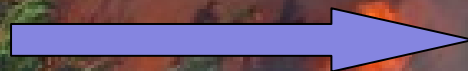
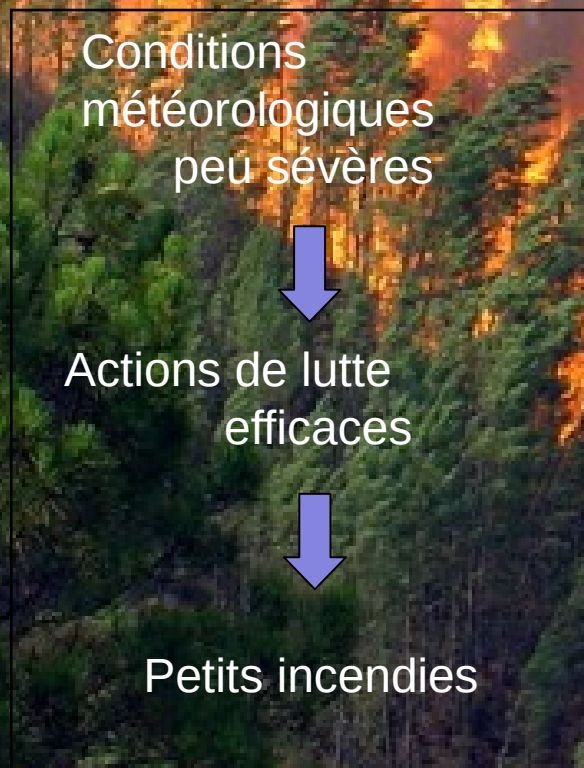
Actions de lutte
efficaces



Petits incendies

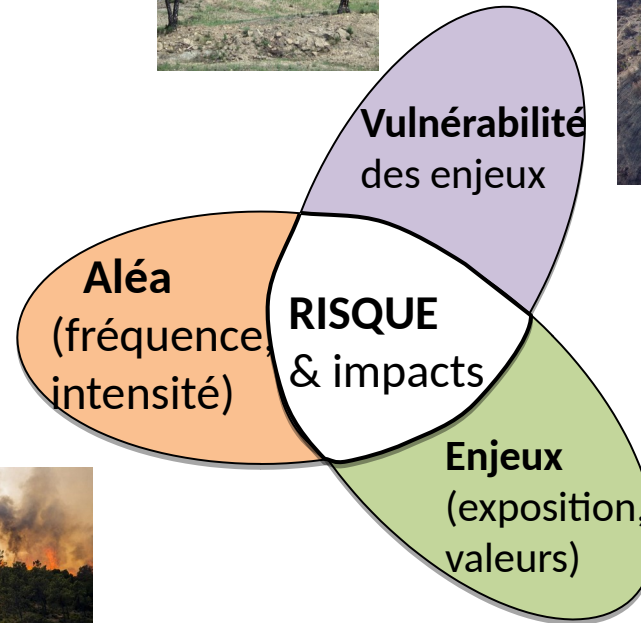
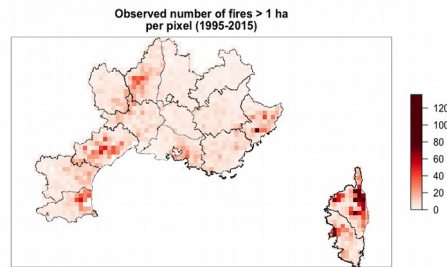


Les limites du système



Le risque d'incendie et les enjeux de son évaluation

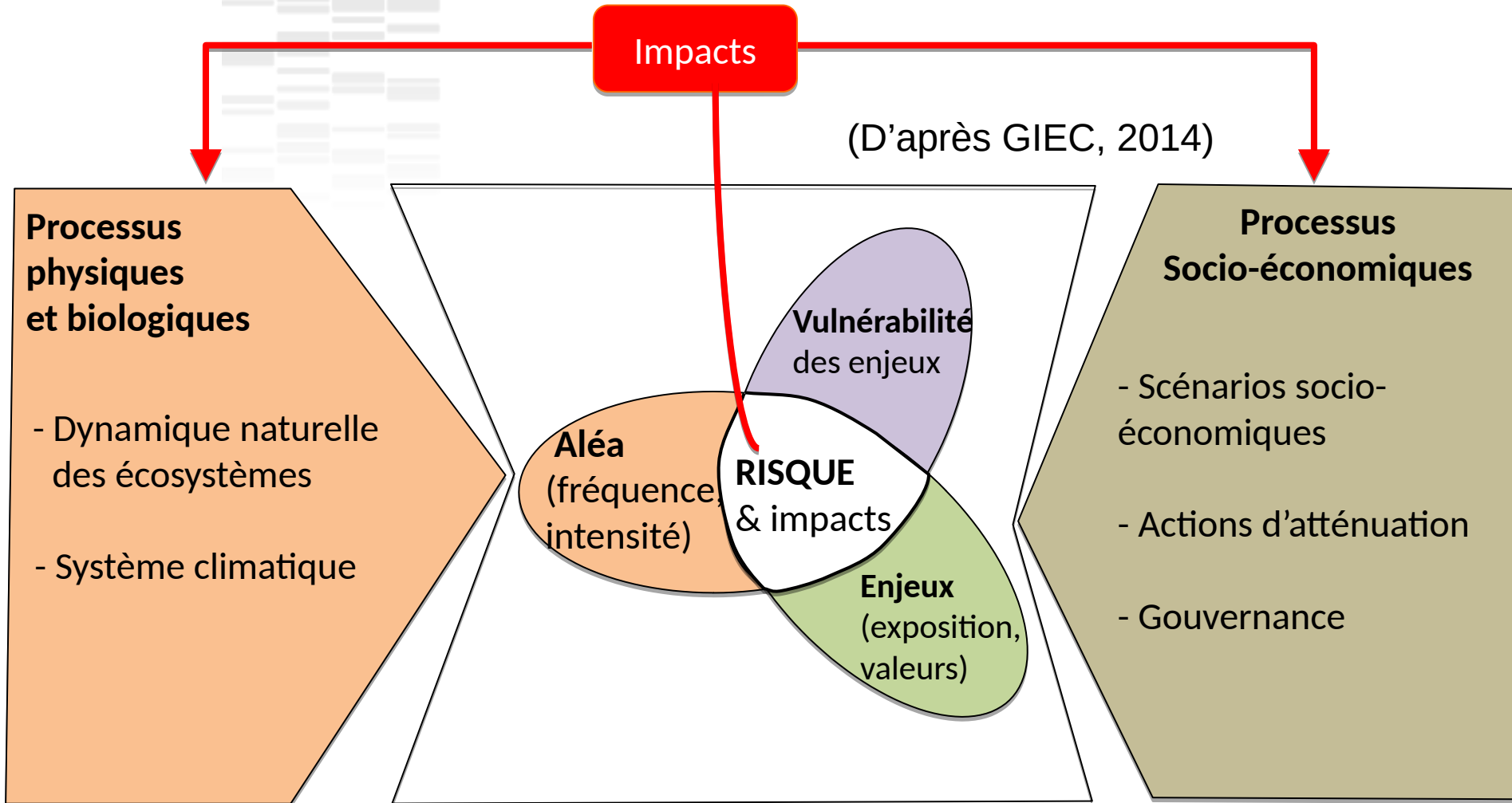
(D'après GIEC, 2014)



❖ Objectifs opérationnels : anticiper et réduire le risque

- Prédiction du danger saisonnier
- Cartes d'aléa structurel
- Ouvrages DFCI, gestion du combustible
- Aménagement du territoire, normes de construction

Le risque d'incendie dans un cadre global



Introduction espèces à croissance rapide
Augmentation du puits de C forestier
...

Le risque d'incendie et son évolution

1) Déprise rurale et sous-exploitation des forêts

Processus physiques et biologiques

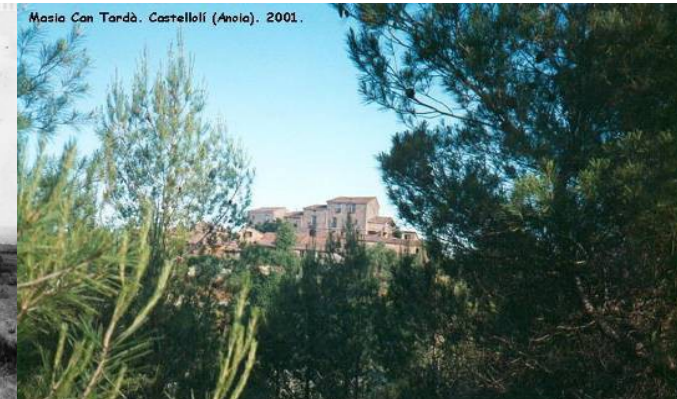
Dynamique naturelle des écosystèmes

- Augmentation du taux de boisement
- Augmentation du Stock (biomasse)
- Évolution structure et composition

1910



1991



Le risque d'incendie et son évolution

2) Changement climatique : évolution du risque



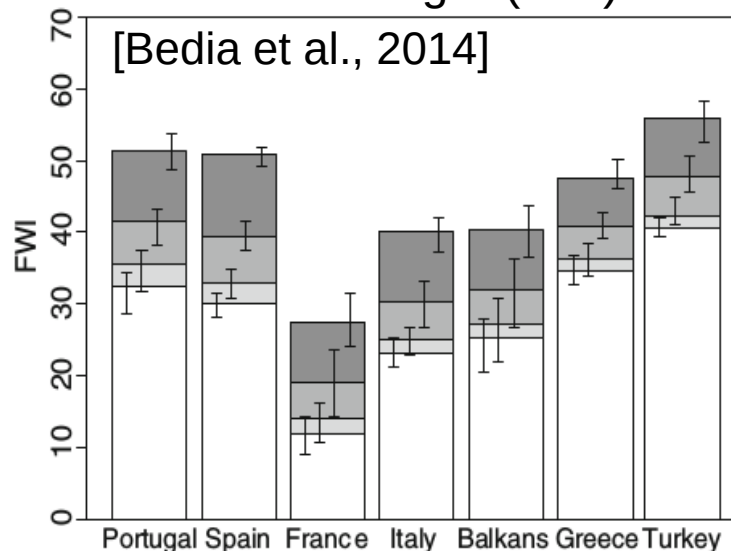
- ❖ IFM = danger d'incendie (base météorologique)
- ❖ Le danger d'incendie a augmenté sur la période récente [Fréjaville and Curt, 2015]
- ❖ ... et devrait s'accroître encore dans les prochaines décennies

