

# Risques de mortalité et potentialités d'adaptation des forêts aux changements climatiques

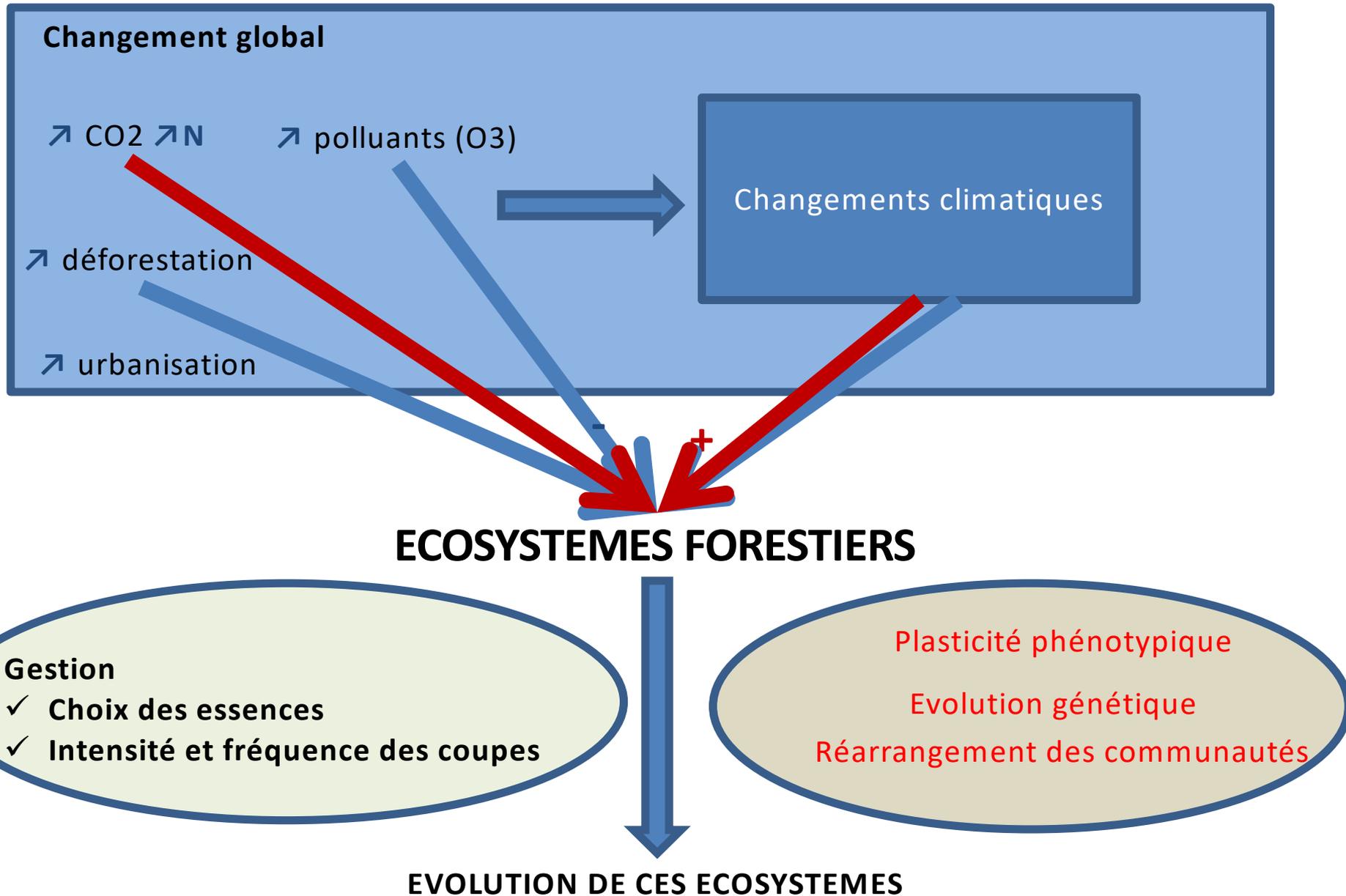




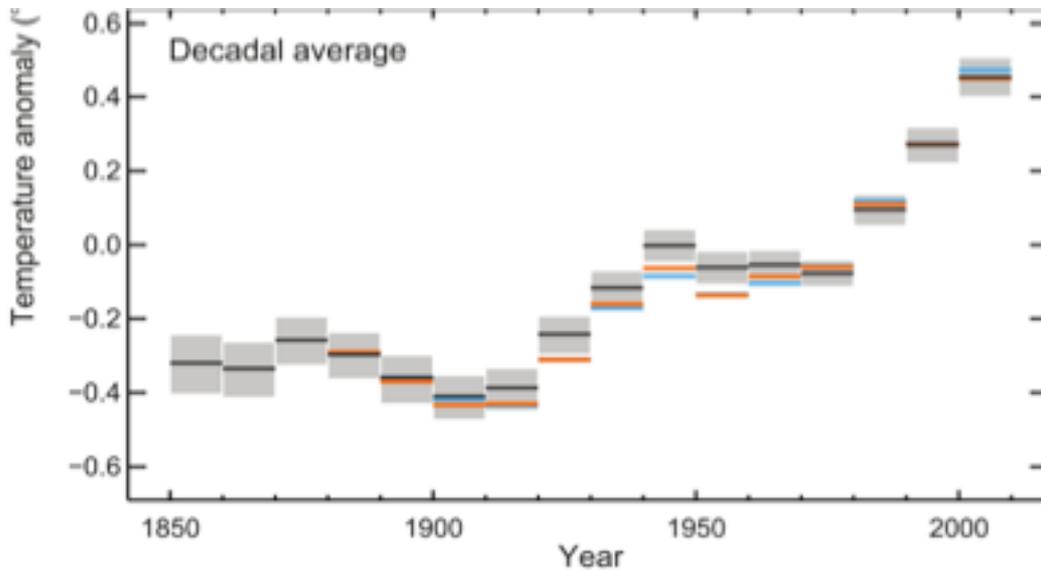
# Plan

- 1. Impact des changements globaux sur les forêts**
- 2. Risques pour le fonctionnement des forêts**
- 3. Mécanismes naturels d'adaptation**
- 4. Mesures adaptatives de gestion envisagées**

# Impact des changements globaux sur les forêts



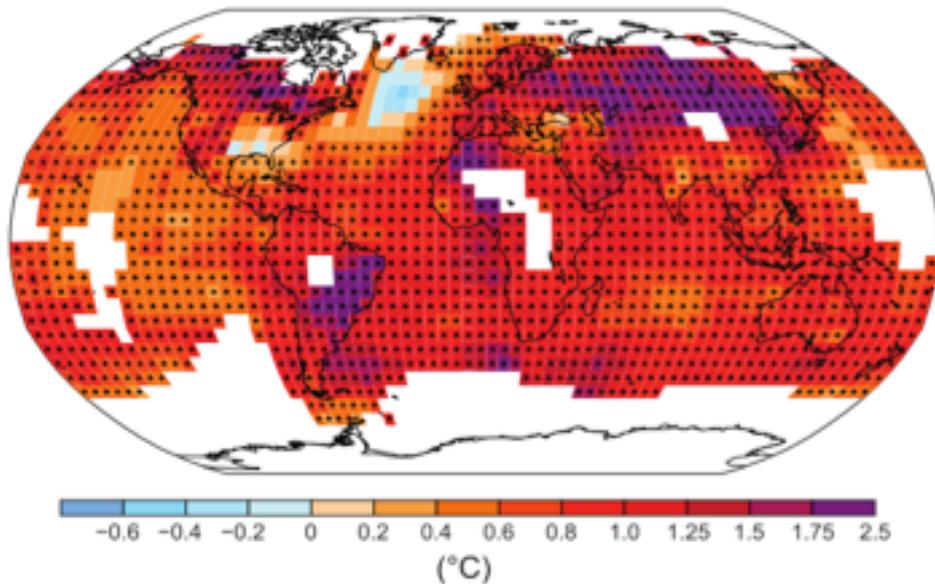
# Impact des changements globaux sur les forêts



## CLIMAT PASSE

- +0.85°C depuis 1885
- ↘ glacier
- ↗ mer de 2mm/an depuis 1970
- ↗ précipitations dans HN
- ↗ sécheresse certaines zones
- ↗ cyclones certaines zones

(b) Observed change in surface temperature 1901–2012

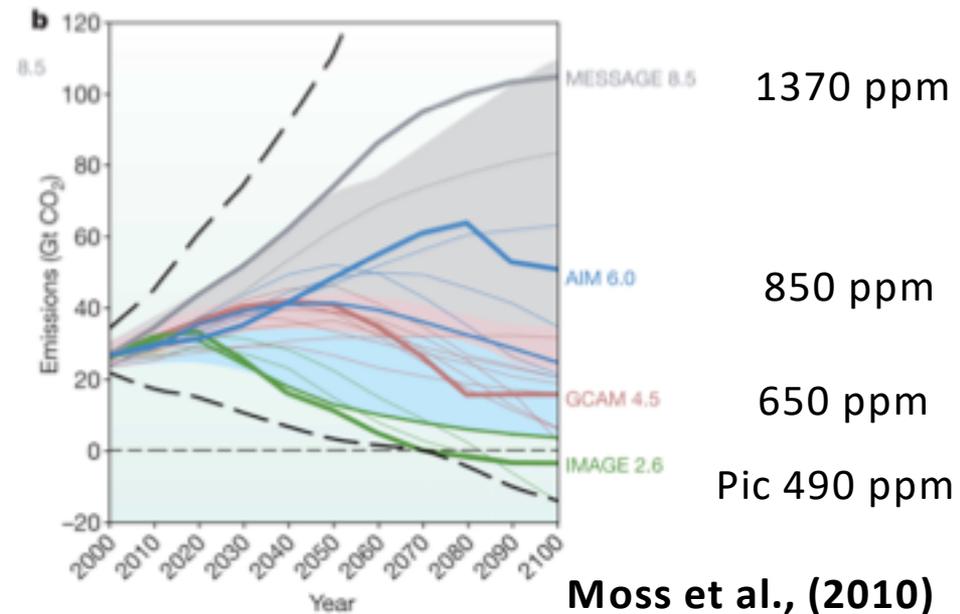


1. Variations non linéaires dans le temps
2. Hétérogénéité forte dans l'espace

# Impact des changements globaux sur les forêts

## CLIMAT FUTUR

le scénario RCP2.6 correspond à un forçage de  $+2,6 \text{ W/m}^2$ , le scénario RCP4.5 à  $+4,5 \text{ W/m}^2$ , et de même pour les scénarios RCP6 et RCP8.5



(c)

### Projected Temperature Change



Difference from  
1986-2005 mean (°C)

Solid Color

Very strong  
agreement

White Dots

Strong  
agreement

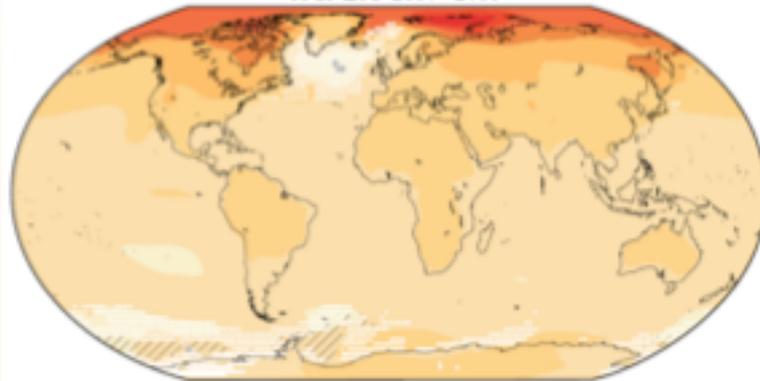
Gray

Divergent  
changes

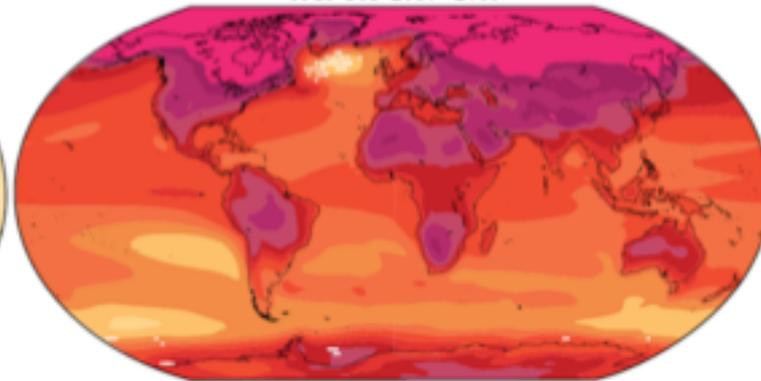
Diagonal Lines

Little or  
no change

RCP2.6 2081 - 2100

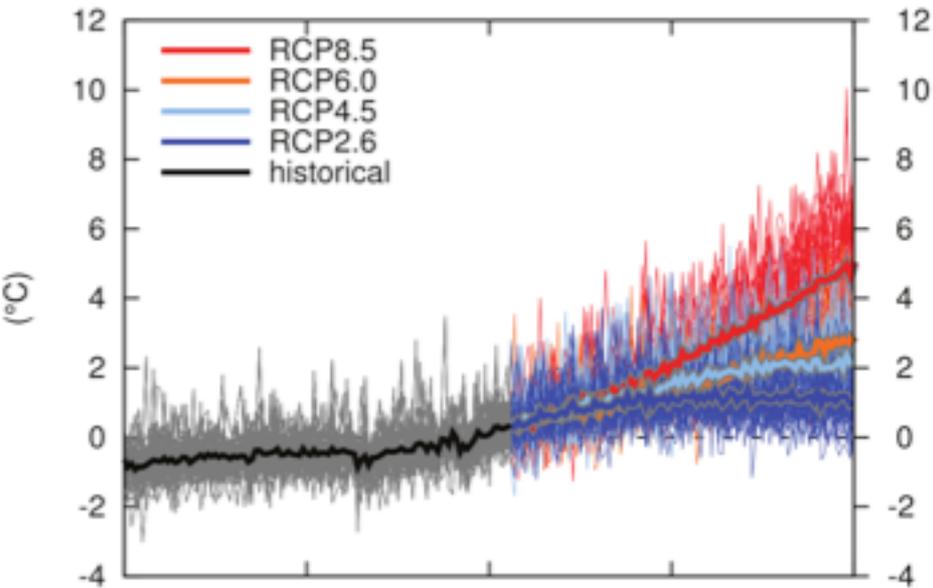


RCP8.5 2081 - 2100



# Impact des changements globaux sur les forêts

Temperature change Amazon December-February



≈ Précipitations stable en Amazonie

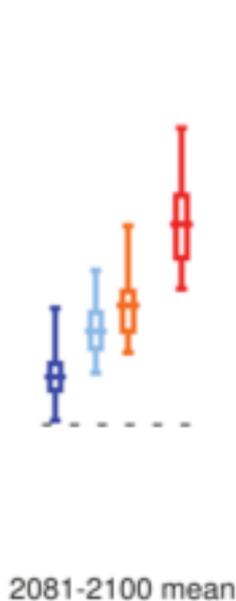
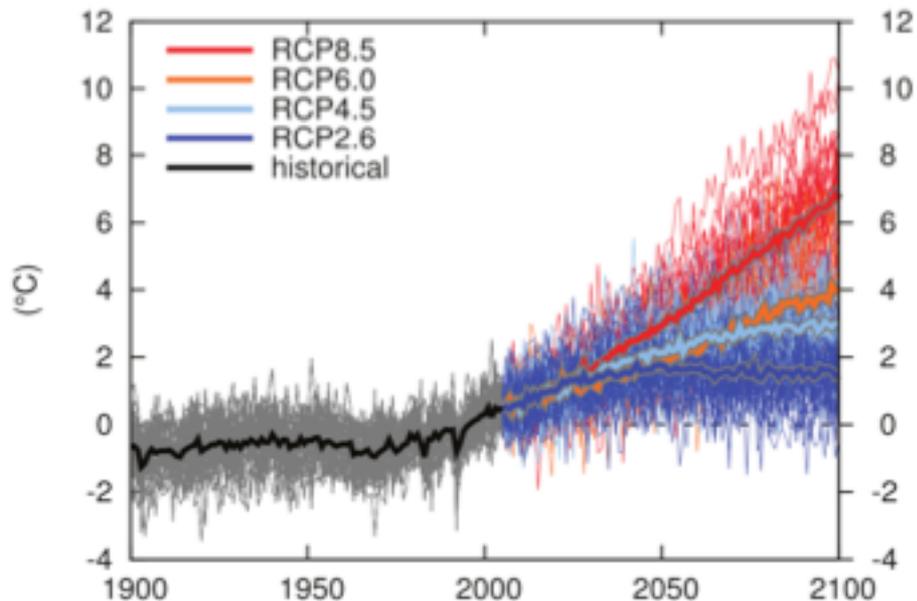
↘ Précipitations estivales Europe du Nord

≈ Précipitations hivernale Europe du Nord

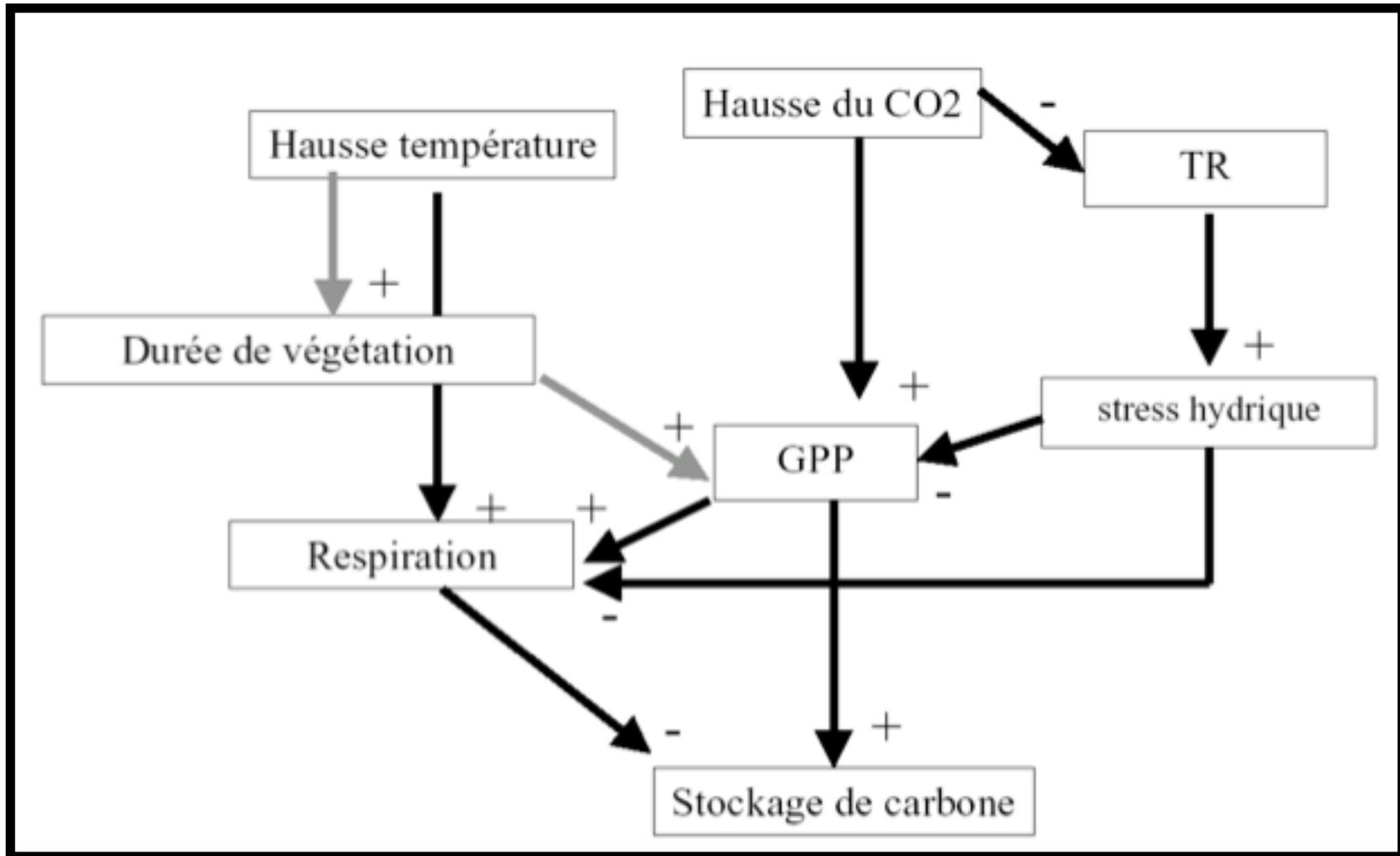
↘ Précipitations estivales Europe du Sud

