



**HAL**  
open science

## Adaptation des forêts au changement climatique : menaces et opportunités

Eric Rigolot

► **To cite this version:**

Eric Rigolot. Adaptation des forêts au changement climatique : menaces et opportunités. 2. journée scientifique du projet environnemental CLIMIBIO, Université de Lille. FRA., May 2019, Lille, France. hal-02154570

**HAL Id: hal-02154570**

**<https://hal.science/hal-02154570>**

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.



# Adaptation des forêts au changement climatique : menaces et opportunités

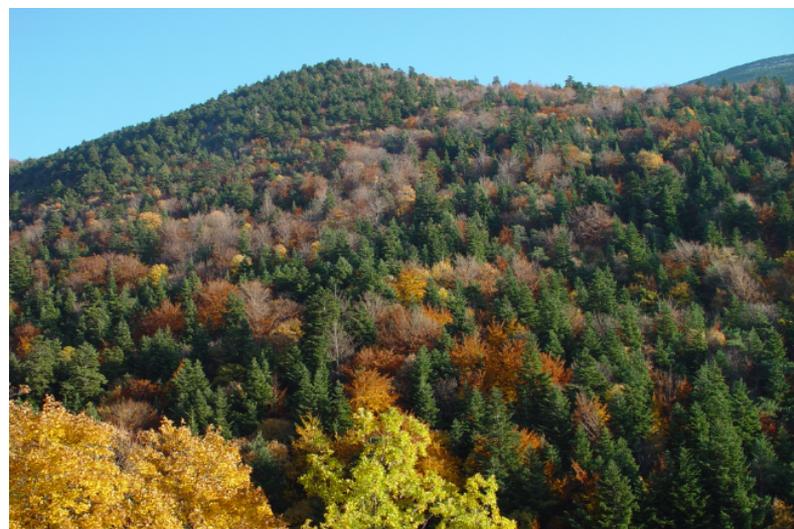
Eric RIGOLOT, INRA-URFM, Avignon



22 mai 2019, Lille

# Plan de l'exposé

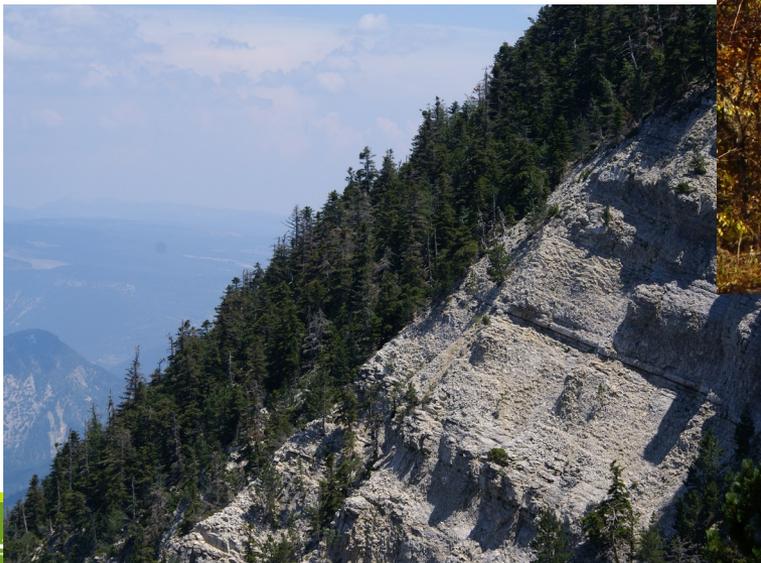
## Adaptation des forêts au changement climatique



- ❖ **La forêt française : une forêt riche d'opportunités**
- ❖ **... Mais une forêt menacée**
  - Les limites de l'adaptation aux stress climatiques
  - ex. du risque incendie de forêt
- ❖ **Adaptation des forêts au changement climatique**
  - Le changement : de multiples incertitudes
  - Adaptation de la gestion forestière
  - Gestion des risques

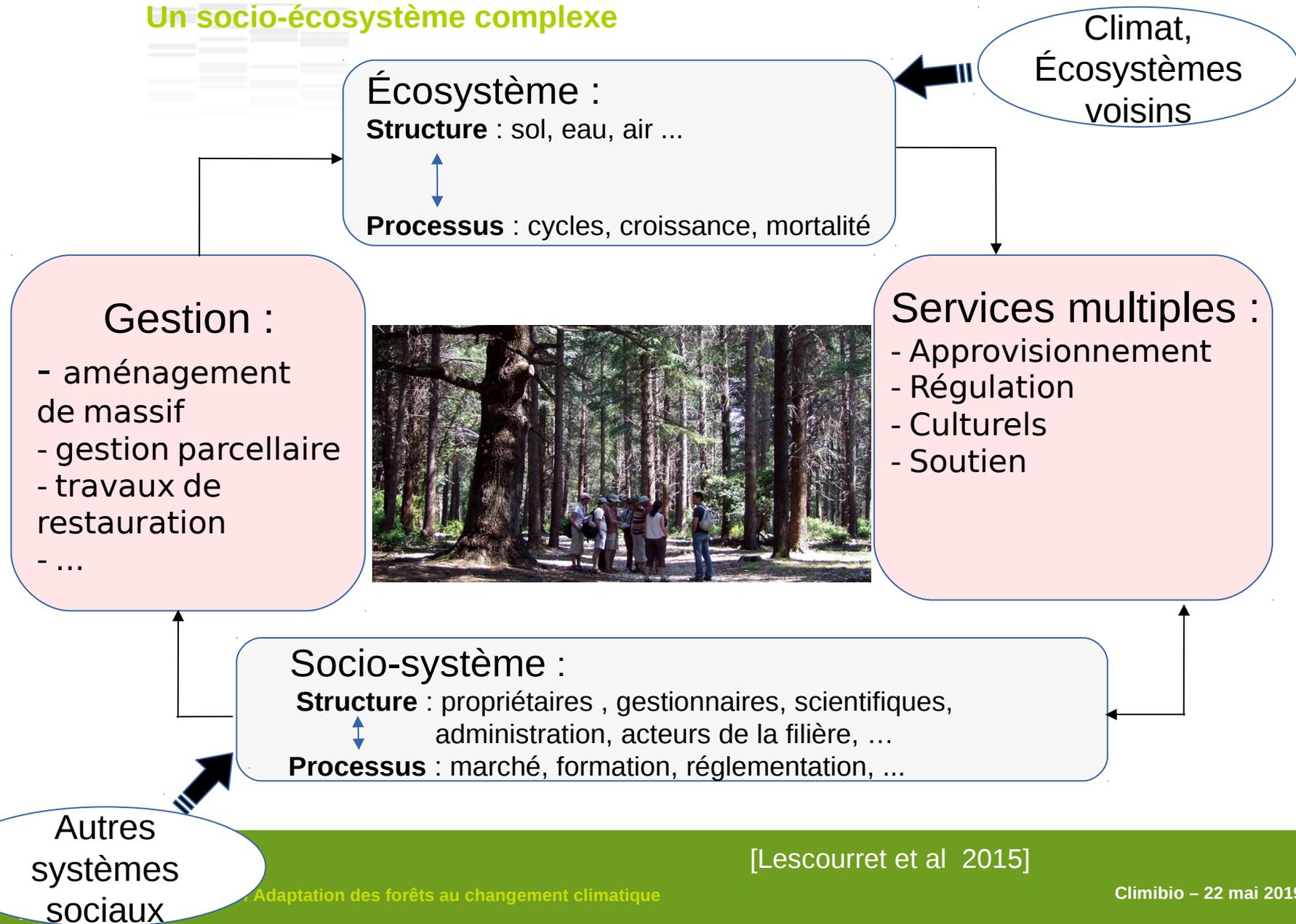
# Contexte et enjeux

## Une forêt multifonctionnelle



# Contexte et enjeux

## Un socio-écosystème complexe



[Lescourret et al 2015]

# Contexte et enjeux

## La forêt : une chance pour l'atténuation du changement climatique



### ❖ Une ressource surabondante

- 16,9 M ha (31 % métropole)
  - continue de progresser (0,7 %/an)
- plutôt jeune
  - continue de s'accumuler
  - production 5,7 m<sup>3</sup>/ha/an
  - prélèvement 3,0 m<sup>3</sup>/ha/an
- à dominante de feuillus
- sur un foncier atomisé

### ❖ Étude INRA-IGN 2017

- Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois françaises dans l'atténuation du changement climatique ?



QUEL RÔLE POUR LES FORÊTS ET LA FILIÈRE FORÊT-BOIS FRANÇAISES  
DANS L'ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

UNE ÉTUDE DES FREINS ET LEVIERS FORESTIERS À L'HORIZON 2050

RAPPORT DE L'ÉTUDE RÉALISÉE PAR L'INRA ET L'IGN - NOVEMBRE 2017

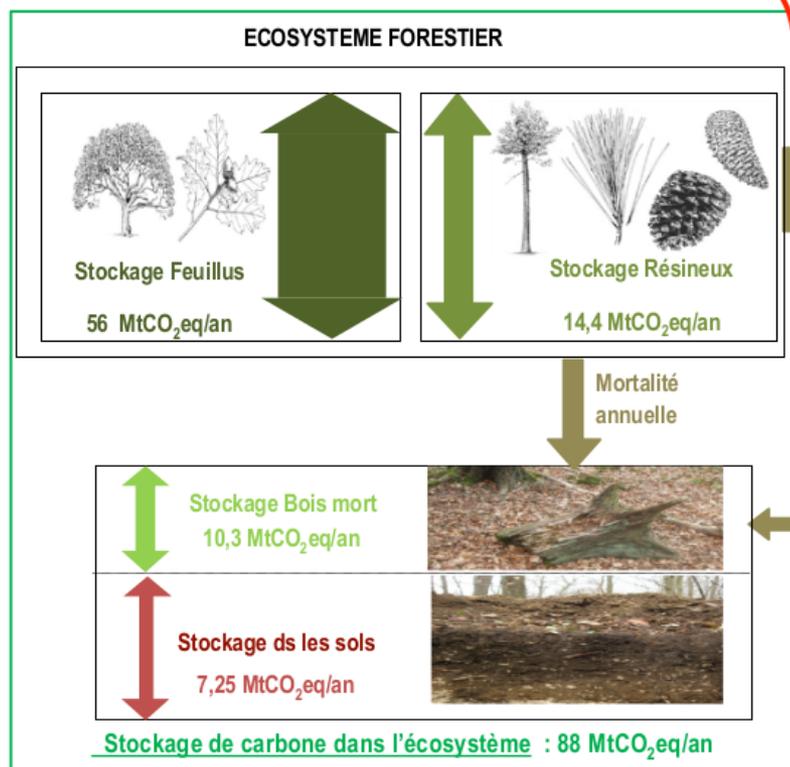


[Roux et al 2017]