Processus physiques et biologiques

Système climatique

- Variabilité naturelle du climat
- Changement climatique
 - Événements extrêmes
 - Augmentation du danger
 - Extension géographique du danger

Indice de danger (IFM)



- 2071-2100
- 2041-2070
- 2011-2040
- 1971-2000
- ⊢ Uncertainty

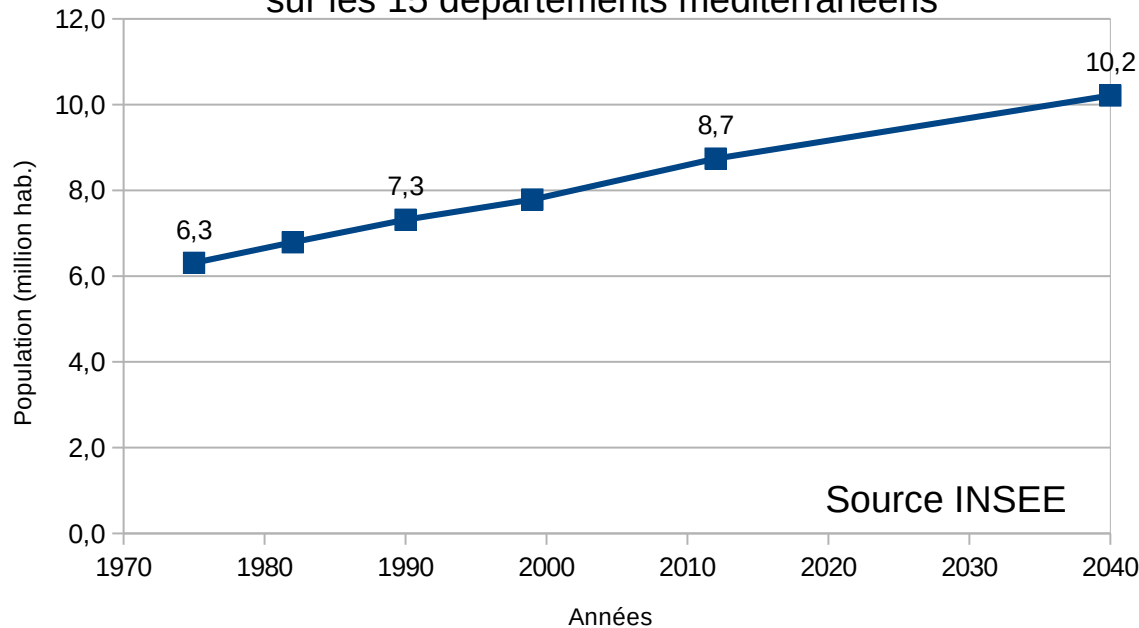
| Scénario A1B

Le risque d'incendie et son évolution

3) Développement démographique et pression urbaine



Evolution passée et projection démographiques sur les 15 départements méditerranéens



Progression de la population 2007 – 2040 (Insee) :

LR : + 28,5%

PACA : + 14,9%

=> 500 000 constructions en zone d'aléa fort (ONF, 2008)

Scenarios socio-économiques

Actions d'atténuation

- Atténuation de la vulnérabilité
 - ex. OLD
- Atténuation de l'exposition des enjeux
 - ex. Maîtrise de l'étalement urbain

Gouvernance

- Politique d'urbanisme
- Politique d'aménagement rural

• Portugal : 15 octobre 2017

❖ en 24 heures

- 220 000 ha brûlés
- 900 habitations principales touchées
- 45 victimes et des centaines de blessés

Credit image : Roscomos

2018, Village de Mati en Grèce

- ❖ Une centaine de victimes lors du même incendie

La menace des méga-feux

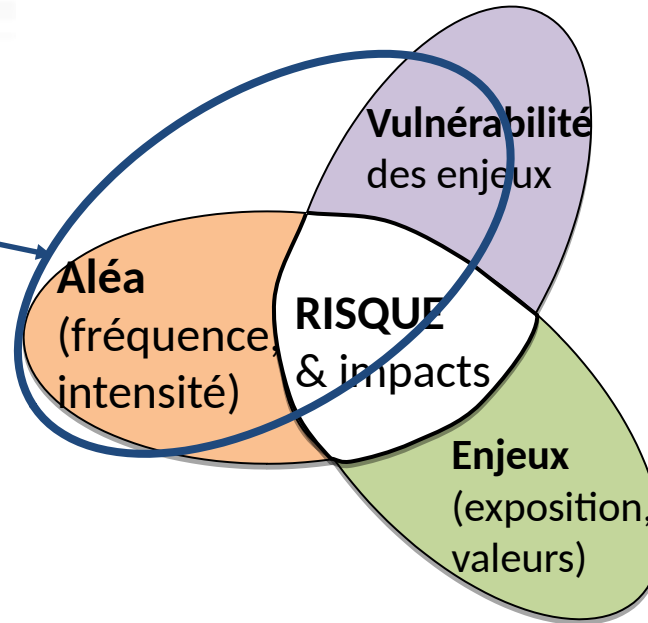
• Californie, Camp Fire, novembre 2018

- ❖ 61 000 ha
- ❖ 85 victimes
- ❖ 14 000 résidences détruites

L'incendie de Rognac (2700 ha) 10 août 2016

Les recherches de l'INRA sur l'évaluation du risque d'incendie

Les recherches
de l'INRA



Plan

1. Évaluation du risque aux échelles locales : approche physique
2. Évaluation du danger aux échelles régionales : approche empirique

Les recherches de l'INRA sur l'évaluation du risque d'incendie

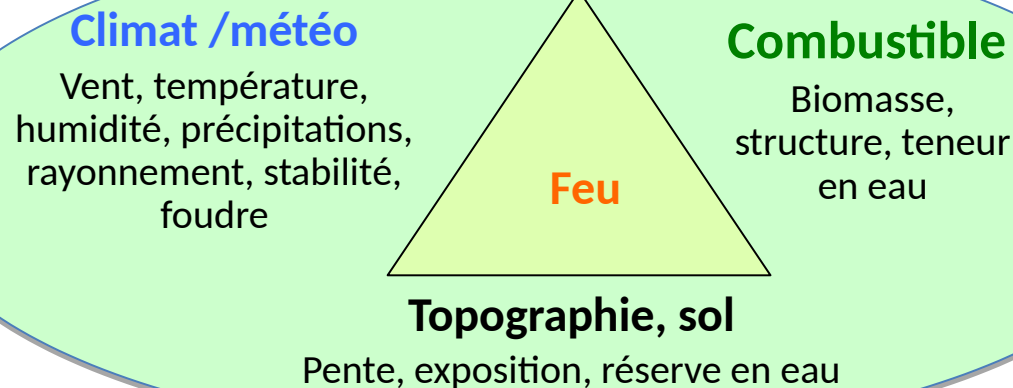
❖ Questions

A l'échelle (locale) d'un événement de feu :

- quels sont les mécanismes d'ignition, de propagation et d'extinction ?
- comment les facteurs biophysiques interviennent ? quels effets quantitatifs ?

A l'échelle (régionale) d'une distribution de feux :

- quelles sont les caractéristiques du régime des feux ?
- quels en sont les facteurs déterminants ? Prédicibilité ?



1. Évaluation du risque aux échelles locales : approche physique

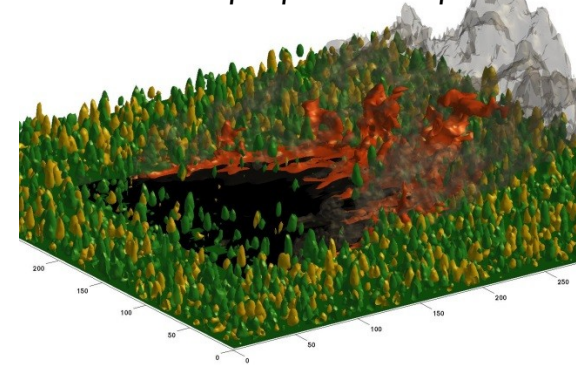


Modélisation physique du feu : FIRETEC

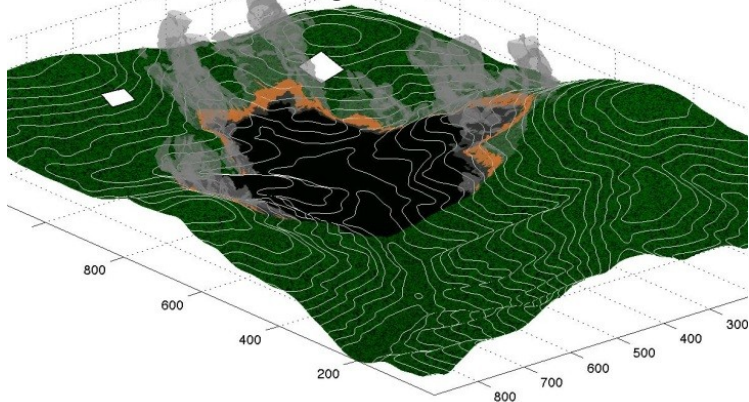
Simulation en peuplement dépérissant

Modèle

- Couplage des processus physiques du feu aux processus de la dynamique atmosphérique
- Résolution numérique d'edp sur grille 3D
- Interactions feu-atmosphère-végétation-topographie