↘ Précipitations hivernales Europe du Sud

Temperature change South Europe/Mediterranean June-August



# Impact des changements globaux sur les forêts



GPP= Gross Primary production =  $\Sigma$  Photosynthese= flux de carbone entrant  
TR= Transpiration = flux d'eau sortant

# Impact des changements globaux sur les forêts

## Comment estimer l'impact des changements climatiques sur les forêts?

1. **Séries temporelles: le passé pour comprendre le présent et anticiper l'avenir**
2. **Les variations spatiales mimant le changement climatique: gradient en latitude et altitude**
3. **Les mesures des processus individuels**
4. **La modélisation**

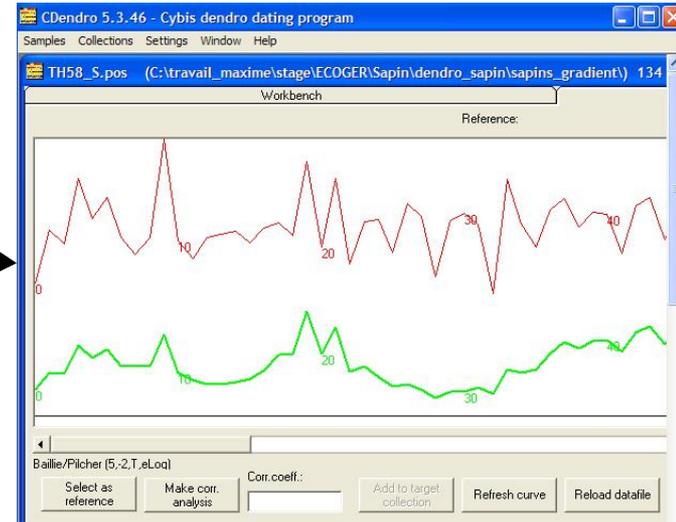
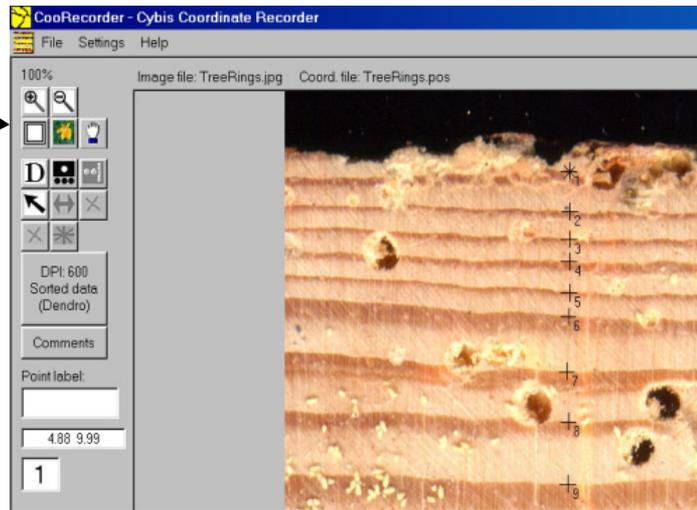
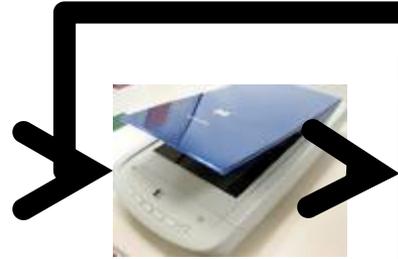
Types de mesures	Types de modèle
Largeurs de cernes	Modèles « arbre centré » simulant les flux
Phénologie	Modèles « arbre moyen » simulant les flux
Etat sanitaire	Modèles globaux simulant les flux
Croissance radiale	Modèles de niche
Composition en espèce	Modèles de dynamique forestière
Flux de carbone	
Flux d'eau	

# Impact des changements globaux sur les forêts

## Dendrochronologie



CDendro 5.3 & CooRecorder 5.3  
Larsson L.A. & al. 2006.  
Cybis Elektronik & Data AB  
Sweden



**Interdatation**



$$Ic = 16 * X_t / (X_{t-3} + 2 * X_{t-2} + 3 * X_{t-1} + 4 * X_t + 3 * X_{t+1} + 2 * X_{t+2} + X_{t+3})$$

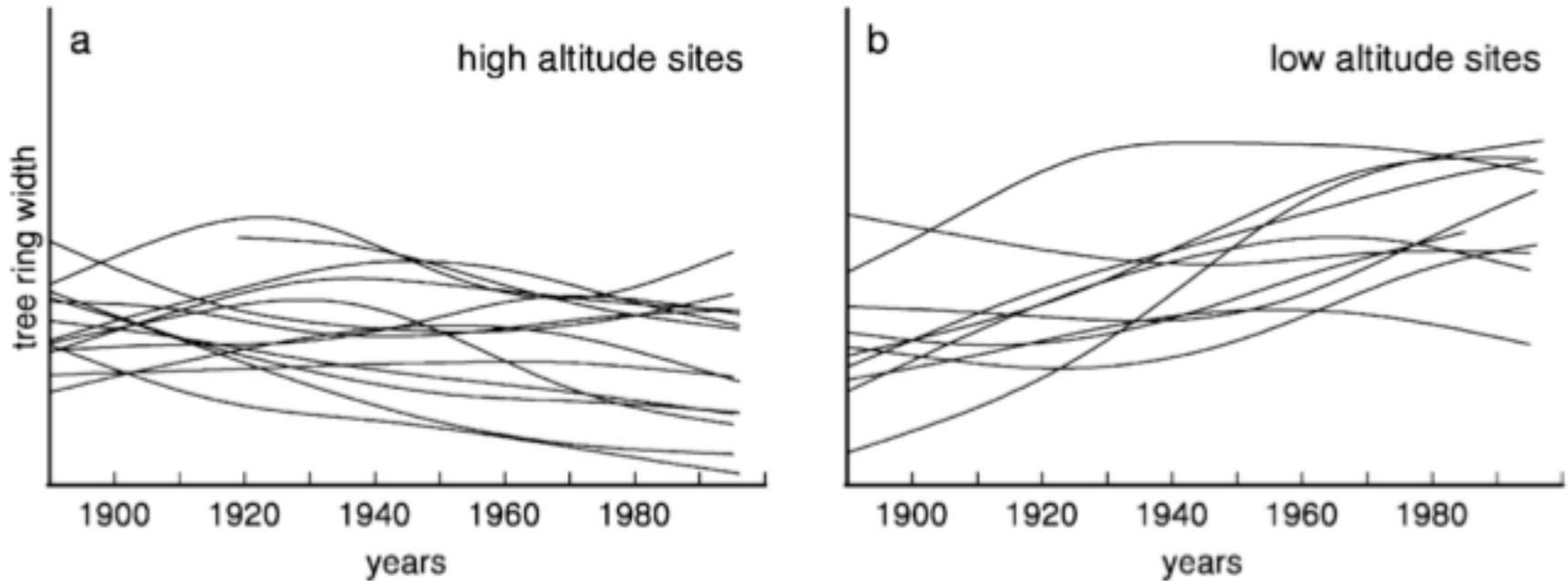
Desplanque 1997

## Analyse dendroclimatique

Calcul de corrélations entre IC et climat

# Impact des changements globaux sur les forêts: les cernes des arbres

*C. Dittmar et al. / Forest Ecology and Management 173 (2003) 63–78*



## Tendances en Europe

Zone de Montagne: ↗ largeur de cernes (sauf dans les alpes internes)

Zone méditerranéenne: ↘ largeur de cernes

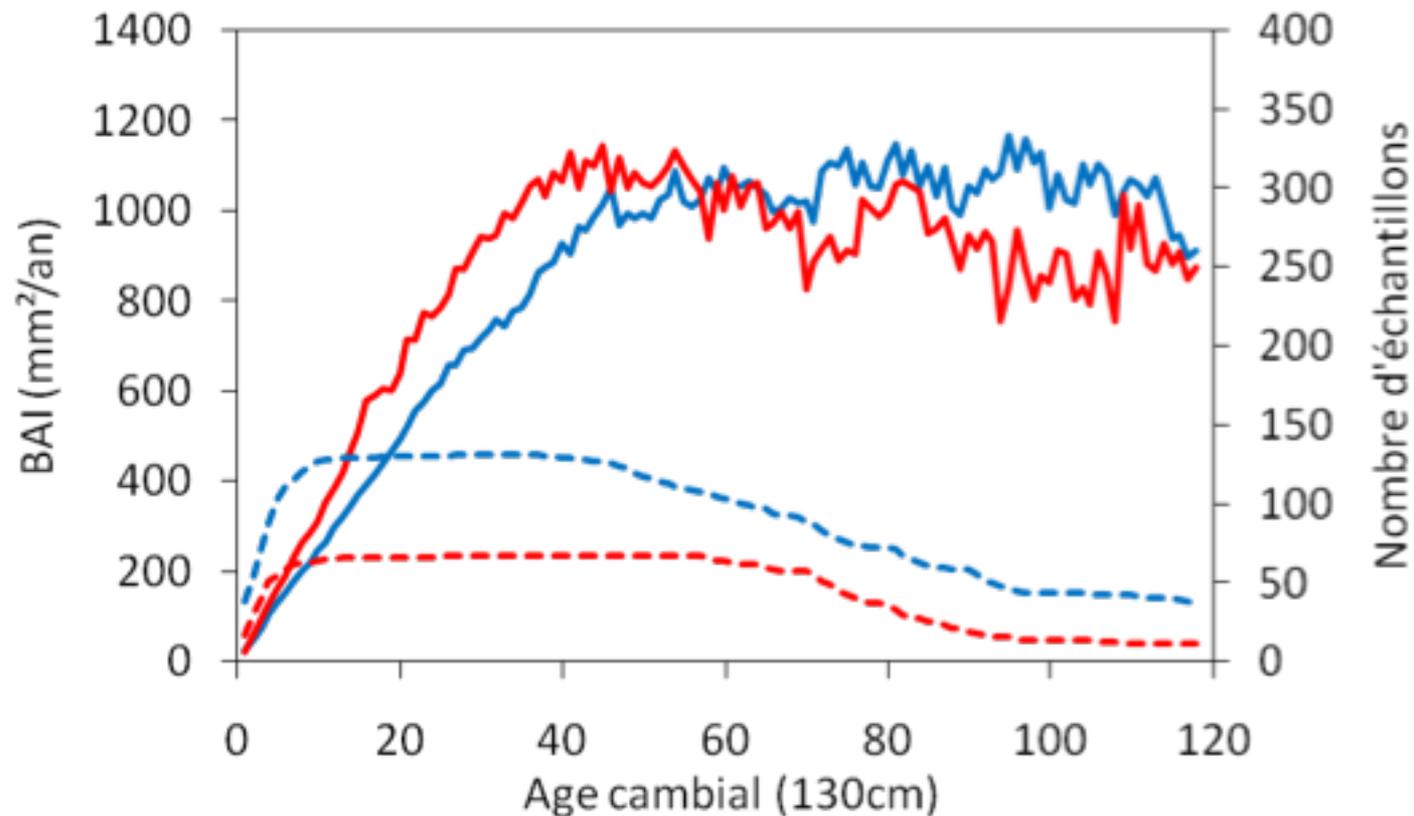
Zone tempérée: ↗ largeur de cernes

Zone boréale: ↗ largeur de cernes

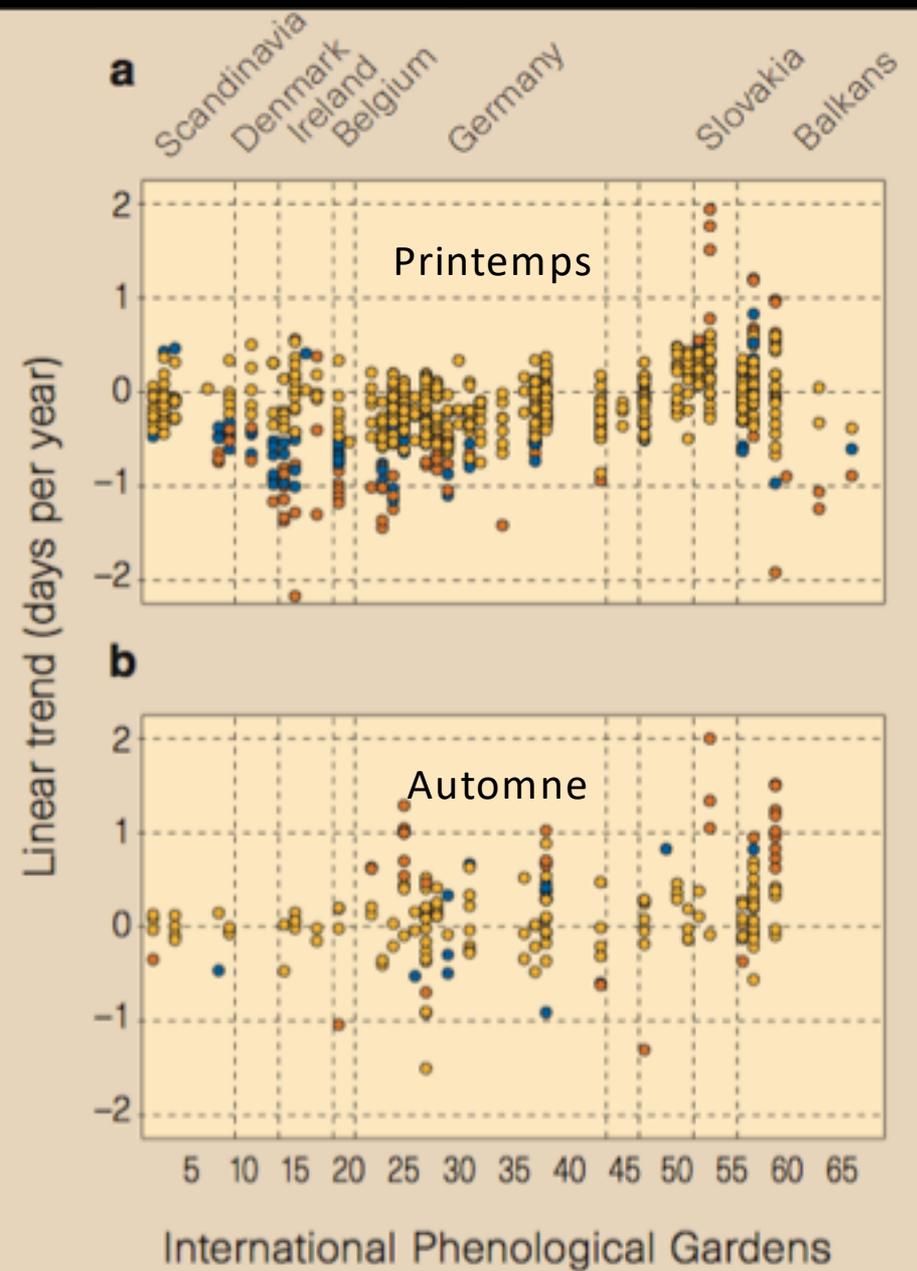
# Impact des changements globaux sur les forêts: les cernes des arbres