# Comment orienter la contribution à l'atténuation du CC par les forêts & le développement de la filière forêt-bois ?

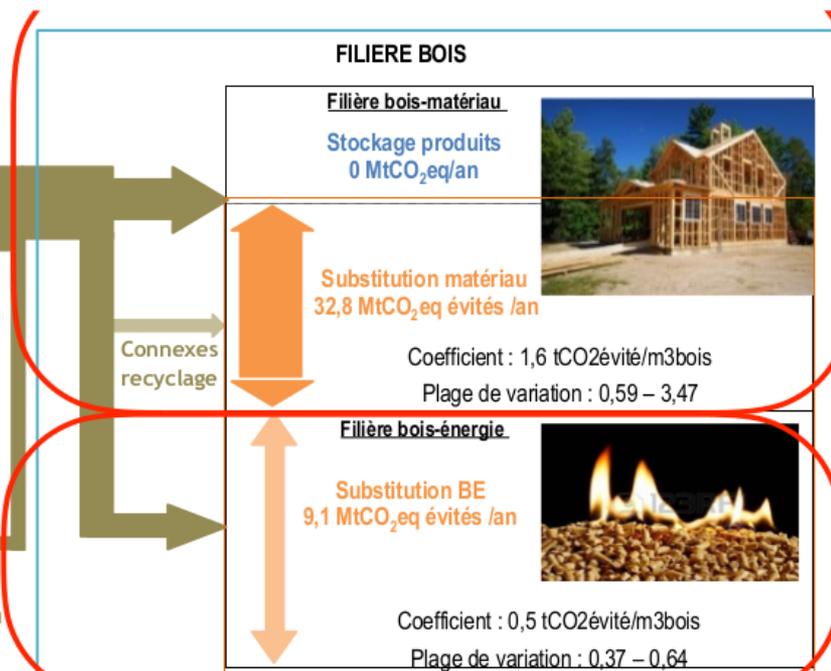
## Quatre leviers :

### Stocker du carbone dans la forêt



### Stocker du carbone dans les produits-bois

### Substitution-matériau : construire bois pour éviter d'émettre du CO<sub>2</sub>



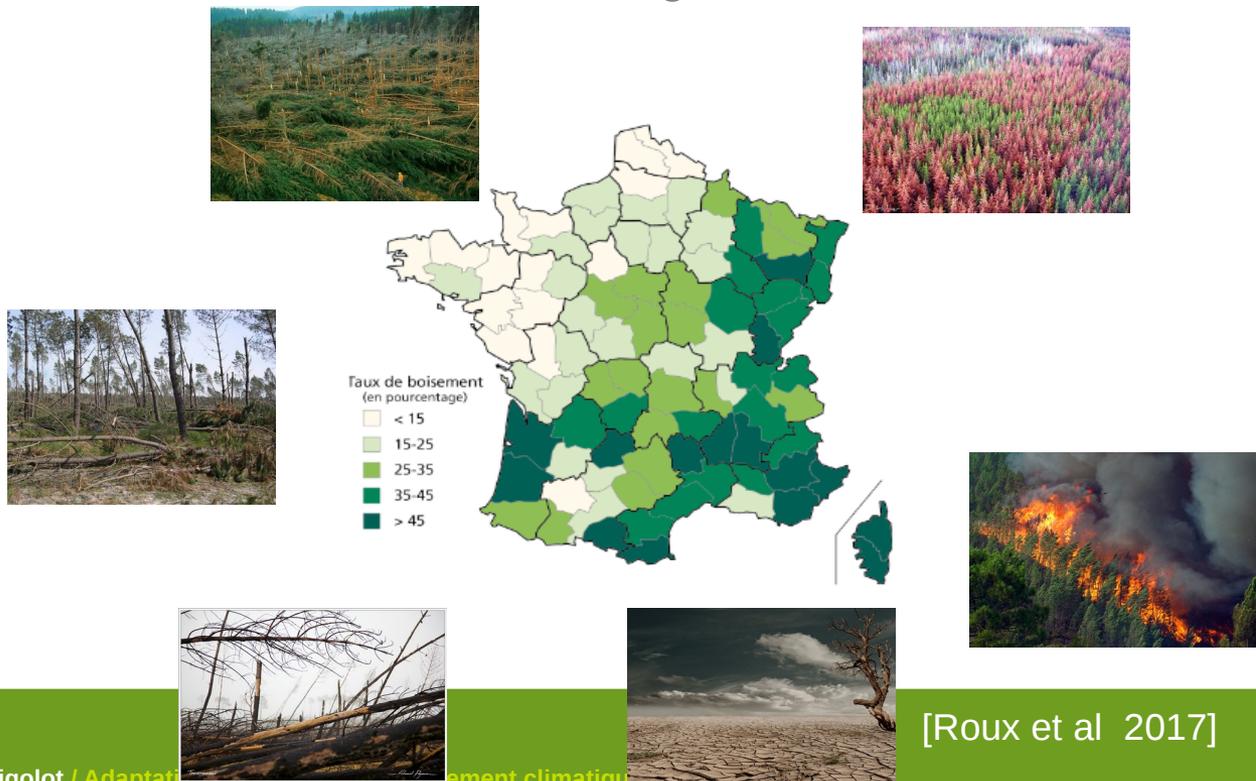
### Substitution-énergie : chauffer au bois plutôt qu'aux comb. fossiles

Valeurs estimées pour l'année 2013  
NB : stock-produits supposé à l'équilibre en 2013

Emissions de CO<sub>2</sub> évitées 42 MtCO<sub>2</sub>eq/an

# Un fort levier pour l'atténuation ... mais une ressource vulnérable

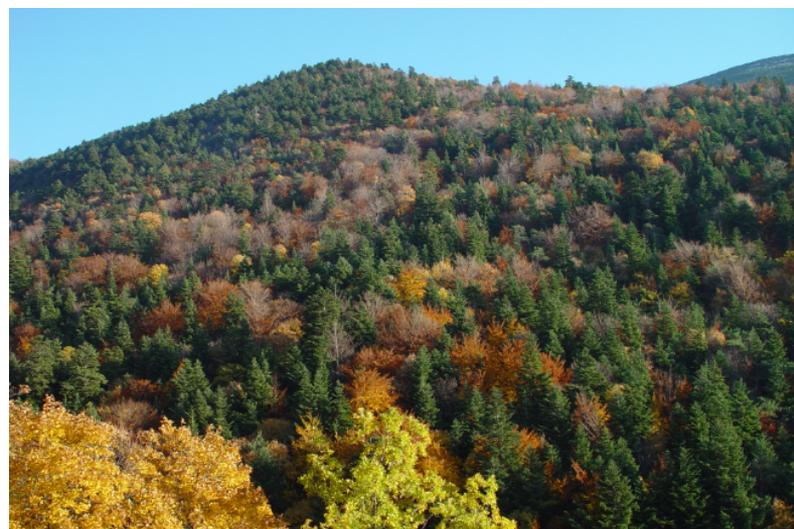
- ❖ Filière forêt-bois : **acteur majeur de notre politique climatique** (130 MtCO<sub>2</sub> eq/an)
- ❖ Ce **bilan CO<sub>2</sub>**, actuellement fortement positif, pourrait évoluer :
  - **dégradation rapide du climat** : sécheresses chroniques...
  - **crises sanitaires systémiques**, d'origine climatique ou non
  - contribution attendue des forêts à l'émergence de la bioéconomie



[Roux et al 2017]

# Plan de l'exposé

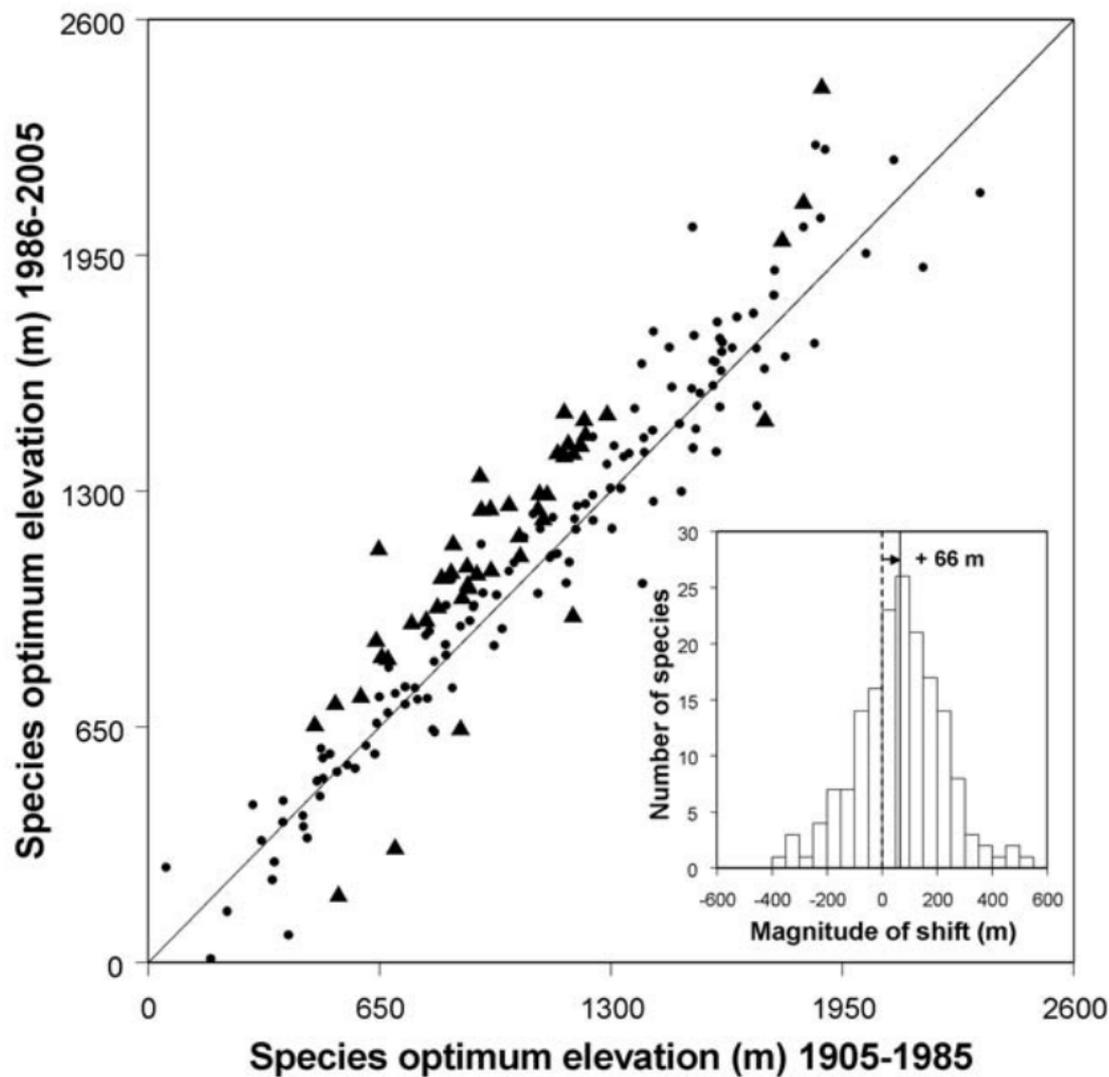
## Adaptation des forêts au changement climatique