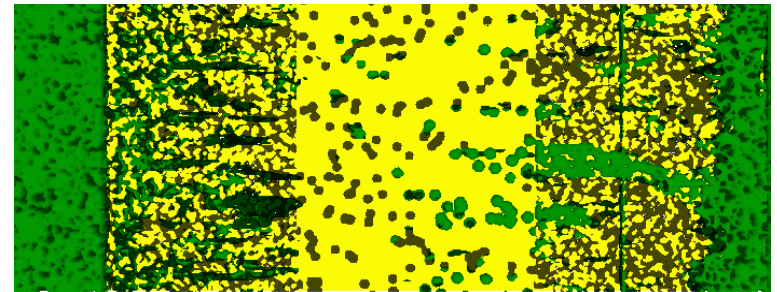
Simulation sur paysage (les Adrets des Maures)



Conditions initiales et aux limites

- Atmosphère : profil empirique, ou champ 3D par pré-calcul du vent
- Topographie : carte altitudes
- Combustible : biomasse, surface exposée et teneur en eau, des éléments fins, distribuées en 3D

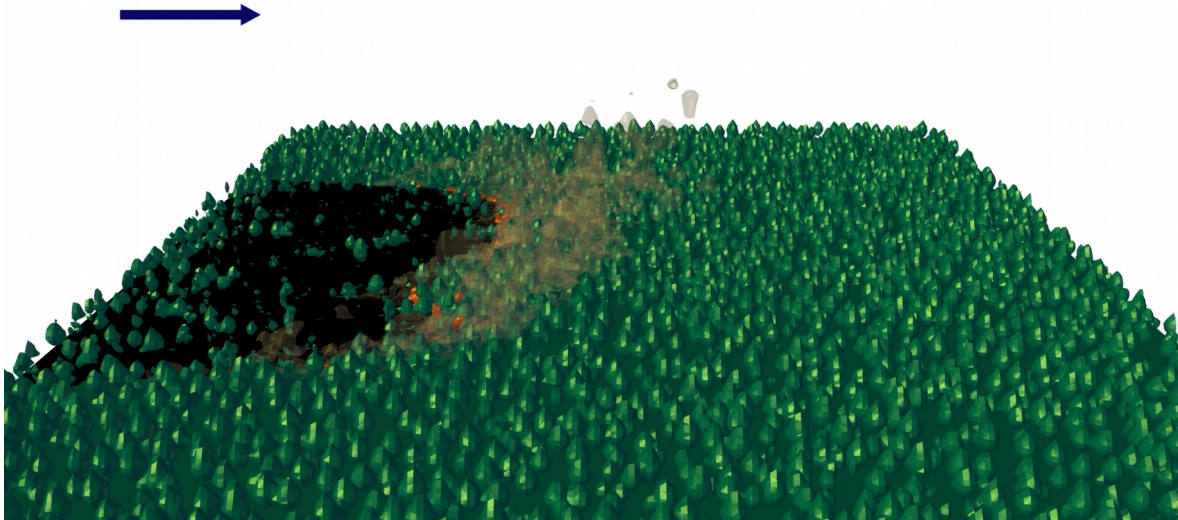
Consommation des arbres en peuplement et sur éclaircie



Simulations

- Résolution spatiale : 2 m
- Simulations du peuplement au petit paysage (< 500 ha)
- Prédications : vitesse, puissance, flux, températures, ...

Influence de l'état hydrique de la végétation Par simulation numérique

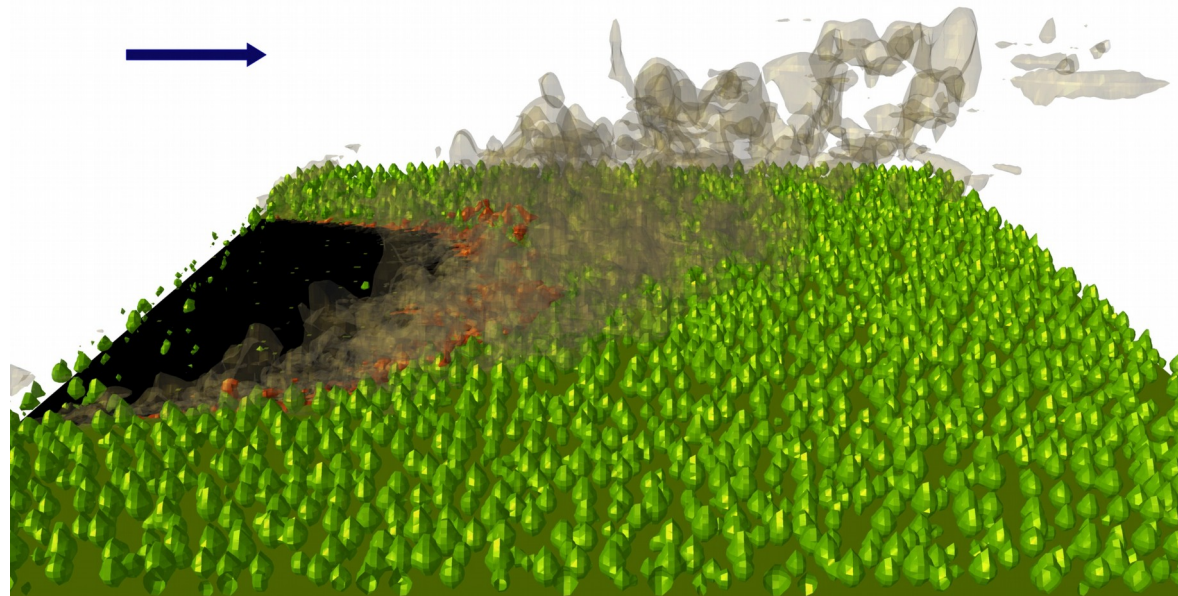


Teneur en eau :

Fin de printemps :

Pin d'Alep 120 %

Sous-bois 98 %



Fin d'été :

Pin d'Alep 90 %

Sous-bois 56 %

FIRETEC : évaluations

International Crown Fire Modelling Experiment

(Stocks et al. 2004, Can J For Res)

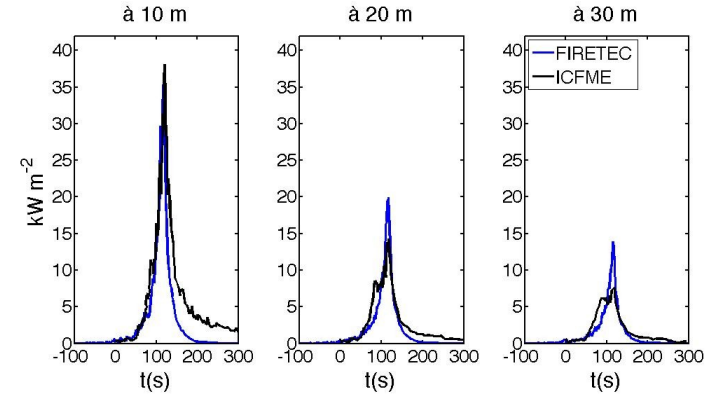


Vitesses de feu

(m/s)	Plot 1	Plot 4	Plot 6	Plot 9
Vent	2.8	4.1	6	6.9
Vit .Exp	0.6	0.7	0.6	1.2
Vit. Firetec	0.7	0.7	0.8	1.1

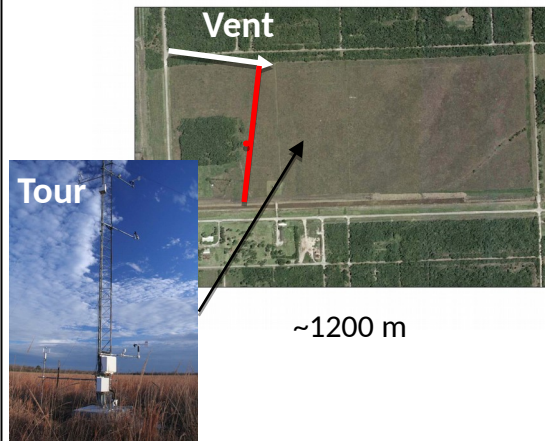
(Pimont et al. 2014, ICFR)

Flux radiatifs observés et simulés

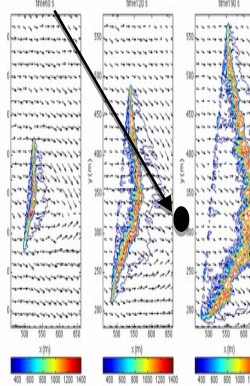


Fireflux Experiment

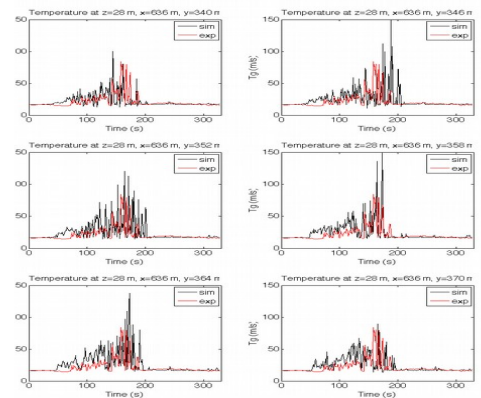
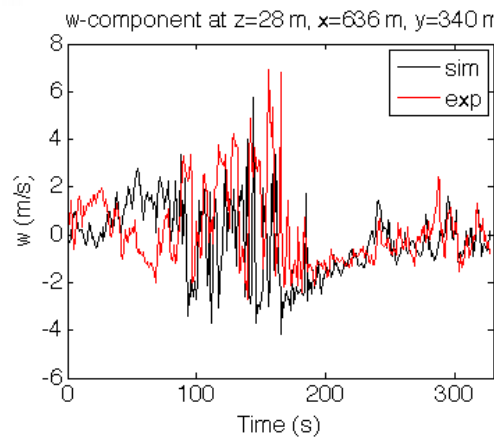
(Clements et al. 2007, BAMS)



