

A photograph of a forest with large trees and a mossy forest floor. The trees have thick, gnarled trunks and dense green foliage. The ground is covered in a thick layer of green moss and fallen leaves. The lighting is bright, suggesting a sunny day.

# **Changement climatique: impacts sur l'environnement forestier**

*Michel Vennetier*

*Forêt Méditerranéenne / Forêt Modèle de Provence*

*Retraité d'INRAE, UR RECOVER:*

*Risques Ecosystèmes Vulnérabilité Environnement Résilience*

# *Changement climatique et forêt*

- **Changements à moyen – long terme**

*... de 10 à 100 ans*



- **Accidents/extrêmes climatiques:**

*... sécheresses, canicules, grands gels, tempêtes...*

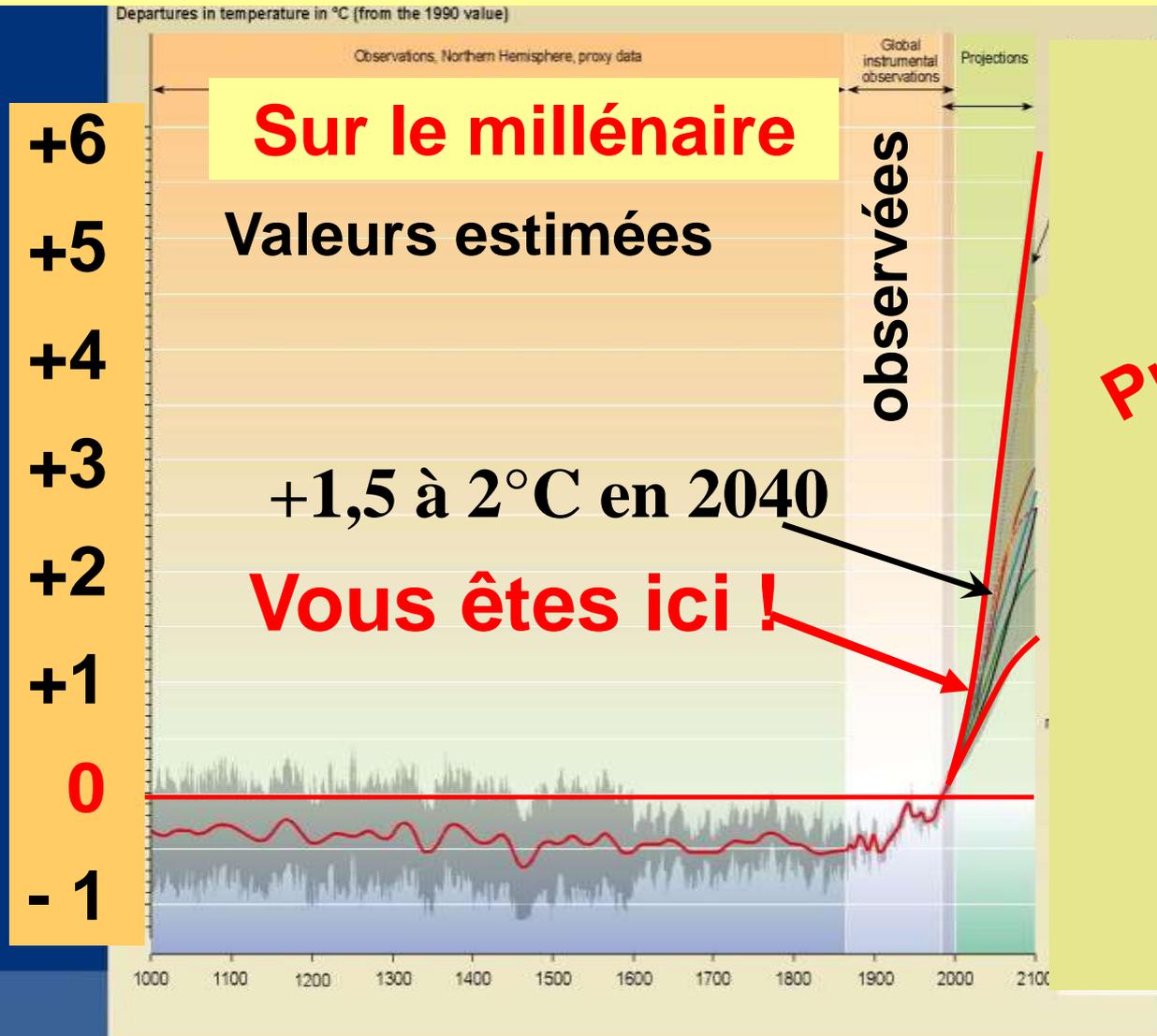
- **Variabilité climatique**

*... plus d'extrêmes et de contrastes*

- **Interactions (*... parasites/maladies/incendies*)**



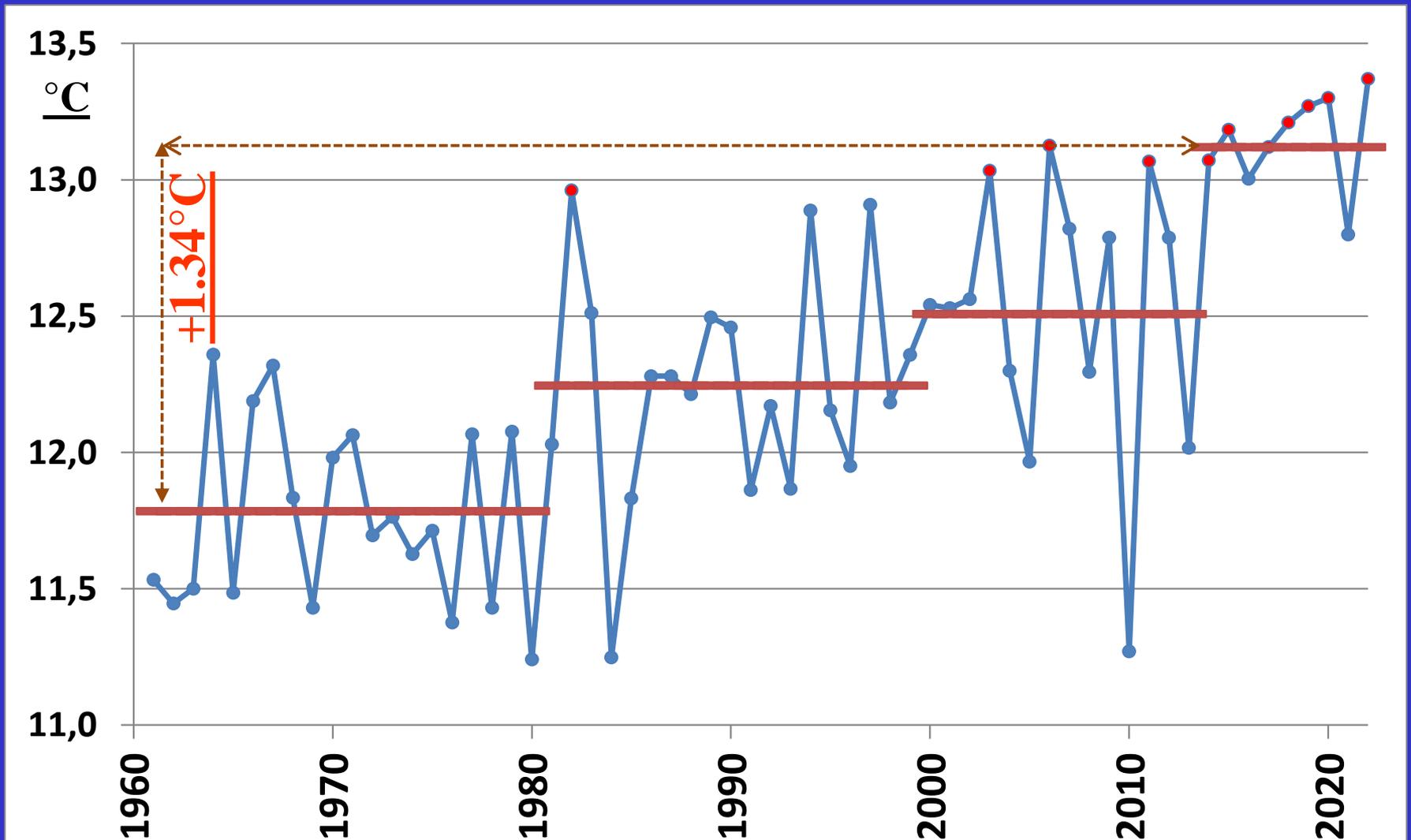
# Le changement, c'est (déjà) maintenant !



SYR - FIGURE 9-1b

Le changement, c'est (déjà) maintenant !

En Provence, même tendance



# Le changement, c'est (déjà) maintenant !

- **Combinaisons de canicules et sécheresses**  
*... en hausse de 3,5 à 4,5 % par an de 1979 à 2018*
- **Extrêmes combinaisons d'été (+3,9% / an)**  
*... très dommageables : santé/mortalité des végétaux*
- **Extrêmes relatifs printemps (+3,5% / an)**  
*... diminution croissance, perturbation phénologie*
- **Canicules seules (+4,5% / an)**  
*... printemps, été et automne => pas de répis !*  
  
**+ 140 % à + 180 % de jours de stress**

# Rentrer dans les détails du climat

- **Les t° d'été contrainte majeure**

*... 0.5°C / 10 ans => +5°C fin du siècle*

- **Max d'été >> seuils critiques**

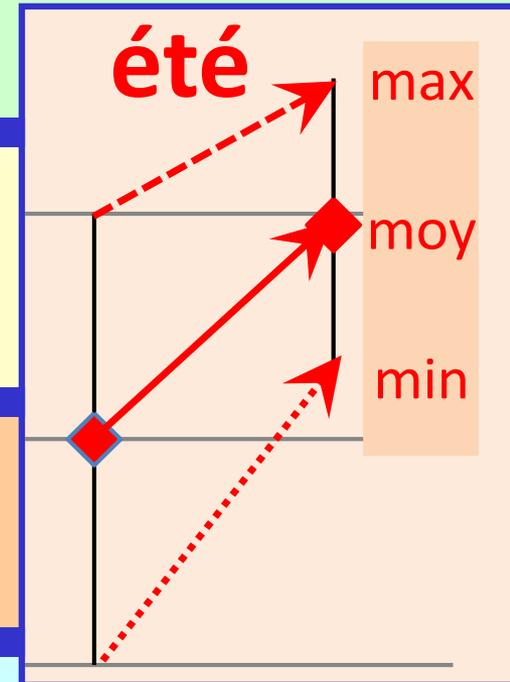
*... survie / physiologie / stress*

- **T° min d'été = repos de nuit**

*... canicule = t° élevée jour ET nuit*

- **Des t° min trop élevée = stress continu**

*... pas de rosée / évaporation forte =>  
deshydratation des végétaux et du sol*



# Rentrer dans les détails du climat



## Précipitation Sud-Est depuis 1960:

- \* **Faible baisse annuelle départements côtiers**
- \* **Pas de tendance dans l'arrière pays**
- \* **Baisse sensible en hiver et en été (*aiiil!!!*)**
- \* **Pas de tendance automne et printemps**