- ❖ **La forêt française : une forêt riche d'opportunités**
- ❖ **... Mais une forêt menacée**
  - **Les limites de l'adaptation aux stress climatiques**
  - **ex. du risque incendie de forêt**
- ❖ **Adaptation des forêts au changement climatique**
  - **Le changement : de multiples incertitudes**
  - **Adaptation de la gestion forestière**
  - **Gestion des risques**

# La forêt évolue déjà sous l'effet du CC

Montée en altitude = adaptation par migration



Montée en altitude de 66 m du cœur de la distribution altitudinale des espèces entre les deux périodes

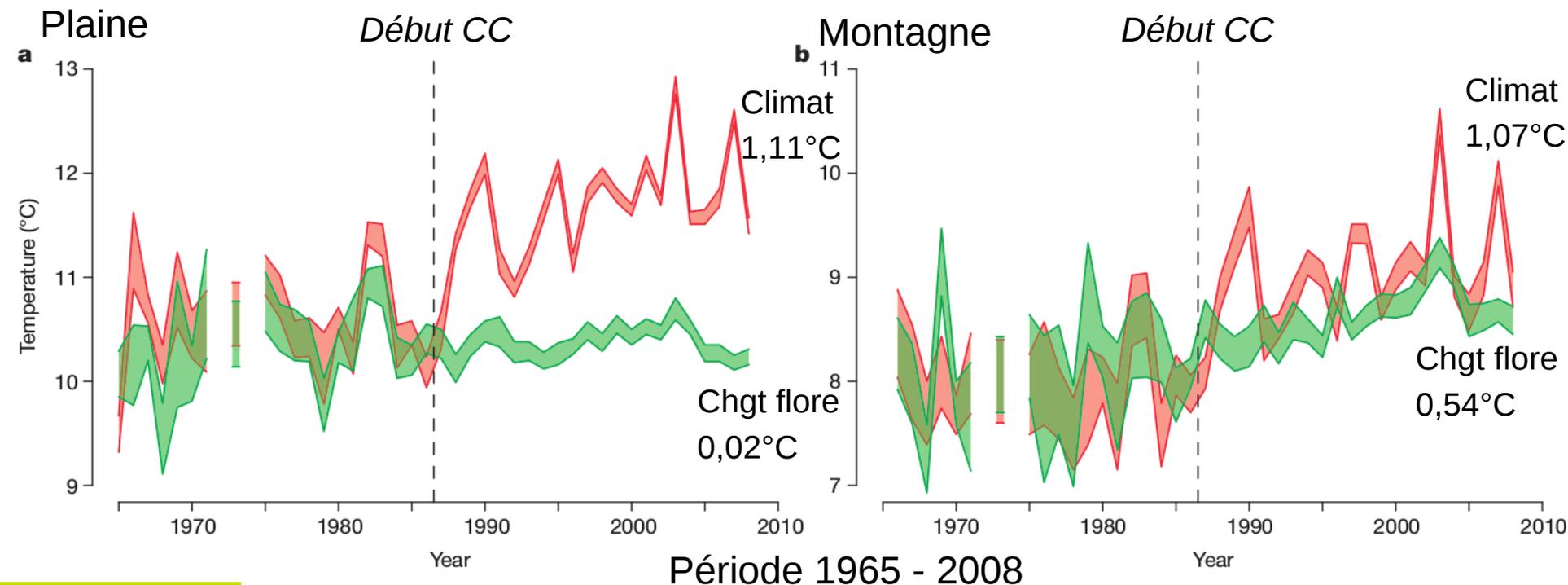
[Lenoir et al. 2008 - Science]

# Mais la réponse est complexe

selon les situations et les contraintes aux migrations

En revanche, des changements floristiques imputables au climat ne sont pas détectés en plaine contrairement à ce qui avait été observé en montagne.

[Bertrand et al. 2011 - Nature]



# Et peut conduire à des régressions d'espèces

Avec d'importantes conséquences sur la gestion forestière et la biodiversité

current (1960–1990) and projected (2061–2080)

Current

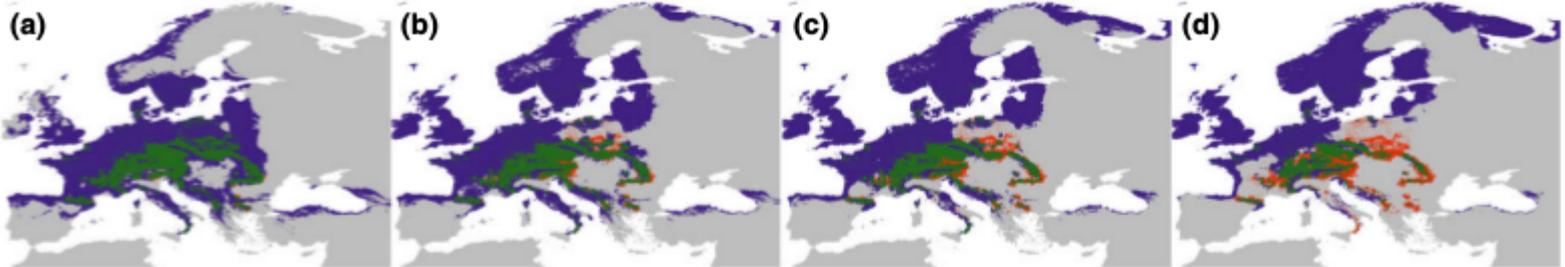
RCP2.6

RCP4.5

RCP8.5

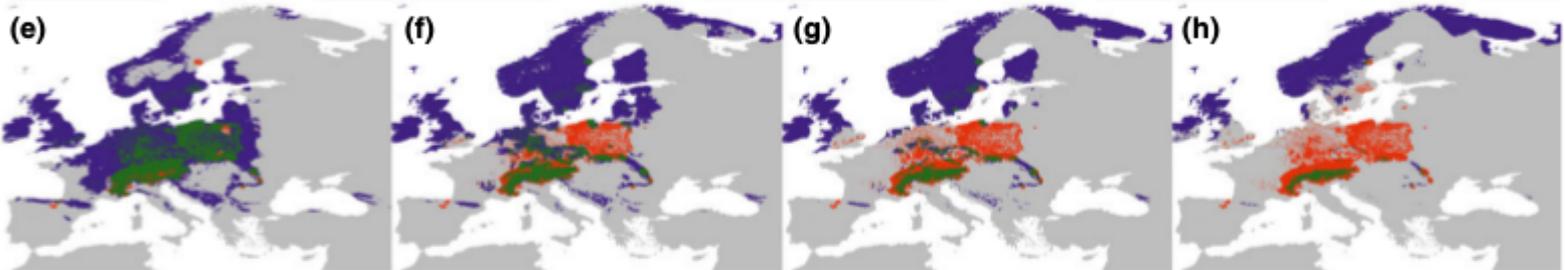
Sapin

*A. alba*



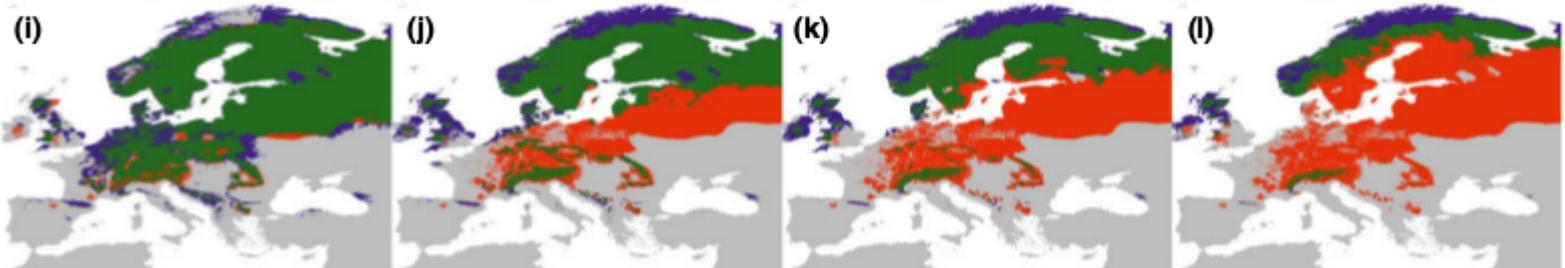
Mélèze

*L. decidua*



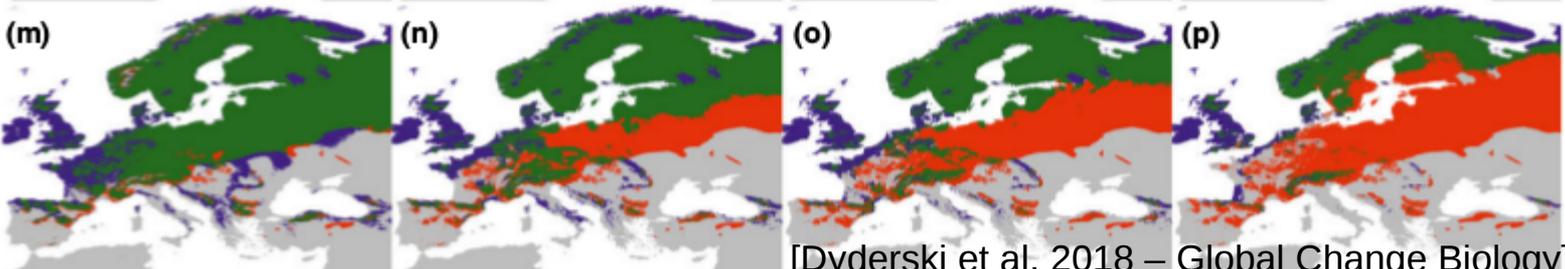
Épicéa

*P. abies*



Pin  
sylvestre

*P. sylvestris*



[Dyderski et al. 2018 – Global Change Biology]