Tour



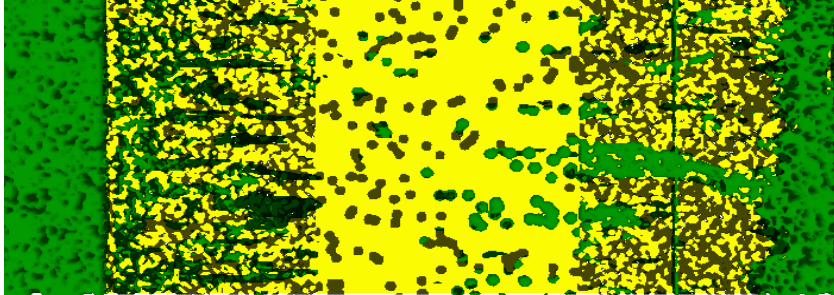
Vitesse verticale et température dans le panache



(Dupuy et al. 2014 ICFR)

FIRETEC : quelques applications

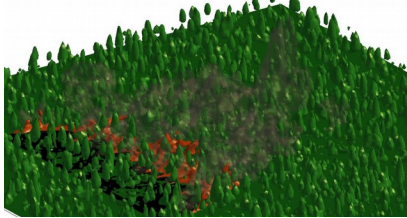
Consommation des arbres en peuplement et sur éclaircie



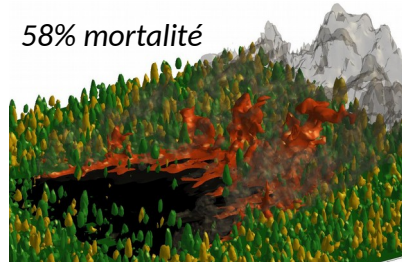
Pimont et al. 2011, AFS

Effet du dépérissement

Peuplement sain

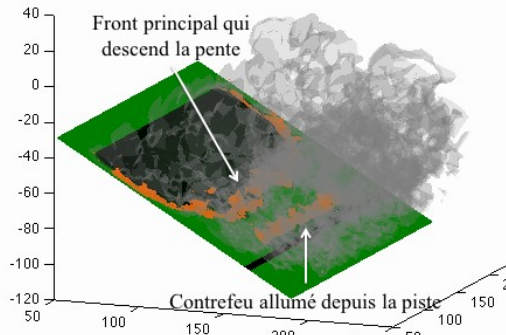


58% mortalité



Sieg et al. 2017, Fire Ecol.

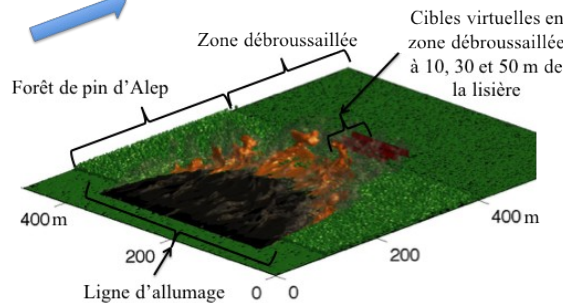
Simulation de contre-feu



Dupuy et al. 2011, IJWF

Effets du débroussaillage sur les flux (OLD)

Directions du vent et du feu



Pimont et al. 2014, ICFR

Impact de la fréquence de brûlage dirigé

Intensité de feu en fonction du nombre d'années après traitement



Communauté	1	2	3	4	Contr
Taillis pin/chêne	1500	2000	13100	13800	14800
Taillis épars	650	900	8100	9300	10500
Garrigue à chêne vert	350	1600	6400	6400	7700
Garrigue à chêne kermès	900	3600	5300	5400	6300
Garrigue à romarin	1500	3300	5800	5900	6000
Prairie	900	900	900	900	900

Cassagne et al. 2010, Ecol. Mod.

Radiant heat flux (kW m⁻²) Gas temperature (°C)

d=10 m d=30 m d=50 m d=10 m d=30 m d=50 m

Run 1
No slope
Cleared fuel-break

25 (28) 8.6 (9.2) 5.5 (5.9) 287 (323) 105 (111) 71 (78)

Run 2
30% slope
Cleared fuel-break

31 (35) 12 (13.2) 8.4 (9.1) 329 (404) 110 (130) 59 (70)

Run 3
No slope
10 m-respaced trees

22 (26) 8.3 (8.8) 5.4 (5.9) 280 (336) 108 (120) 68 (75)



Fuel Manager

Modeling initial step

- **Plants:**
 - Detailed inventory
 - Observed distribution
 - Modelled distribution
- **LayerSets:**
 - Set of Observed Layers
 - Predefined understorey
 - Succession model

Fire library

3D fuels Scene
Plants, LayerSets

- Calculate fuel properties
- Visualization
- Apply fuel treatments
- Model fire behavior
- Model fire effects

**FIRETEC,
WFDS**

Simulate growth over time
Plant Dynamics
Succession models

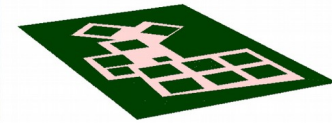
Pimont et al. 2016, EMS

Applications

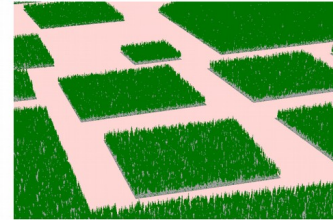
Modéliser le combustible (e.g. ICFME)



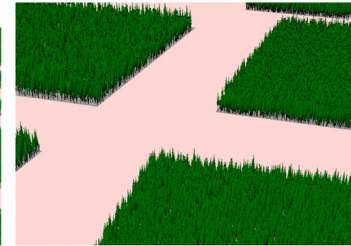
a)



b)

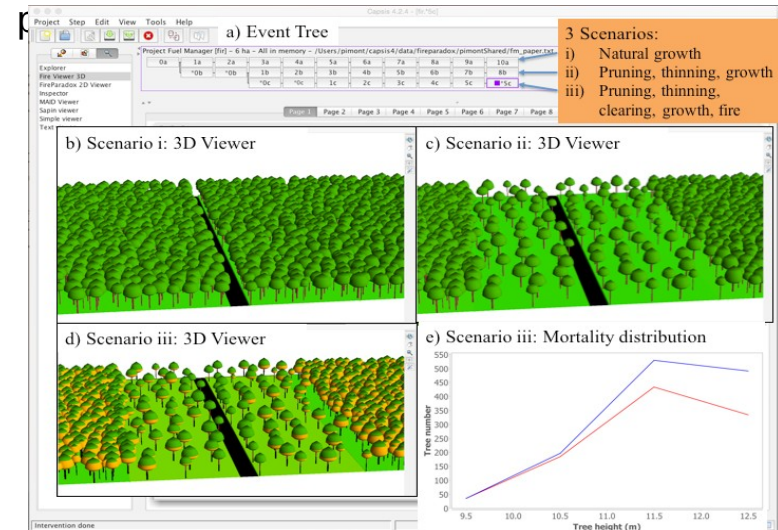


c)



d)

Simuler des scénarios (gestion et

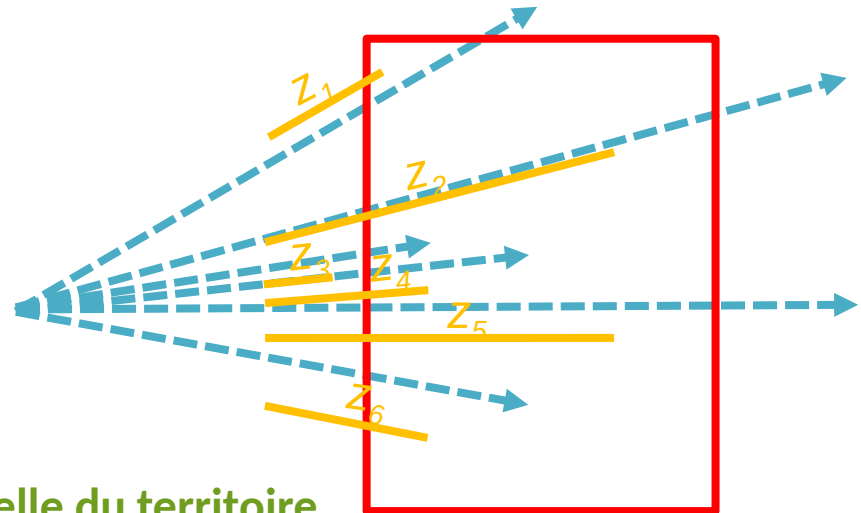


Le LiDAR terrestre, un outil pour mesurer le combustible (et la surface foliaire)

Notre équipe développe des méthodes pour évaluer la **biomasse combustible et sa structure** à partir de scans LiDAR

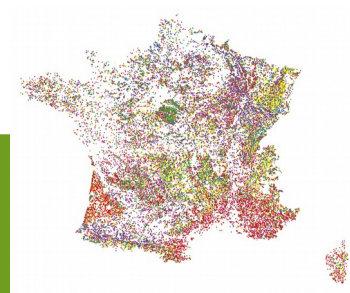
la probabilité des rayons d'être interceptés augmente avec la quantité (surface) des « éléments fins » locaux, donc les nuages de points 3D peuvent servir à mesurer la distribution du combustible sur des petites placettes

Pimont et al. 2015 RS, Pimont et al. 2018 RSE, 2019 RS + Thèse (Soma et al. 2018 RS)



Prise en compte de la « structure » à l'échelle du territoire

- L'IGN procède à des scans LiDAR systématiques des placettes « Forêts » (4000 points « forêts » scannés depuis 2009) pour l'évaluation de la ressource forestière.