Arbres morts

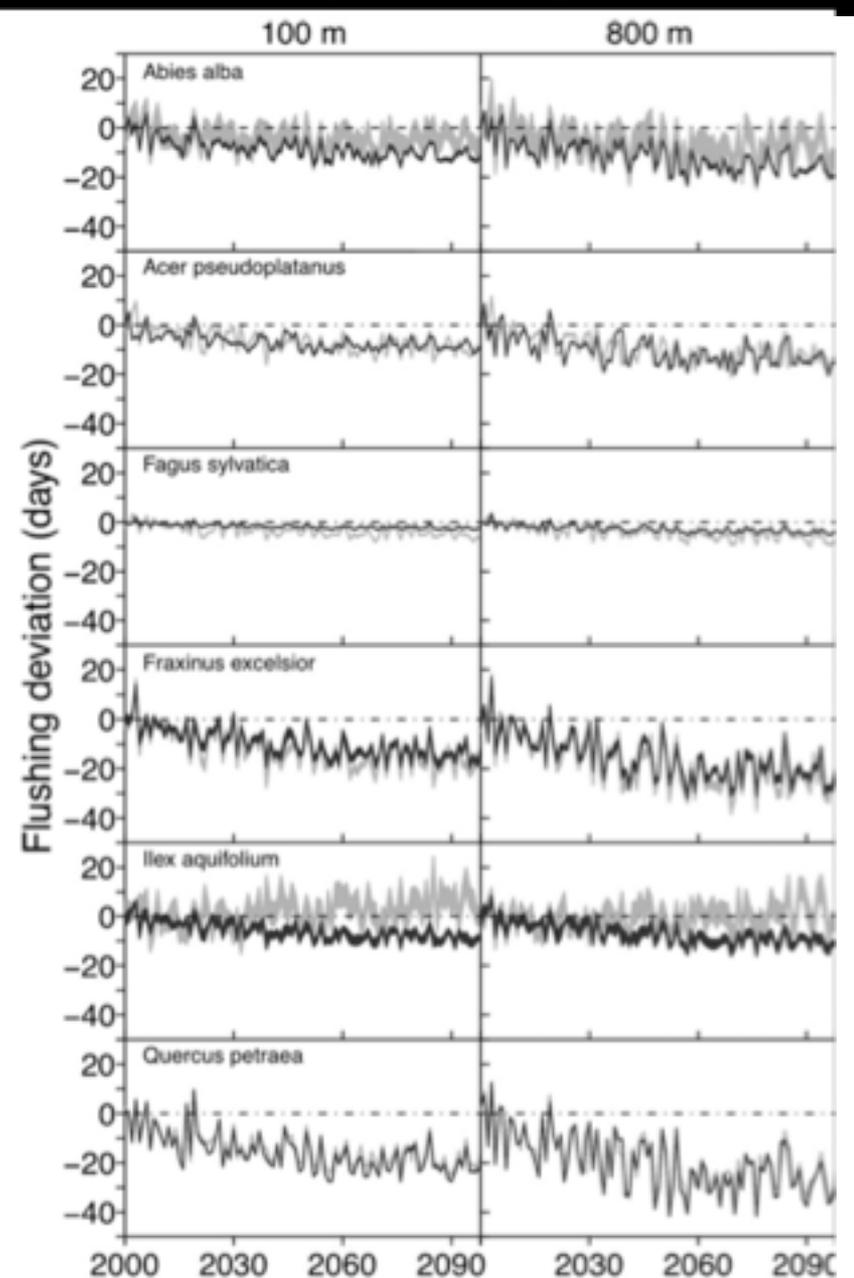
Arbres en bonne santé



# Impact des changements globaux sur les forêts: la phénologie

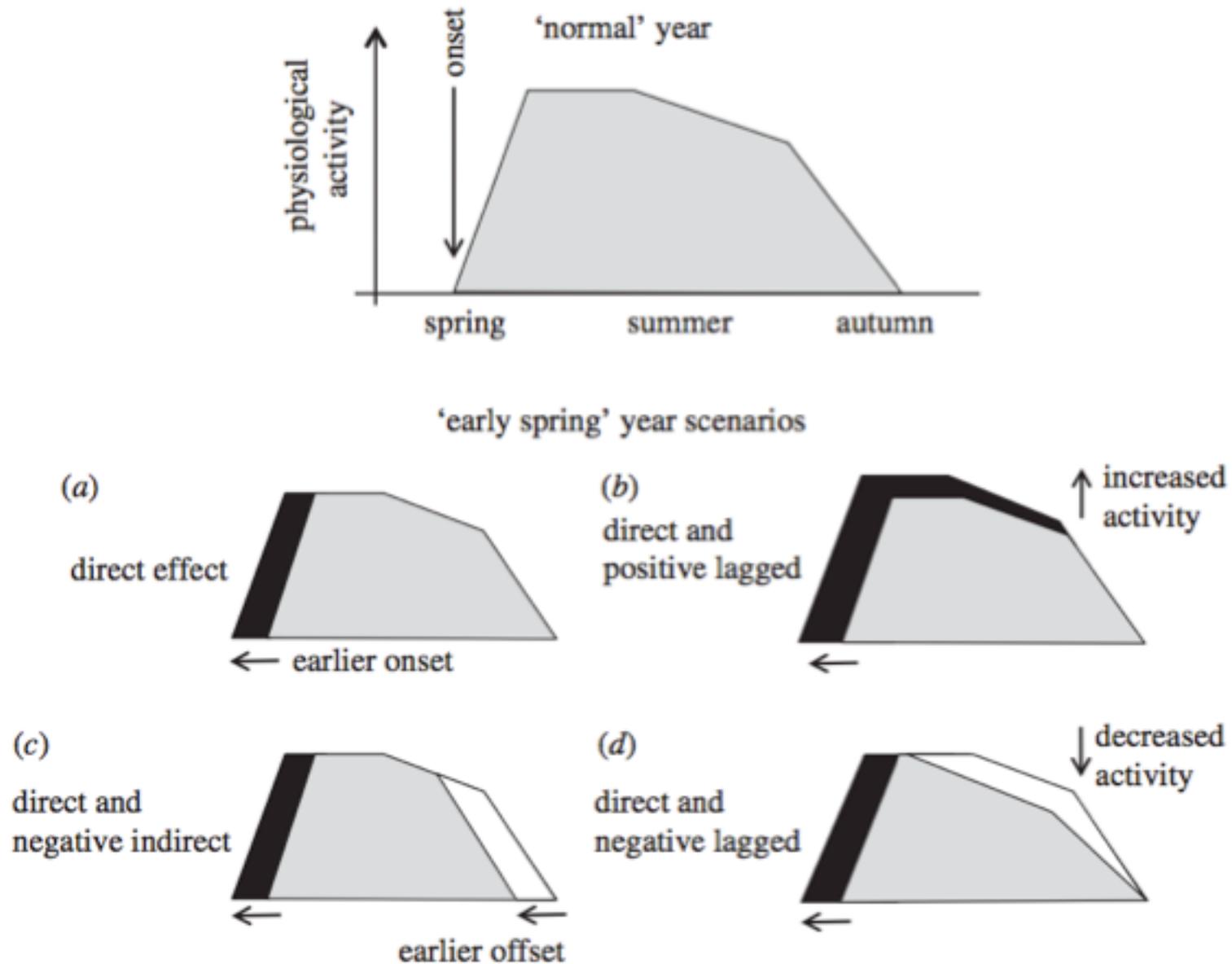


Menzel et Fabian 1999



Vitasse et al., 2011

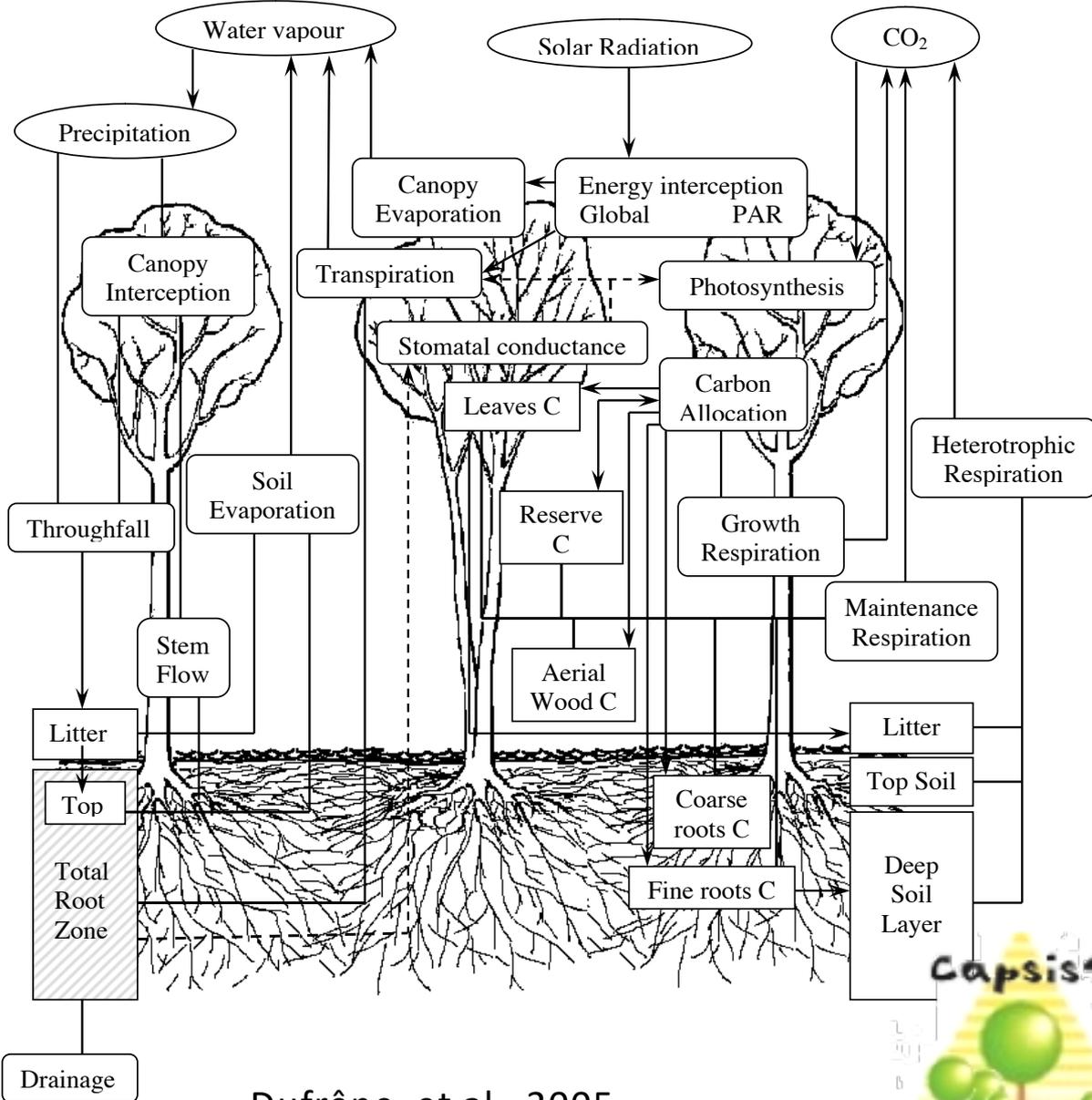
# Impact des changements globaux sur les forêts: la phénologie



# Impact des changements globaux sur les forêts: Les modèles

Water Balance Model

Carbon Balance Model



Dufrêne et al., 2005



**Canopy photosynthesis**  
Farquhar model coupled with Ball & Berry

**Leaves respiration**  
Q10, Nitrogen, Biomass

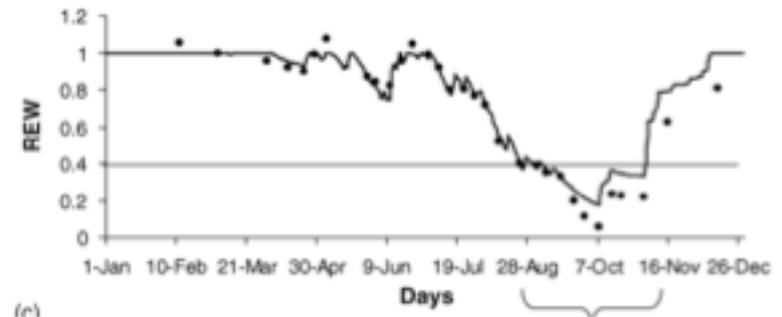
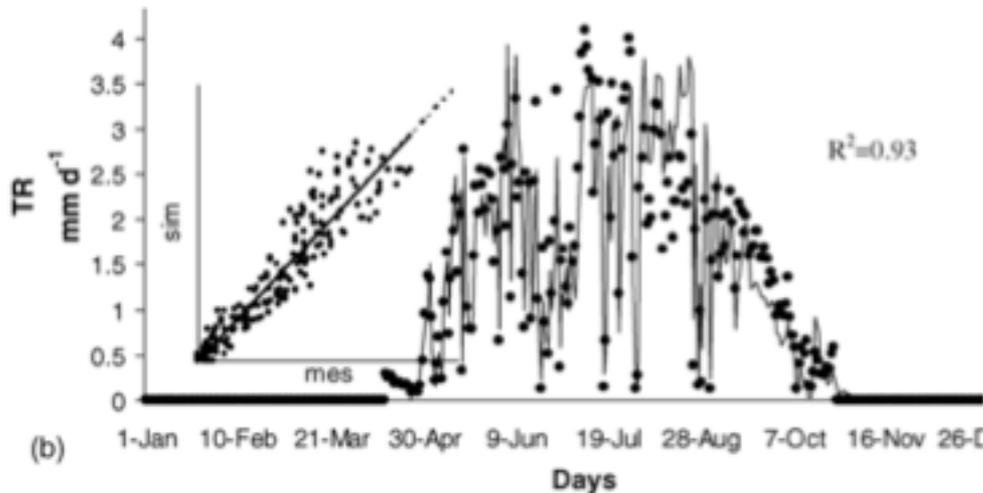
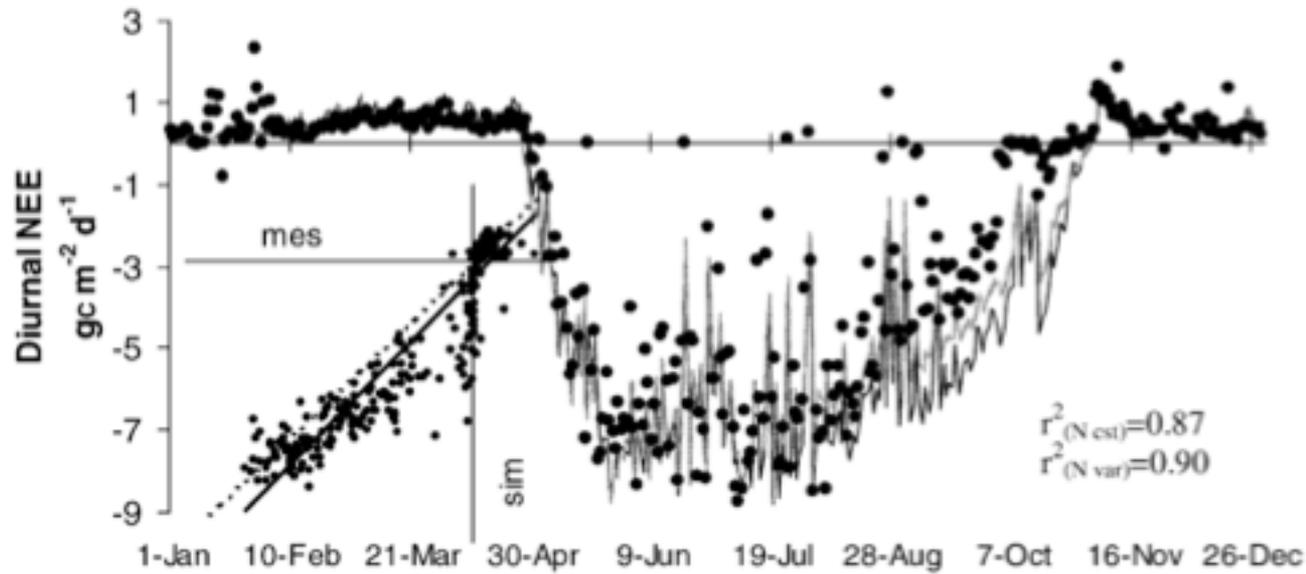
**Wood respiration**  
Q10, Nitrogen, alive biomass

**Water interception**  
LAI, clumping, leaves/needle reserves

**Transpiration**  
Penman Monteith

# Impact des changements globaux sur les forêts

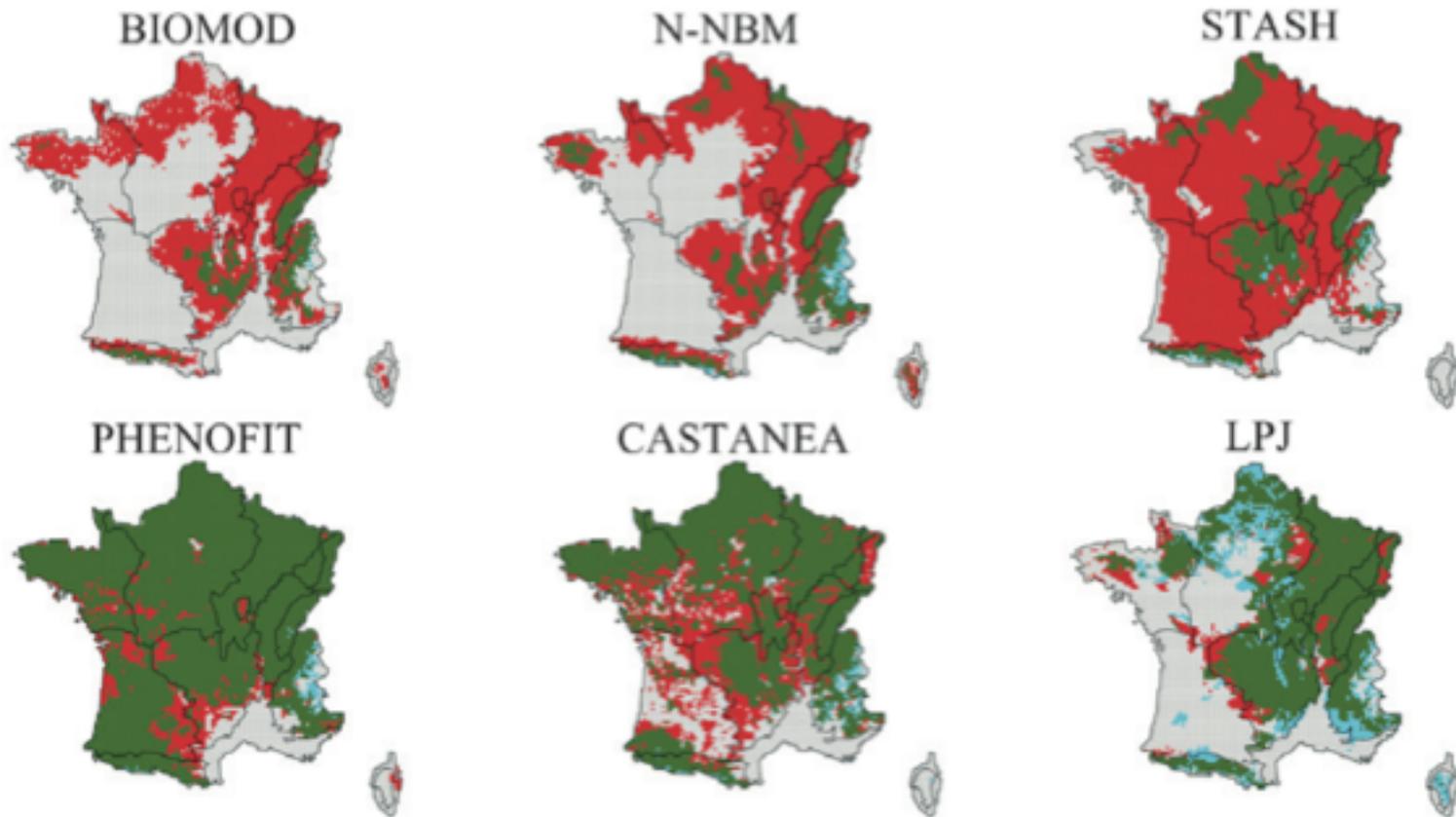
Model evaluation on several processes (Davi et al. 2005)