# Les nombreux risques en forêt

- ❖ Risques climatiques directs
  - Sécheresse
  - Autres accidents climatiques (gel, canicule)
- ❖ Risques climatiques indirects
  - Incendies
  - Risque biotique : ex. Insectes ravageurs phytophages
- ❖ Risques indépendant du CC
  - Tempêtes
  - Risque biotique : grand gibier



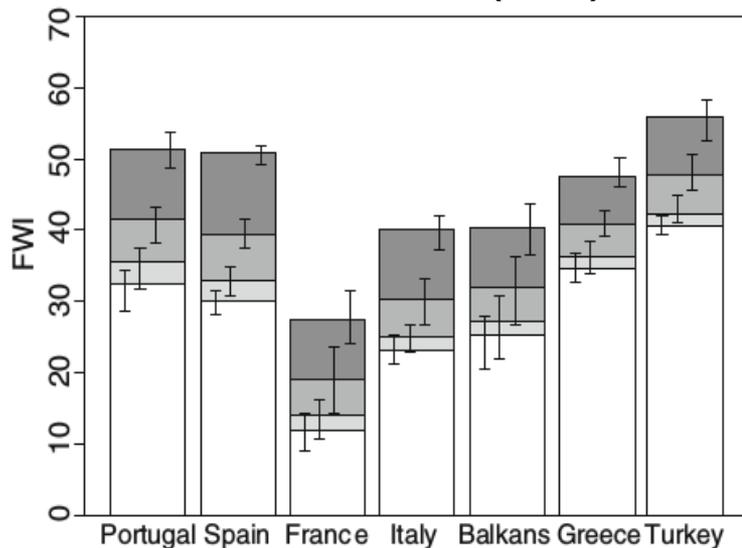
# Exemple du risque incendie

## Evolution du danger d'incendie

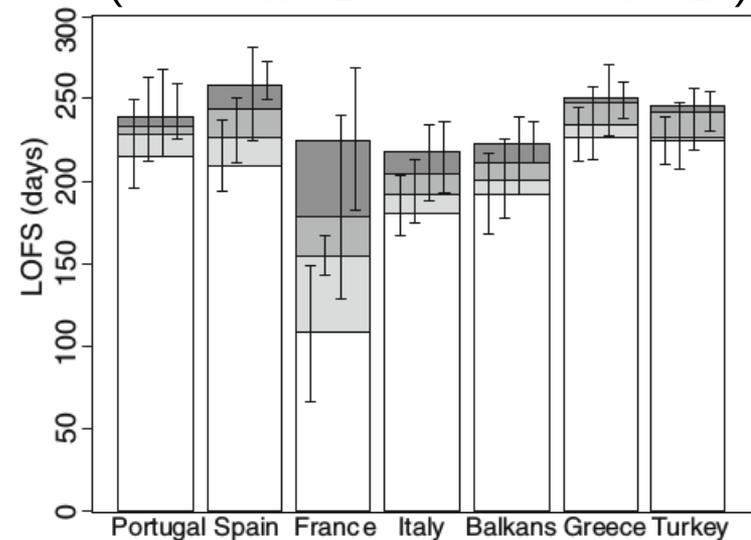
- ❖ FWI = danger d'incendie (base météorologique)
- ❖ Le danger d'incendie a augmenté sur la période récente [Fréjaville and Curt, 2015]
- ❖ ... et devrait s'accroître encore dans les prochaines décennies [Bédia et al 2014]



### Risk Index (FWI)



### Length of fire season (start: FWI>15 and end: FWI <15)



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

Scénario A1B

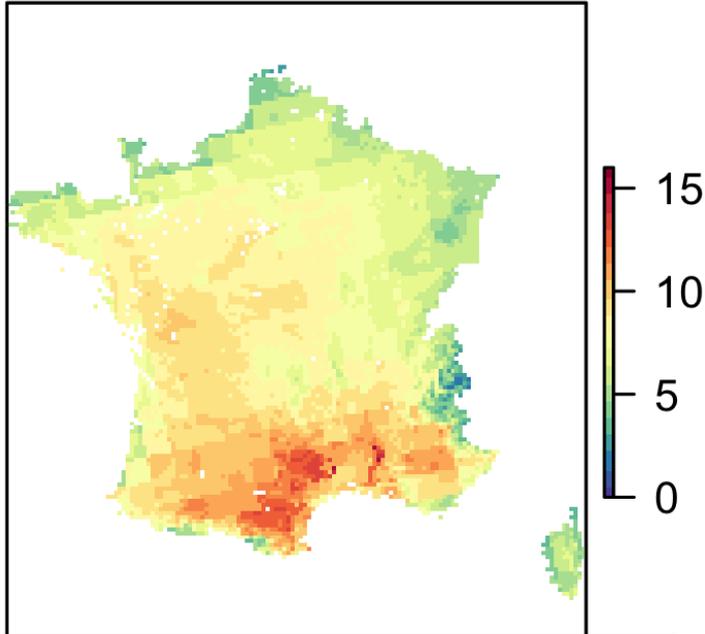
[Bedia et al., 2014]

# Exemple du risque incendie

## Exemple du risque incendie



Multimodel mean rcp8.5  
Anomaly



- ❖ Une augmentation du danger dans le Sud et dans l'Ouest à l'horizon 2078-2098

Anomalie du FWI90 à l'horizon de la fin du siècle (2078-2098) par rapport à la période actuelle (1995-2015)

## Portugal : 15 octobre 2017

- ❖ en 24 heures
  - 220 000 ha brûlés
  - 900 habitations principales touchées
  - 45 victimes et des centaines de blessés



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



Crédit image : Roscomos

## La menace des méga-feux

[Cruz et al. 2012 ; Tedim et al 2013]

## Californie, Camp Fire, novembre 2018

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

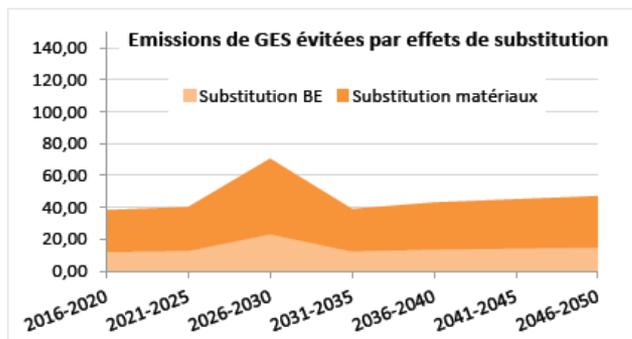
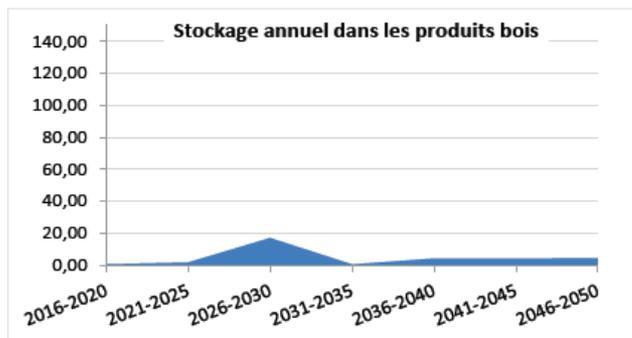
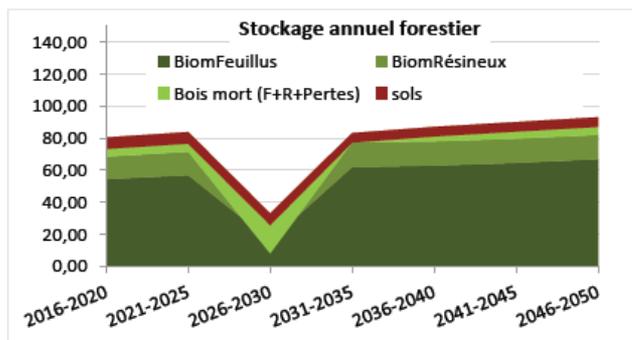


## 2018, Village de Mati en Grèce

- ❖ Une centaine de victimes lors du même incendie



# Climat actuel

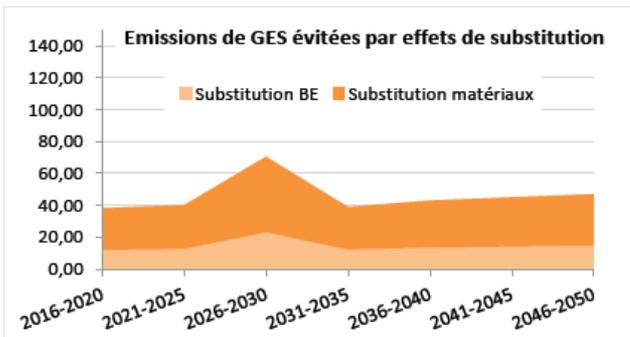
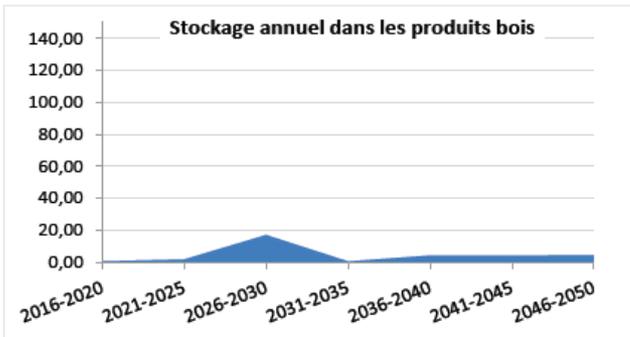
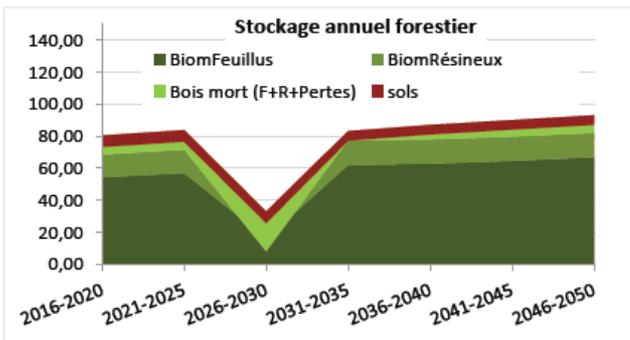