# Modéliser le futur

- **Que nous disent les scénarios du futur**

*... plus ou moins pessimistes*

- **Des  $t^{\circ}$  moy en forte hausse : +2,2 à +5,5°C**

*... mais hausse + rapide des max d'été = +4 à +7°C*

- **Baisse de 50-60% du nombre de jours de gel**

*... et du manteau neigeux*

- **Pluie annuelle en baisse**

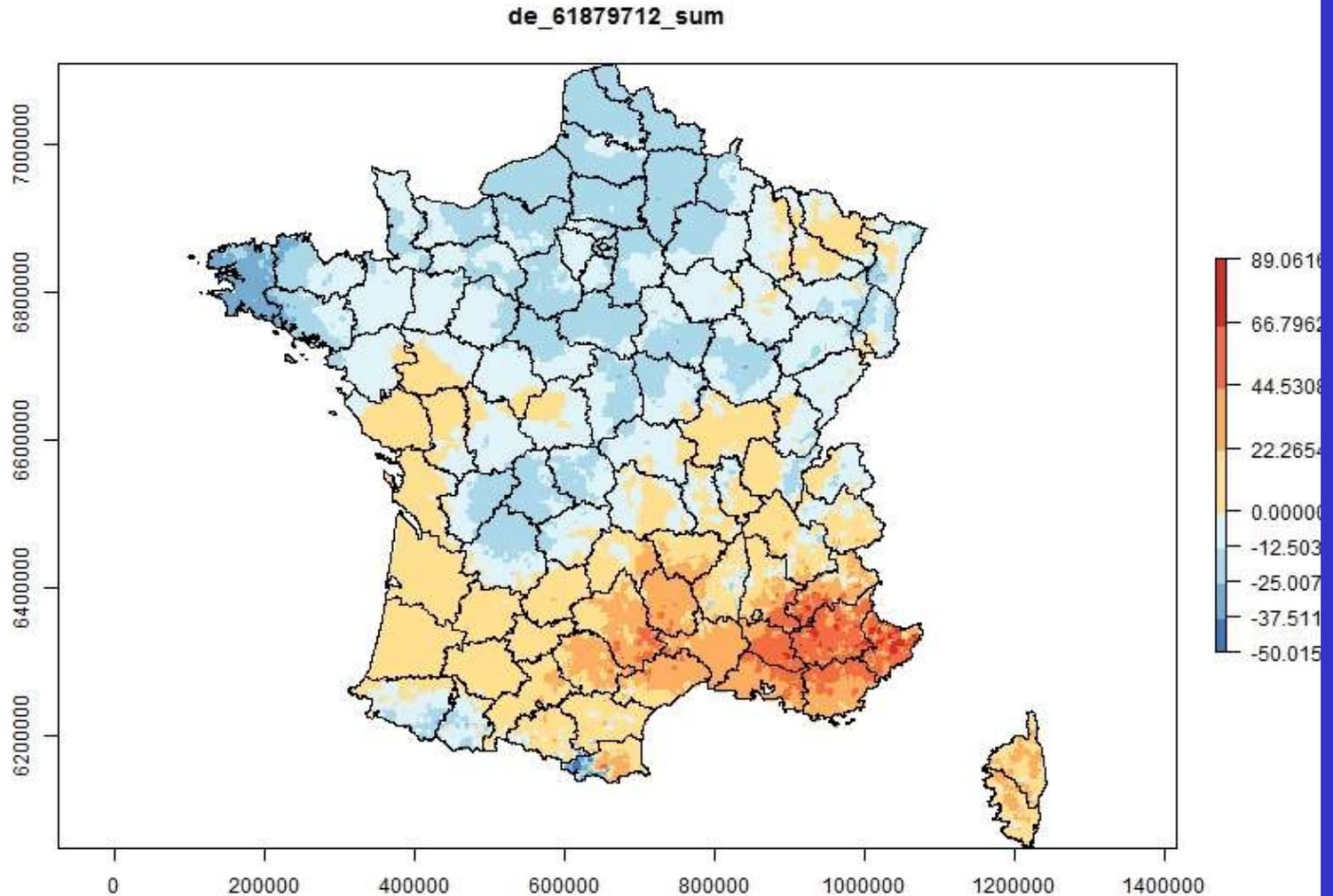
- *baisse d'autant plus marquée que la  $t^{\circ}$  augmentera*