Evaluation de la structure du combustible

Vidéo tirée du multi-scan de la parcelle témoin du dispositif de Font-Blanche
(pin d'Alep/chêne vert)



Thèse Maxime Soma

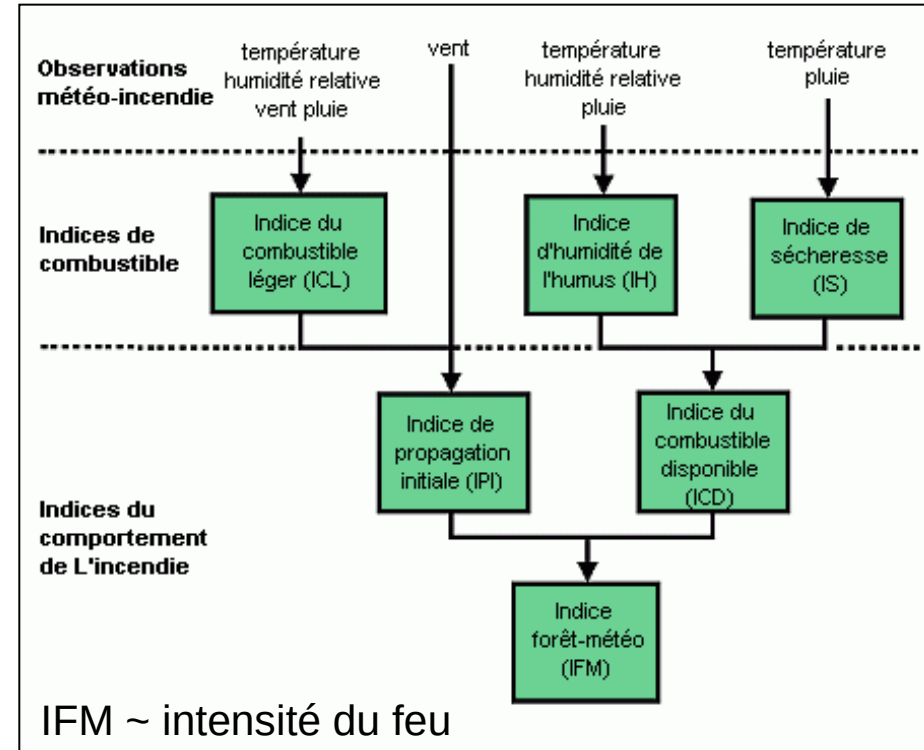
2. Évaluation du danger aux échelles régionales : approche empirique



Le danger d'incendie

- Les indices de danger :
 - dépendent de la météo seule,
 - ne sont pas des observables
- Le niveau de danger doit traduire :
 - la difficulté à maîtriser l'incendie,
 - les impacts attendus du feu.
- L'activité des feux (nombre, surfaces) est la variable opérationnelle d'intérêt

Indice Forêt Météo



Questions

- L'IFM est utilisé dans la prévision saisonnière ou les projections à long terme :
 - est-il un bon indicateur de l'activité des feux ?
 - quelles sont les pistes d'amélioration pour la prévision du danger ?

Extension de la zone à risque d'incendie en France

Incertitudes sur le danger future associées aux projections climatiques

L'augmentation du danger dans le sud et à l'ouest est confirmée (eg Chatry et al 2010, Bedia et al 2014)

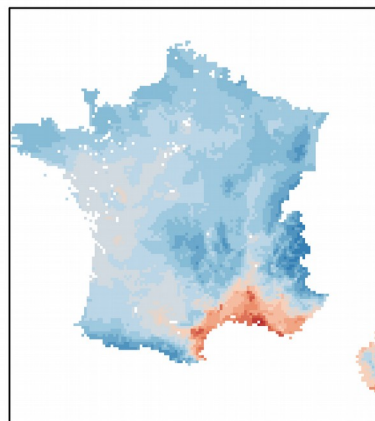
Cette augmentation est importante avec peu d'incertitude au sud, et très incertaine à l'ouest

Thèse d'Hélène Fargeon (2016-2019)

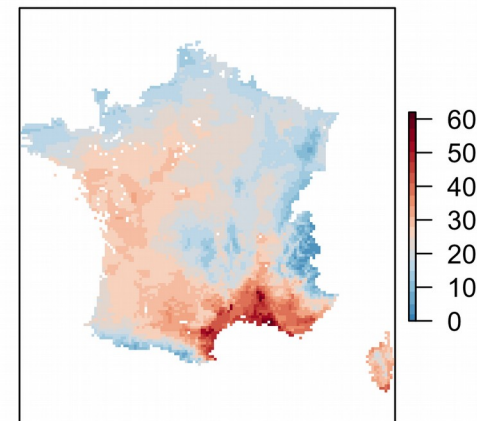
Fargeon et al. 2018, ICFFR
Submitted to Climatic
Change

5 models, rcp4.5 and 8.5
90th percentile of FWI

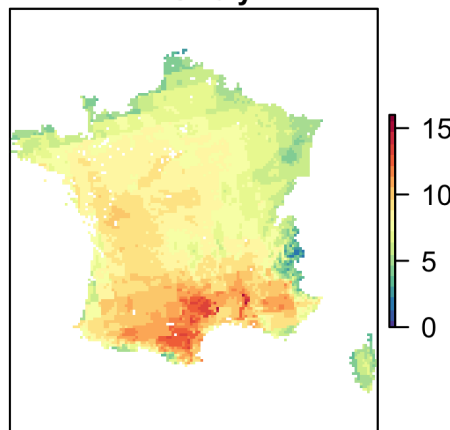
Multimodel mean
1995-2015



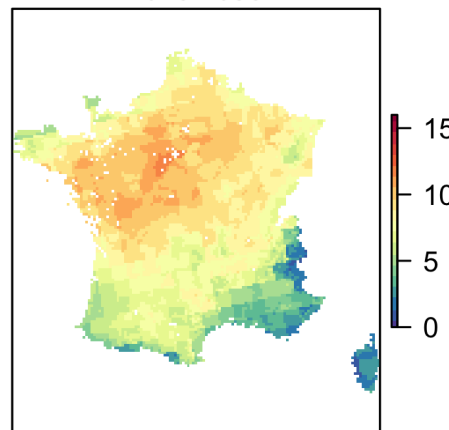
Multimodel mean rcp8.5
2078-2098



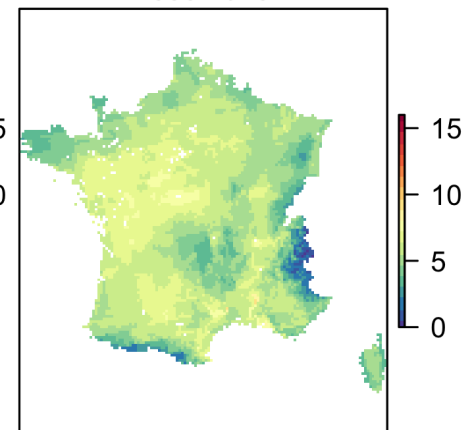
Multimodel mean rcp8.5
Anomaly



Model uncertainty rcp8.5
2078-2098

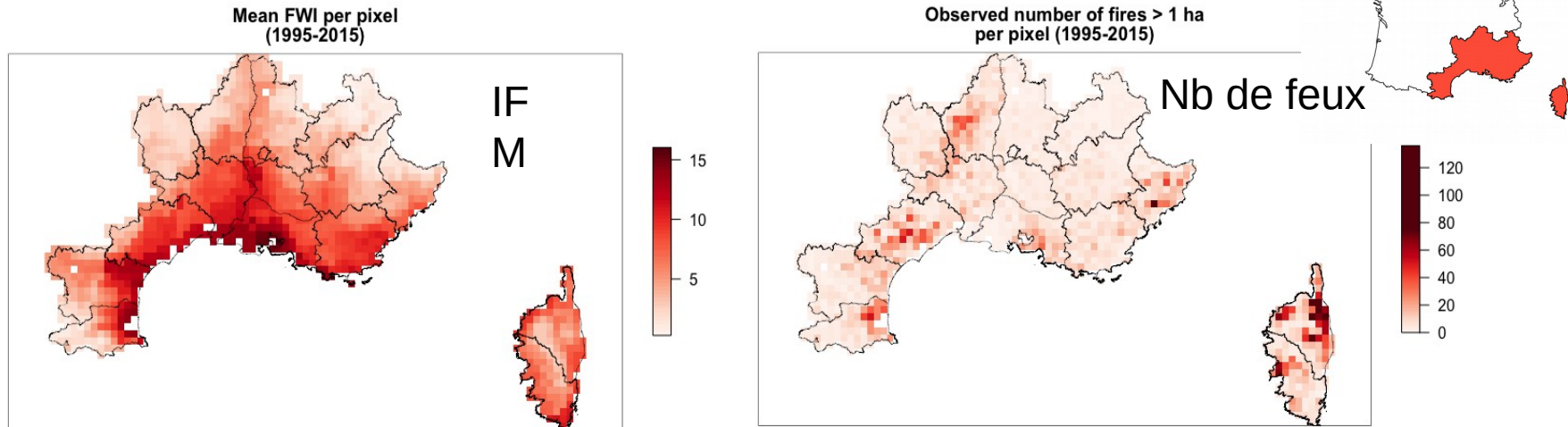


Annual variability
1995-2015



Développement d'un modèle d'occurrence des feux

Le climat (IFM ou FWI) n'explique pas seul l'activité des feux



Thèse d'Hélène Fargeon

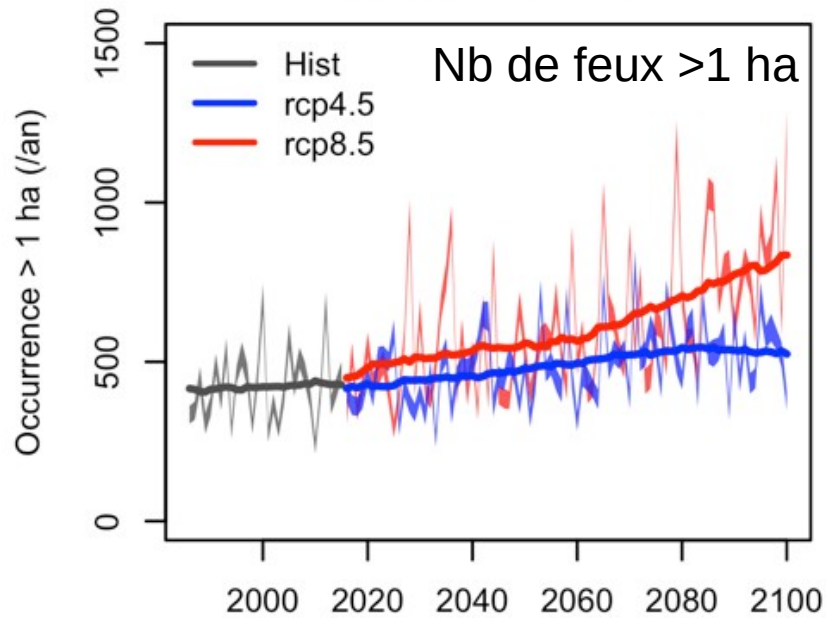
- **Objectif** : séparer l'effet du climat (IFM) des autres effets
- **Données** de la base Prométhée (extrait sur 1995-2015, feux > 1 ha)
- **Variables** explicatives: IFM journalier (SAFRAN), Surface forestière du pixel + effets aléatoires temporel (semaine de l'année) et spatial (pixel)