## Déroulé d'une crise

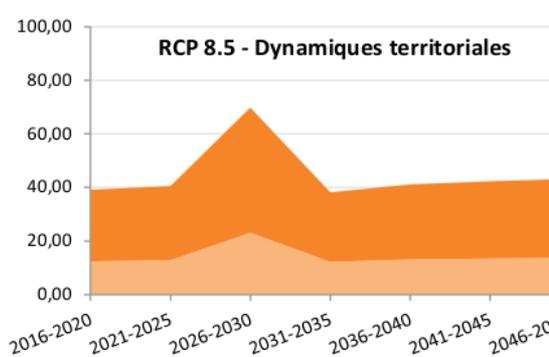
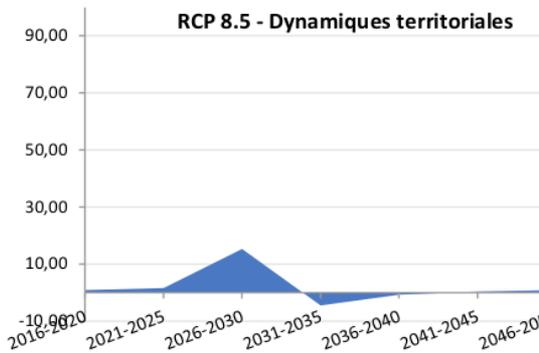
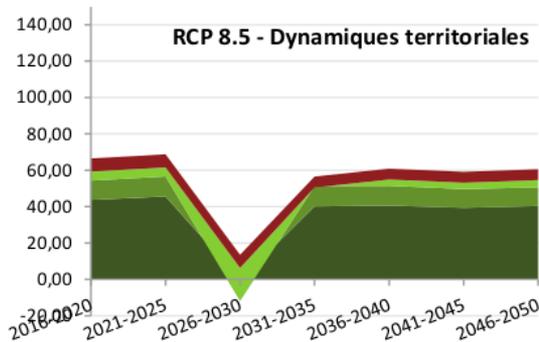
Cascade Tempête-insectes-incendies  
survenant en 2026-30

- 324 Mm<sup>3</sup> de dégâts
- Chute de 60 % du stockage annuel en forêt
- 70 % de la surmortalité récupérée en produits
- **Écosystème : dynamique antérieure rétablie dès 2036**
- **Flush de stockage produits & émissions évitées**
- **Déficit de stockage compensé à 100%**

# Climat actuel



# Climat sévère



# Effets du Climat

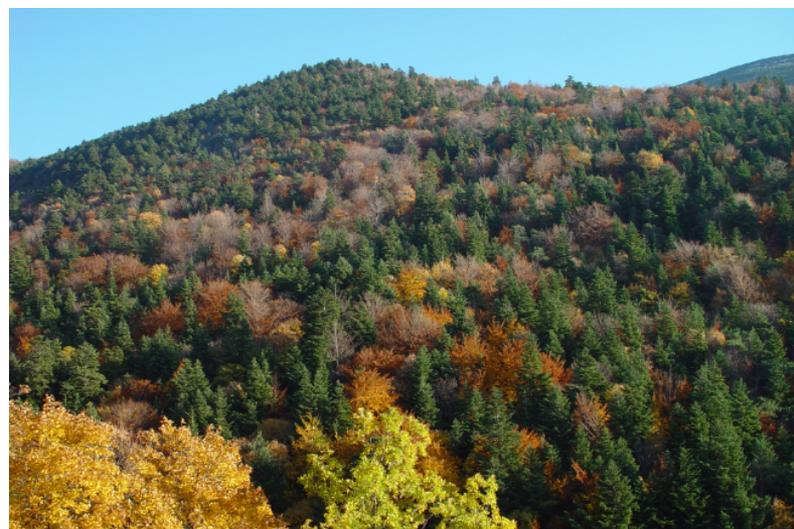
## Cascade Tempête-scolytes-incendies survenant en 2026-30



[Roux et al 2017]

# Plan de l'exposé

## Adaptation des forêts au changement climatique



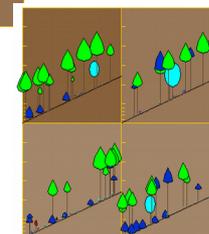
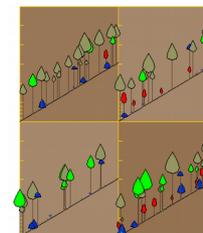
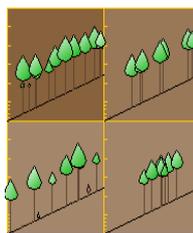
- ❖ **La forêt française : une forêt riche d'opportunités**
- ❖ **... Mais une forêt menacée**
  - Les limites de l'adaptation aux stress climatiques
  - ex. du risque incendie de forêt
- ❖ **Adaptation des forêts au changement climatique**
  - **Le changement : de multiples incertitudes**
  - Adaptation de la gestion forestière
  - Gestion des risques

# Les décisions d'aujourd'hui impactent le court terme et le long terme

## 1) contrôler l'état des forêts

(*parcelle & paysage*) :

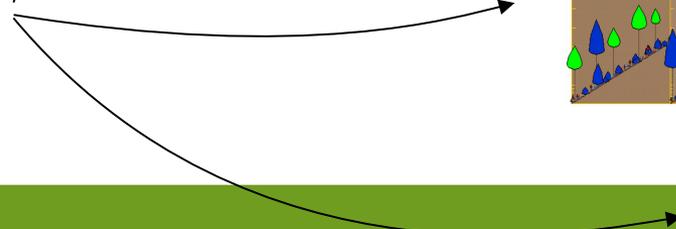
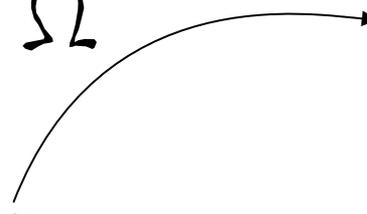
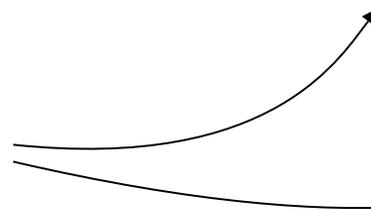
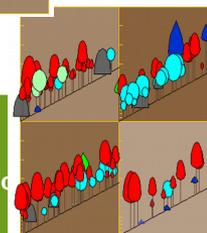
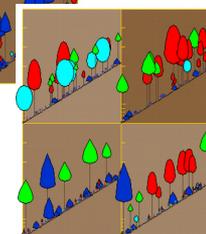
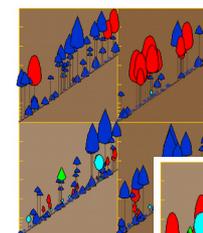
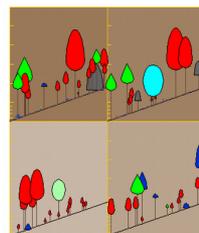
- composition génétique
- distribution spatiale



## 2) processus à l'œuvre

(*parcelle & paysage*) :

- croissance,
  - démographie
  - sélection, flux de gènes
- etc.





# Le changement : de multiples incertitudes

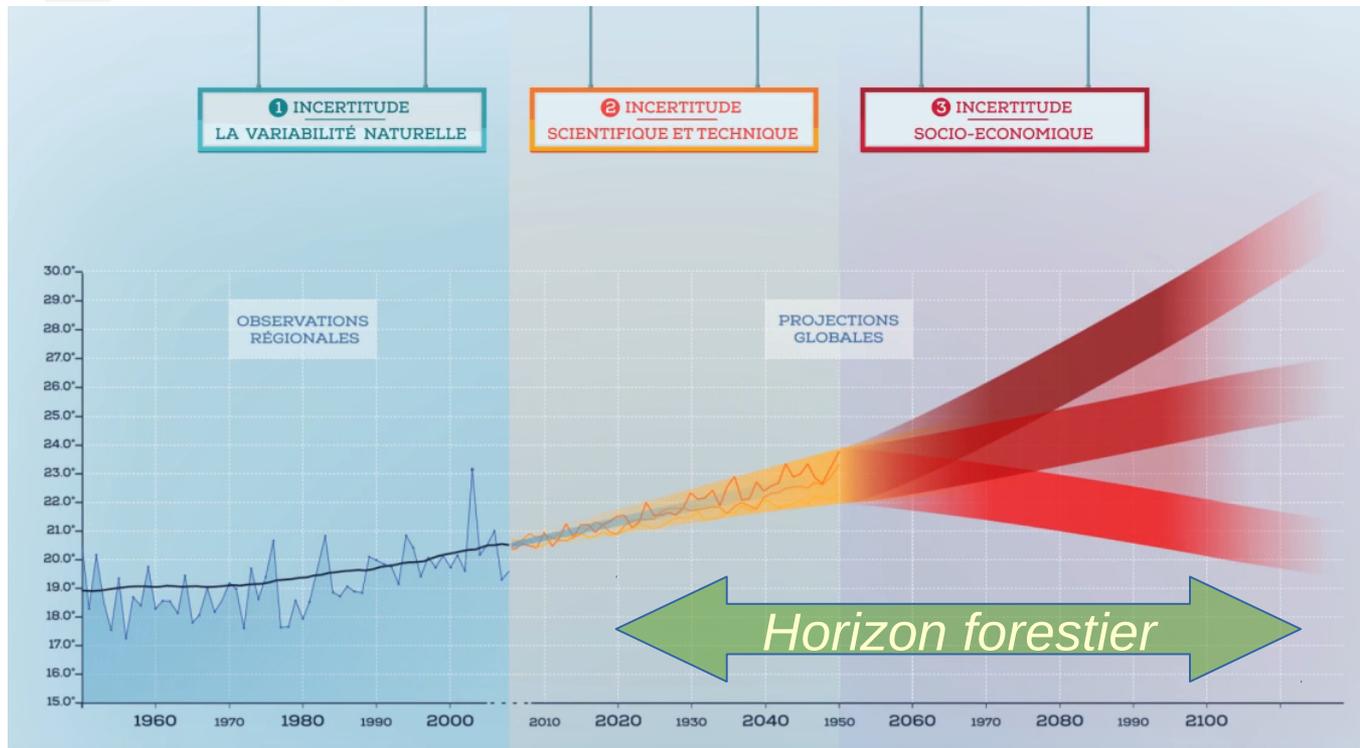


- ❖ Sur le climat
- ❖ Sur la capacité biologique de réponse des organismes
- ❖ Sur les interactions biologiques dans les écosystèmes complexes
- ❖ Sur l'impact des mesures adaptatives