*... baisse en été et en hiver, pluies extrêmes fréquentes*

*... hausse du nombre de jours consécutifs sans pluie*

# *Changement climatique et forêt*

## **Déficit en eau disponible tendance 30 ans**





**Productivité**

**Reproduction**

**Santé des  
végétaux**

**Phénologie**

**Gestion**

**Changement  
climatique**

**Incendies**

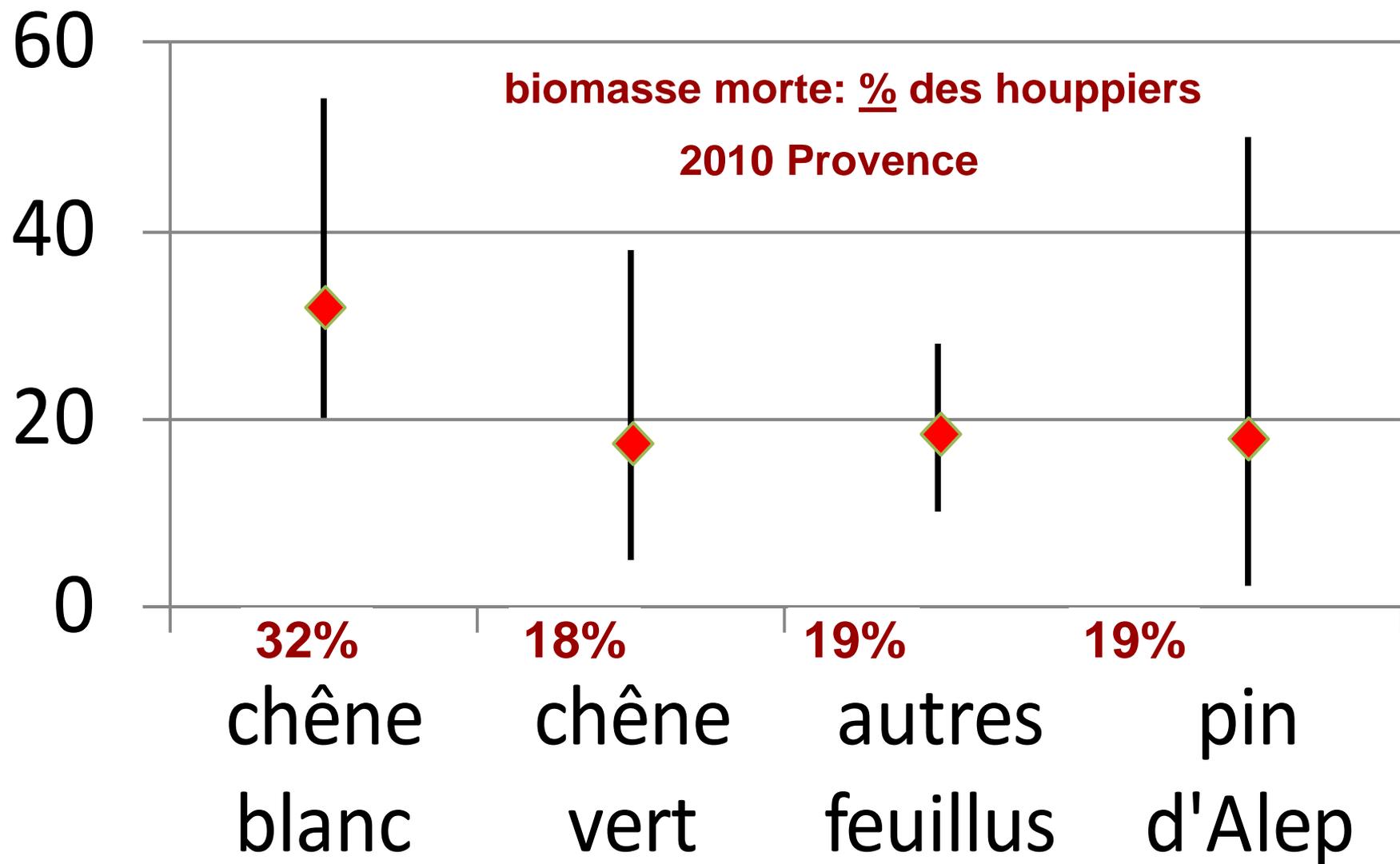
**Bilan**

**Biodiversité**

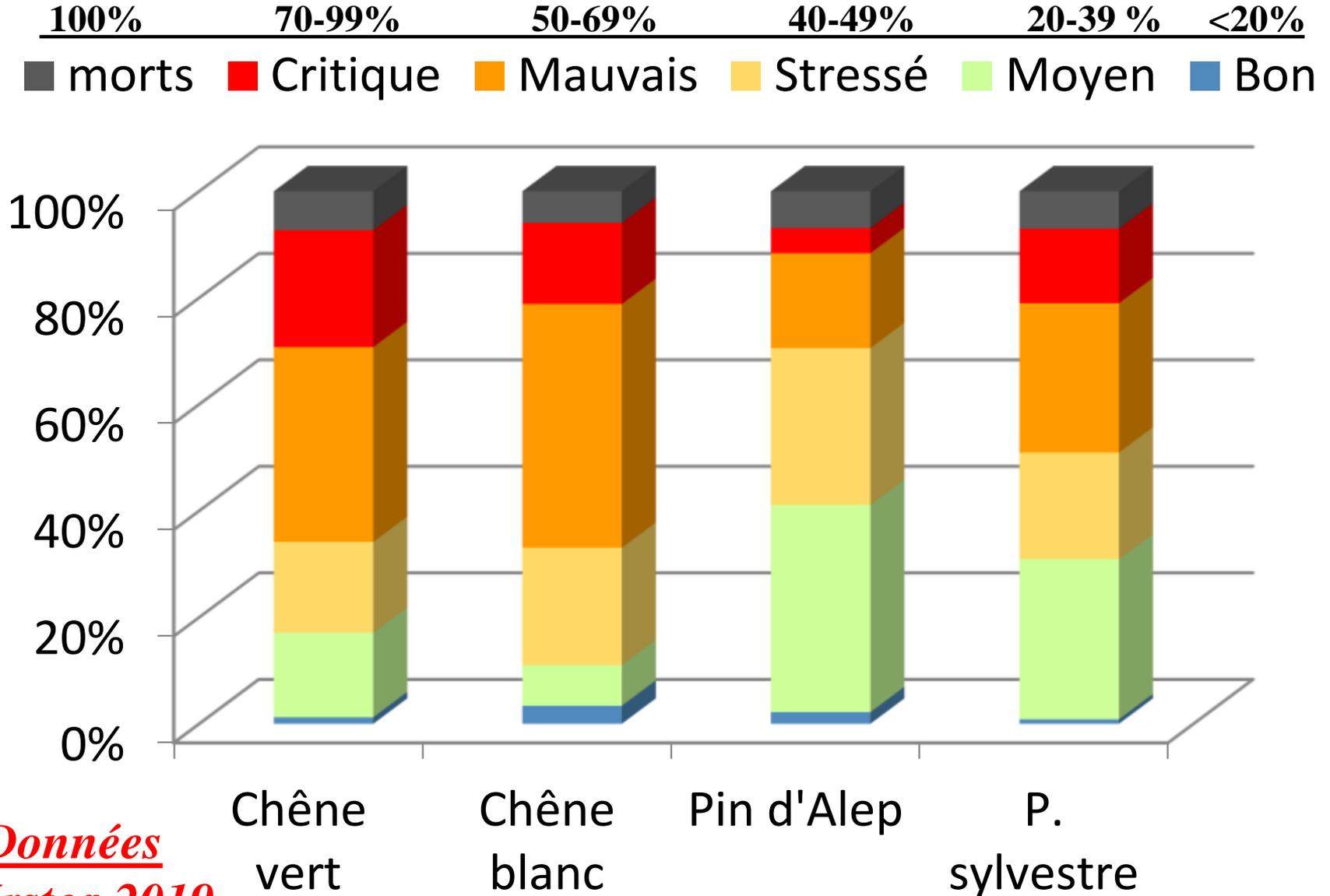
**Carbone**

**Fertilité  
des sols**

# Etude régionale: mortalité des branches (%)



# Etude 2019 PACA : santé / défoliation arbres

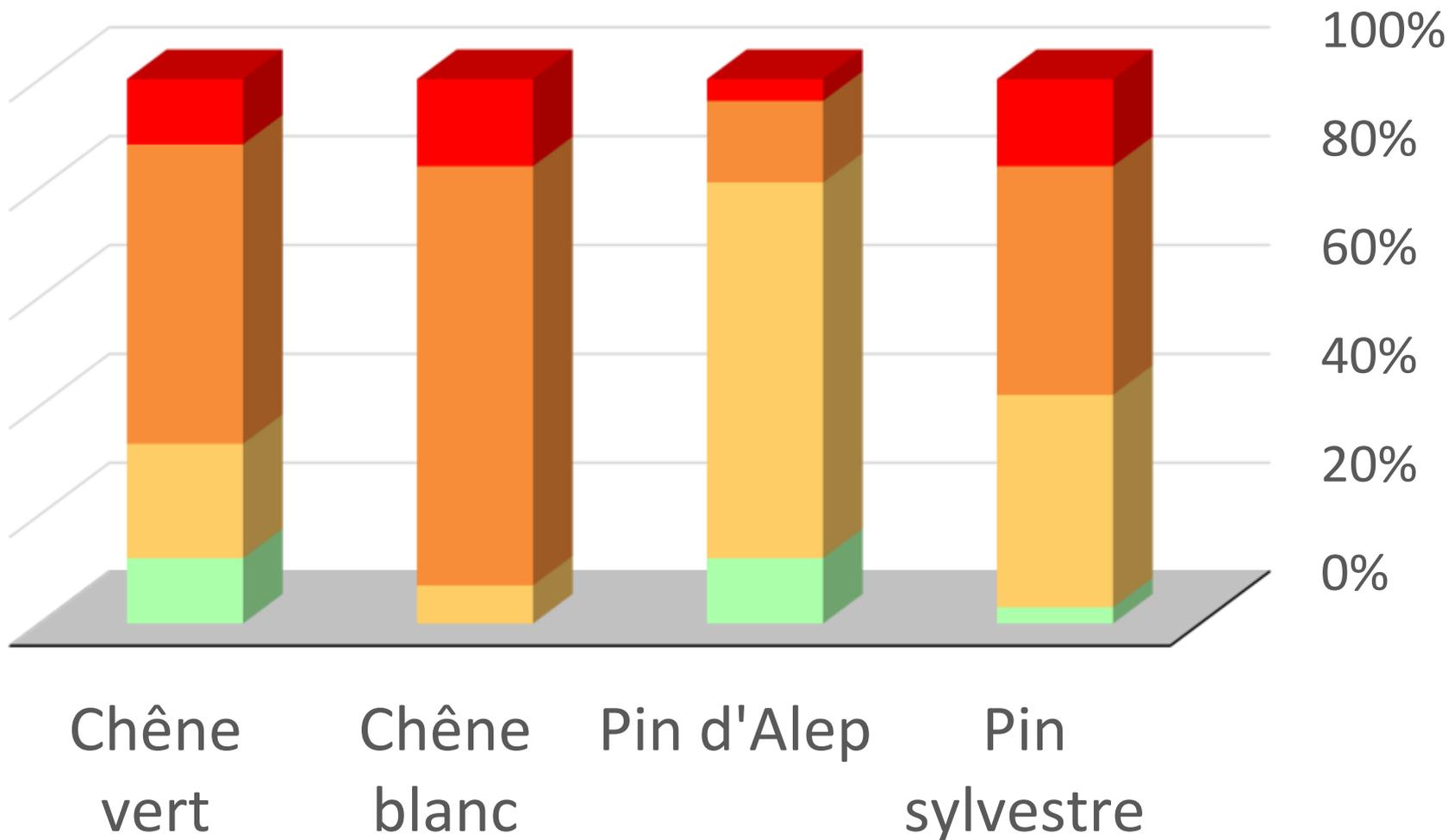


*Données*  
*Irstea 2019*

# Etat sanitaire / défoliation peuplements

<20%      20-29%      30-49%      50-69%      70-99%

■ Bon    ■ Moyen    ■ Médiocre    ■ Dépérit    ■ En danger



# Etat sanitaire / défoliation peuplements

**Dépérissement / mortalité: *Pin sylvestre, sapin, chêne liège, chêne blanc, chêne vert, ... et les autres***

*Région PACA: P. sylvestre 2017  