# Impact des changements globaux sur les forêts: Les modèles

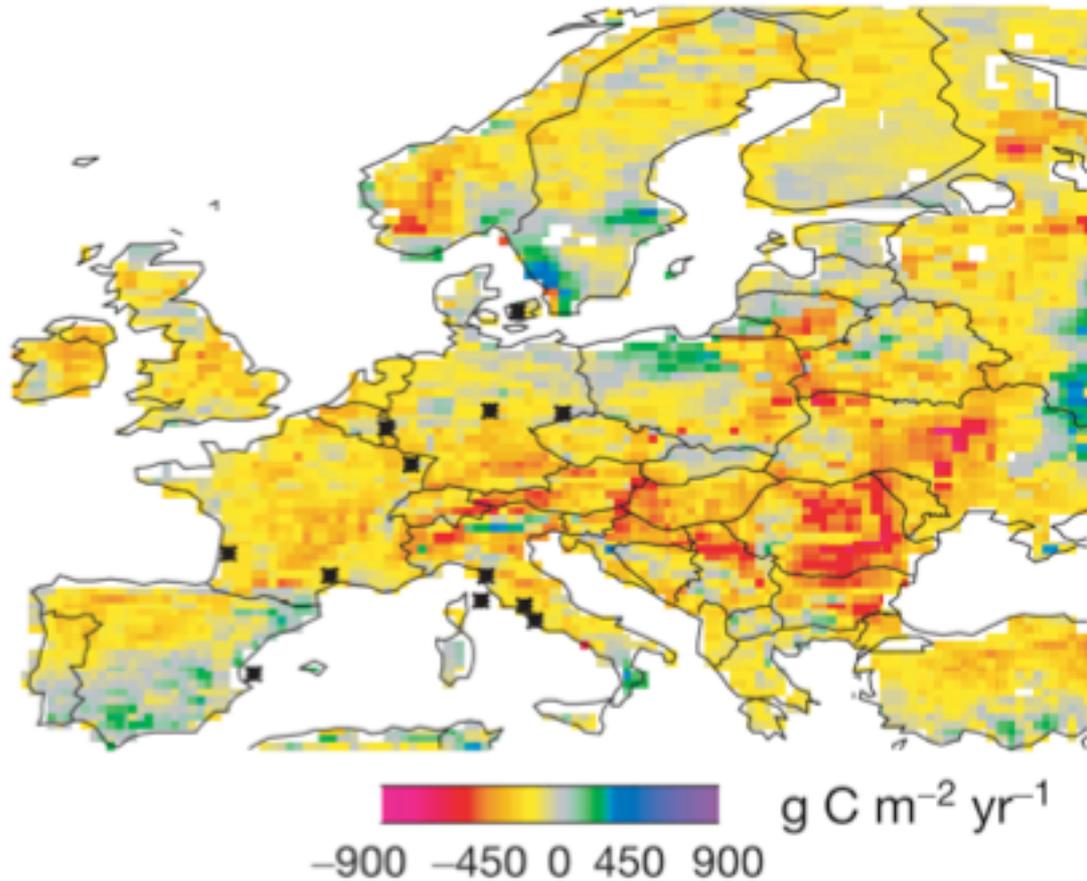
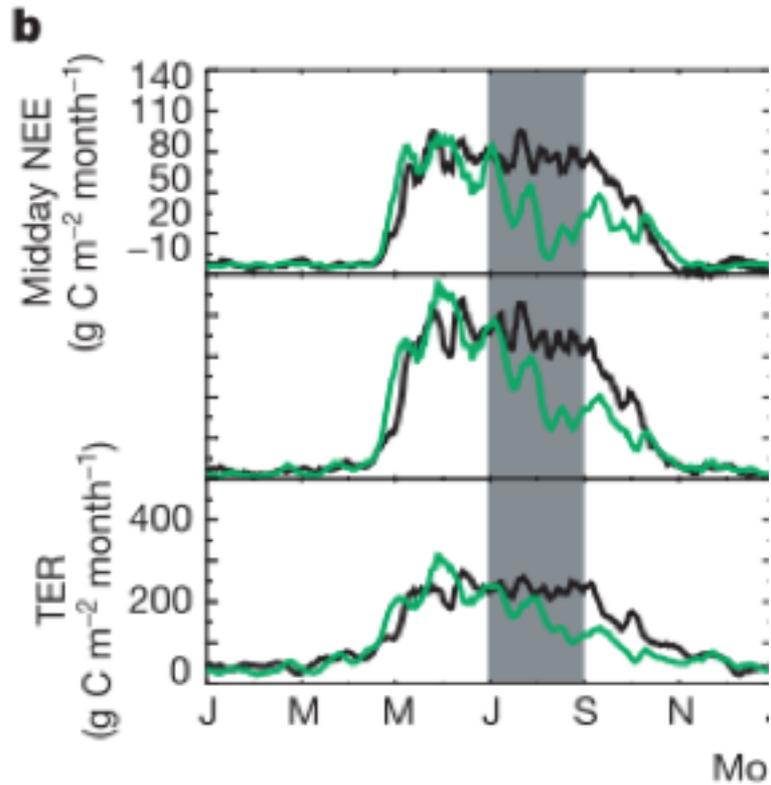
Comparaison des modèles de niche (en haut empiriques, en bas basé sur les processus) pour le Hêtre

(b) Predicted future distribution (2055)



# Impact des changements globaux sur les forêts: Les mesures

La forêt devenue une source de carbone durant l'été 2003 !



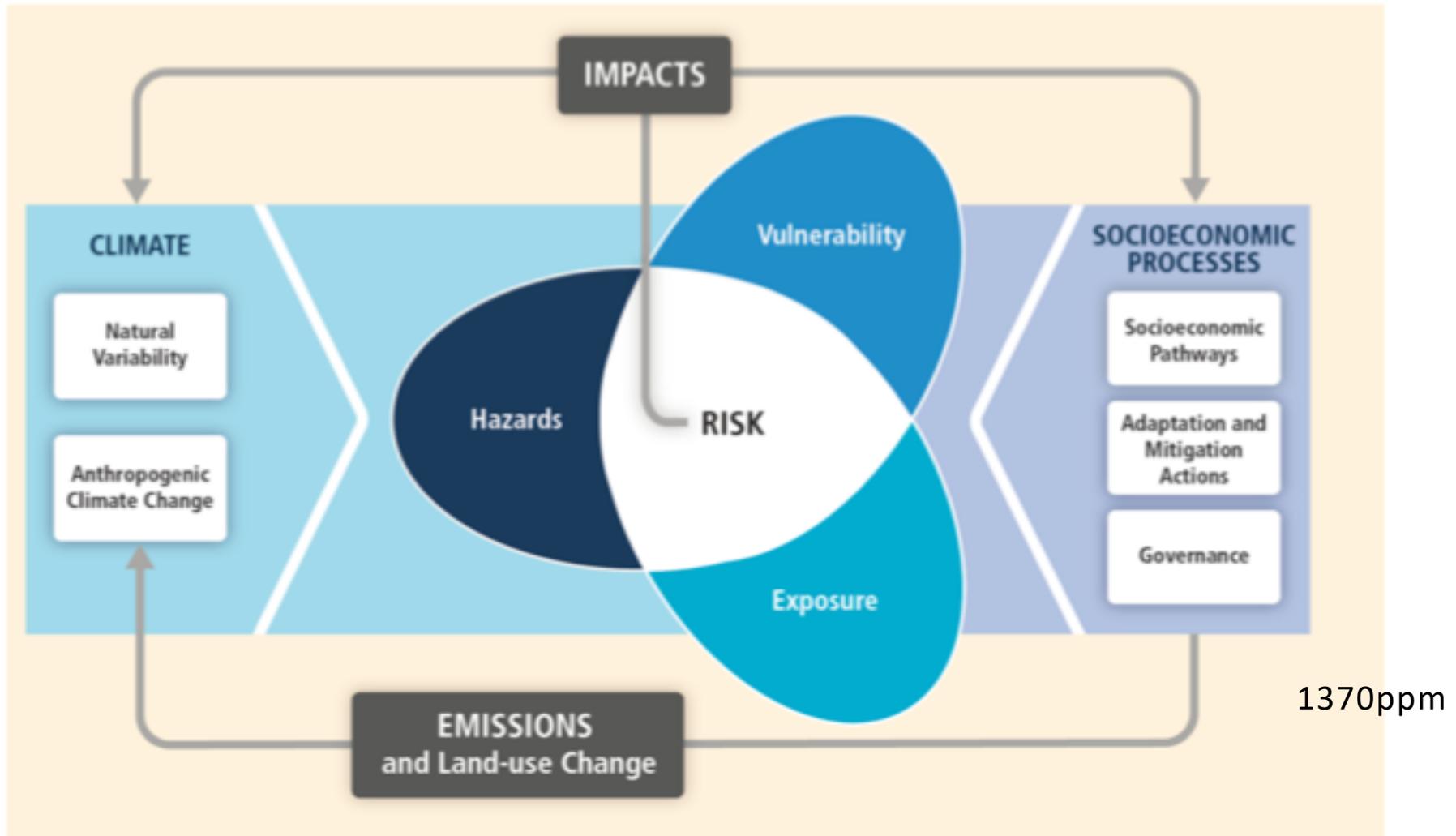
Ciais et al., 2005

# Risques pour le fonctionnement des forêts



# Risques pour le fonctionnement des forêts

Définition du risque (IPCC 2014)



# Risques pour le fonctionnement des forêts

## Services « écosystémiques »

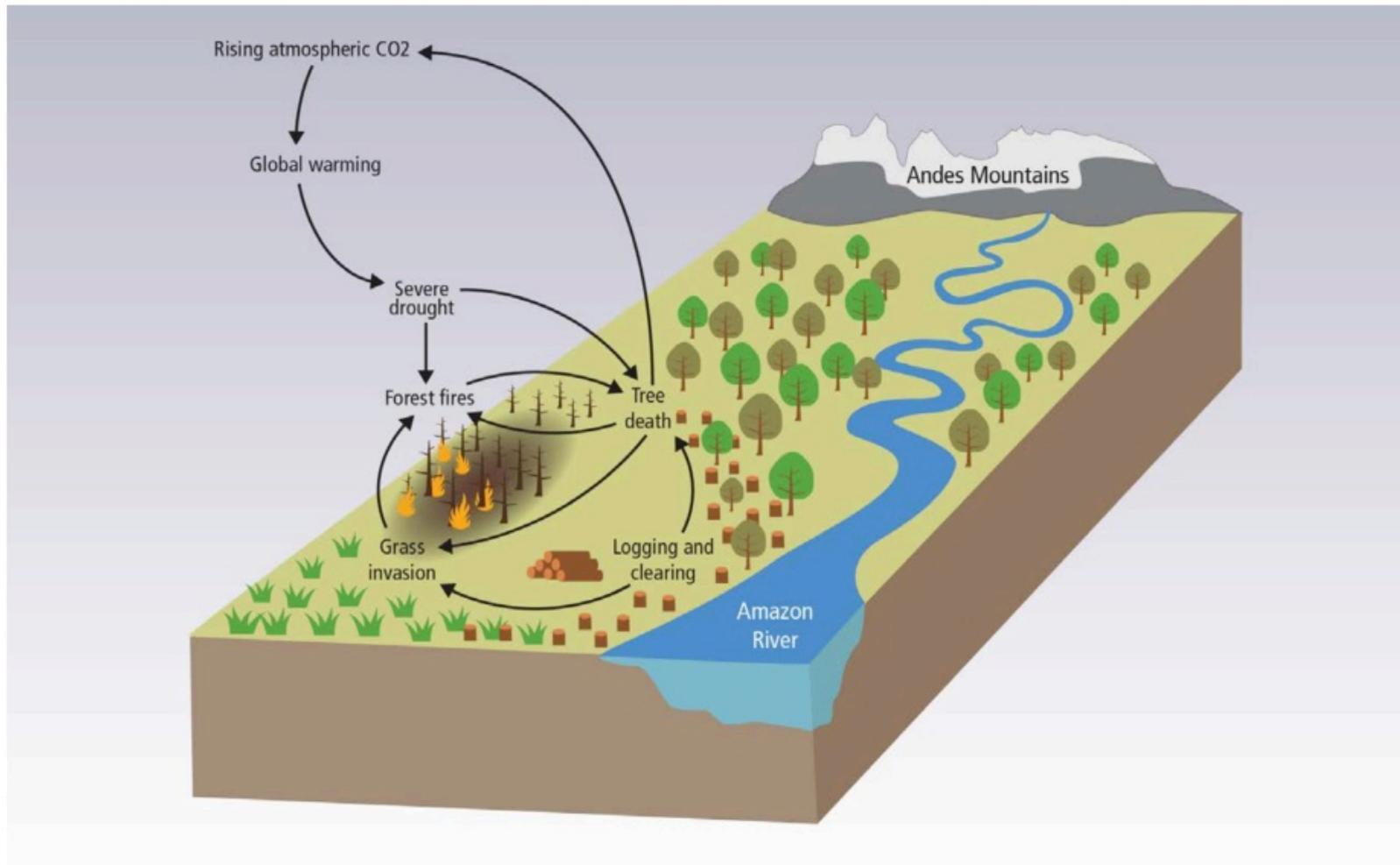
- Production (bois d'œuvre, biomasse)
- Tourisme
- Biodiversité
- Erosion des sols
- Recharge des nappes



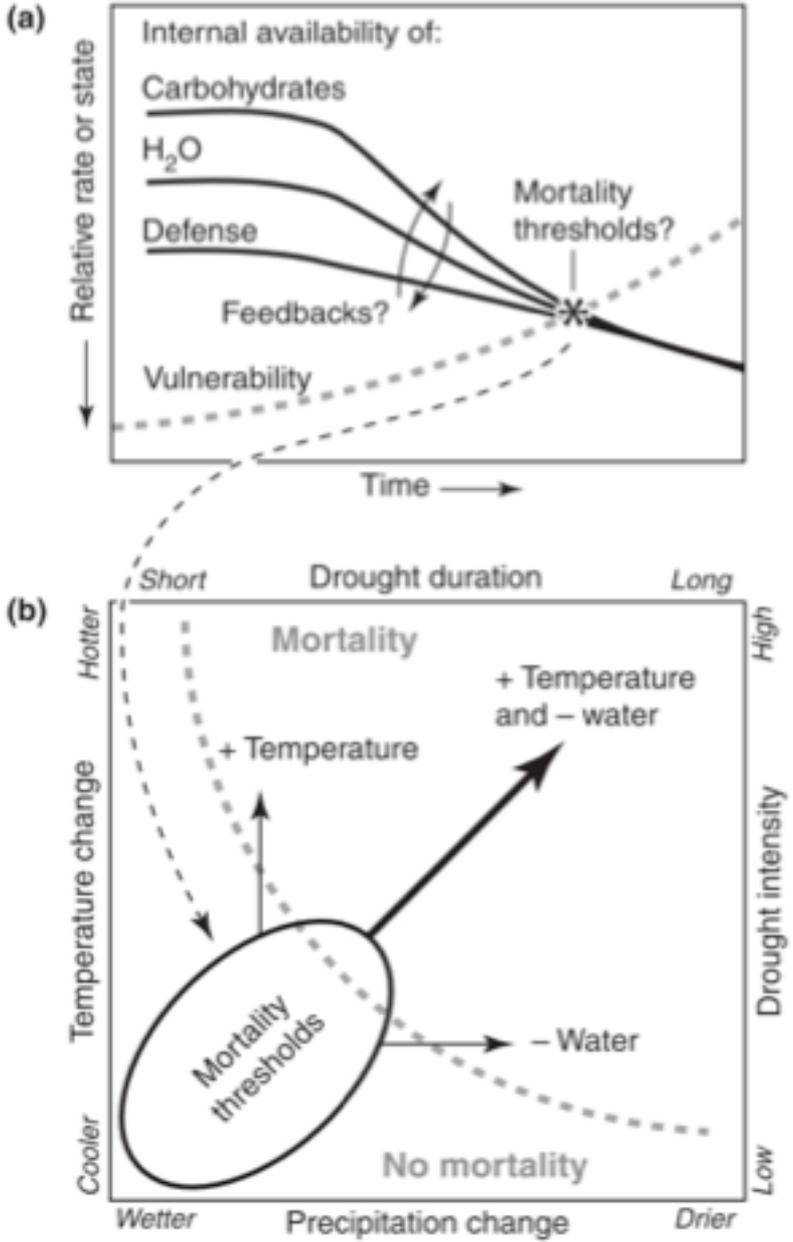
Causes	Impacts	
Sécheresse	Perte de productivité	Mortalité
Attaques biotiques	Perte de productivité	Mortalité
Feux	Mortalité	Risques humains
Tempêtes	Mortalité	Risques humains
Inondations	Mortalité	
Gelées tardives	Perte de productivité	
Neiges lourdes	Perte de productivité	

# Risques pour le fonctionnement des forêts

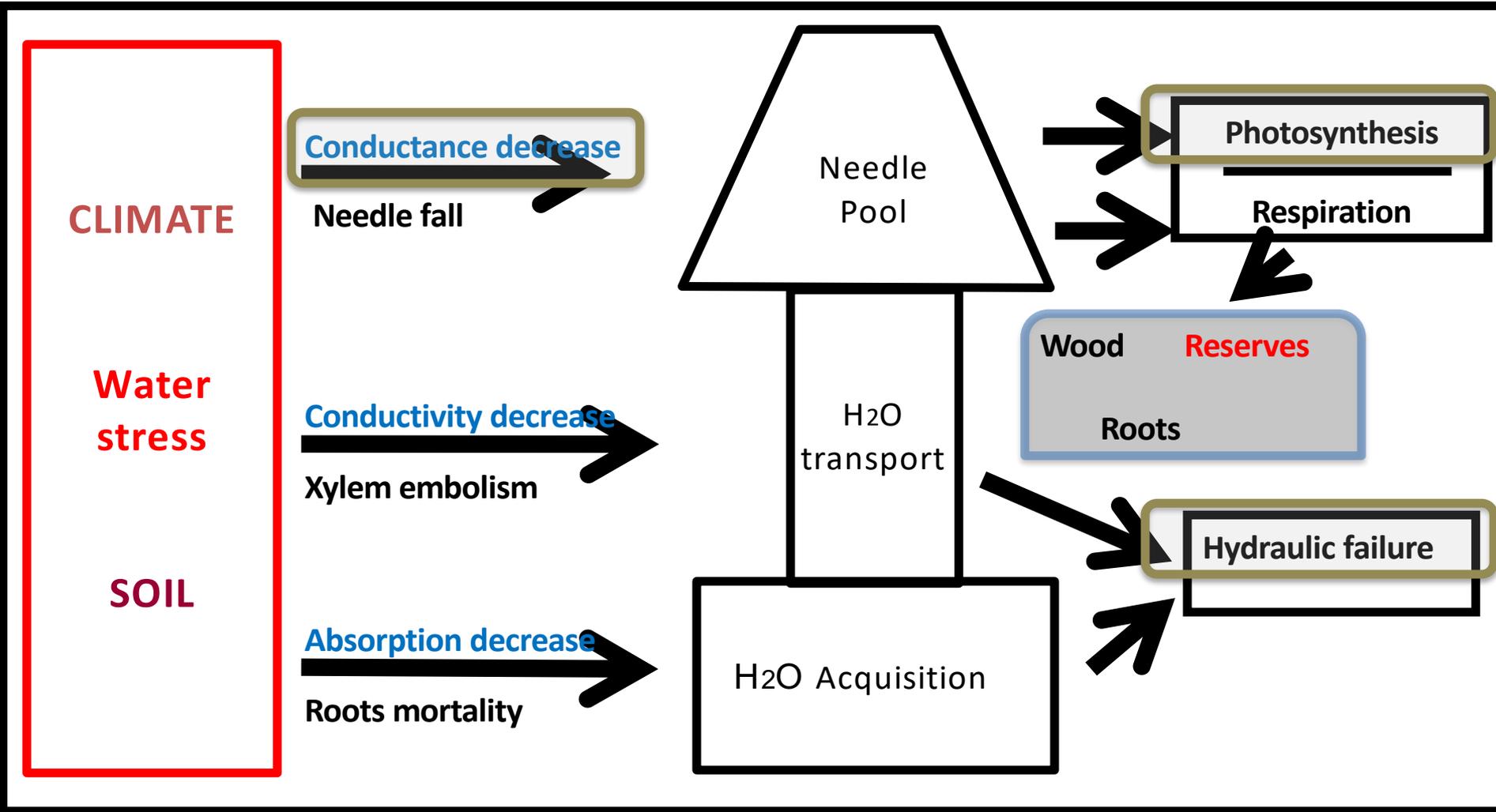
## Enchaînement de risques: boucles négatives