Ajustement par une **approche bayésienne** (collaboration avec INRA BioSP)

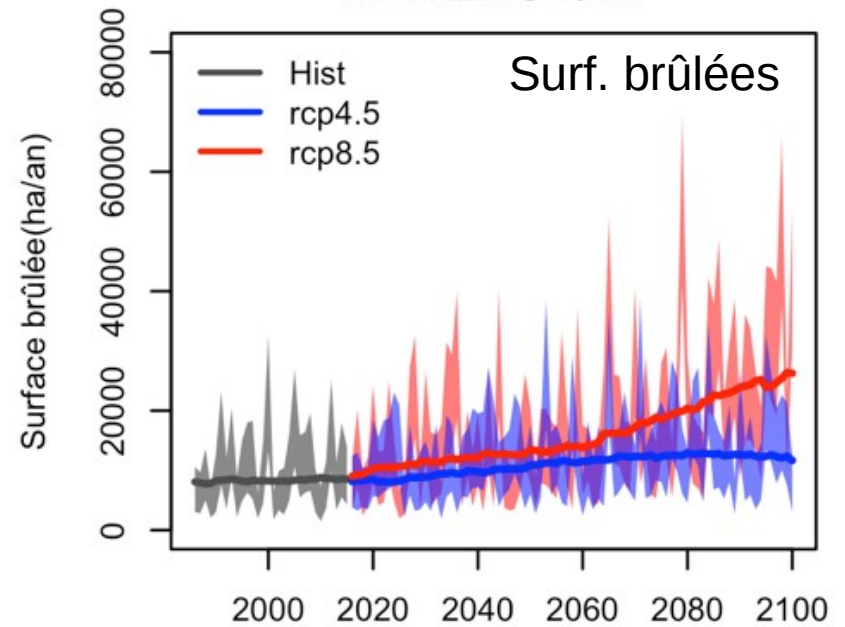
Projections en nombre d'incendies et en surface brûlées



MPI REMO run1

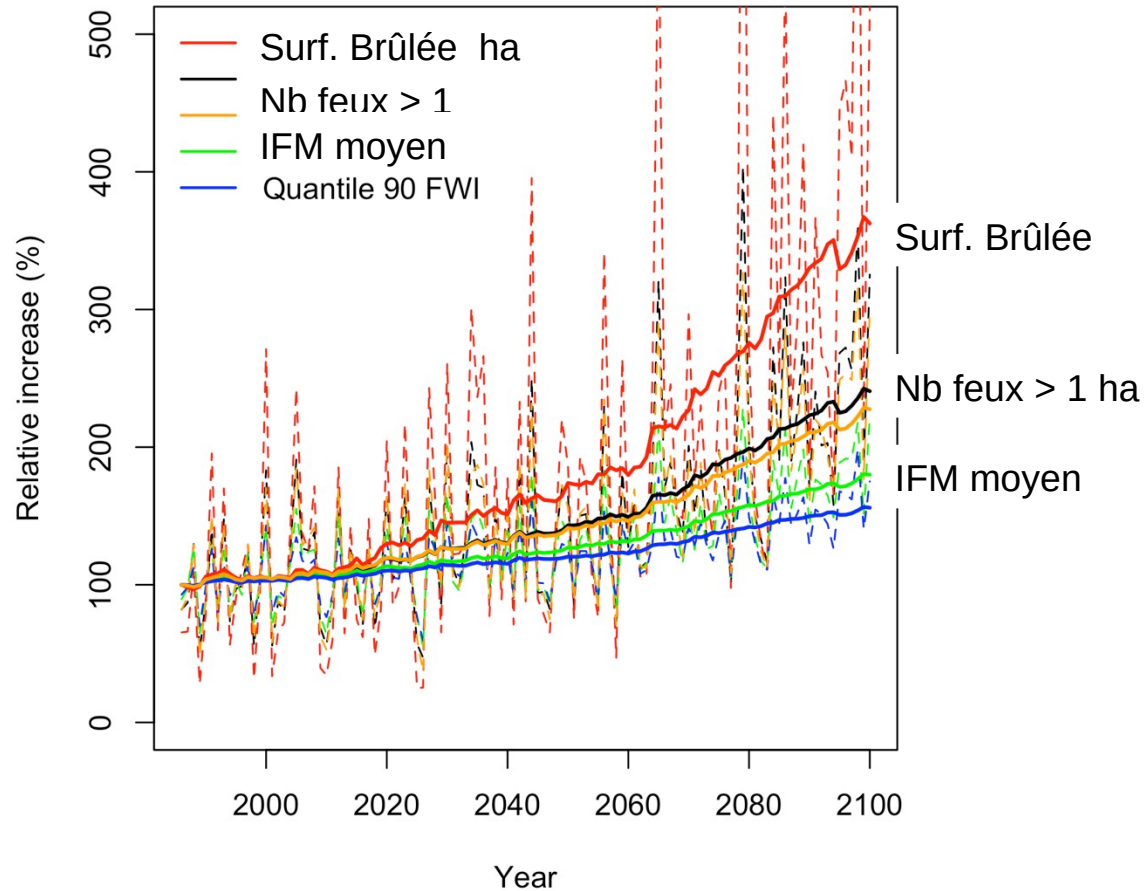


MPI REMO run1



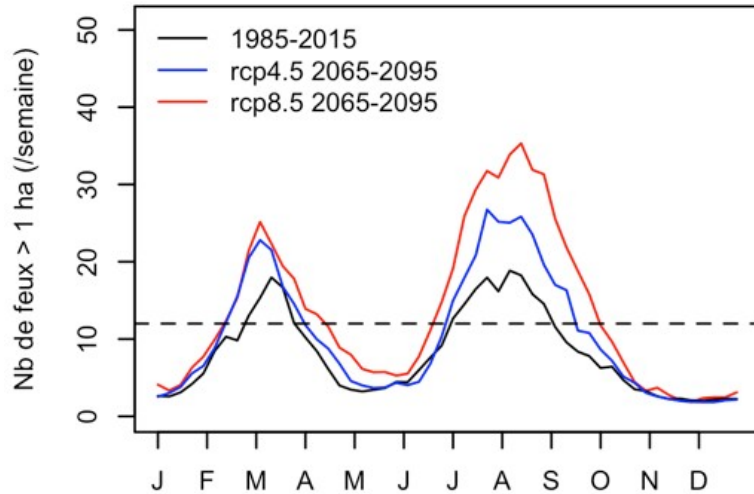
Projections en nombre d'incendies et en surface brûlées

Relative increase of the different metrics

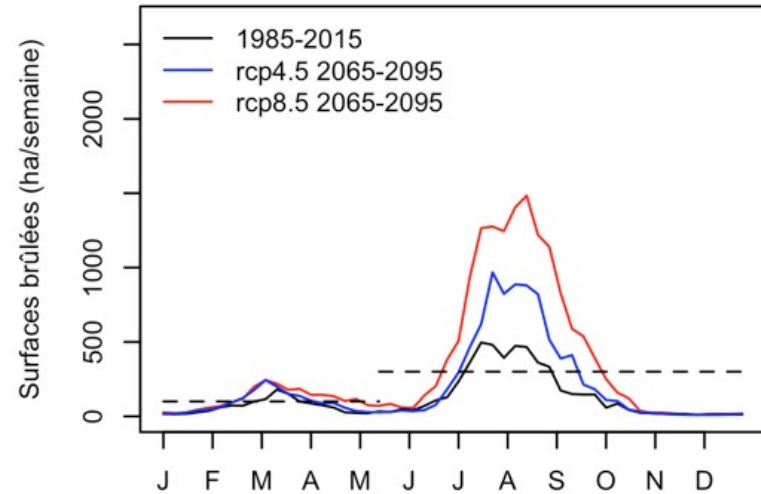


Evolution saisonnière des nombres d'incendies et des surfaces brûlées

MPI REMO run1



MPI REMO run1

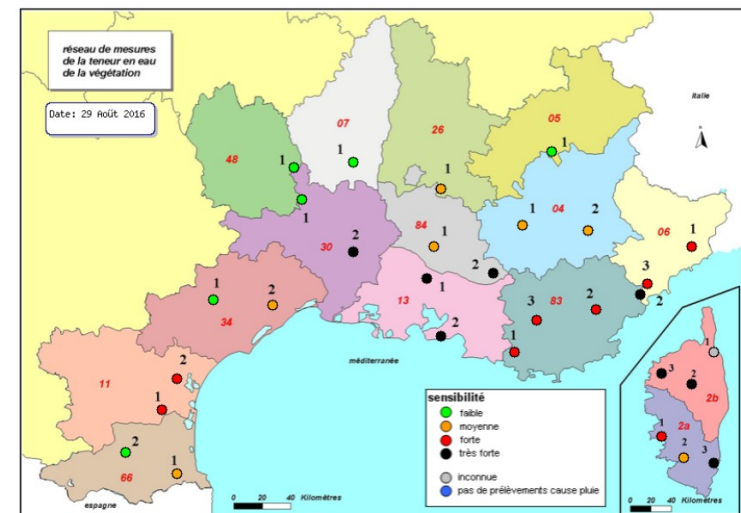


Évaluation du danger : l'effet de la sécheresse est-il bien pris en compte ?