**Le changement climatique :  
pas seulement un changement d'état,  
mais un *état de changement***

# Le changement : de multiples incertitudes

## Les incertitudes climatiques



### ❖ Variabilité naturelle du climat

- S'observe dans la comparaison entre années
- Effet à l'échelle de la décennie

### ❖ Limite des connaissances

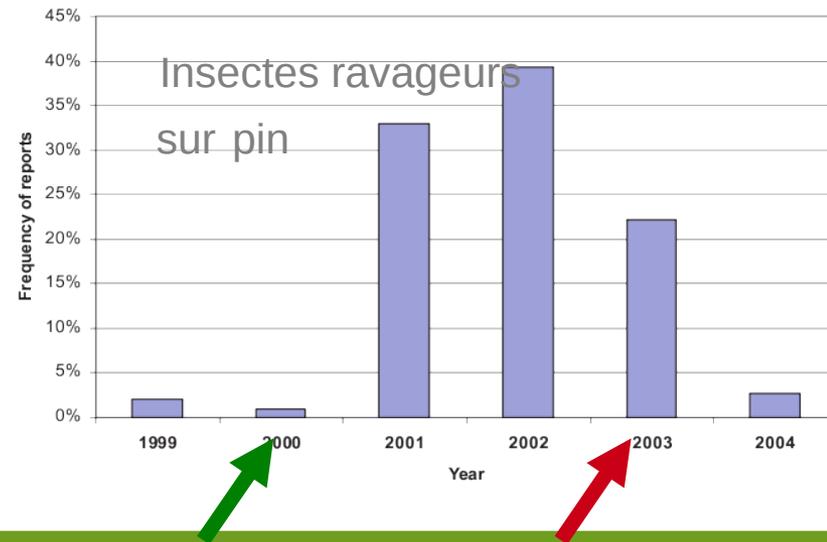
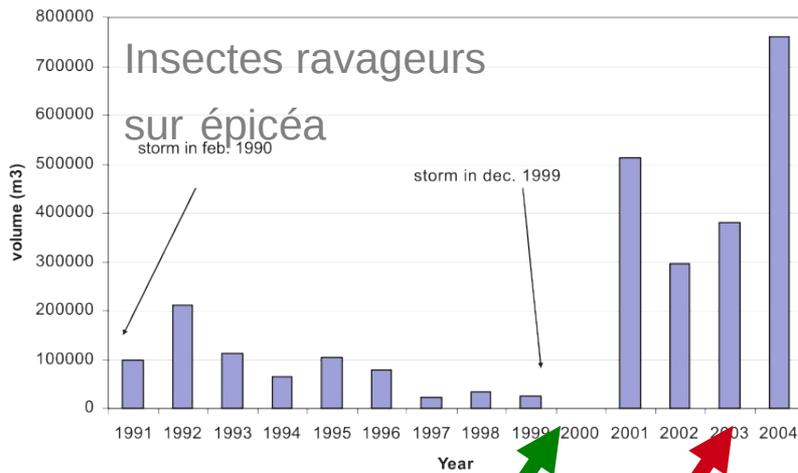
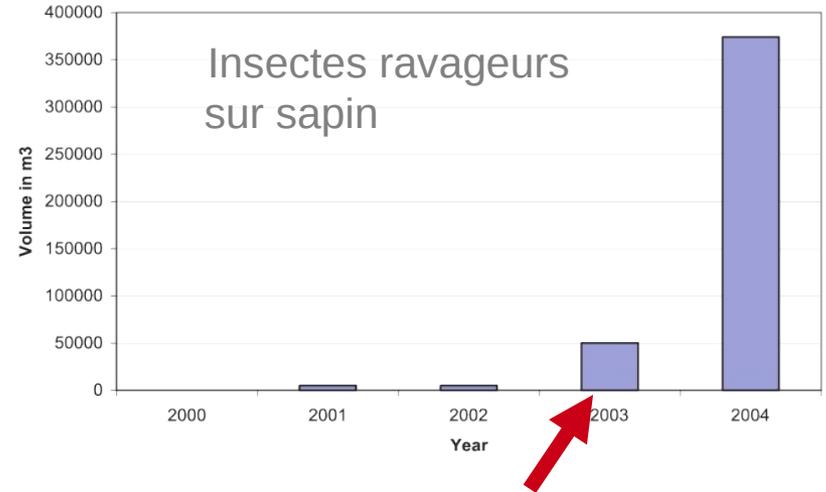
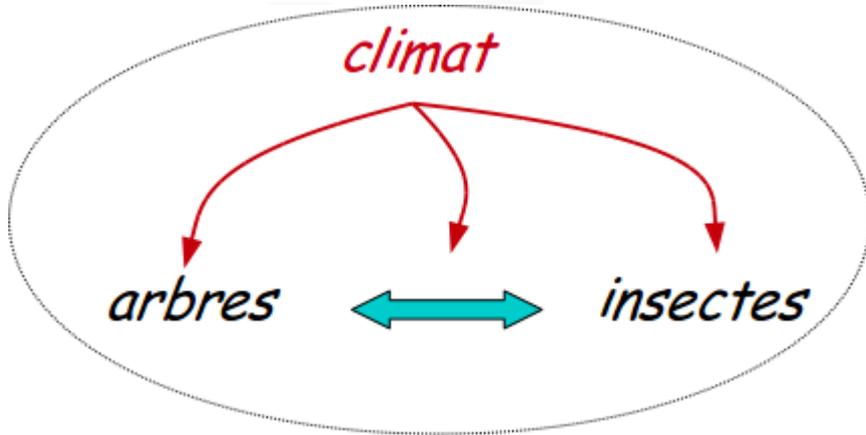
- S'observe dans la comparaison entre modèles
- Effet à l'échelle de 20 à 50 ans

### ❖ Incertitudes socio-économiques

- Représentées par la comparaison des scénarios
- Effet à 40 ans et plus

# Le changement : de multiples incertitudes

## Incertitudes sur la réponse de systèmes complexes

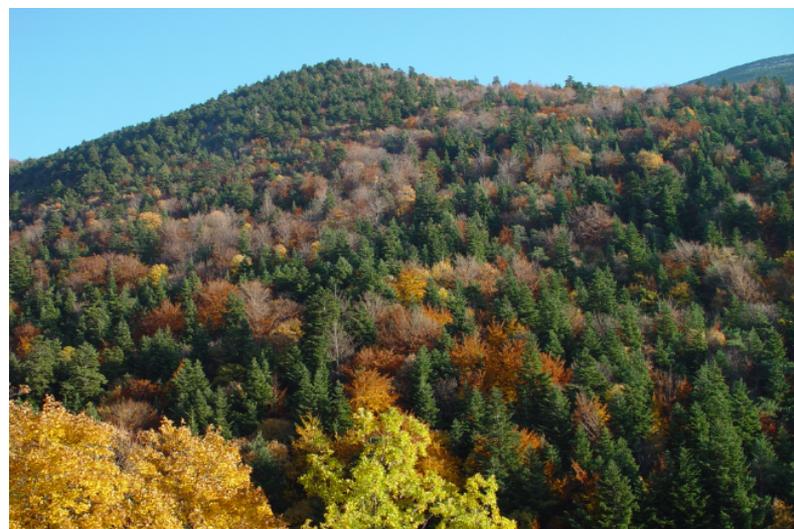


Tempête

Canicule

# Plan de l'exposé

## Adaptation des forêts au changement climatique



- ❖ **La forêt française : une forêt riche d'opportunités**
- ❖ **... Mais une forêt menacée**
  - Les limites de l'adaptation aux stress climatiques
  - ex. du risque incendie de forêt
- ❖ **Adaptation des forêts au changement climatique**
  - Le changement : de multiples incertitudes
  - **Adaptation de la gestion forestière**
  - Gestion des risques

# Adaptation de la gestion

## Quatre leviers d'action

- ❖ Évaluer la vulnérabilité des peuplements
- ❖ Faire évoluer les compositions des peuplements
- ❖ Gérer dynamiquement les peuplements
- ❖ Suivi de l'impact des décisions, retours d'expérience



# Adaptation de la gestion

## Évaluer la vulnérabilité des peuplements



- ❖ **Les catalogues de stations ne sont pas adaptables**
  - Démarche typologique (sol, topographie, méso-climat)
  - Hypothèse forte : la station forestière est invariante
  - Démarche inadaptée pour raisonner sur l'adaptation au changement
- ❖ **Compléter cette vision locale d'une approche nationale** (aire de l'espèce) : performance de l'espèce en fonction du climat
  - Modèles statistiques (niches climatiques)
  - Modèles à base de processus
  - Analyses des cas de dépérissement en cas d'accident
- ❖ **Intégration progressive dans les directives forestières**

# Adaptation de la gestion

Une approche de la vulnérabilité basée sur les processus

**FACTEUR**

**RÉPONSE**

**FONCTIONS**

**CONSÉQUENCES**

CLIMAT



Stress  
hydrique



SOL

Baisse conductance

Chute de feuille

Assimilation  
Carbone

Baisse conductivité

Embolie du xylème

Transport  
H<sub>2</sub>O

Baisse d'absorption

Mortalité racinaire

Acquisition  
H<sub>2</sub>O

Photosynthèse

Respiration

Bois  
Réserves  
Racine

Cavitation  
hydraulique

Cavitation  
hydraulique  
vs.  
Manque de  
carbone ?