= 48% de déficit foliaire moyen*

*Dépérissement chêne blanc  
et aussi de nombreuses  
espèces du sous bois*

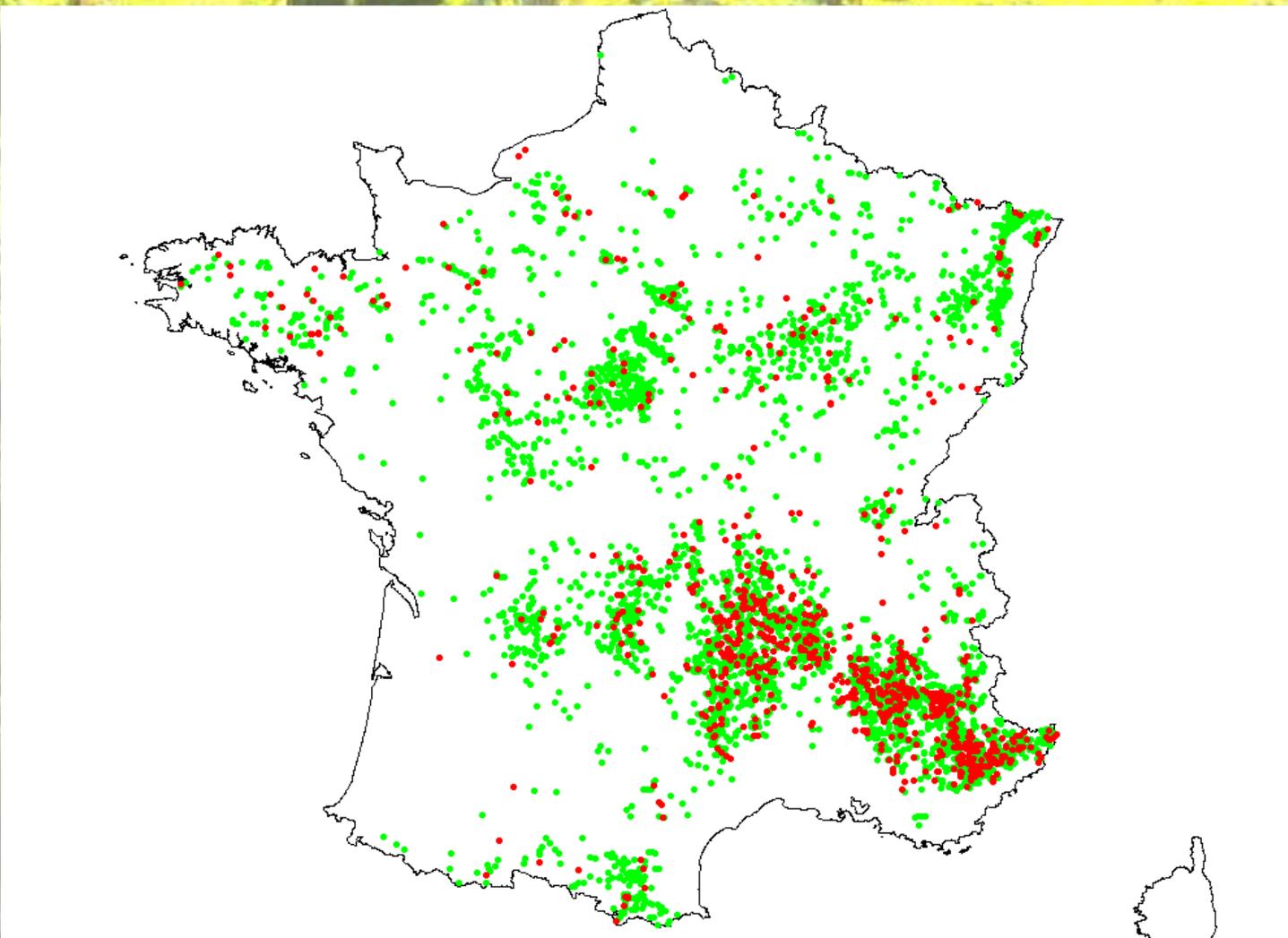
# *Changement climatique et forêt*

## *Dépérissement : les garrigues aussi*

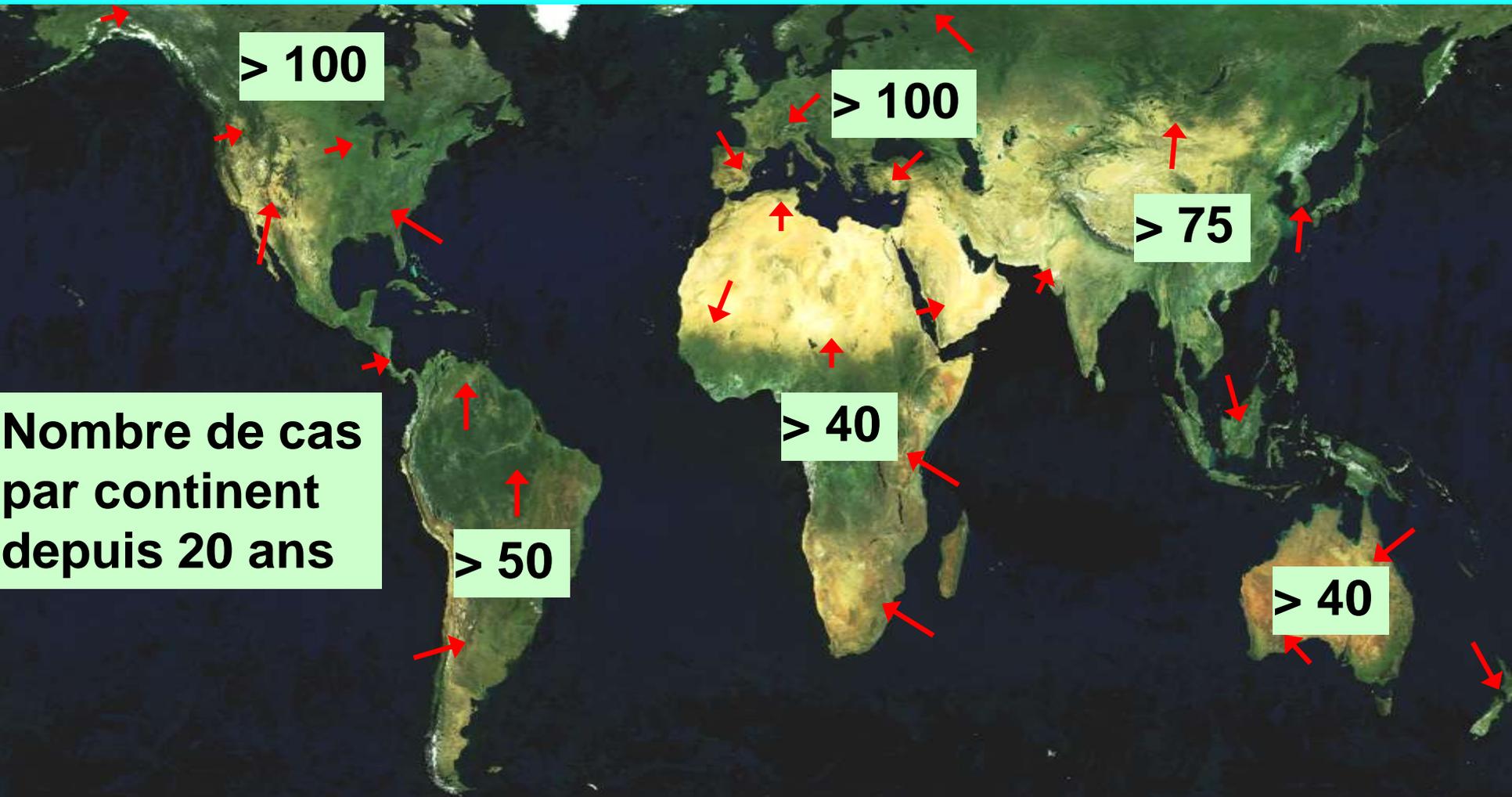


# Echelle nationale France

*Pin sylvestre: Présence anormale d'arbres morts*

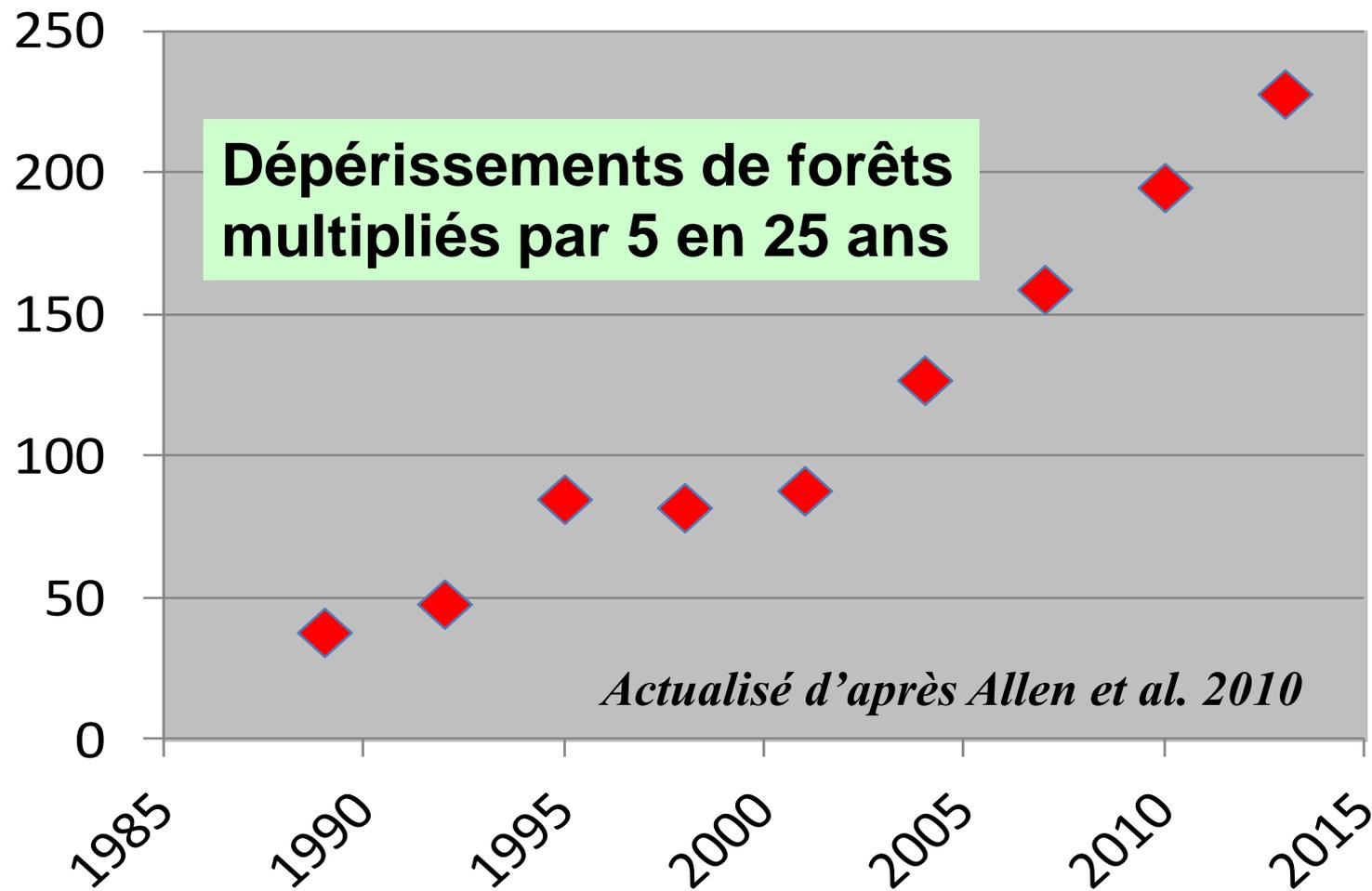


# *Dépérissement de forêts dans le monde*



**Tous les continents  
et tous les types de climats sont concernés**

# Dépérissement de forêts dans le monde



**Cas de dépérissements de forêts rapportés par des articles scientifiques**

# *Changement climatique et forêt*



*Photo: Allen C.  
Nouveau Mexique USA*

**Coups de chaud et de sec**

**15 millions d'ha !**



**Epidémies: insectes/maladies**

**Photo: Buxton K. / Canada**



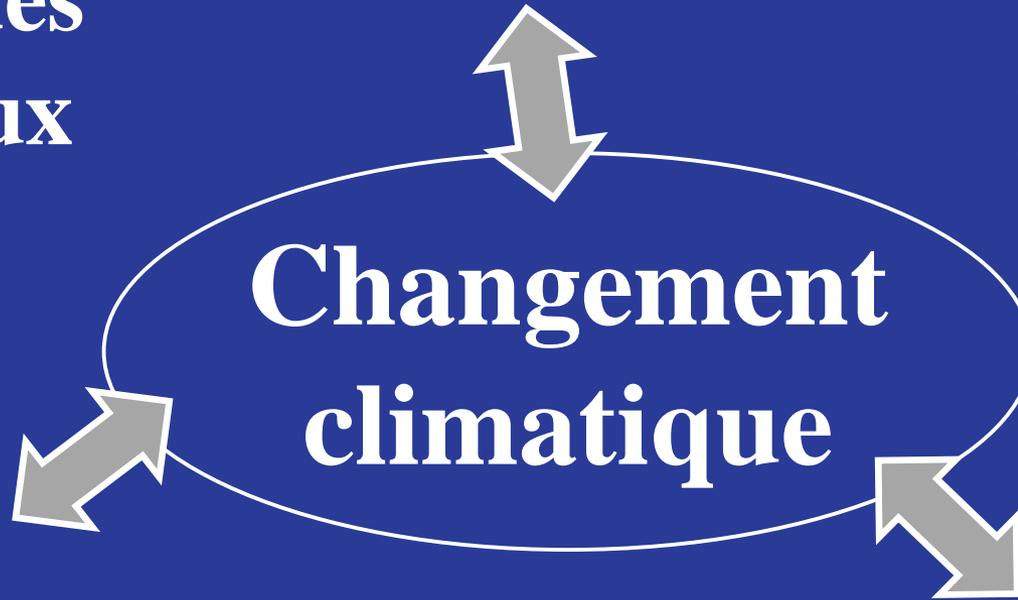
**Productivité**

**Reproduction**

**Santé des  
végétaux**