- L'IFM traduit l'impact de la sécheresse sur le combustible *mort*.
- L'Etat Major de Zone s'appuie :
 - sur l'IFM calculé par Météo-France
 - sur le *Réseau Hydrique*, i.e. le niveau de teneur en eau (TE) de la végétation

Le Réseau Hydrique

18 ans de données sur 33 sites, 2 espèces arbustives par sites, entre 10 et 27 relevés par an : environ 20 000 données
(Martin StPaul et al. 2018 AFS)

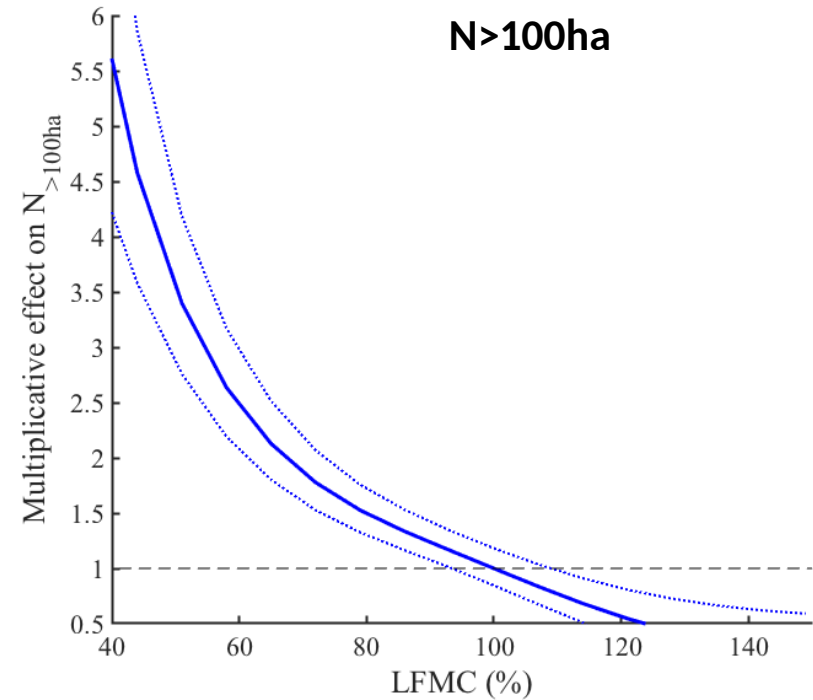
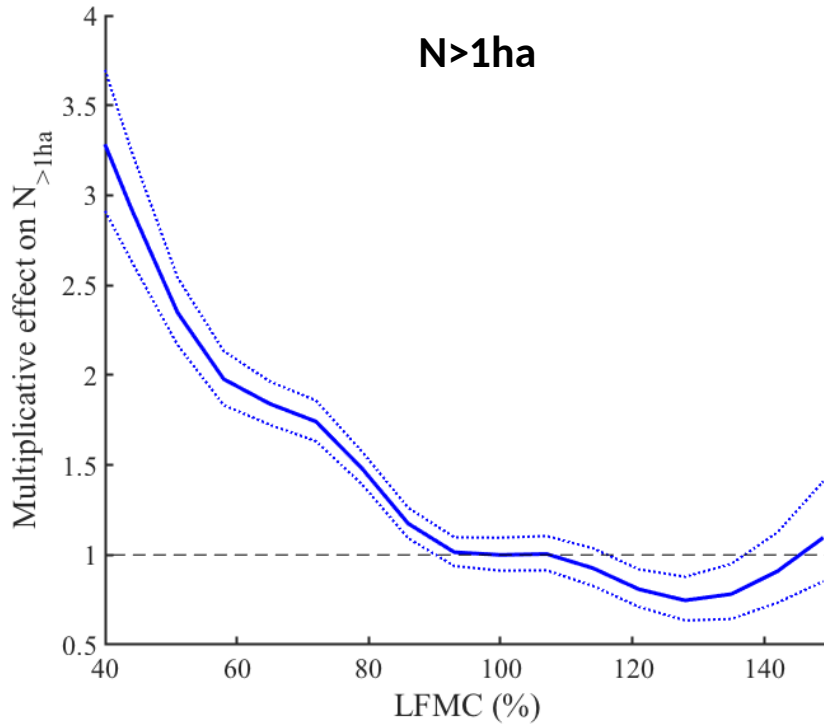


Questions

- Quel est l'effet de la teneur en eau du “vivant” sur le feu ?
- Les indices de sécheresse rendent-ils compte des dynamiques de TE observées ?

La teneur en eau du “vivant” : effet sur le nombre de feux

Modèle ajusté sur les données Prométhée au voisinage des points du Réseau Hydrique



=> Fort effet surtout pour TE < 90%

Prédicibilité de la teneur en eau

Ruffault et al. 2018, AFM

- Données hebdomadaires de teneur en eau des arbustes (*Réseau hydrique*)

Comparées à

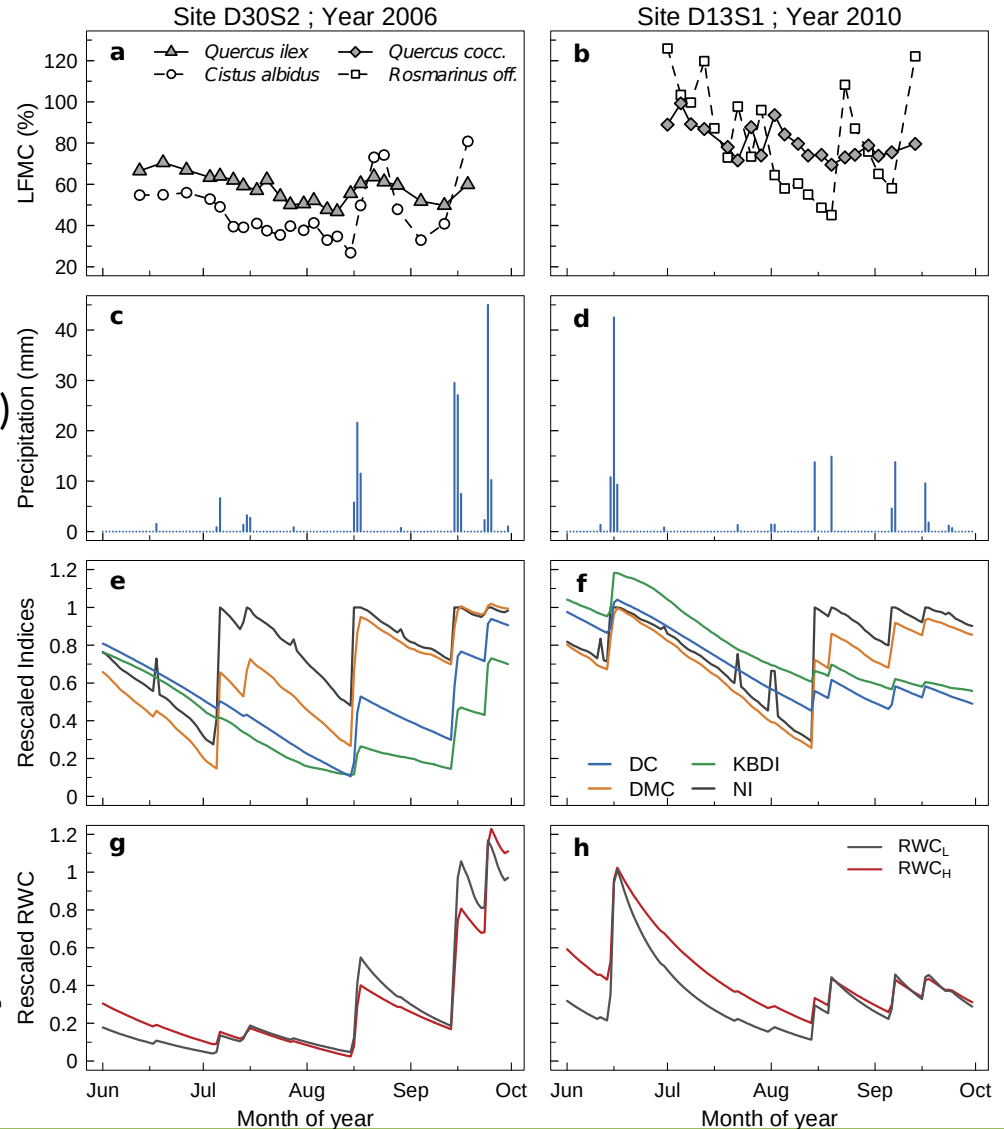
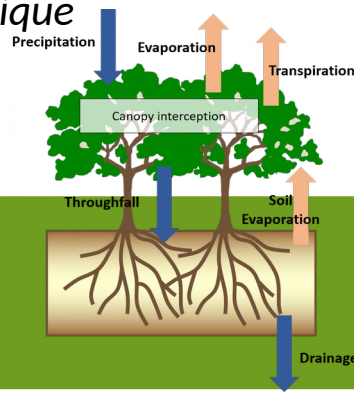
- Données climatiques journalières
Réanalyse SAFRAN 8x8 km (rain, T°, WS, G)