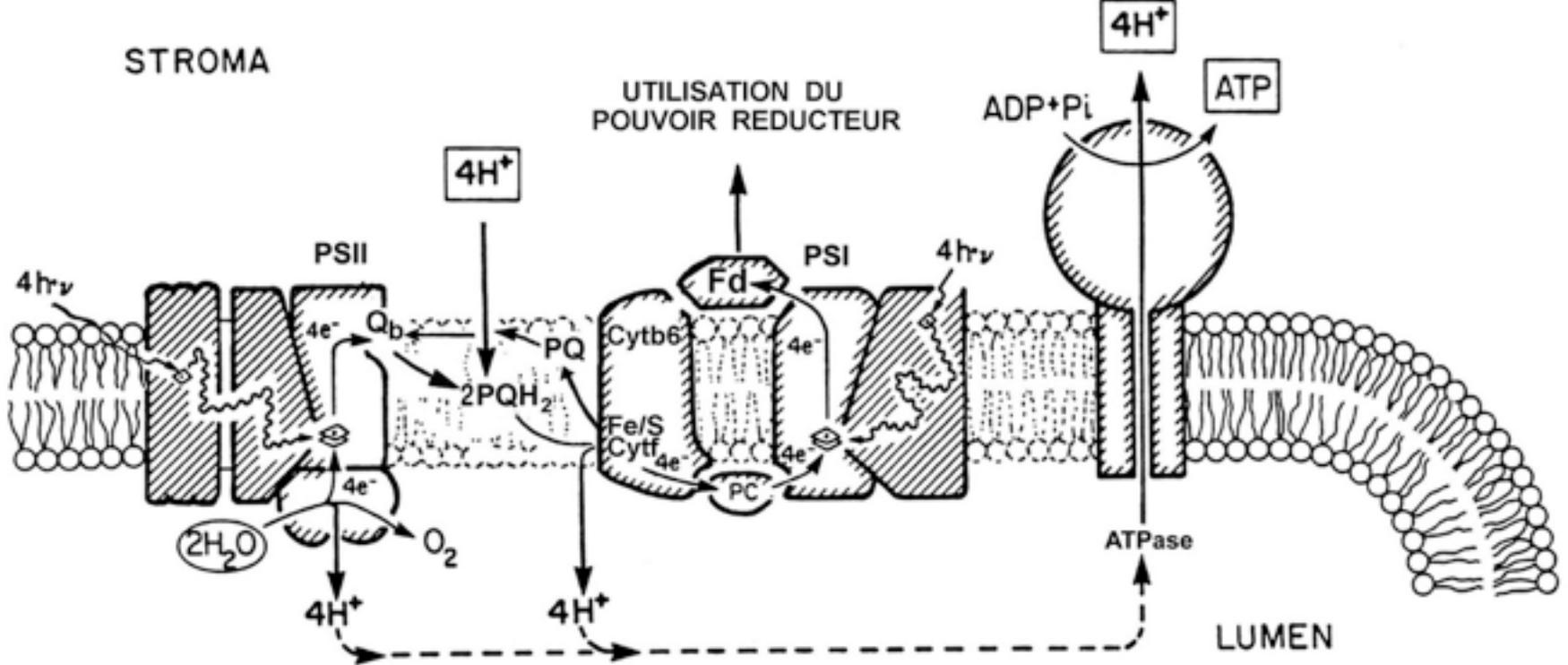
# Les processus impliqués dans le risque Mortalité



# Les processus impliqués dans le risque Mortalité



- Temporal scale of response (hour, year, decade)
- hydraulic .vs. carbon starvation



PSI Photosystème I

PSII Photosystème II

Fe/S  
Cyt f Cytochrome f

Fd Ferredoxine

Centre réactionnel

PQ Plastoquinone

PQH<sub>2</sub> Plastoquinone réduite

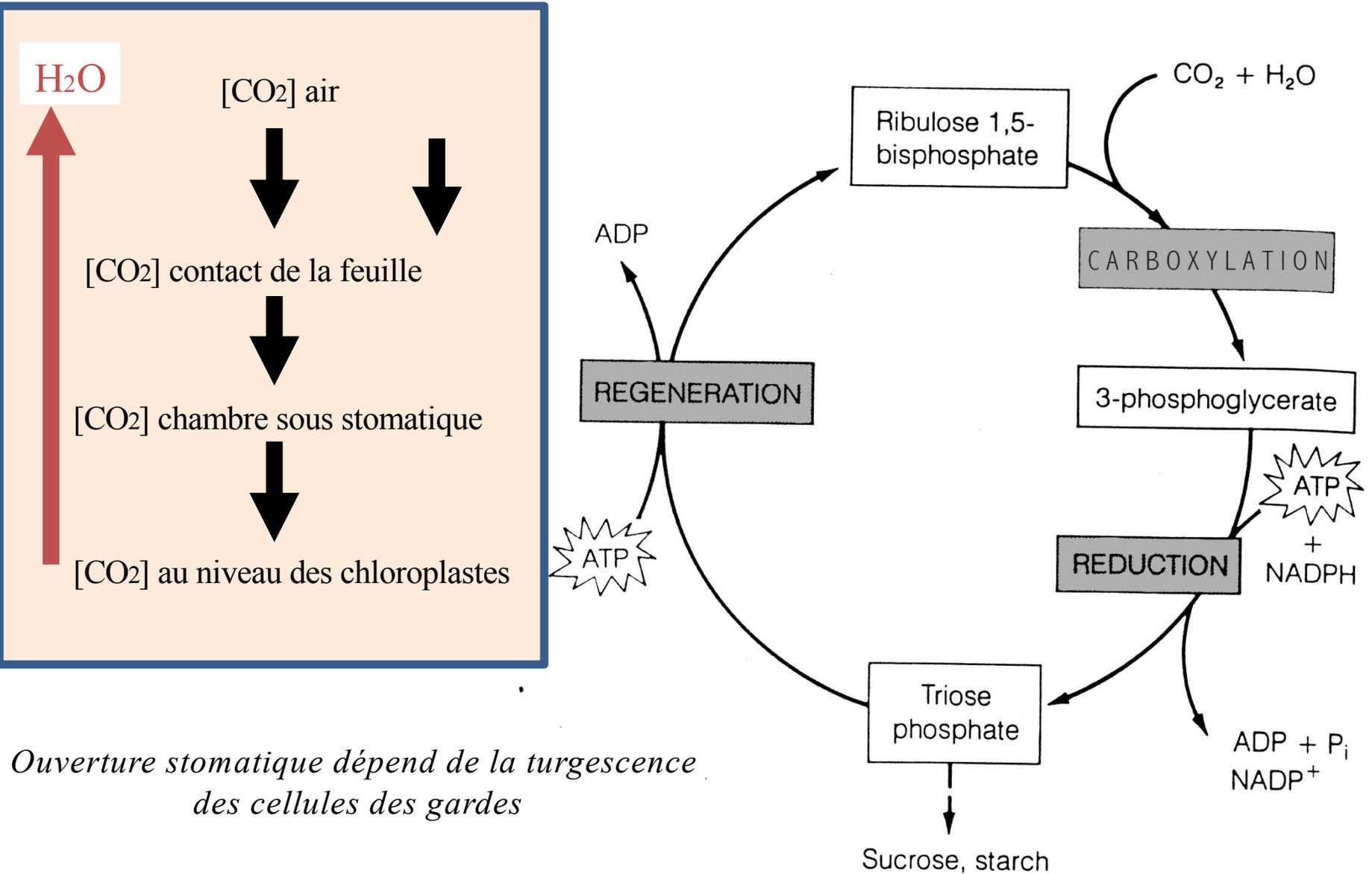
Q<sub>b</sub> Plastoquinone fixée sur le PS<sub>2</sub>  
pour accepter les e<sup>-</sup>

e<sup>-</sup> électrons

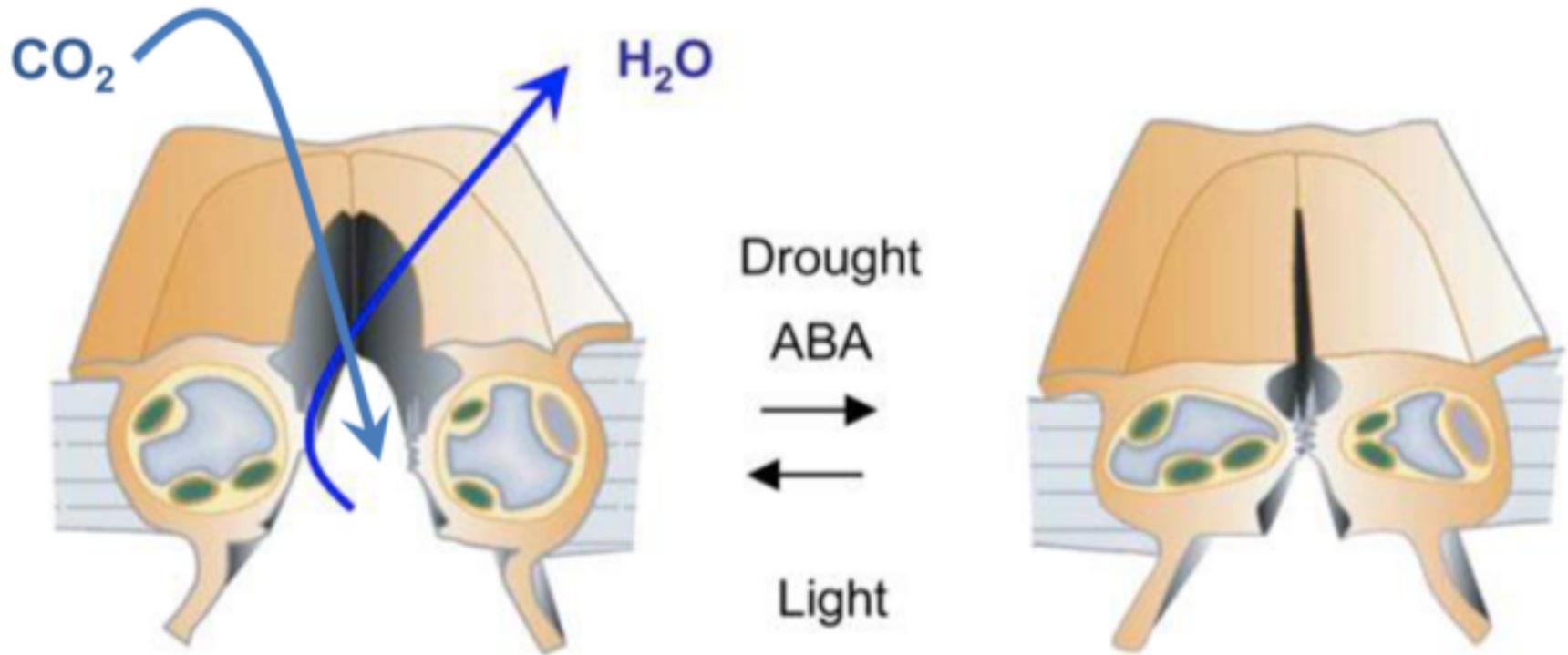
L'interception de la lumière

# Les processus impliqués dans le risque Mortalité

## Le trajet du CO<sub>2</sub> et la carboxylation dans le cycle de Calvin

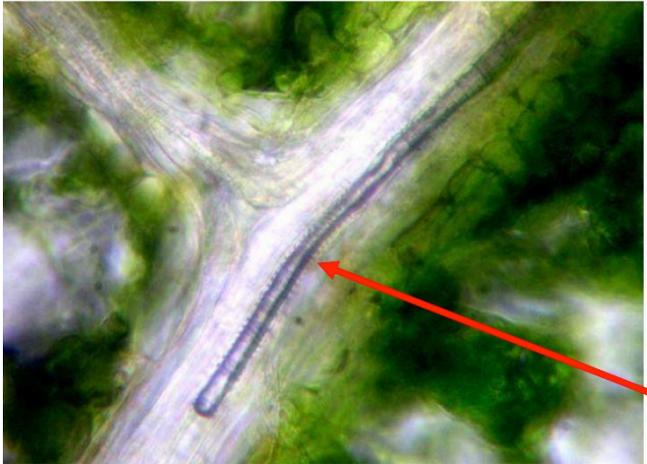
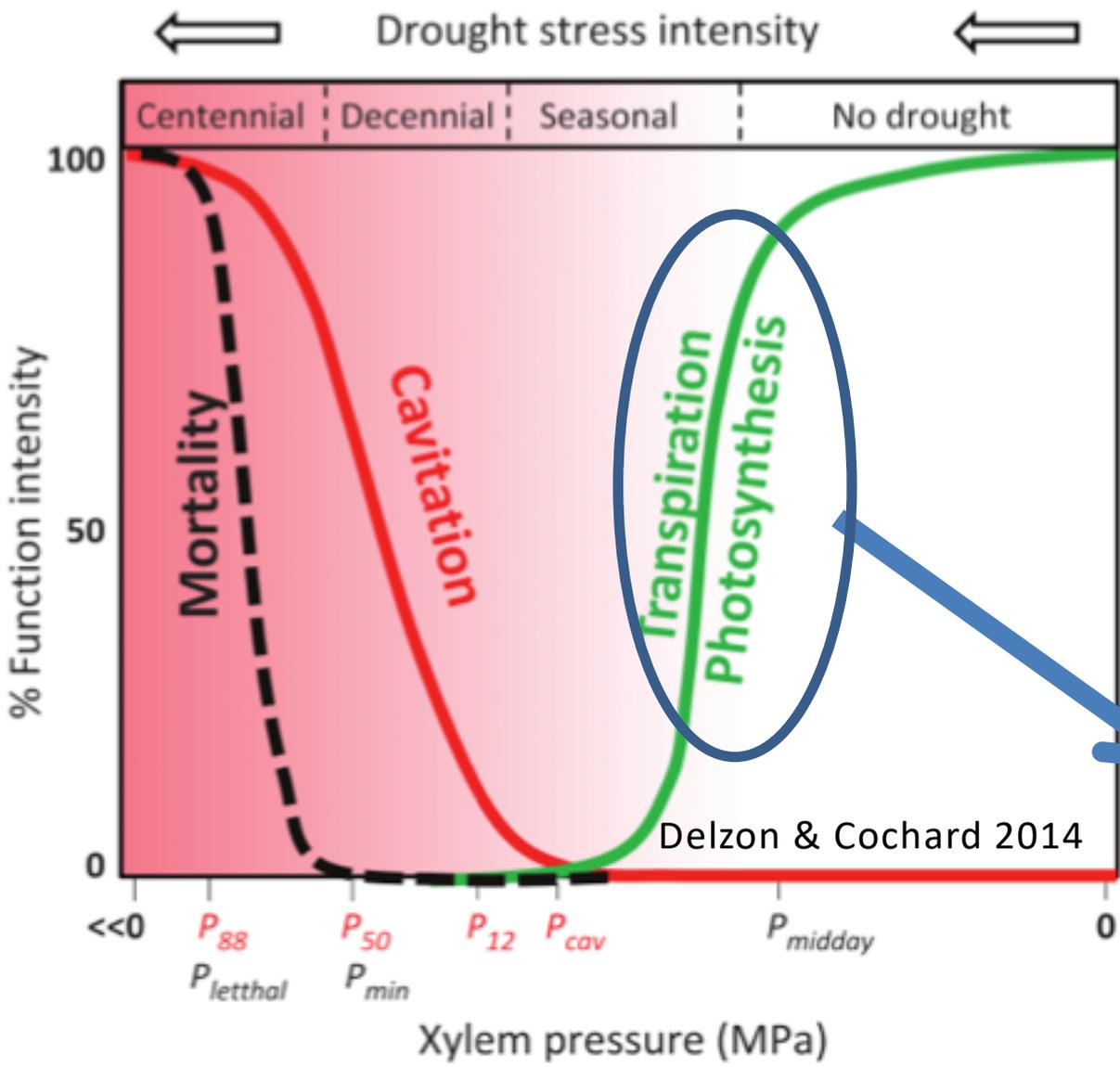


# Guard cells are the portals through which $\text{CO}_2$ enters and $\text{H}_2\text{O}$ exits



# Les processus impliqués dans le risque Mortalité

## L'embolie des vaisseaux



1. Sensibilité au pathogènes
2. Incapacité à maintenir la respiration

# Prédire le risque mortalité

LOW: 950m

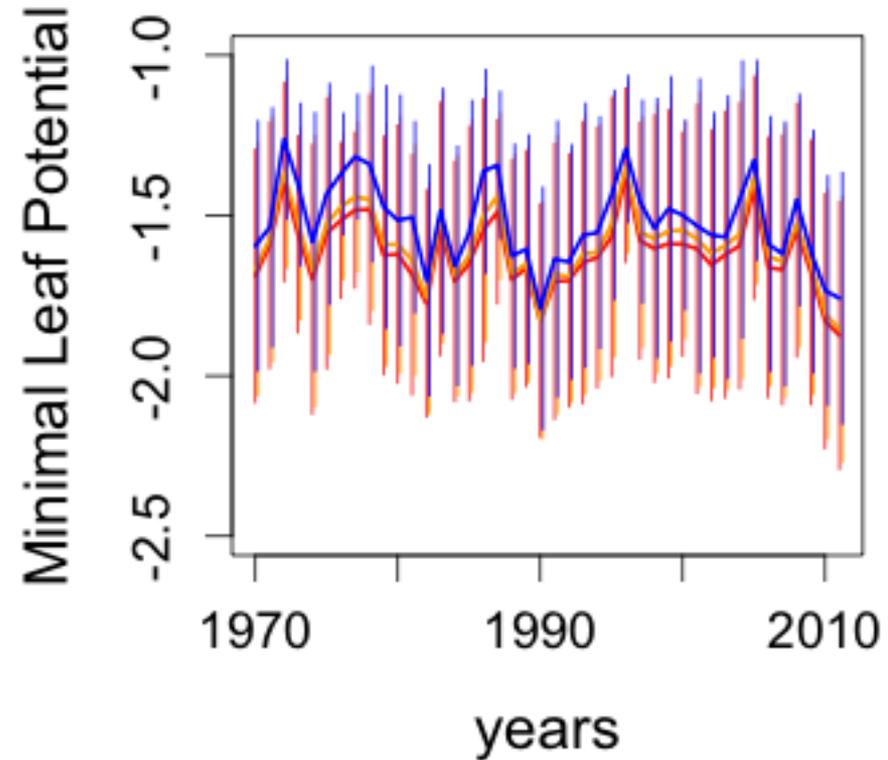
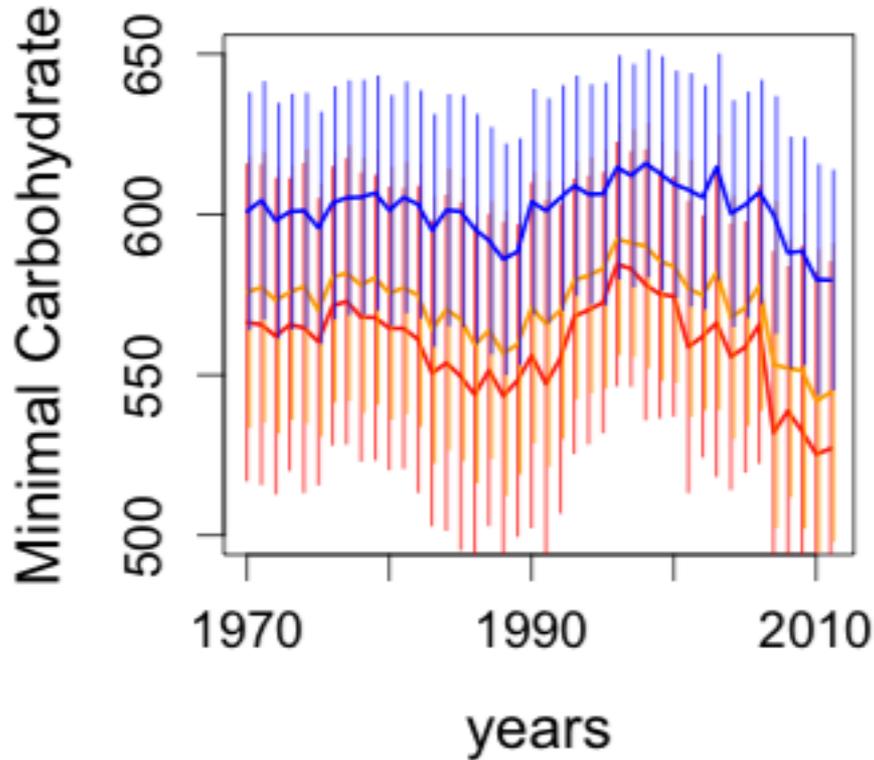
MEDIUM 1150m