**Phénologie**

**Gestion**



**Incendies**

**Bilan**

**Biodiversité**

**Carbone**

**Fertilité  
des sols**

# Les causes de l'accélération de la croissance des végétaux



# Les causes du ralentissement de la croissance des végétaux

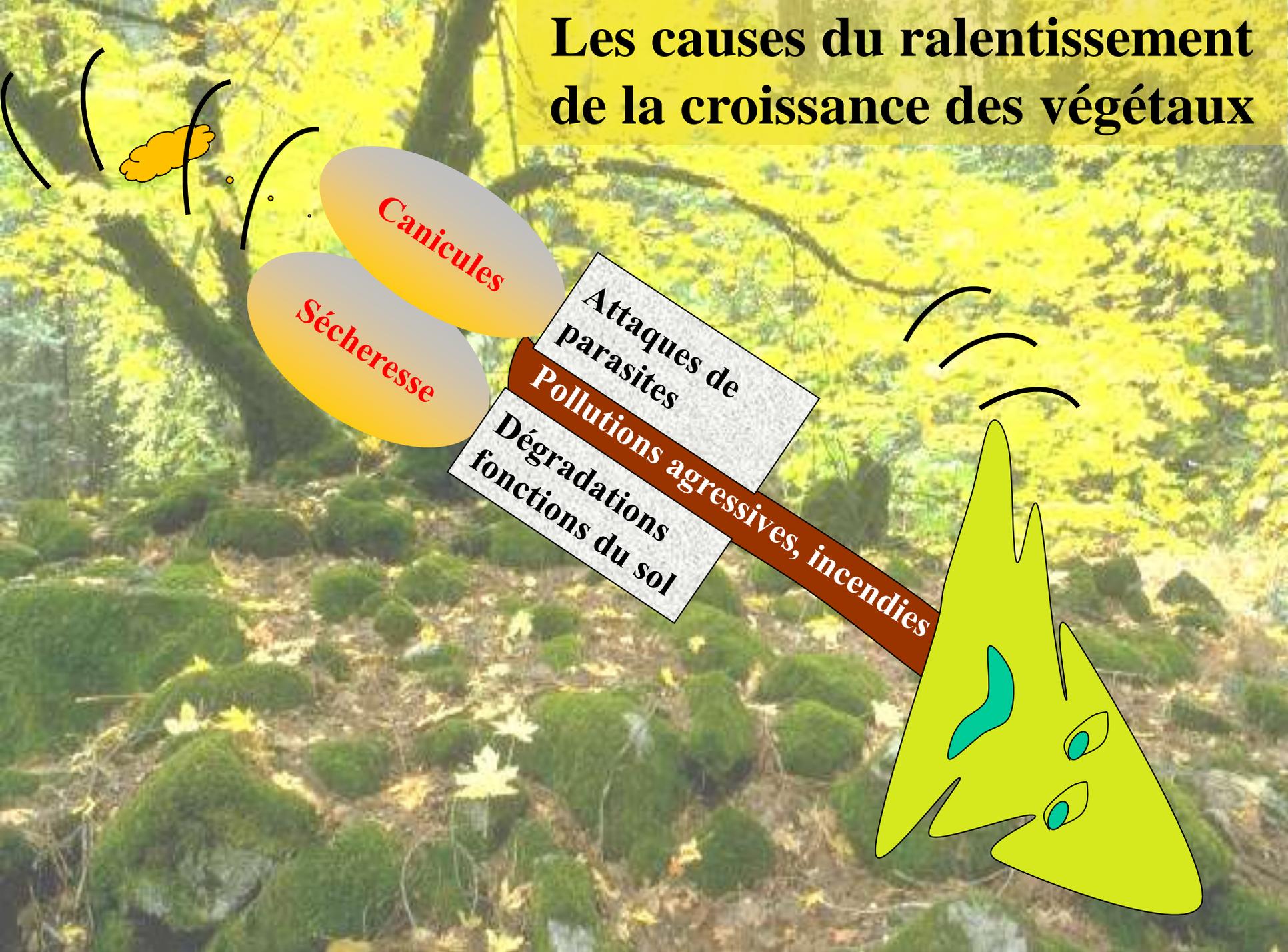
Canicules

Sécheresse

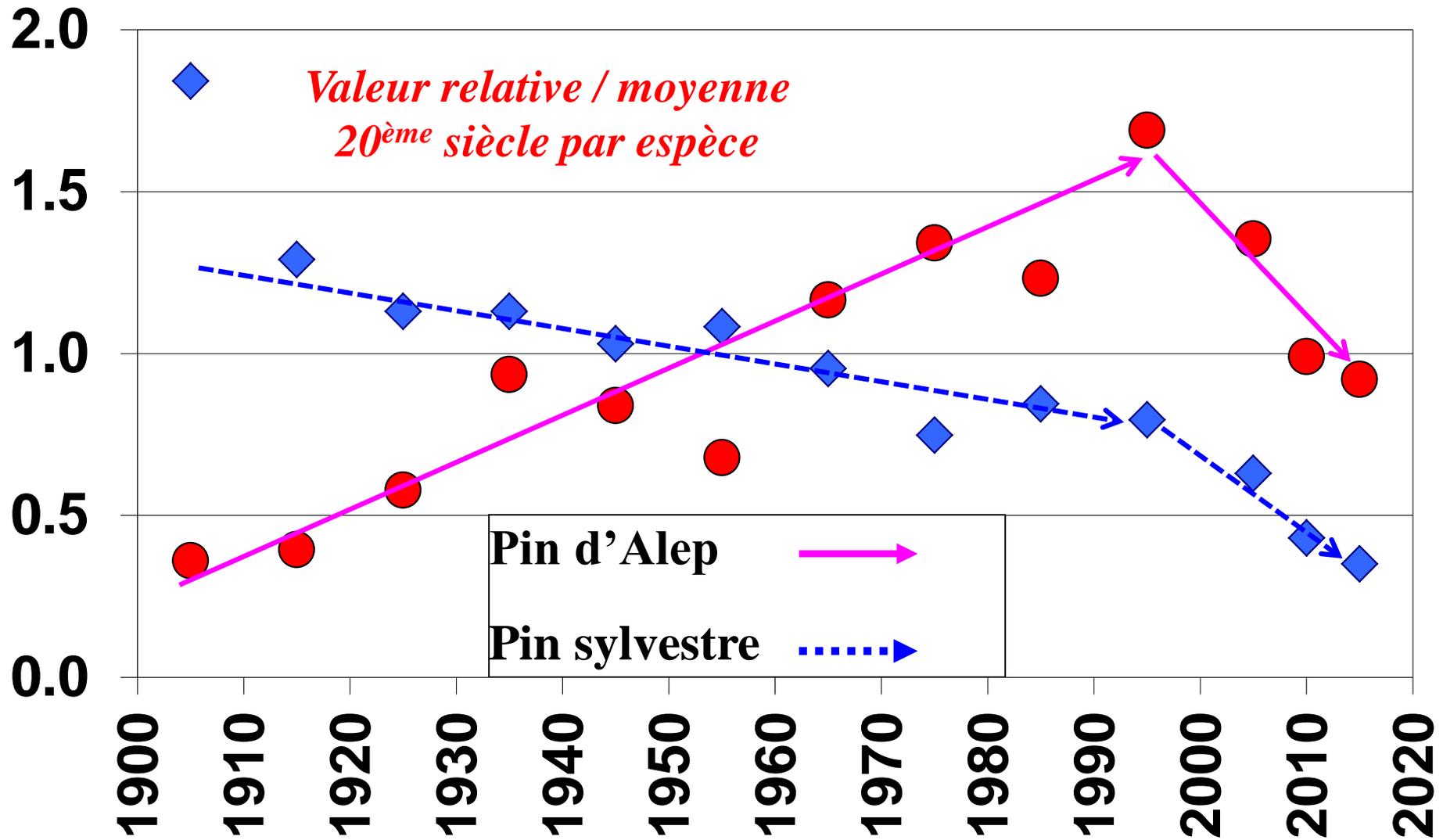
Attaques de parasites

Pollutions agressives, incendies

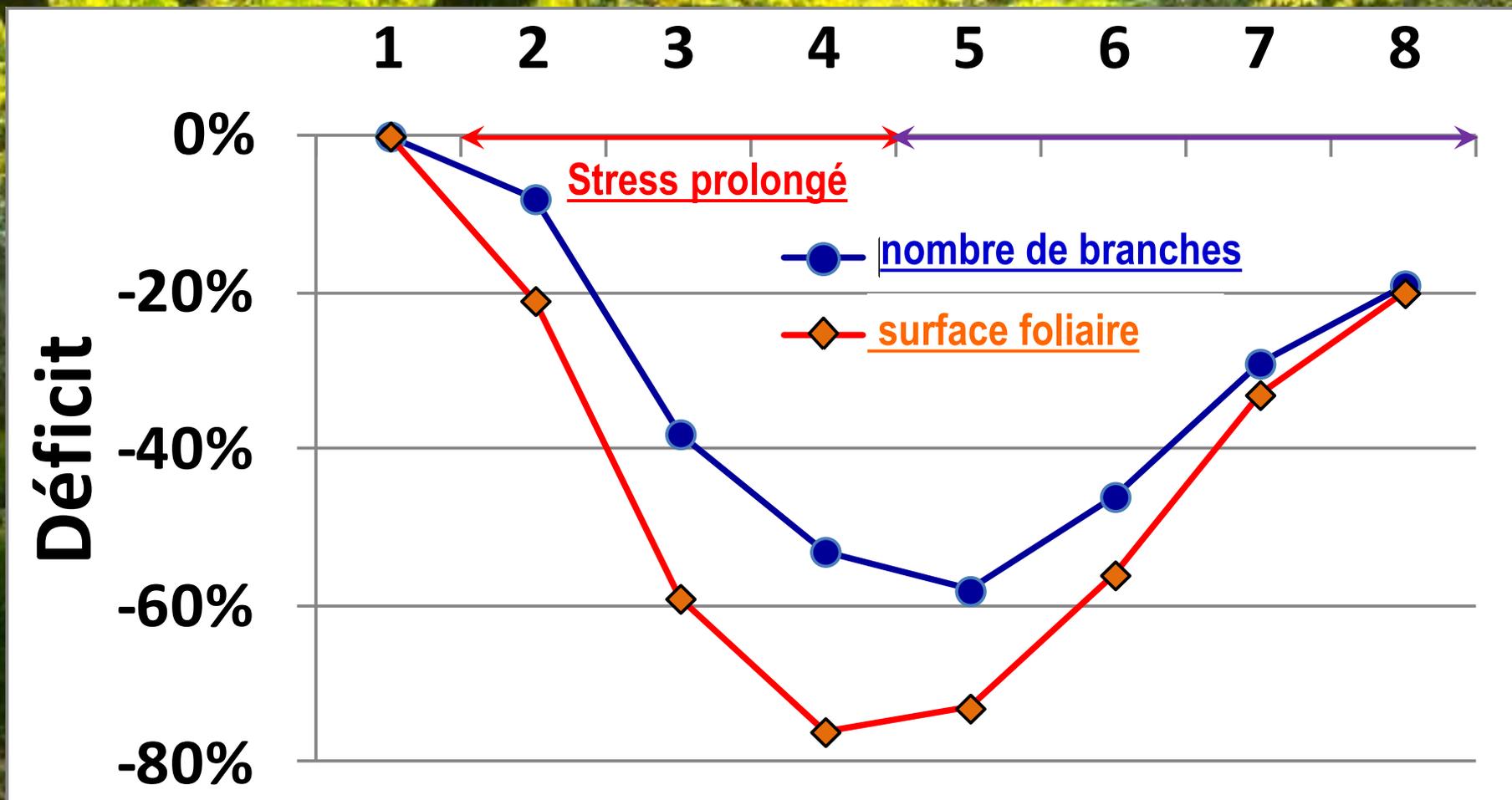
Dégradations fonctions du sol



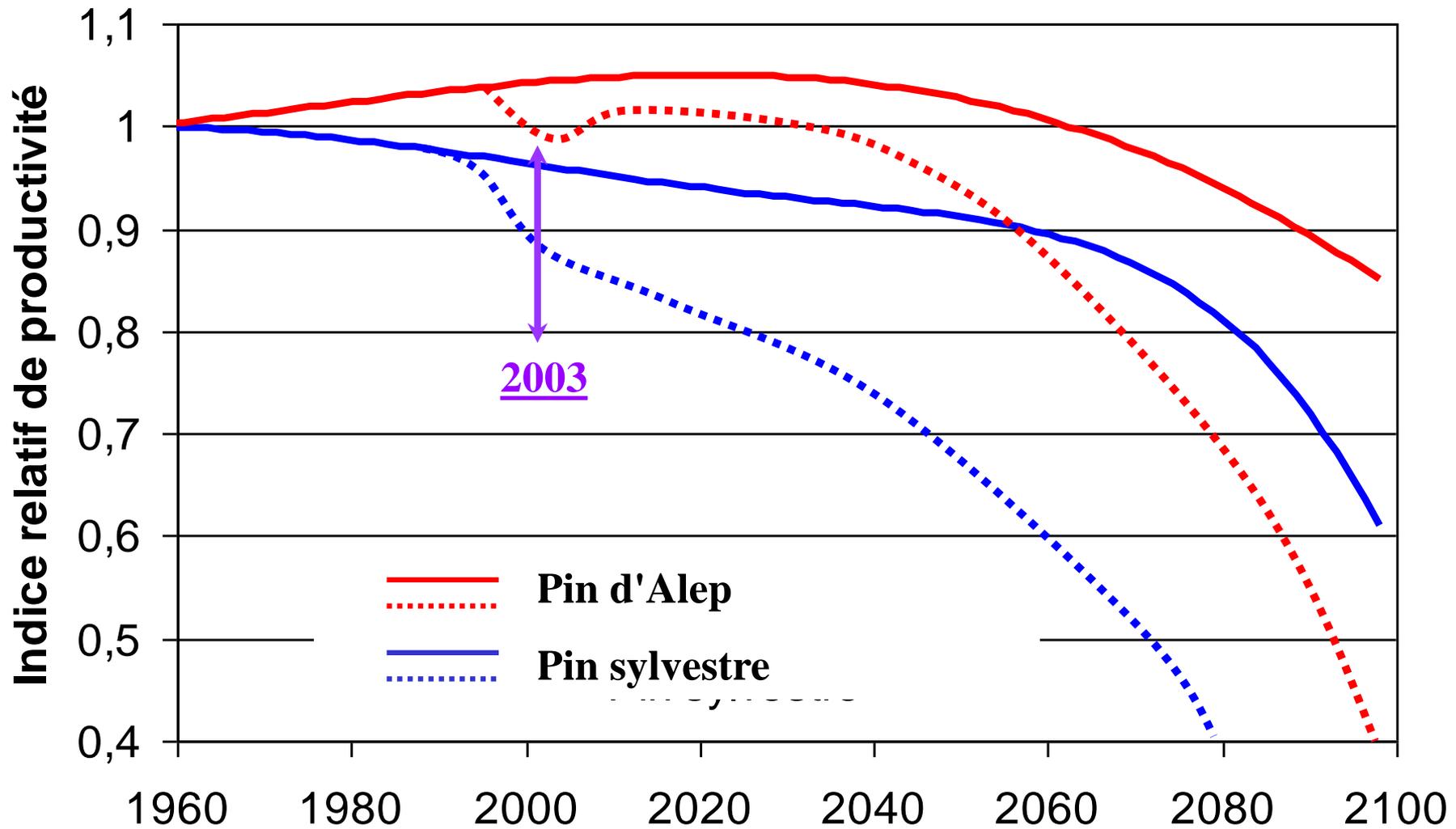
# Productivité des pins en Provence au 20-21<sup>ème</sup> siècle



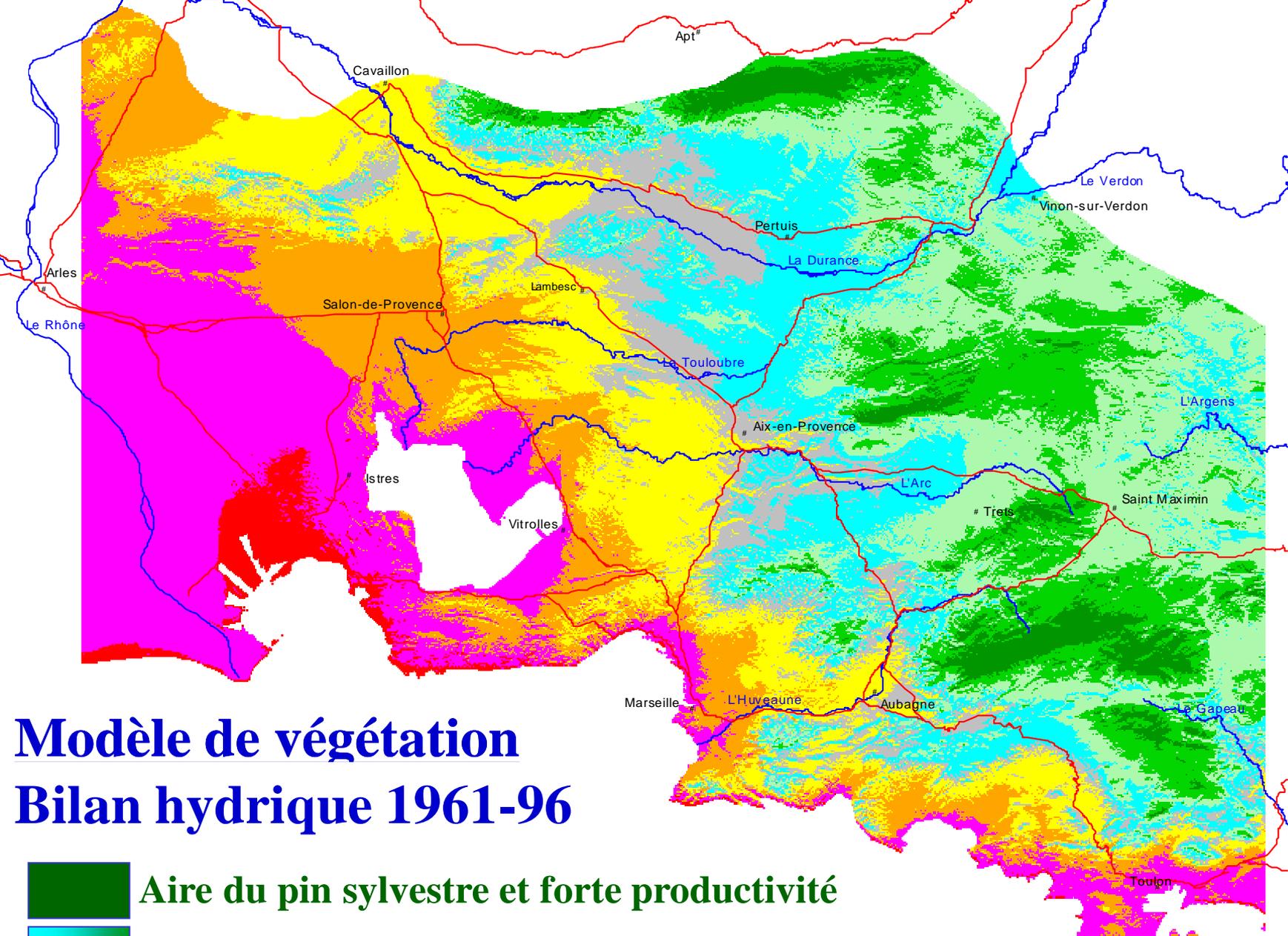
# Effets différés des événements extrêmes ou répétés



# Simulation productivité des forêts: 21<sup>ème</sup> s.



Chêne blanc à l'aise en vert moyen à foncé



# Modèle de végétation Bilan hydrique 1961-96

-  Aire du pin sylvestre et forte productivité
-  Aire de productivité moyenne
-  Aire de faible productivité forestière