[Approche Sapin pectiné : Cailleret et al. 2014 AFS, Cailleret et al. 2016 Eco App, Cailleret et al. 2017 GCB, Davi & Cailleret 2017 AFM ;  
Approche générique : Davi 2016, Martin StPaul et al. 2017 Ecol Letters]

# Adaptation de la gestion

## Faire évoluer les compositions des peuplements



### ❖ Orientations nationales => régionales

- Plan d'aménagement de massif

« Mimer la nature, hâter son oeuvre »

### ❖ Poursuite de la maturation des couverts

- Progression des espèces pionnières (pins) dans les milieux ouverts
- Colonisation des pinèdes par espèces d'ombre (feuillus et sapins)

### ❖ Comprendre et orienter les dynamiques naturelles pour favoriser l'adaptation tout en relançant les plantations

- Gestion raisonnée et équilibrée entre « confiance aveugle à la nature » et « vision trop biotechnique »

# Adaptation de la gestion

## Gérer dynamiquement les peuplements

### ❖ Augmenter l'intensité des éclaircies

- Améliorer le bilan hydrique



### ❖ Raccourcir les durées de production

- Limiter l'exposition aux catastrophes naturelles
- Moteur de l'adaptation génétique

### ❖ Débat ouvert

- Quel compromis en intensification et conservation ?
- Gestion de la ressource à long terme ?

[Legay, 2010, Guilemaud et al. 2015 ASF]

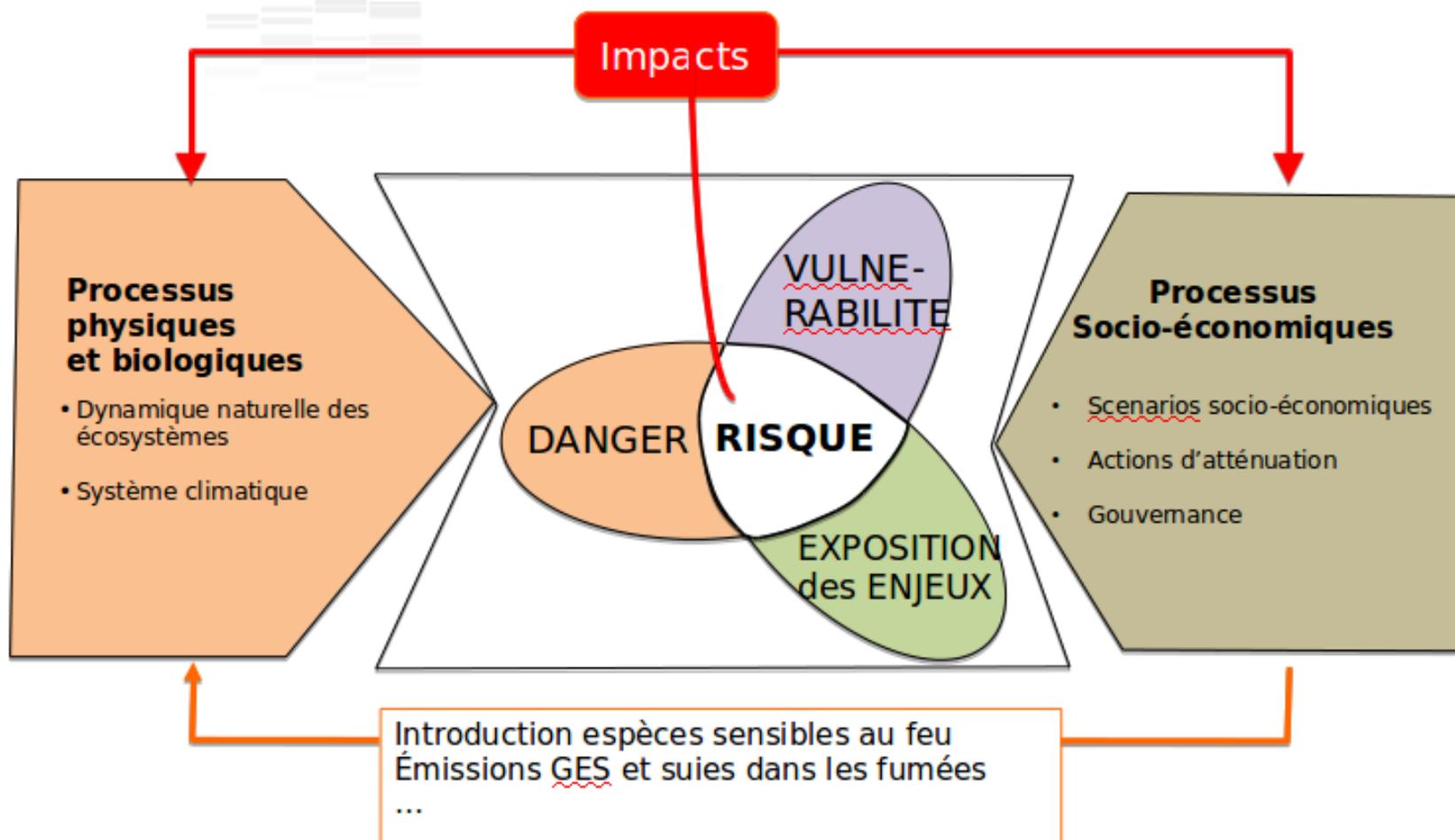
# Plan de l'exposé

## Adaptation des forêts au changement climatique

- ❖ **La forêt française : une forêt riche d'opportunités**
- ❖ **... Mais une forêt menacée**
  - Les limites de l'adaptation aux stress climatiques
  - ex. du risque incendie de forêt
- ❖ **Adaptation des forêts au changement climatique**
  - Le changement : de multiples incertitudes
  - Adaptation de la gestion forestière
  - **Gestion des risques**



# Évaluation du risque incendie



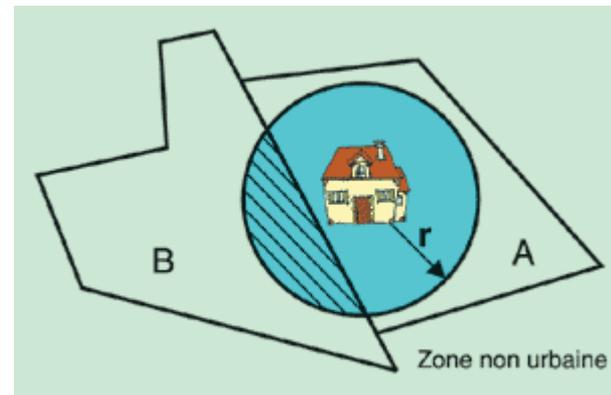
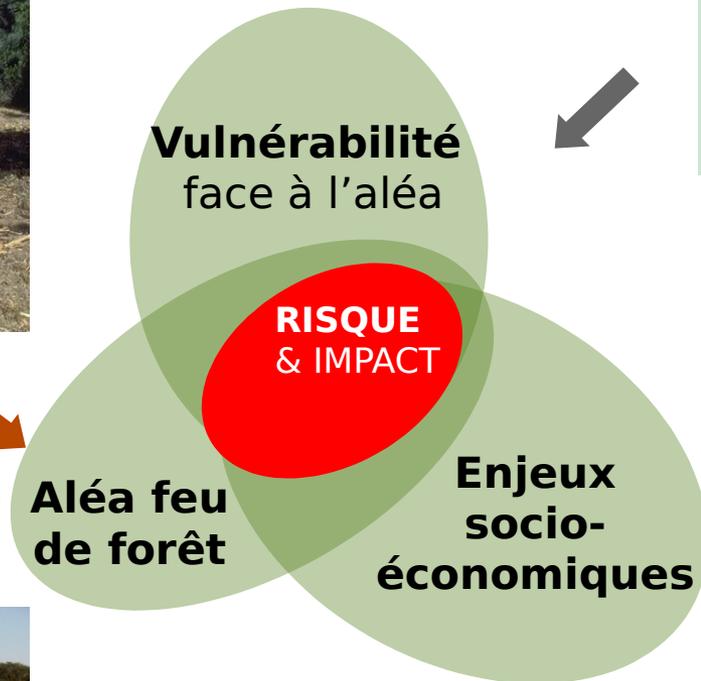
# Gestion des risques

Agir sur toutes les composantes du risque

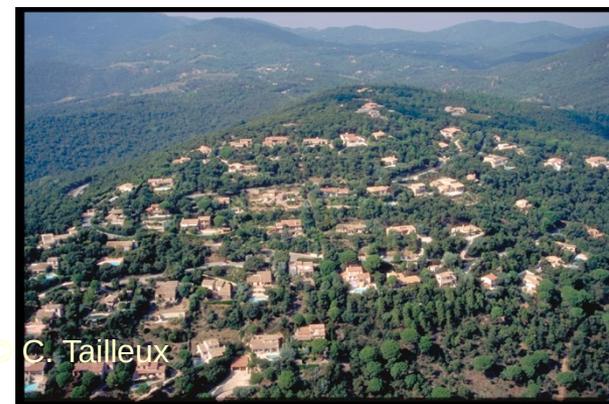


Ex. Gestion du combustible  
Agir sur la puissance du feu

Agir sur l'occurrence du feu  
Ex. Réduction des causes



Ex. Protection de l'habitat  
par le débroussaillage



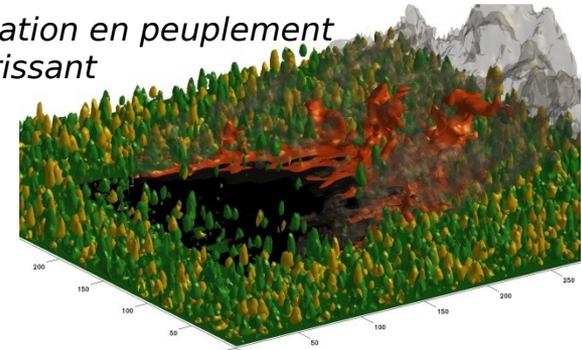
Ex. Limiter interfaces habitat forêt

# Modélisation physique du feu : FIRETEC

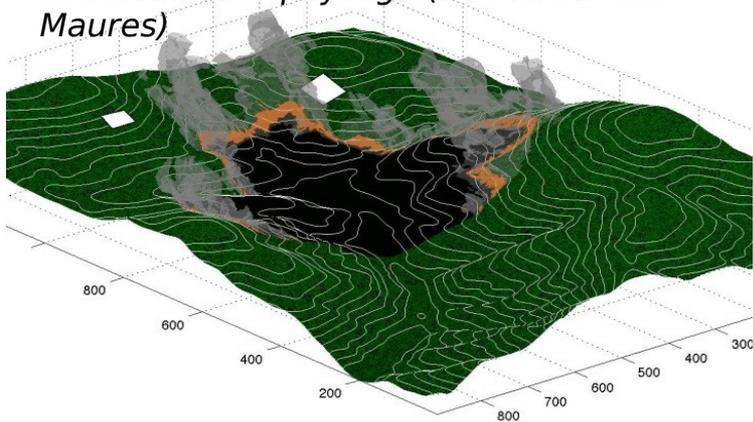
## Modèle

- 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 en peuplement  
dépérissant*