HIGH: 1350m

ELEVATIONS

Silver fir

Silver fir



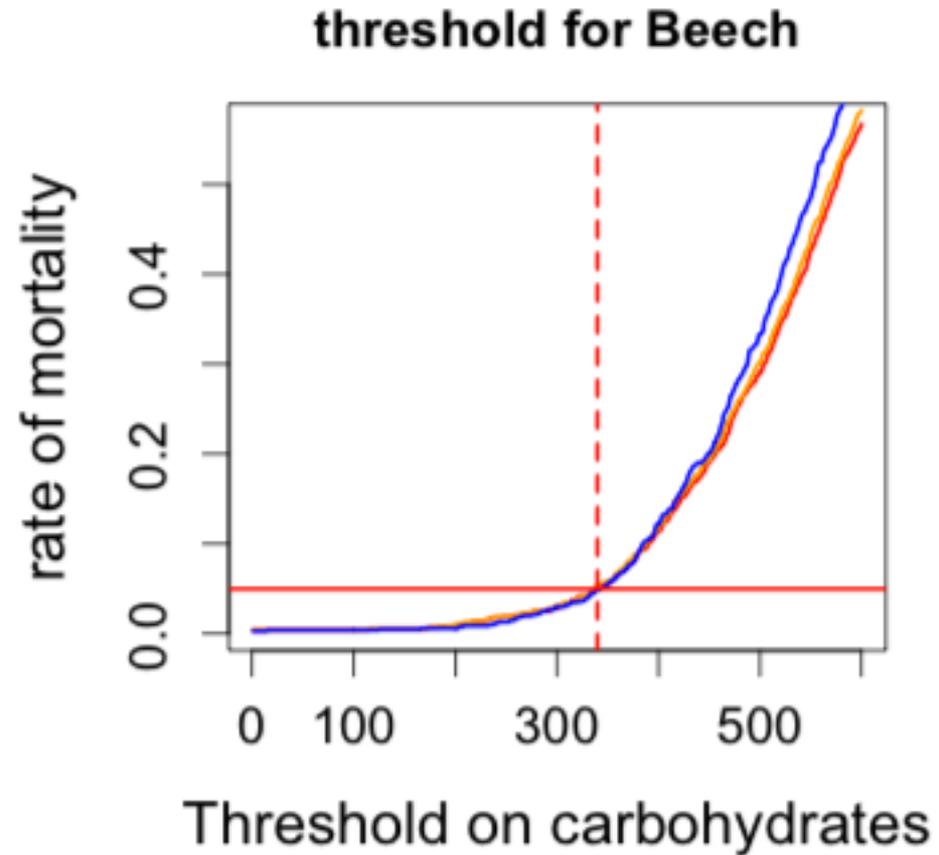
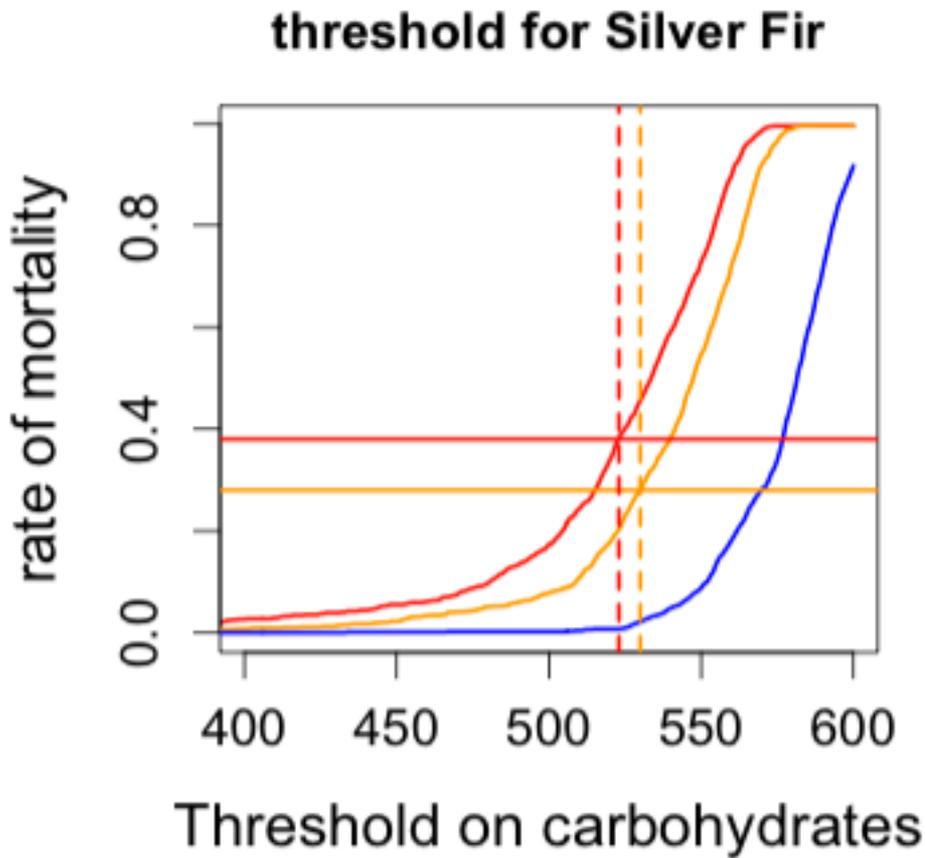
## Taux de mortalité observé

1. 950m: 0.4%
2. 1150m: 0.25%
3. 1350: 0%

**PLC50: 50% cavitation à -4.8Mpa**

Peu de cavitation (<10%) sous le climat actuel

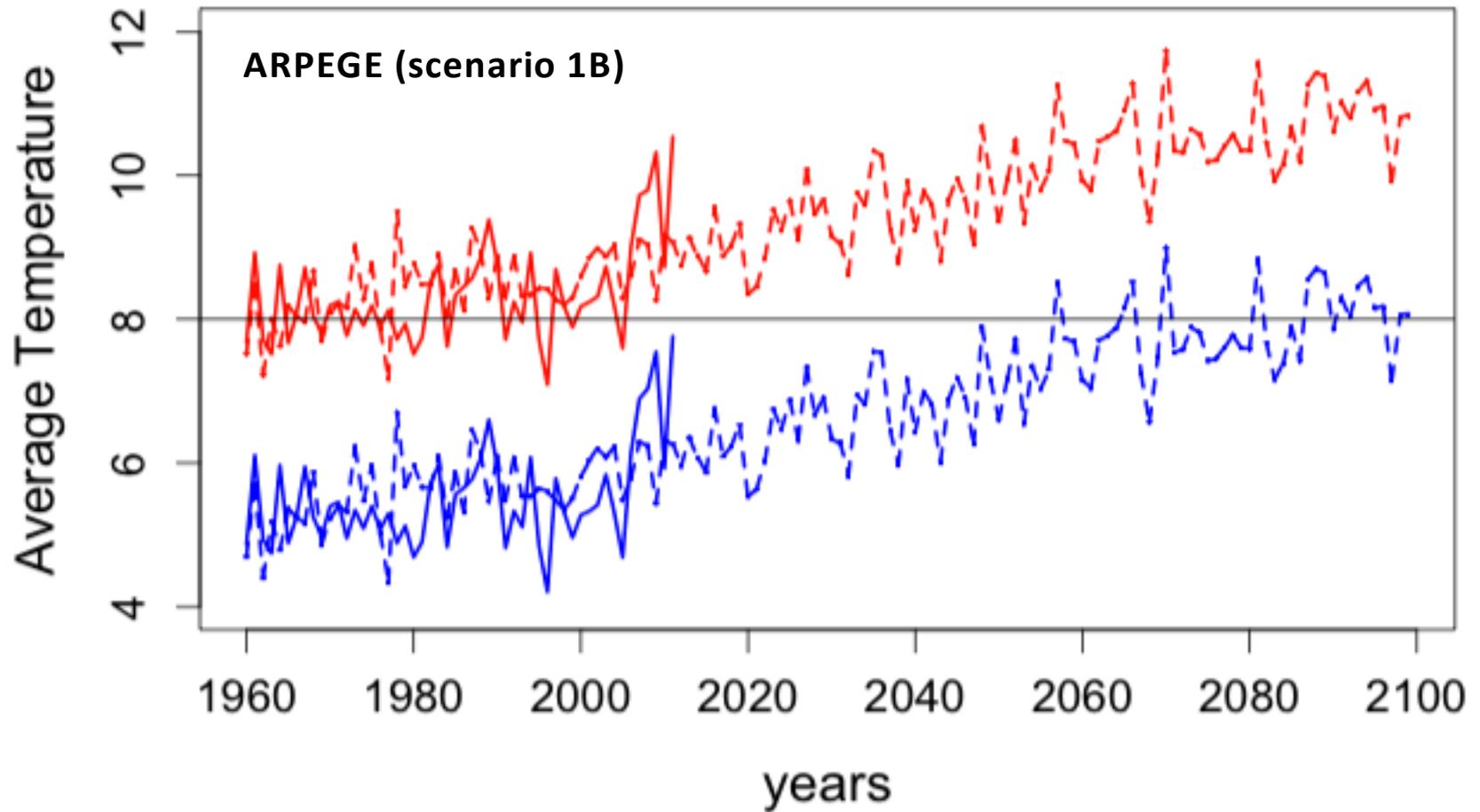
# Prédire le risque mortalité



**Taux de mortalité observé permet de déterminer le seuil de réserves en C en dessous duquel il y a mortalité**

# Prédire le risque mortalité

## Future Climate

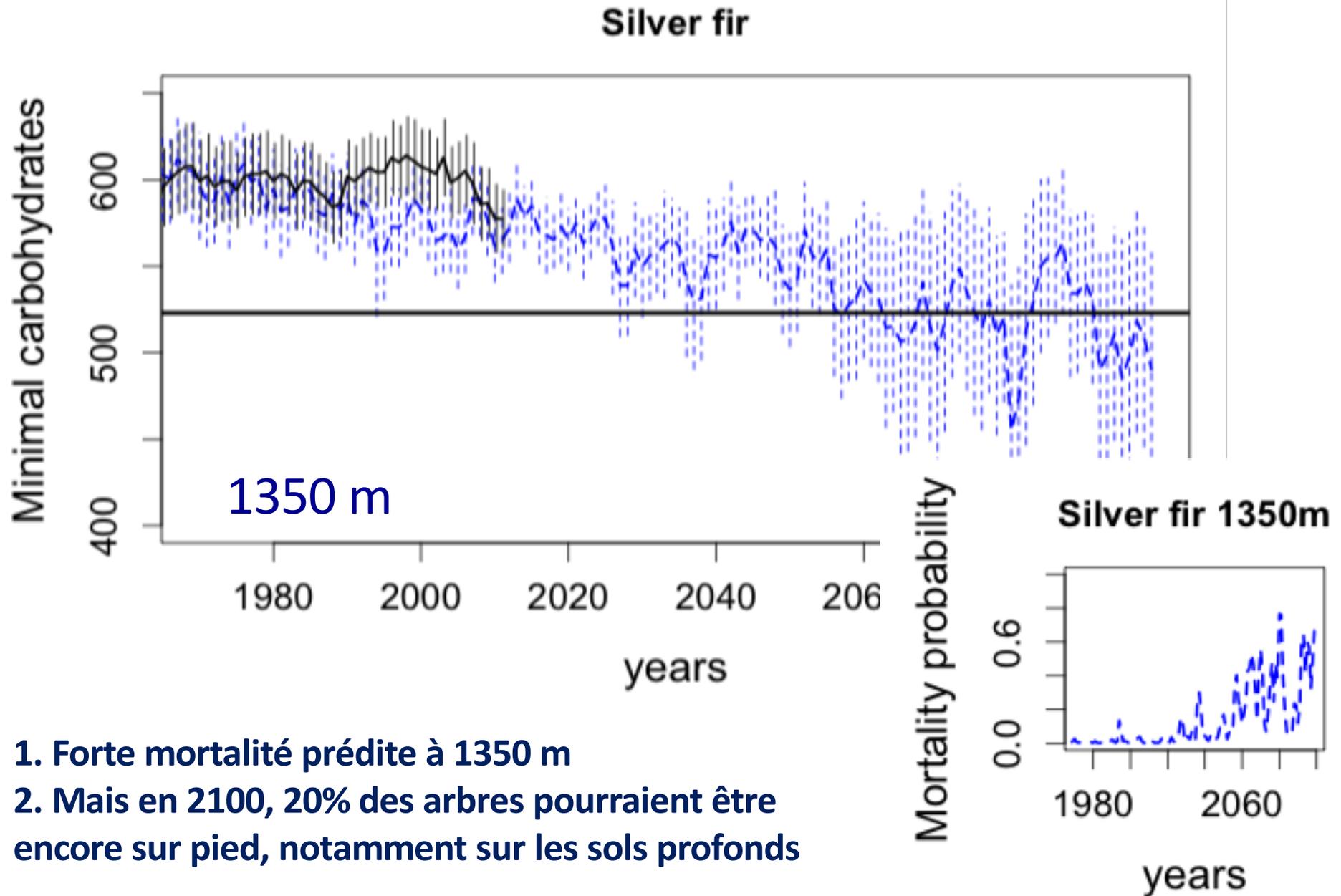


**LOW: 950m**

**HIGH: 1350m**

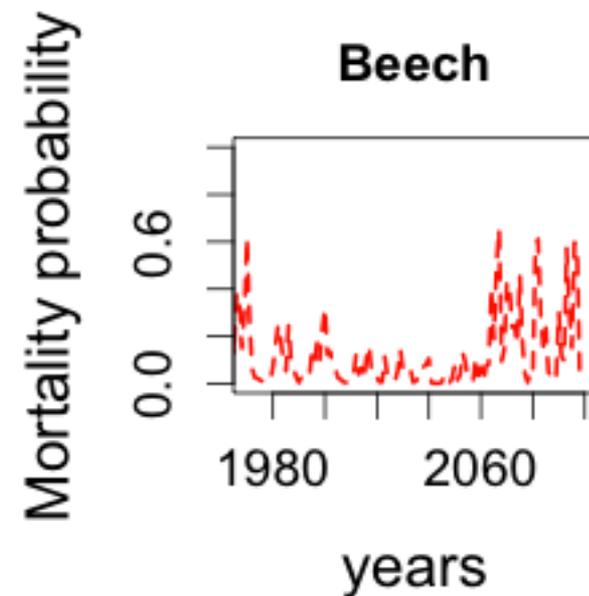
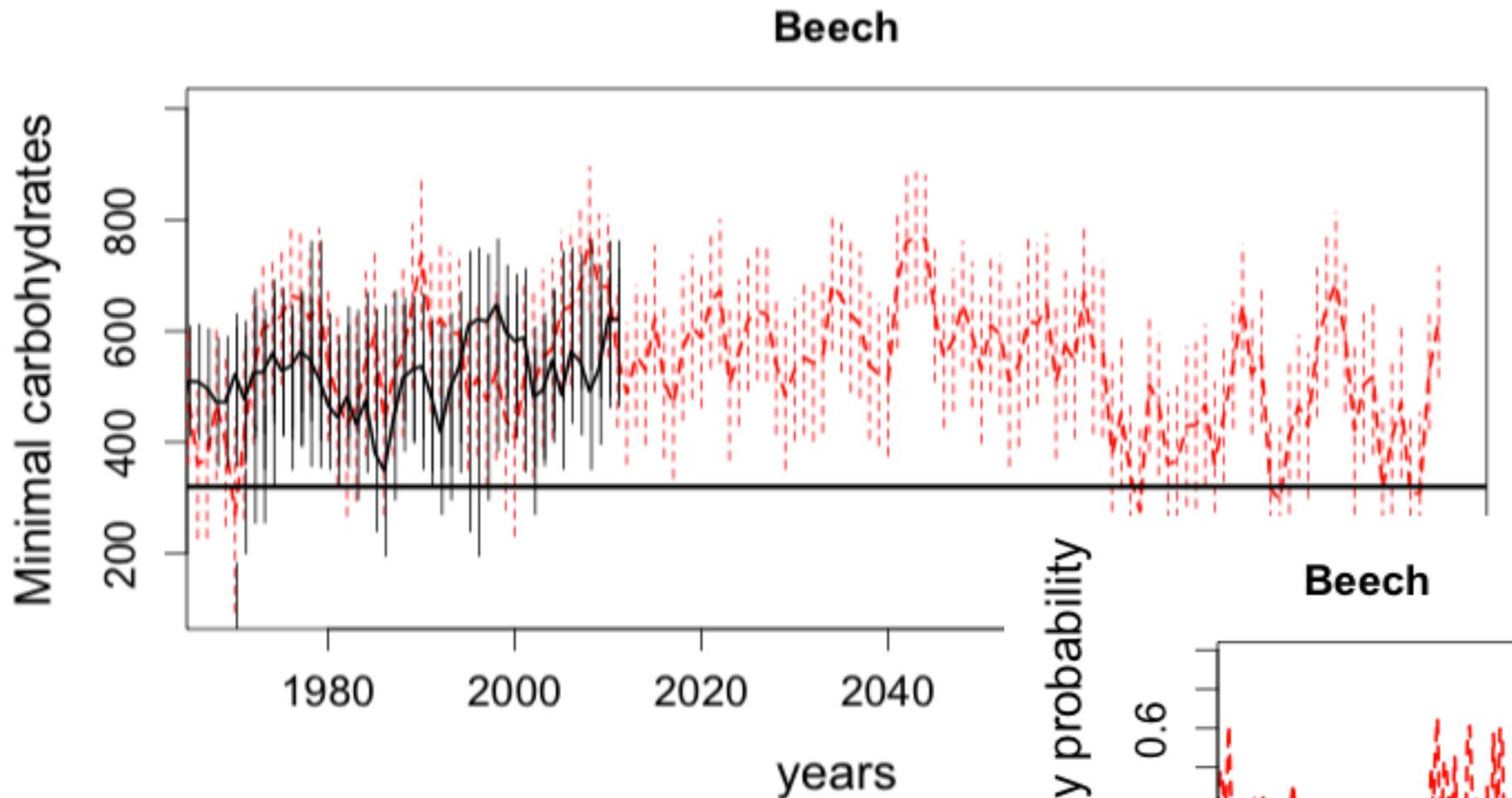
**ELEVATIONS**