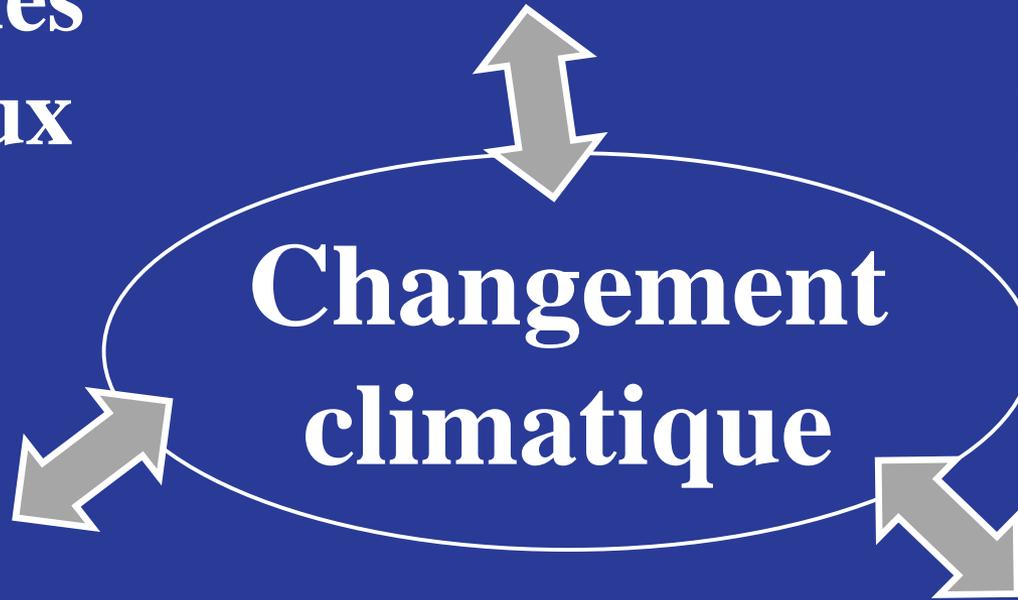
**Productivité**

**Reproduction**

**Santé des  
végétaux**

**Phénologie**

**Gestion**



**Changement  
climatique**

**Incendies**

**Bilan**

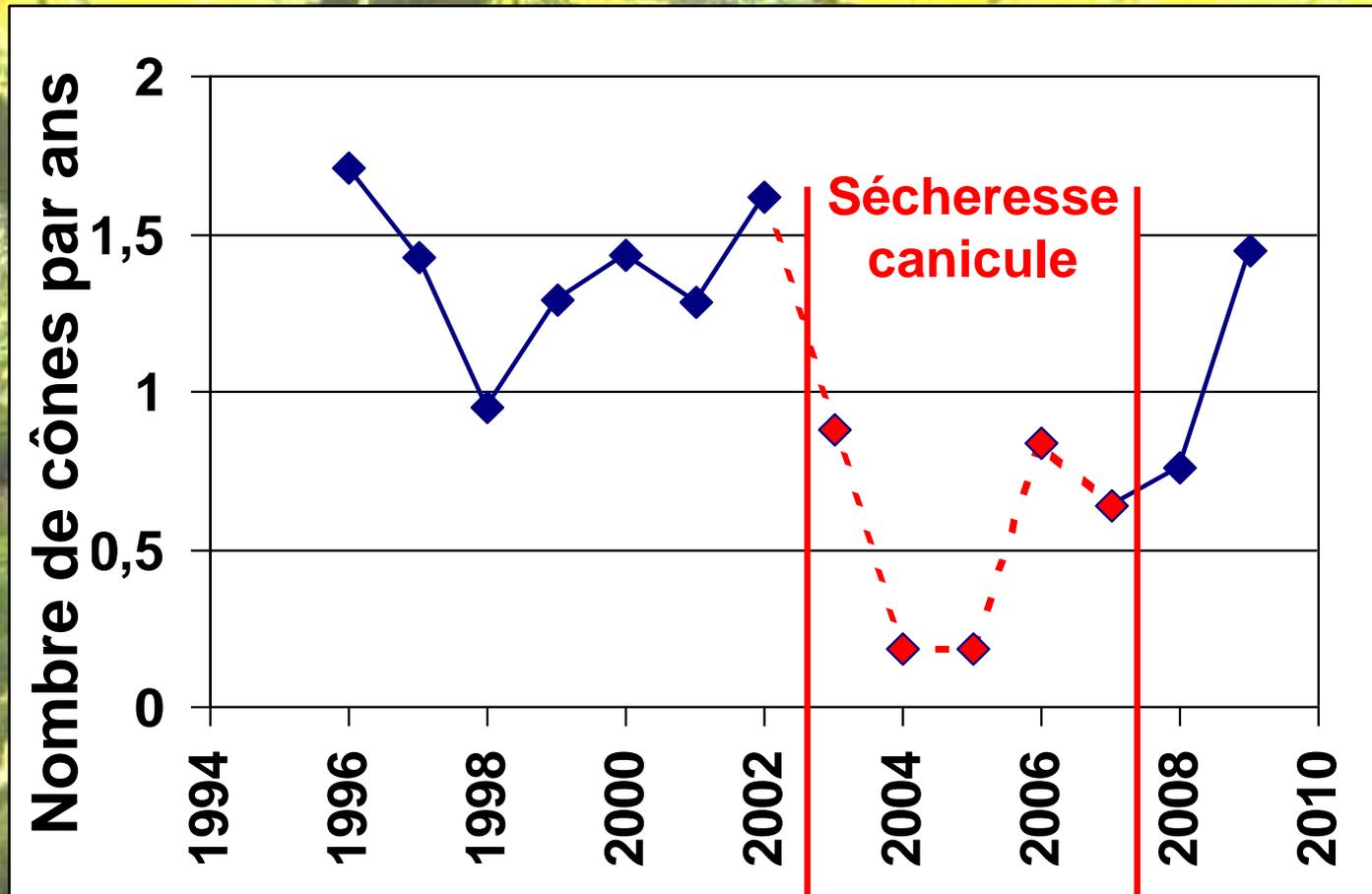
**Biodiversité**

**Carbone**

**Fertilité  
des sols**

# A long terme, productivité = reproduction

## Pin d'Alep



# *Changement climatique et forêt*

- **Beaucoup d'espèces touchées**

*... résineux, feuillus, arbustes, herbacées*

- **Disparition des pollinisateurs**

*... cause peu visible, effet drastique sur reproduction*

- **Avortement massif des cônes** (>50% en 2016)

*... et cônes survivants 40 à 60% plus petits*

- **Glands trop petits et pas arrivés à maturité**

*... floraison d'automne sans espoir de reproduction*



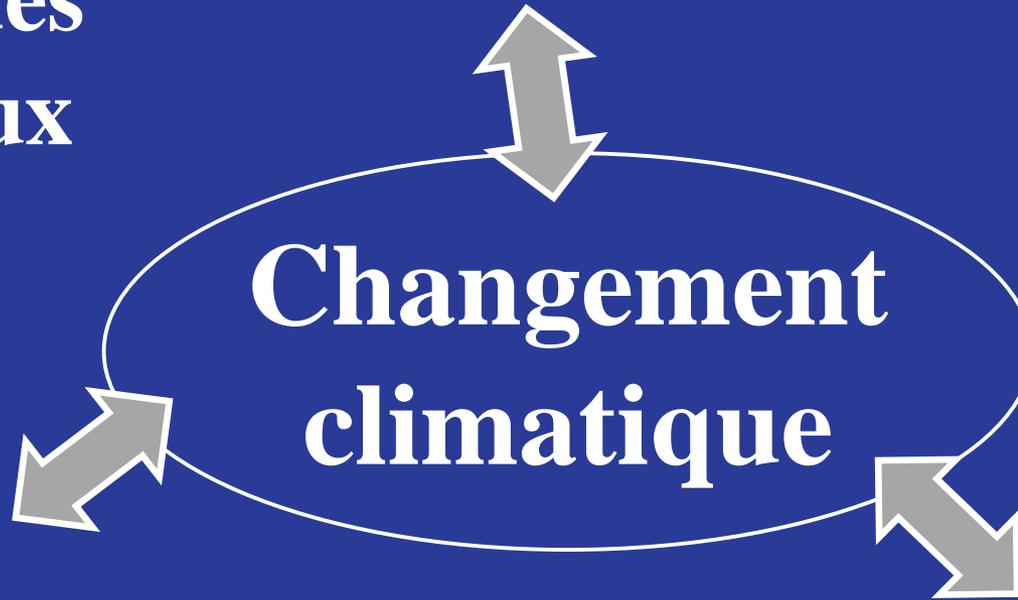
**Productivité**

**Reproduction**

**Santé des  
végétaux**

**Phénologie**

**Gestion**



**Changement  
climatique**

**Incendies**

**Bilan**

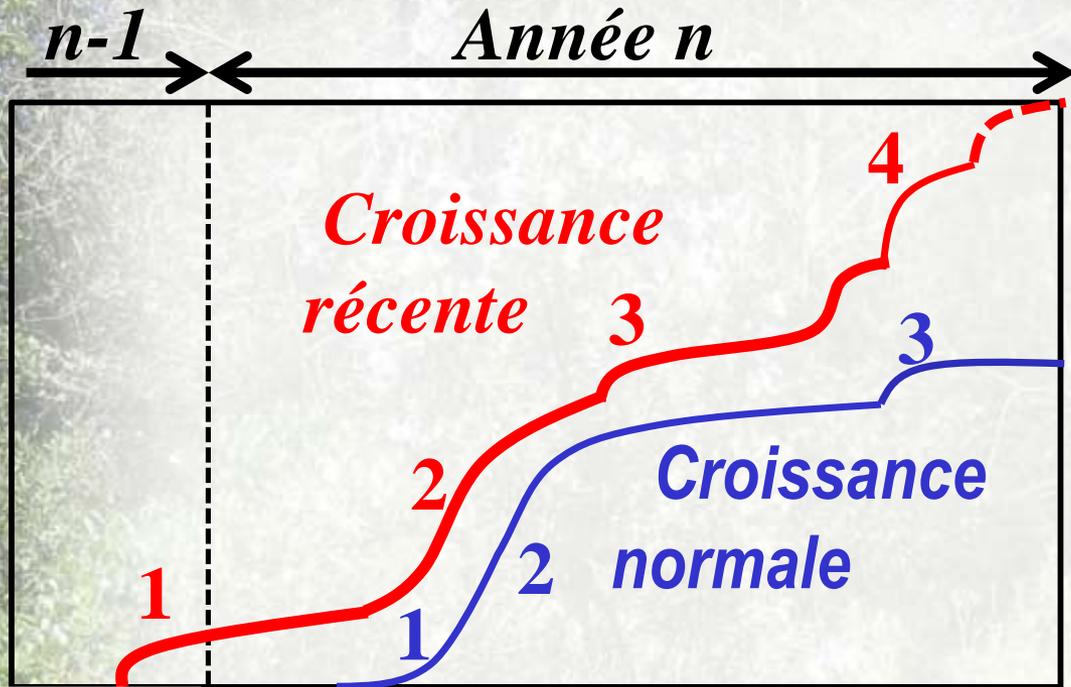
**Biodiversité**

**Carbone**

**Fertilité  
des sols**

# Phénologie: décalages, déphasages

Croissance cumulée



- fleurs en hiver
- Croissance continue  
...même en hiver
- Arrêt prolongé  
parfois en été  
... retard en automne

Cônes mâles ← Récent  
Normal

Nov Jan Mar Mai Jul Sep Nov

# Phénologie: décalages, déphasages

12 décembre 2011

Pin pignon



# Phénologie

Chêne kermes  
*décembre 2016*  
*floraison décalée*



# Phénologie

*Début février 2012*  
*fleurs mâles*  
*pin d'Alep*



# Pathologies « phénologiques »



- **Automnes chauds**  
*et humides*
- **tissus non-durcis**  
*et en croissance*
- **dégâts de gel**  
*fragilisant les tissus*
- => **champignons**  
*... épidémiques*

*Houppiers très clairs*  
*=> croissance réduite*





**Productivité**

**Reproduction**

**Santé des  
végétaux**

**Phénologie**

**Gestion**

**Changement  
climatique**

**Incendies**

**Bilan**

**Biodiversité**

**Carbone**

**Fertilité  
des sols**



1 - un climat presque partout plus chaud  
et parfois plus sec

*en particulier en  
méditerranée*

donc des feux  
plus fréquents,  
plus violents,  
plus destructeurs

*Risque de  
mégafeux*

An aerial photograph of a forest fire. The fire is intense, with bright orange and yellow flames consuming the trees. A large, irregularly shaped area in the center of the fire is completely free of flames, appearing as a dark, charred zone. This area is surrounded by the active fire, which is spreading outwards. The background shows more of the forest, some of which is still unburned but appears dark and smoky.