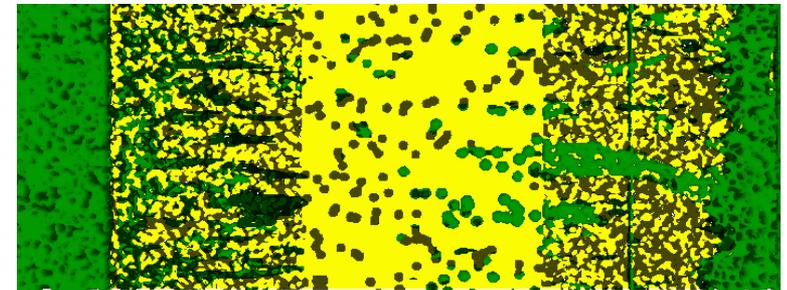
*Simulation sur paysage (les Adrets des  
Maures)*



## 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 jusqu'au petit paysage (< 500 ha)
- Prédications : vitesse, puissance, flux, températures, ...

[e.g. Pimont et al. 2011 AFS, Sieg et al. 2017 Fire Ecol.]

# Conception de l'OLD

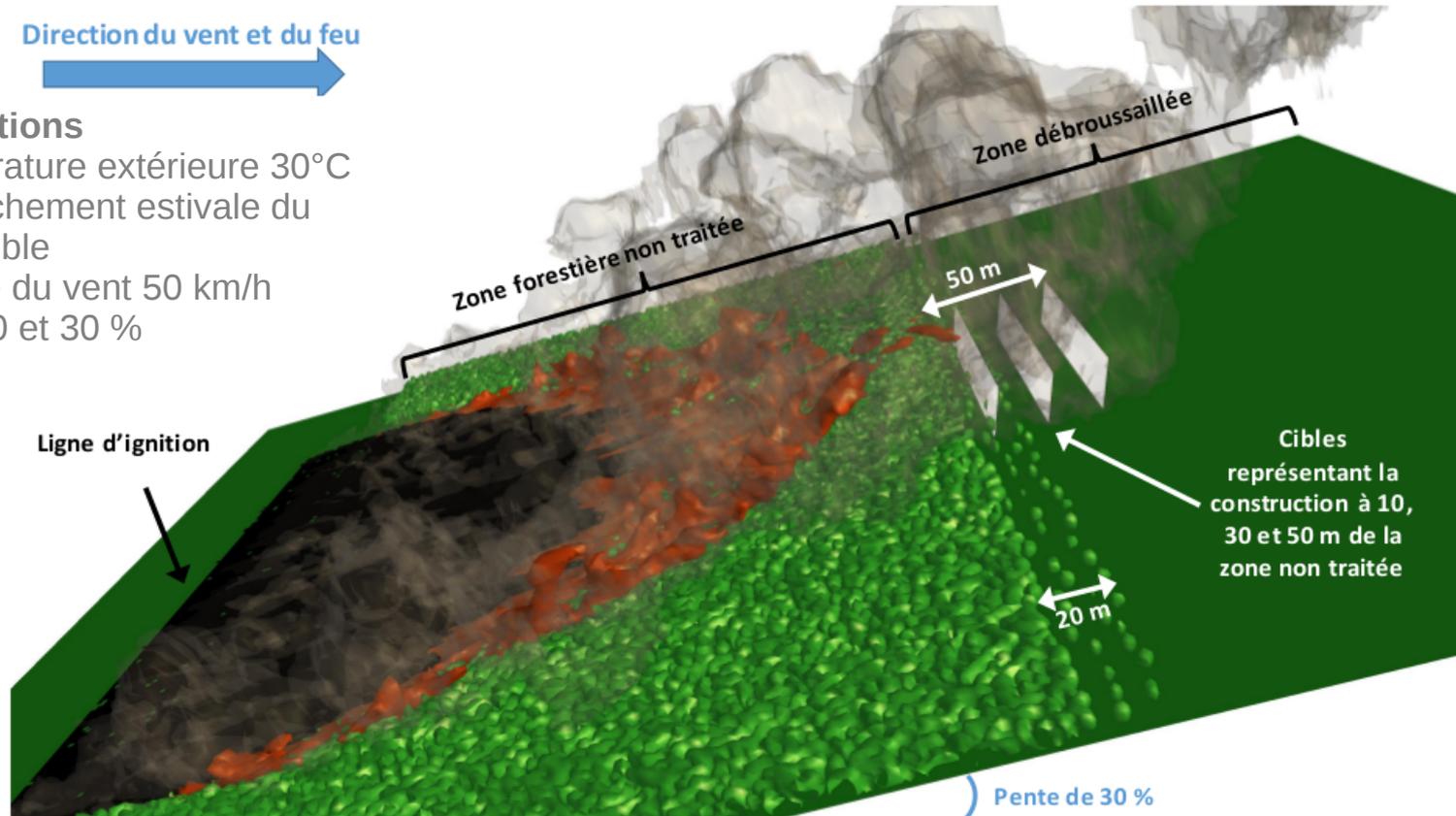
Utilisation d'un modèle de propagation du feu (Pimont et al. 2014)

Direction du vent et du feu



## ❖ Conditions

- Température extérieure 30°C
- Dessèchement estivale du combustible
- Vitesse du vent 50 km/h
- Pente 0 et 30 %



## ❖ Résultats

- Vitesse et Intensité du feu
  - Pente 0 : 1,05 m/s et 27 000 kW/m
  - Pente 30 % : 1,30 m/s et 36 500 kW/m
- Réduction du flux radiatif
  - 80 % entre 10 et 50 m de débroussaillage
  - 90 et 95 % entre la lisière et les 50 m

## ❖ Conclusions

- Distance de débroussaillage
  - 30 m insuffisant en pente
  - 50 m permet défendabilité (<90°C), sans inflammation du bois

# Gestion des risques

## Recommandations

### ❖ Préparer les événements extrêmes

- Rehausser le curseur de la prévention
- Protection des milieux naturels => protection civile
- Augmenter la culture du risque
- Apprendre à vivre avec le feu

### ❖ Vers une gestion intégrée du feu

- Meilleure intégration des phases de gestion de la crise

### ❖ Vers une vision multi-risques

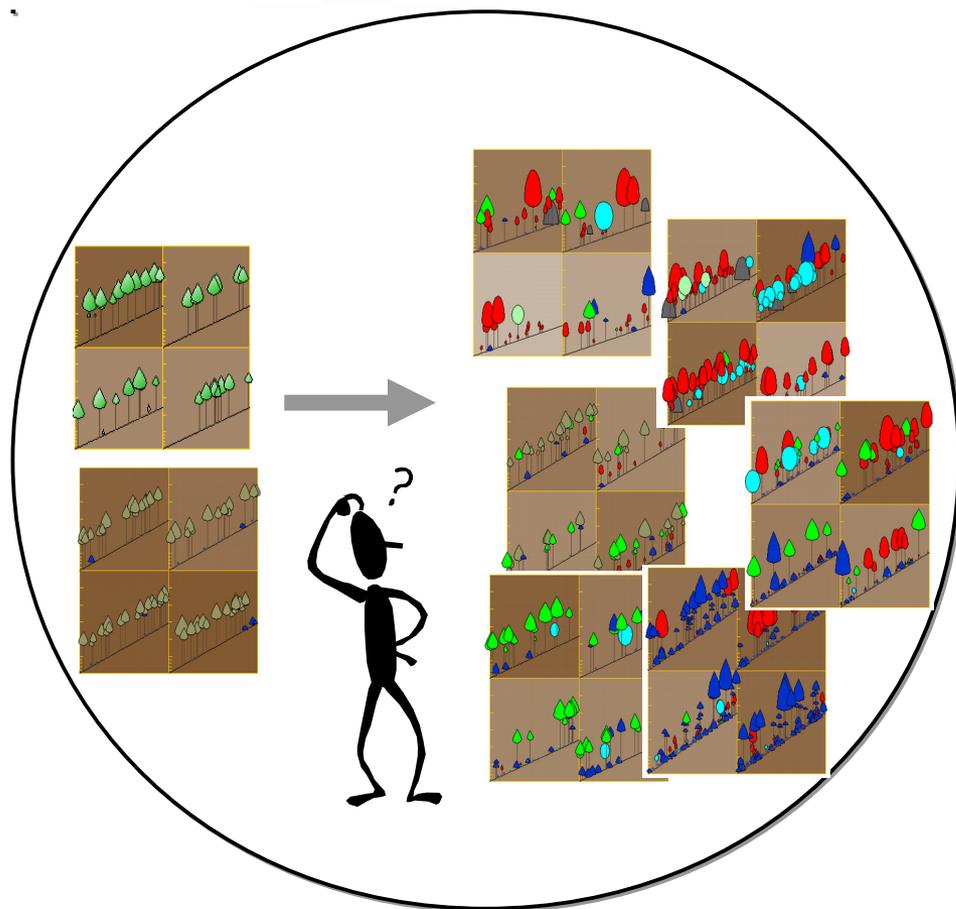
- Évaluation des cascades de risque
- Gestion des risques multiples

### ❖ Vers une approche intersectorielle

- Politique d'urbanisme
- Aménagement du territoire
- ...



# Conclusion : le changement climatique invite à développer une foresterie adaptative



- ❖ Décider en connaissant les incertitudes
- ❖ Lever les incertitudes (recherche & expertise, documenter)
- ❖ Diversifier des stratégies robustes, flexibles, réversibles
- ❖ Partenariat recherche / gestion
- ❖ Concilier les objectifs court-terme & long-terme
- ❖ Enjeux d'une gestion adaptative



***Merci***