# Prédire le risque mortalité



1. Forte mortalité prédite à 1350 m
2. Mais en 2100, 20% des arbres pourraient être encore sur pied, notamment sur les sols profonds

# Prédire le risque mortalité

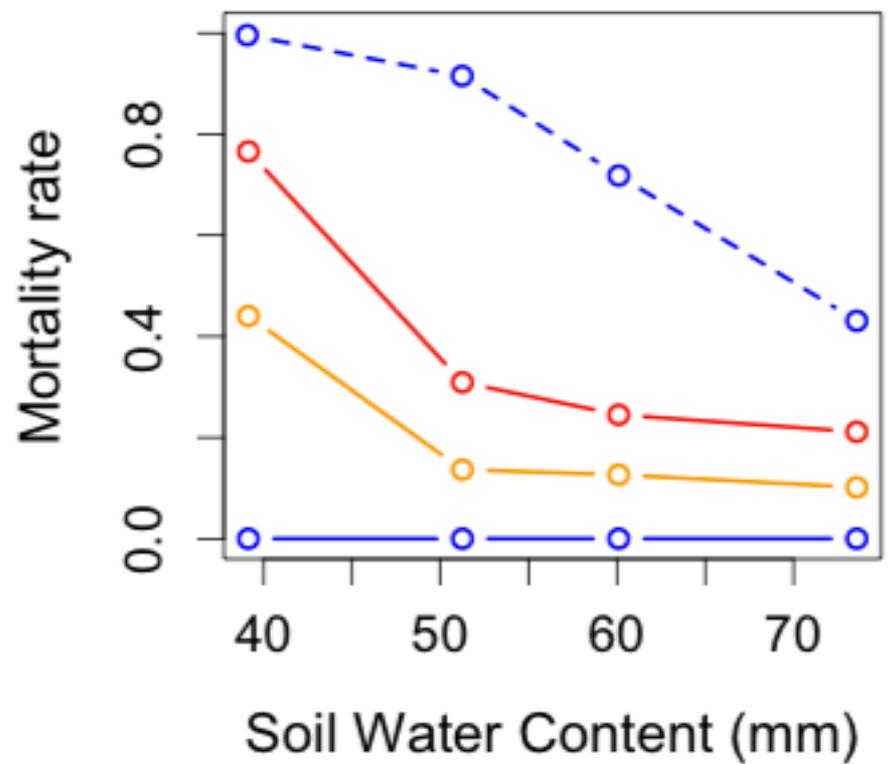


**1. Forte mortalité à 950 m**

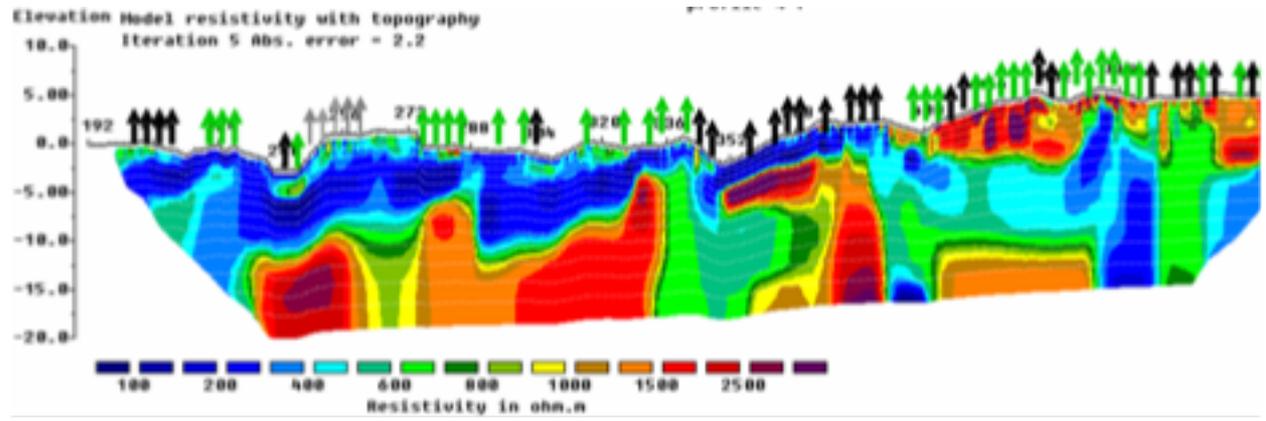
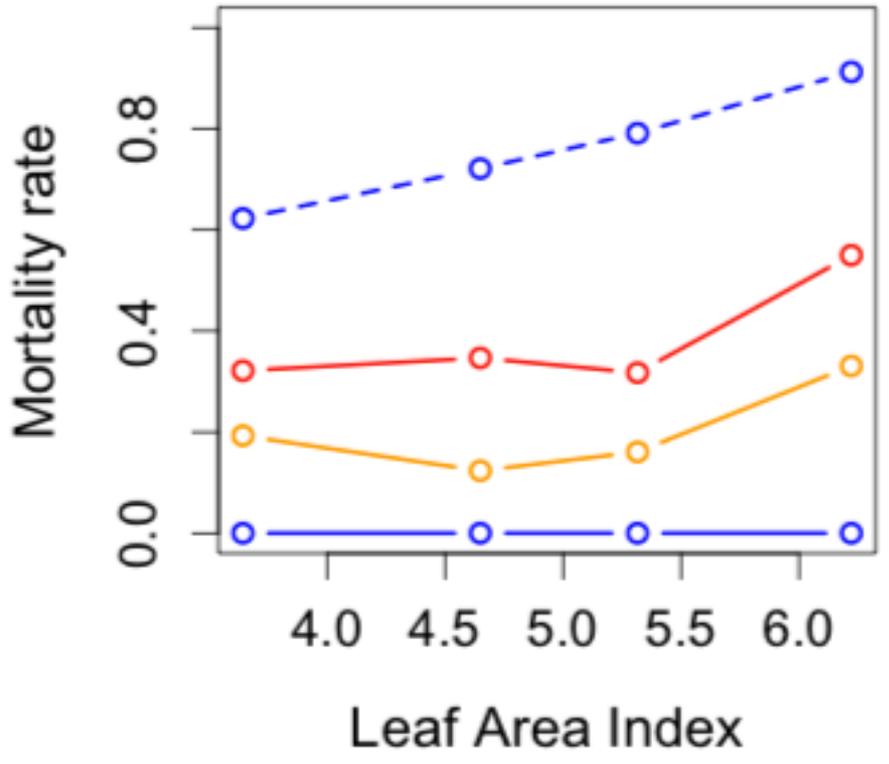
**2. En 2100, 40% des arbres pourraient être encore sur pied**

# Prédire le risque mortalité

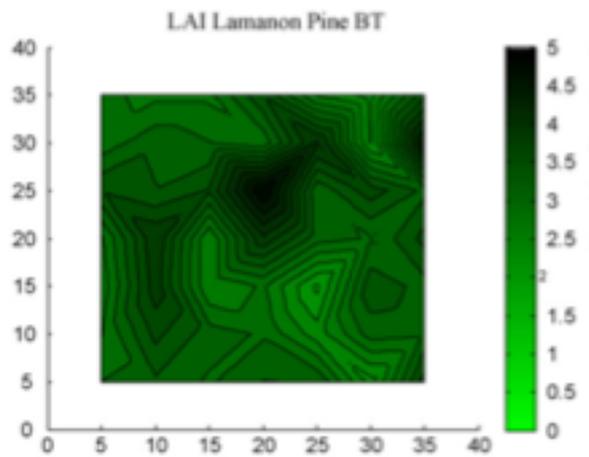
## Silver fir



## Silver fir



## Leaf Area Index



# Mécanismes naturels d'adaptation

## 3 échelles différentes

**Individu:** La plasticité phénotypique d'un trait se définit comme la norme de réaction du trait à génotype constant en réponse à des variations biotiques ou abiotiques externes à l'organisme.

**Population:** L'évolution génétique se définit comme la modification de la fréquence des caractères au sein d'une population après sélection.

**Communauté:** Le réarrangement des communautés se définit le remplacement de certaines espèces par d'autres.

# Mécanismes naturels d'adaptation

Plasticité adaptative face au changement climatique (notamment le stress hydrique)

Processus	Effet
Baisse des capacités photosynthétiques	Ajuste les capacités
Baisse de la croissance radiale	Limite le risque de mortalité
Chute des feuilles	Limite la transpiration
Débourrement plus précoce	Rallonge la saison de végétation
Accroissement des racines	Augmente les capacités à puiser l'eau



Effet de la sécheresse sur la chute des feuilles

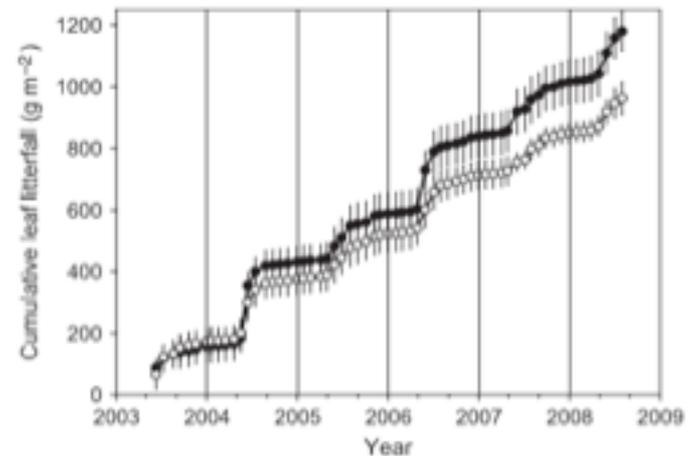
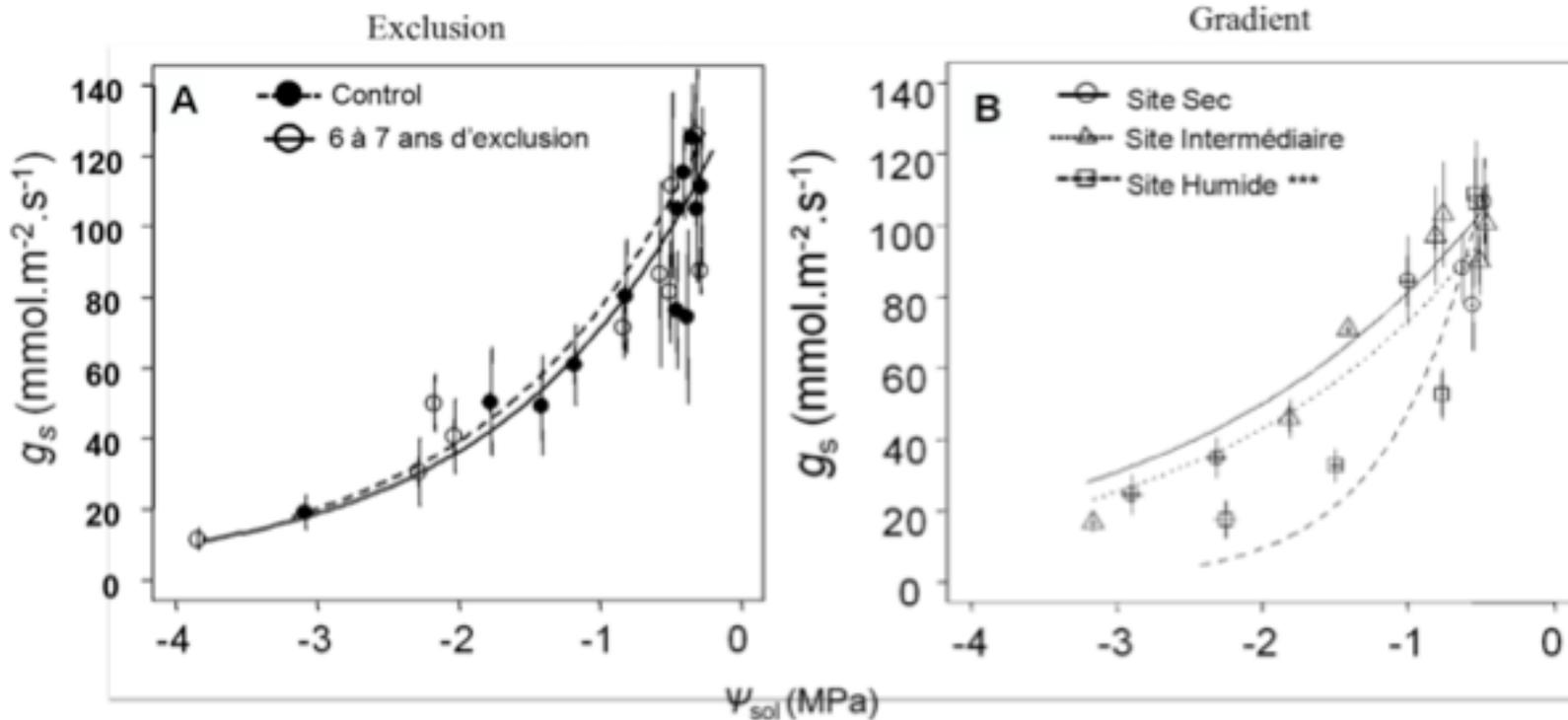


Fig. 8 Cumulative amount of leaf litter fall in the control (closed symbols) and dry treatment (open symbols) from 2003 to 2008. Error bars are standard deviations.

# Mécanismes naturels d'adaptation

## Effet de la sécheresse sur la fermeture des stomates



**Figure 1.6 :** Comportement stomatique en fonction du potentiel hydrique du sol en réponse à une altération chronique de la disponibilité en eau à plus ou moins long terme. La conductance stomatique mesurée pour une température  $\approx 25^\circ\text{C}$ , un PAR  $\approx 1500 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , VPD  $\approx 3 \text{ KPa}$ , diminue en réponse à la diminution saisonnière du potentiel hydrique du sol dans (a) les traitements control et Sec de l'exclusion de pluie de mars à octobre 2008 (les mesures ont été faites par Jean Marc Limousin, Manuscrit annexe B) et dans (b) les trois sites du gradient de mars à octobre 2009 (les mesures ont été réalisées par Nicolas Martin et Laurent Misson, Manuscrit annexe A). la relation  $g_s = a \times \exp(b \times \Psi_{sol})$  ont été ajusté. En comparant les exposants  $b$  on montre que le site humide est différent des autres.

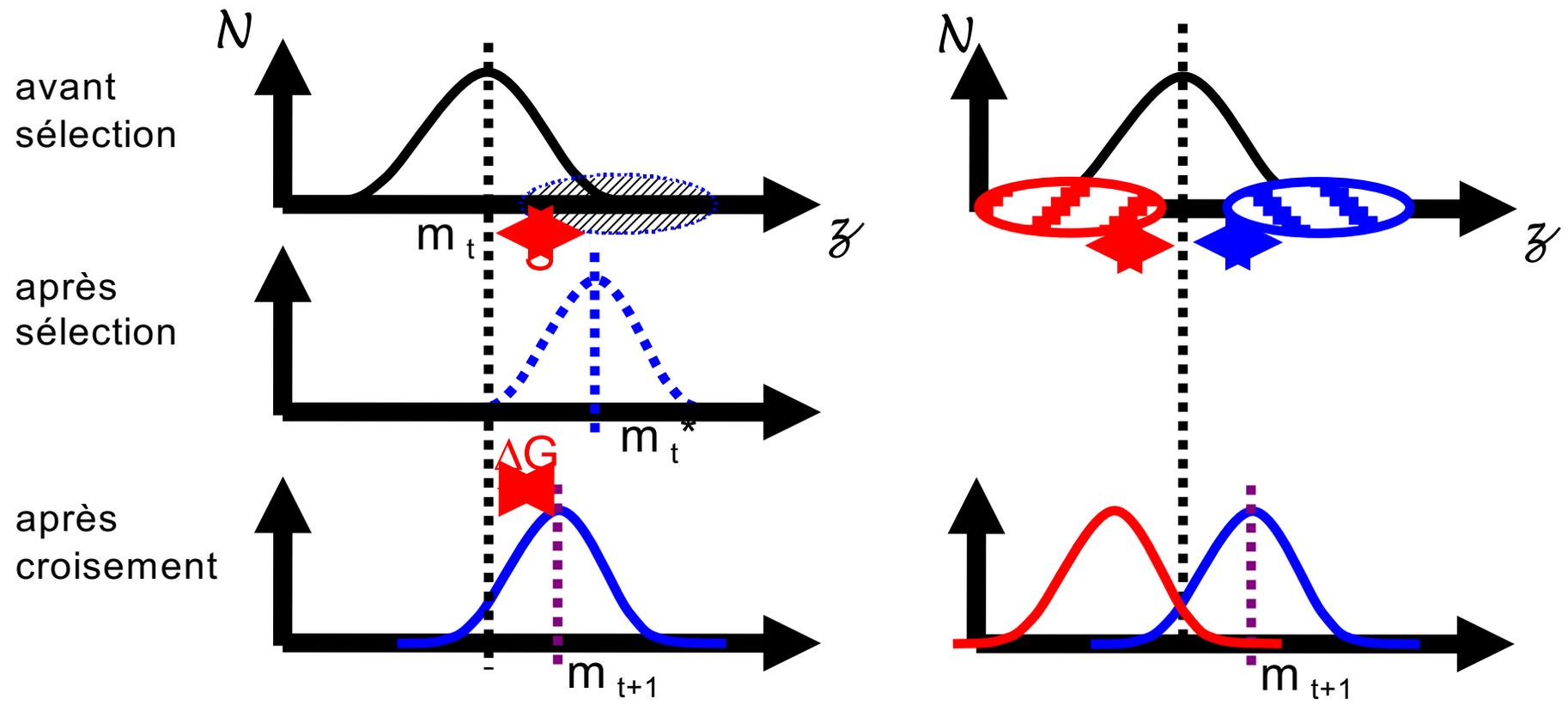
# Mécanismes naturels d'adaptation

## Les conditions d'une évolution génétiques

1. Existe des traits adaptatifs
2. Variabilité de ces traits au sein de la population
3. Une partie de cette variabilité est héritable (i.e déterminé génétiquement)
4. Sélection soit suffisamment forte par rapport à la dérive (population de petite taille ou la migration)