**Des zones qui ne brûlaient jamais**

**... qui s'embrasent à cause du combustible mort très inflammable**



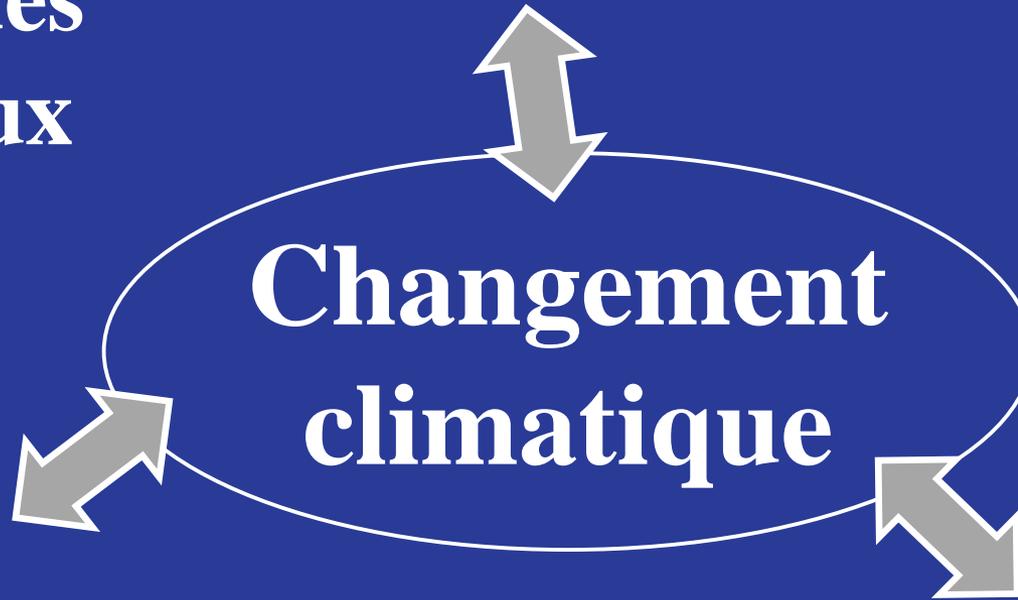
**Productivité**

**Reproduction**

**Santé des  
végétaux**

**Phénologie**

**Gestion**



**Changement  
climatique**

**Incendies**

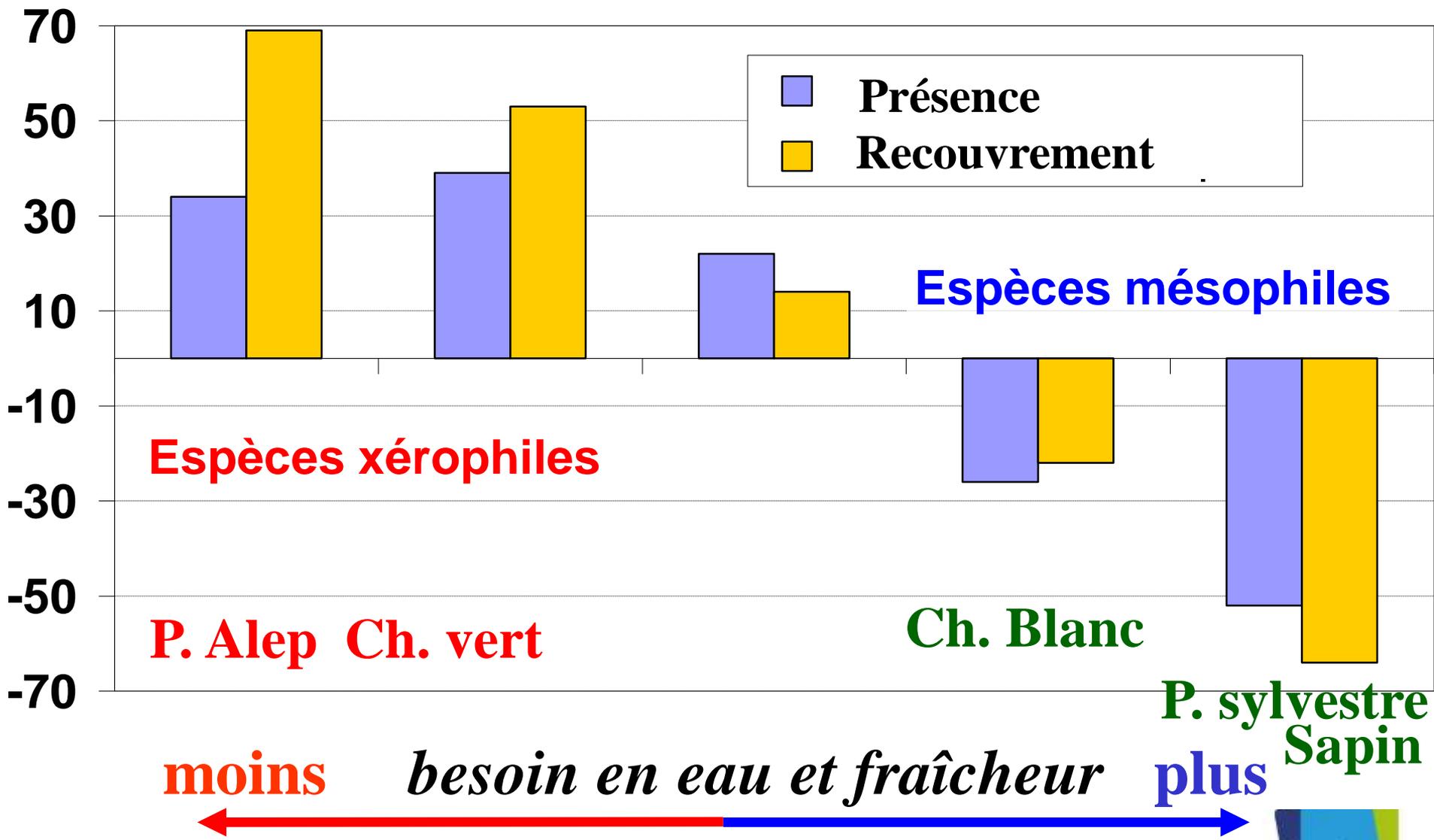
**Bilan**

**Biodiversité**

**Carbone**

**Fertilité  
des sols**

# Variations de la flore 1997-2008



# Changement climatique et forêt

- **Aridification → perte de biodiversité**

*... flore mais aussi faune sensible à la sécheresse*

- **Productivité faible → feuilles/bois/MO du sol**

*... toute les chaînes alimentaires impactées ...*

- **Reproduction réduite (fleurs/graines)**

*... impacts pollinisateurs/miel/granivores*

- **Cercles vicieux / rétroactions négatives**

*... baisse pollinisateurs ⇔ reproduction*

*activités biologiques sol → fertilité → productivité*

*stock MO du sol ←*



# *Changement climatique et forêt*



A photograph of a forest floor. The ground is covered with numerous large, rounded, green moss patches interspersed with brown and yellow fallen leaves. On the left side, a large, dark tree trunk is visible, extending upwards. The background shows a dense forest with sunlight filtering through the trees, creating a bright, dappled light effect. A semi-transparent yellow rectangular box is overlaid on the right side of the image, containing text.

*L'essentiel est invisible  
pour les yeux (St Exupéry)*

*Application à la biodiversité  
des sols forestiers*

# Une diversité insoupçonnée ...

Dans 1g d'humus forestier il peut y avoir :



**10 millions à 1 milliard de bactéries**

*... jusqu'à 4000 espèces (contre ~5000 mammifères sur terre)*

**dix mille à 1 millions de champignons**

*... jusqu'à 2000 espèces et 200 m de mycélium*

**dix mille à 1 million de protozoaires et algues**

*... pour plusieurs dizaines d'espèces*

**100 à 1000 invertébrés**

*... pour des dizaines d'espèces*





# Une diversité insoupçonnée ...

Dans 1 m<sup>2</sup> d'humus forestier il peut y avoir:

> 1000 espèces d'invertébrés

... pour moins de 1000 sp de vertébrés en Europe

Acariens (400 à 500 espèces)

Nématodes (90 sp.), collenboles (70 sp.) ...

Protozoaires, enchytréides, myriapodes, vers (> 100)

+ des dizaines d'sp de fourmis, termites, larves d'insectes ...



# Une diversité essentielle ...

la qualité du sol en dépend : porosité



La faune crée la macroporosité (ex. vers de terre)

**100**

*... qui permet à l'eau de s'infiltrer*



La mésofaune decuple le réseau (ex. Enchytréides)

*... redistribue l'eau dans tout le sol*

**10000**

Microfaunes / flores → microporosité (ex. Nématodes)

**1 million**

*... permet de stocker l'eau dans le sol*



**1 million/m<sup>2</sup>**



# Une diversité essentielle ...

la qualité du sol en dépend : agrégats



La faune crée les macroagrégats  
*... résistance à l'érosion*

**1-5mm**

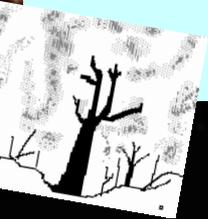
La mésofaune multiplie les surfaces  
*... concentrateurs de matière organique*

**0.1mm**

Microfaunes / flores → microagrégats

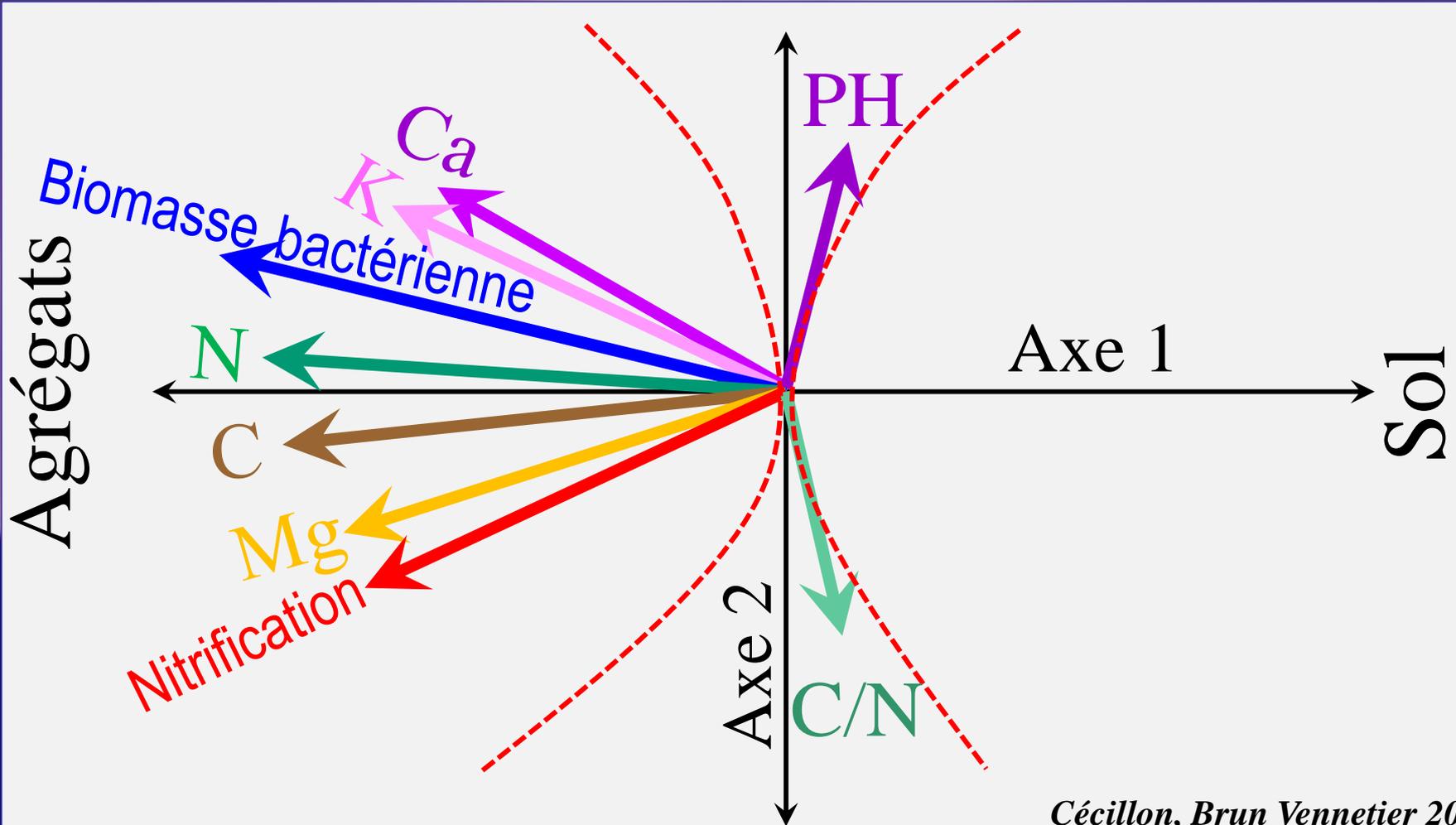
**0.01mm**

*... stabilité structurelle, réacteurs biochimiques*



# Agrégats biologiques = réacteurs biochimiques

Concentration activités et richesse minérale



# Une diversité essentielle ...

la qualité du sol en depend : activités



Diversité fonctionnelle des cycles biogéophysiques  
*... éléments nutritifs, oligo-éléments, carbone ...*

Diversité des recycleurs de matière organique  
*... continuité chaîne de fragmentation / décomposition*

Diversité des chaînes alimentaires  
*... variété des proies et prédateurs pour bonnes régulations*



2 menaces qui  
augmentent



*Les incendies  
répétés*

2 menaces qui  
augmentent

*Les sécheresses  
répétées*

**2 menaces qui augmentent ...  
mais surtout qui se conjuguent**

*Impact d'une sécheresse plus fort après des feux répétés*

*L'impact feu plus fort après ou avant des sécheresses répétées*

*Interaction observée sur toutes composantes de l'écosystème*

**Le changement climatique accélère :**  
\* sécheresses plus fréquentes, plus dures  
\* feux plus fréquents et plus puissants ...





**Productivité**

**Reproduction**

**Santé des  
végétaux**

**Phénologie**

**Gestion**

**Changement  
climatique**

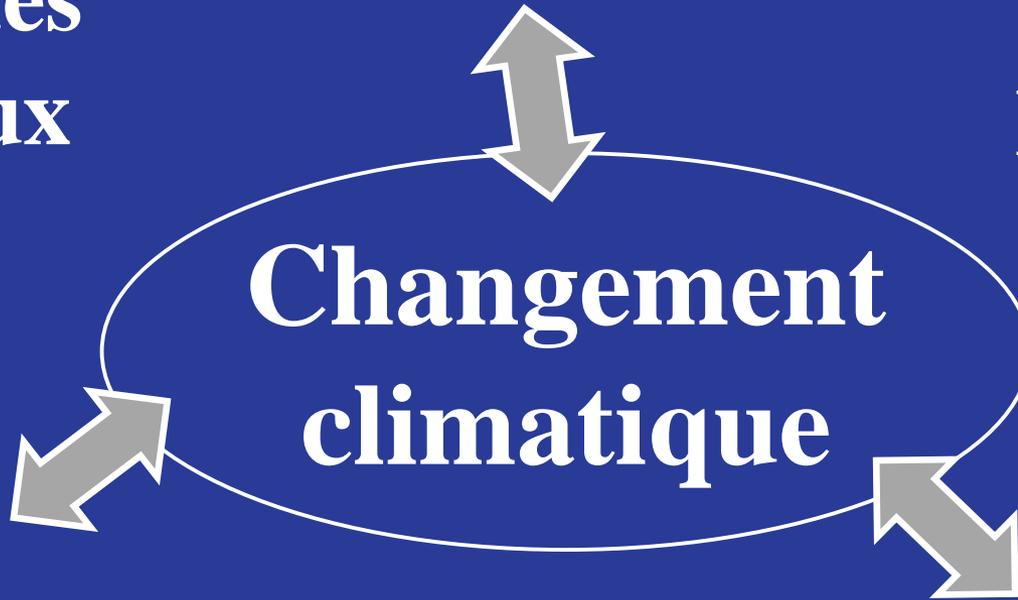
**Incendies**

**Bilan**

**Carbone**

**Biodiversité**

**Fertilité  
des sols**



# Une diversité menacée ...

*dépend de la richesse en matière organique*



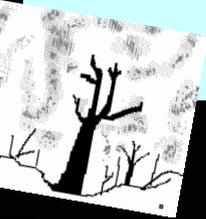
La matière organique est le carburant du sol !  
*... la diversité et l'activité de la vie du sol en dépend*