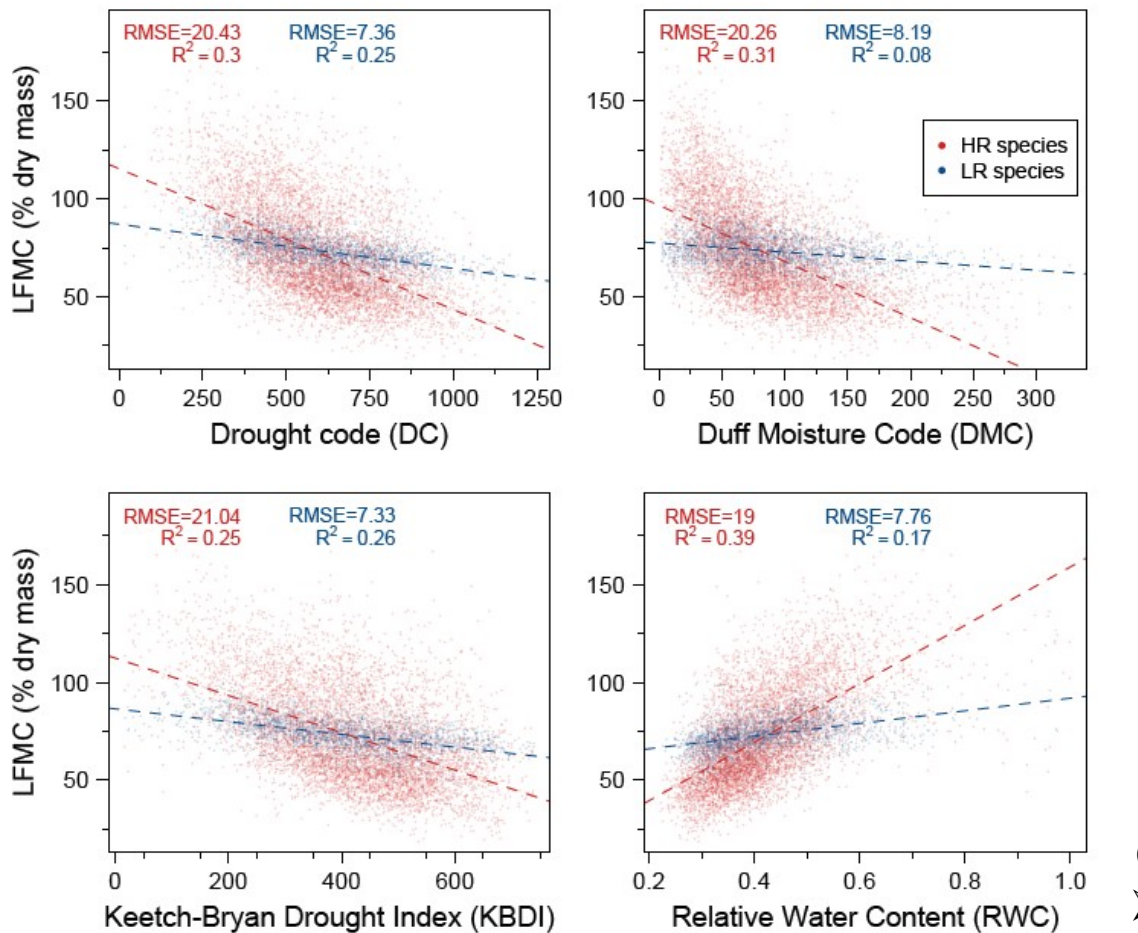
- Indices de sécheresse empiriques
Keetch Byram Drought Index, NI, Drought Code, Duff Moisture Content



- Contenu en eau relatif du sol (RWC)**
Modèle de bilan hydrique



Prédicibilité de la teneur en eau



Corrélations de différents indices avec la teneur en eau des feuilles vivantes (LFMC)

Performance limitée des indices empiriques, variable d'un site/espèce à l'autre

(Plus de détails in **Ruffault et al. 2018**, AFM pour les différences entre sites/espèces)

Hypothèses

Différences entre sites: *RU sol*, *LAI*

Différences entre espèces:

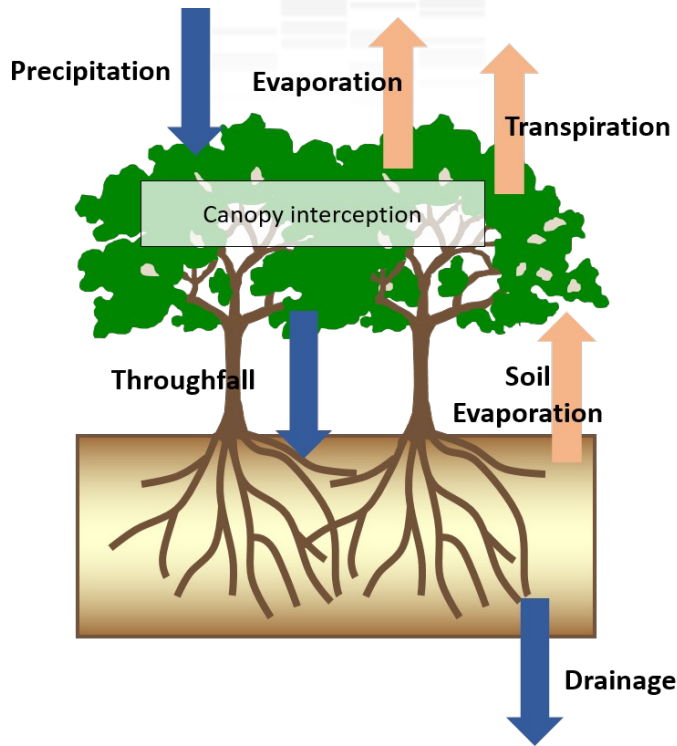
- *Traits hydrauliques des plantes*
- *Profondeur d'enracinement*

Contenu en eau relatif du sol RWC

- Aussi bon que les indices empiriques
- Paramétrable (*sol*, *LAI*)

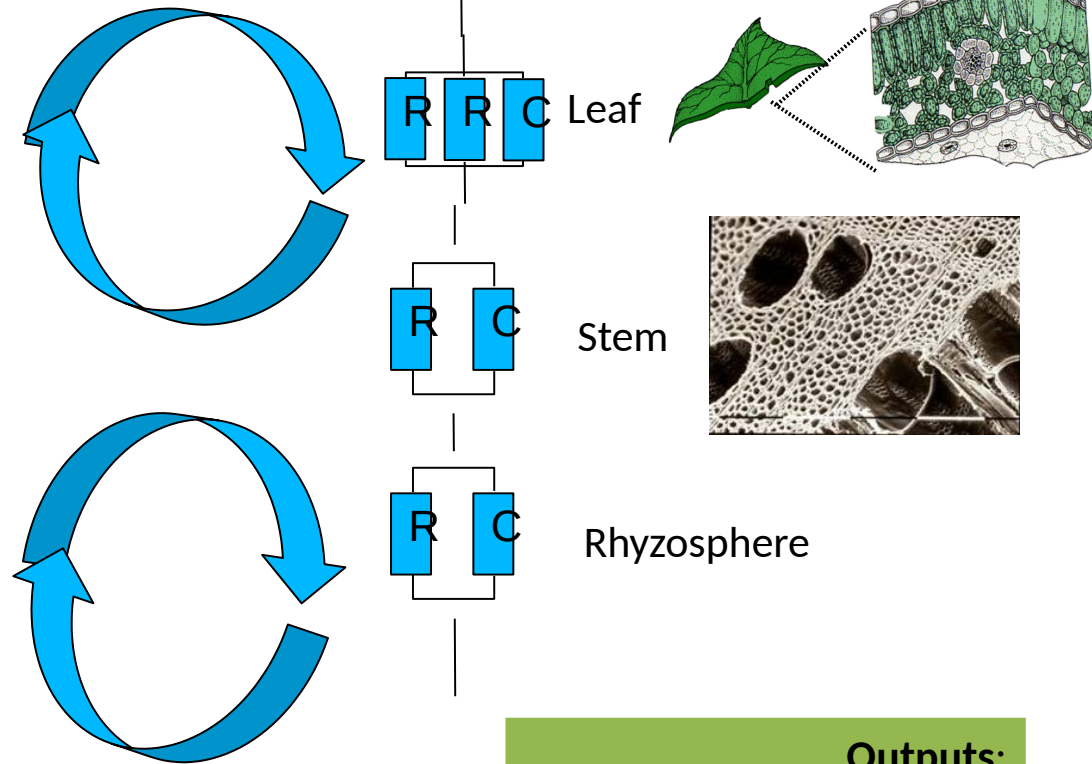
Prédiction de la teneur en eau : vers une approche biophysique

Water balance model
(Ruffault et al 2013 Clim. Chan)



Outputs:
 Transpiration, Evaporation
 Soil water content
 Soil water potential ψ_{soil}

Plant hydraulic model: SUREAU
(Martin-StPaul et al 2017 Ecol. Let.)



Outputs:
 Plant water potential ψ_{plant}
 Plant hydraulic resistance
Teneur en eau de la plante

Conclusion : vers une approche intégrée du feu

❖ Prédire et s'adapter aux nouveaux régimes de perturbation

- FP6 – Fire Paradox
 - Apprendre à vivre avec le feu & wise use of fire
- H2020 - Integrated fire management
 - Extreme Wildfire Events
 - Nouveaux régimes de feux



❖ Vers une gestion intégrée du feu

- Meilleure intégration des phases de gestion de la crise

❖ Vers une vision multi-risques

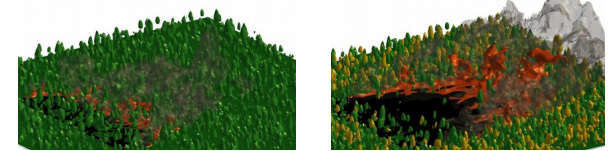
- Évaluation des cascades de risque
- URFM : approche pluri-disciplinaire **sciences du feu, écophysiologie**, entomologie
- **INRAE** : évaluation et gestion des risques multiples
- H2020 - Multi-hazard risk management for risk-informed decision making in the EU



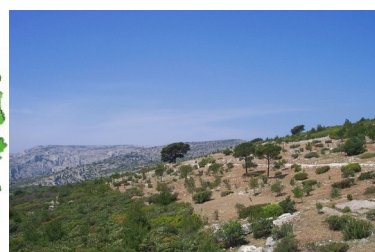
❖ Vers une approche intersectorielle

- Politique d'urbanisme
- Aménagement rural, énergie

ex. interactions insectes / feux



Sieg et al. 2017, Fire Ecol.



Merci de votre attention !