Réduction forte par les feux

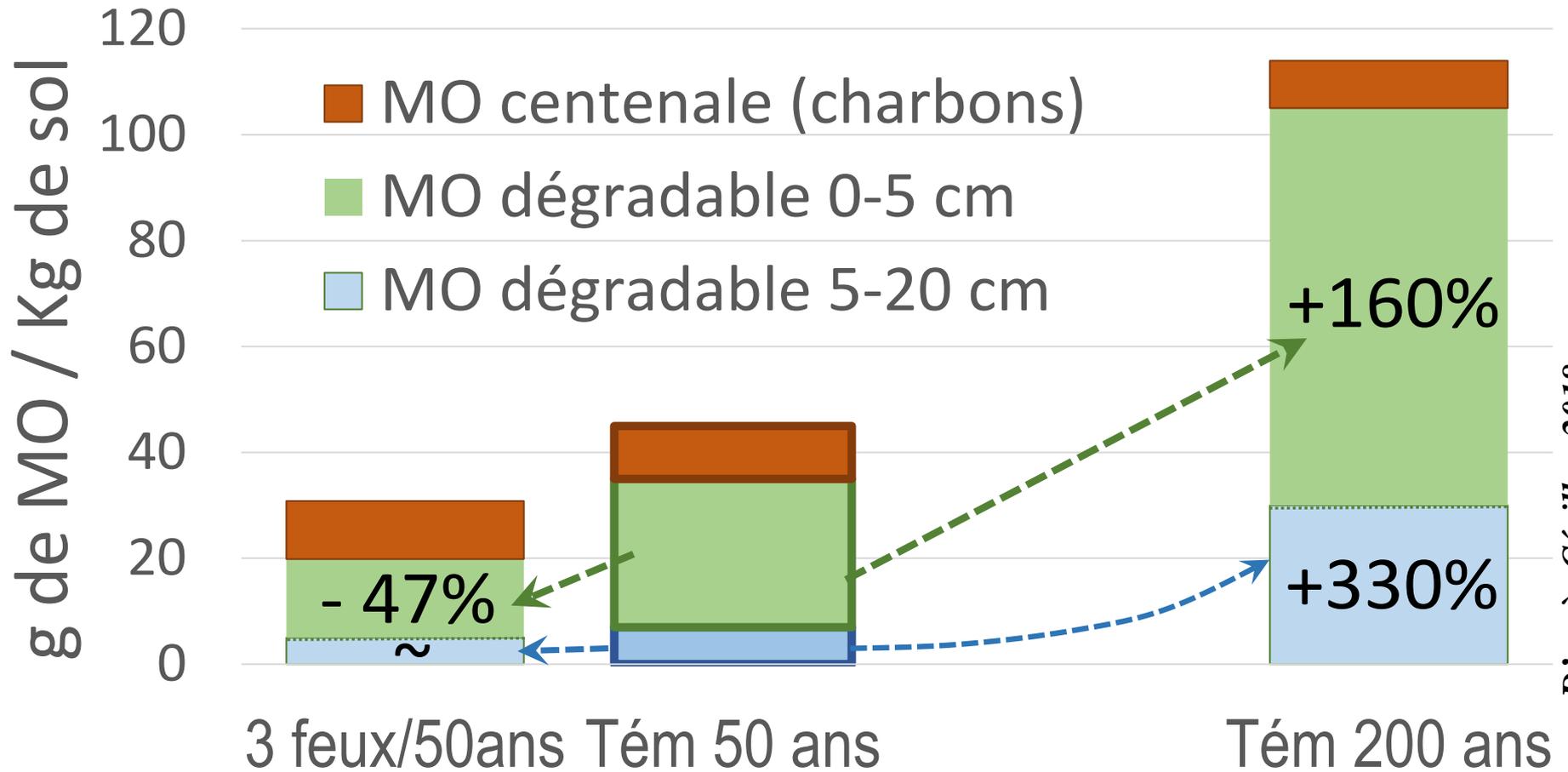
*... combustion directe, érosion après feu, travaux*

Reconstitution lente à cause des sécheresses

*... productivité faible, ralentissement des cycles*



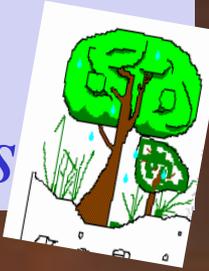
# Une diversité menacée ... par manque de MO



Part stable de MO faible et fixe sur 200 ans (charbons)  
La résilience se fait avec MO dégradable → vulnérable

# Protégeons les sols de nos forêts...

*Sans sols riches et actifs pas de belles forêts*



Abondance et diversité biologiques essentielles  
... *assurent résistance et résilience* à long terme

Stock de carbone à préserver ou reconstituer  
... *soutient l'activité biologique*

Lutter contre l'érosion

... *lors des travaux, après feu, sur pentes fortes, ...*

Faisons découvrir et connaître cette richesse  
... *professionnels, grand public, élus, ...*



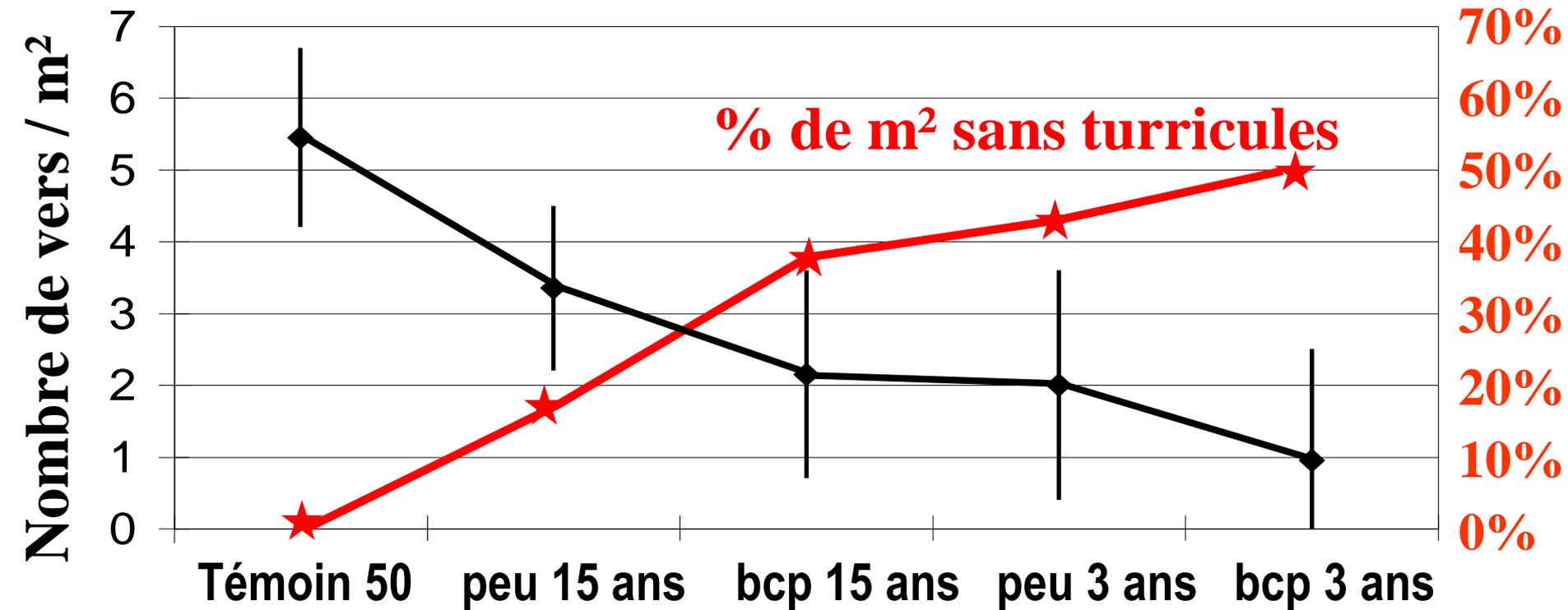
# Fertilité activité biologique / biodiversité des sols



**Vie du sol ralentie / appauvrie / MO**  
**Macro et micro porosité – agrégats**  
**moins d'Infiltration/rétention de l'eau**  
**moins de résistance à l'érosion**  
**Moins d'activités microbiologiques**  
**Cycle de l'azote très affecté**

Vers de terre ...

et incendies



Gradient de feu

4 - 9

5 - 9

4

3 - 4

1 - 2

Nombre d'espèces



**...les écosystèmes forestiers pourraient  
se dégrader beaucoup plus vite qu'attendu ...**

**si on tient compte des effets amplifiés et  
conjugués des feux et des sécheresses répétés**



**Productivité**

**Reproduction**

**Santé des  
végétaux**

**Phénologie**

**Gestion**

**Changement  
climatique**

**Incendies**

**Bilan**

**Carbone**

**Biodiversité**

**Fertilité  
des sols**

# Changement climatique et forêt

- **Baisse de la fixation aérienne / souterraine**  
*... productivité forêt réduite => sol appauvri*
- **Augmentation des sources de carbone**  
*... incendies, érosion, défoliations*
- **Moins de stockage dans le bois exploité**  
*... - de bois d'oeuvre, + de bois énergie-industrie*
- **Rôle réduit de la forêt dans l'atténuation**  
*... et même source de CO<sub>2</sub> si incendie<sup>2</sup>*



**Productivité**

**Reproduction**

**Santé des  
végétaux**

**Phénologie**

**Gestion**

**Changement  
climatique**

**Incendies**

**Bilan**

**Biodiversité**

**Carbone**

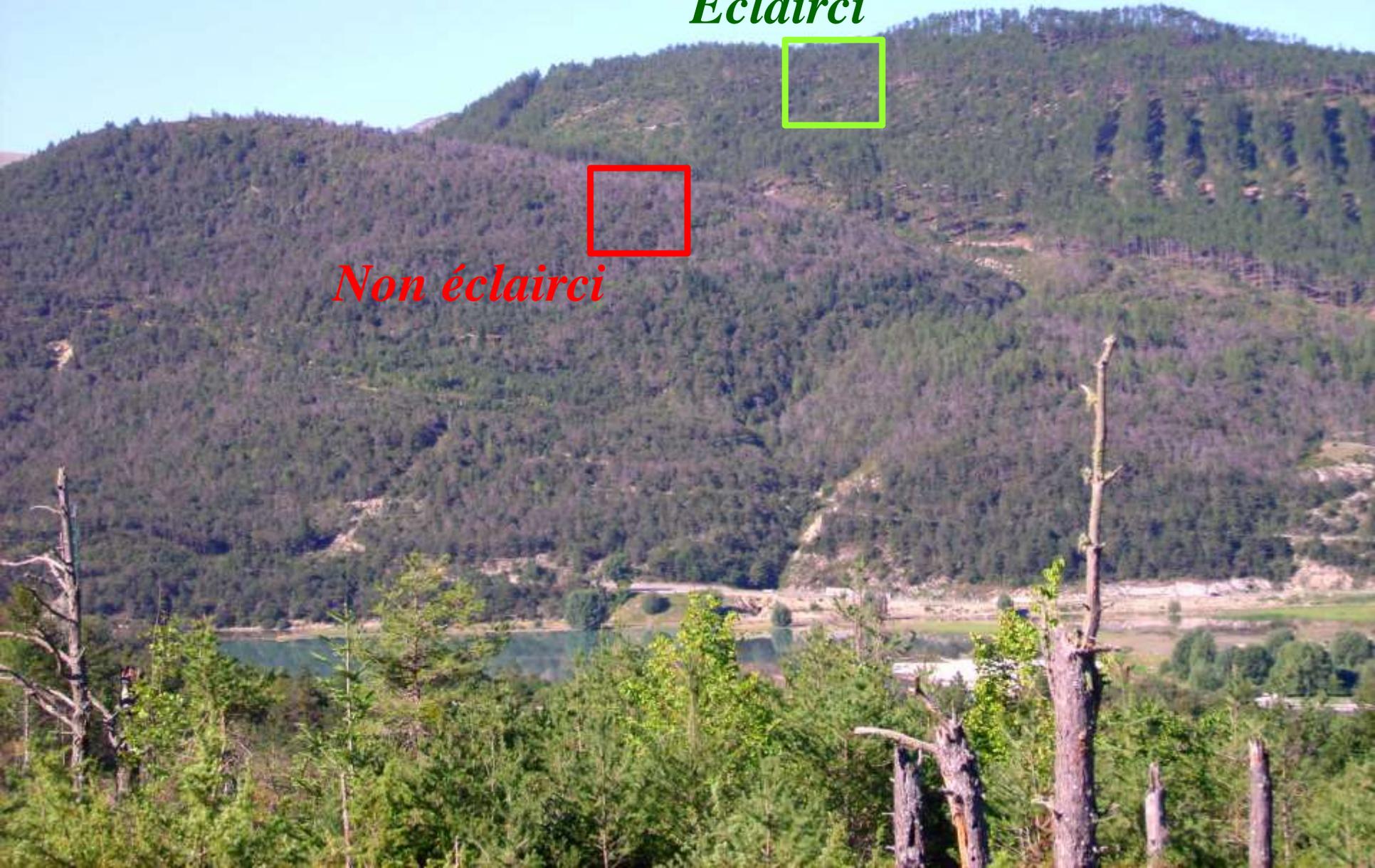
**Fertilité  
des sols**

**2006** (*Verdon*)

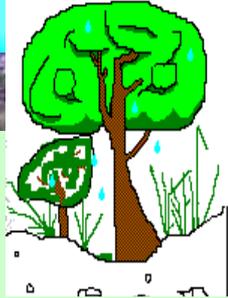
*Eclairci*



*Non éclairci*



# Atténuer et ralentir les effets du CC

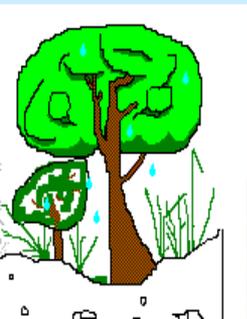


- **Substituer** dans les forêts « perdues »  
*... où il y a peu d'espoir*

- **Eclaircir** peuplements denses, sous-bois  
*... dans toutes les classes d'âge*

- **Rajeunir** les peuplements âgés  
*... régénération,*

- **Diversifier** les peuplements purs  
*... naturellement ou plantation*



# BIZARRO

By Dan Piraro

*Bulletin météo: les prévisions à long terme font état d'un fort réchauffement climatique, de feux catastrophiques et de la fin calamiteuse de notre société. Mais la semaine prochaine s'annonce douce et ensoleillée. Profitez en bien.*

*À la prochaine*