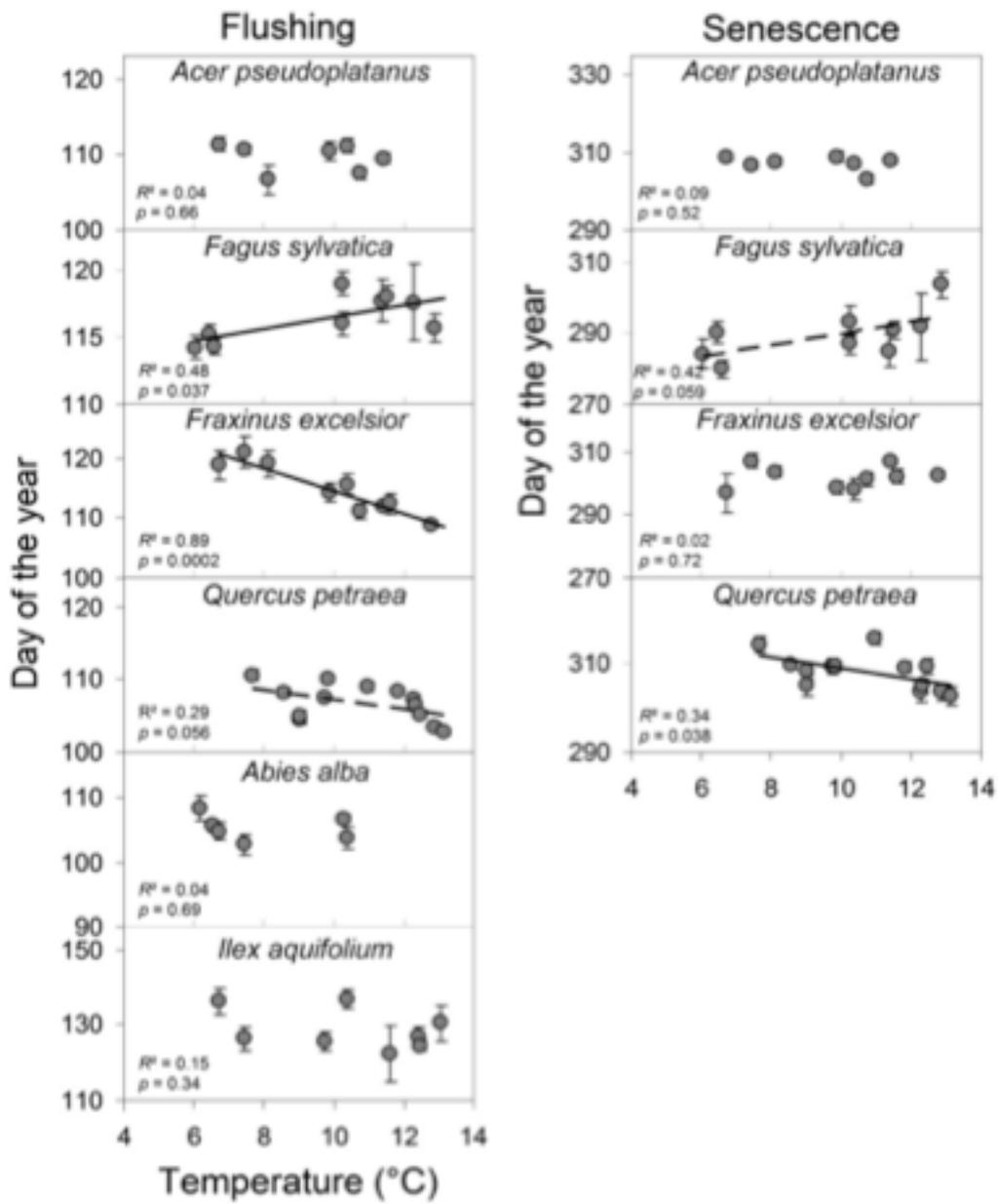


# Mécanismes naturels d'adaptation



**Fitness différentes:** taux survie adultes, reproduction des adultes, survie des semis

# Mécanismes naturels d'adaptation



# PDG, a new hybrid model



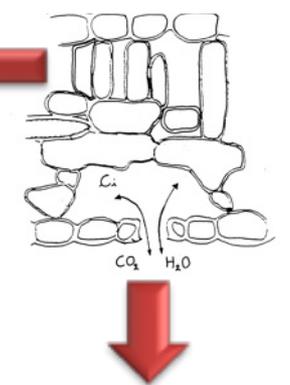
**CASIMIR**

Dufrêne et al. 2005

*Fecundity = f(reserves)*



ADULTS



*Growth/ mortality*

Ovules

Pollen

ADULTS

Date of Budburst

*Dispersal - pollen dispersal kernel*

*Mating system*

*(2% selfing)*

SEEDS



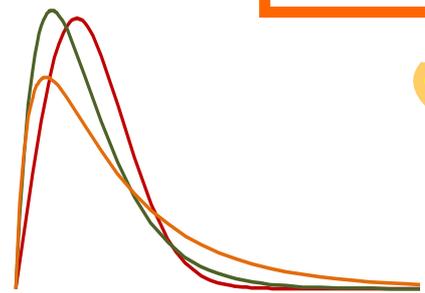
GENETICS

*Density-dependence mortality*

*Rate of empty seed, germination, survival*

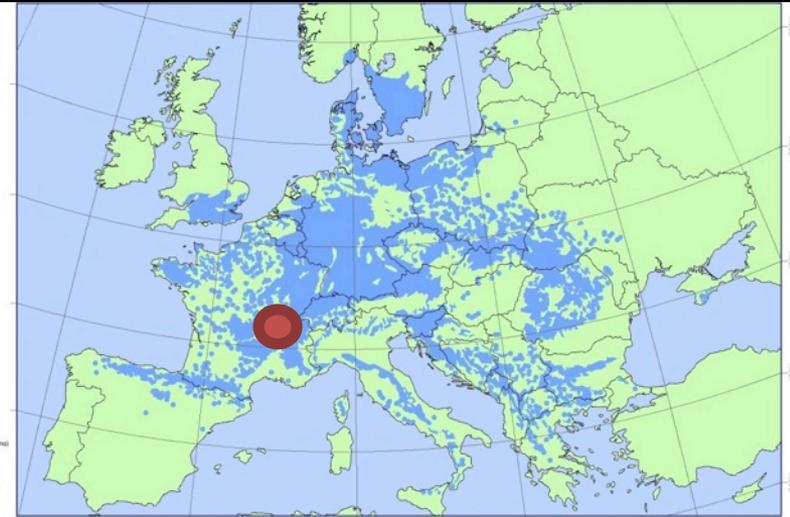
SEEDLINGS

*Dispersal*



# Mécanismes naturels d'adaptation

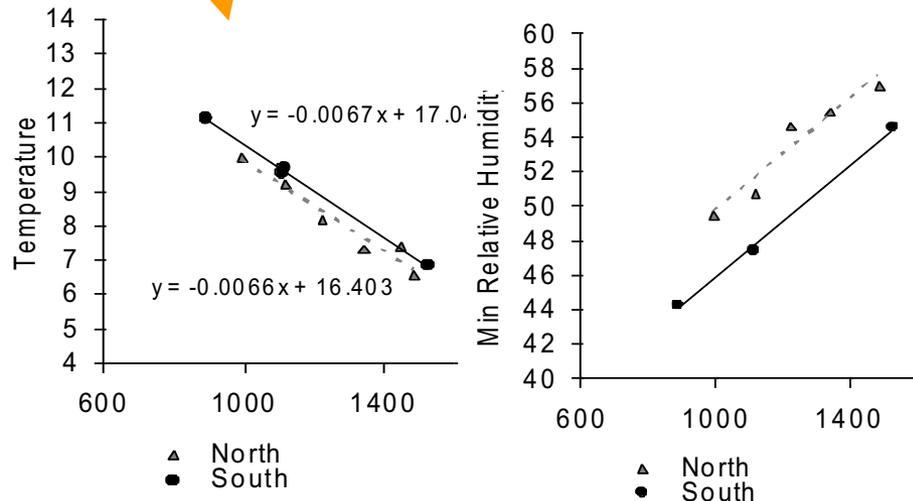
## Adaptation du débourrement sur le Ventoux



This distribution map, showing the natural distribution area of *Fagus sylvatica* was compiled by members of the EUFORGEN networks based on an earlier map published in: Peñalosa, (2000) Paleoclimatic and vegetation - long-term vegetation dynamics in central Europe with particular reference to beech. *Phytocoenologia* 30(3-4): 255-333  
 Citation: Distribution map of beech (*Fagus sylvatica*) EUFORGEN 2006, www.euforgen.org  
 First published online on 30 August 2006 - Updated on 23 July 2008

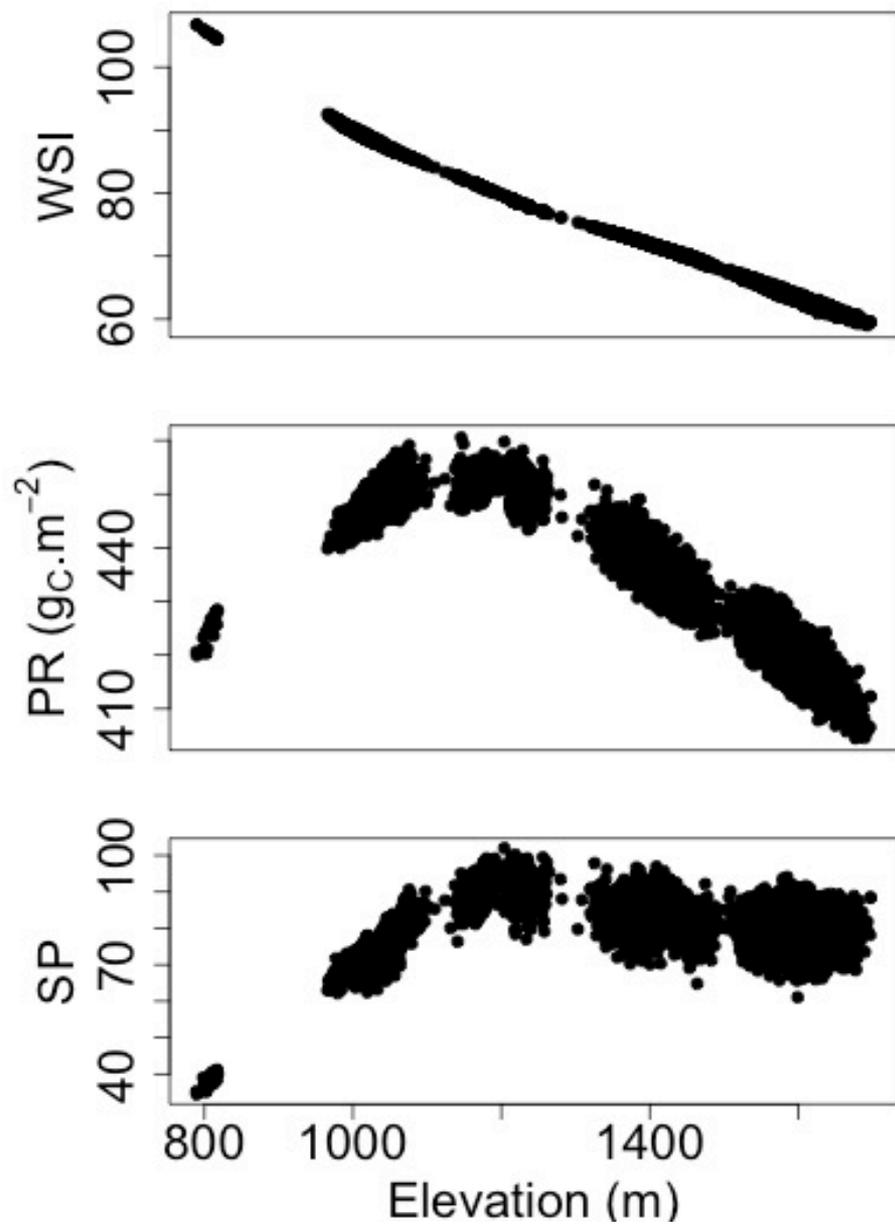
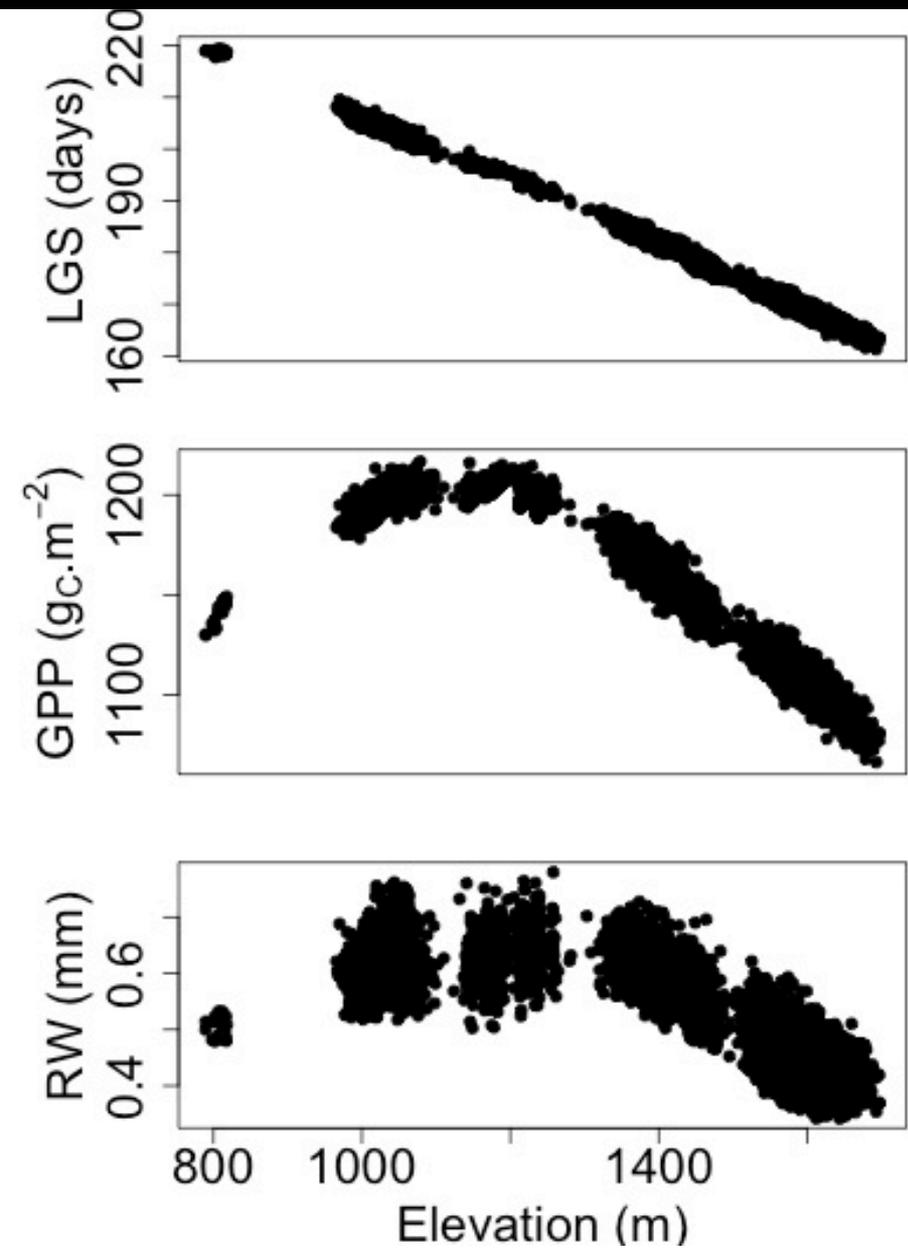
### Populations de Hêtre:

- 750-1700 m sur le versant Nord
- 840 -1615 m sur le versant sud



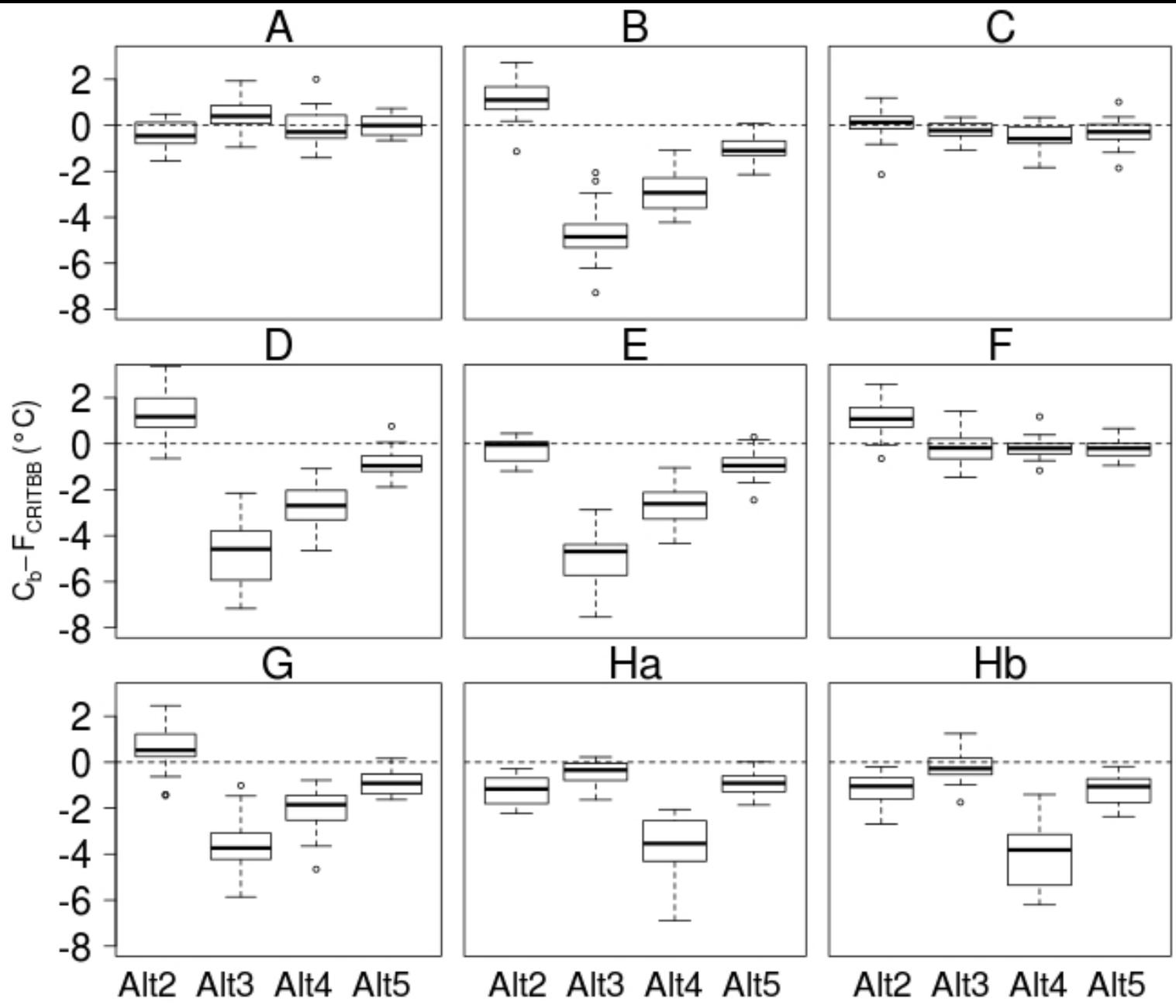
*Comment l'adaptation génétique et la plasticité contribuent à la variation de phénologie le long d'un gradient? Quelle est la vitesse d'adaptation génétique?*

# Mécanismes naturels d'adaptation



# Mécanismes naturels d'adaptation

Taux d'évolution de G0 à G5



# Mesures adaptatives de gestion envisagées

Mesures	Effets
<b>Diminution de la densité du peuplement</b>	Baisse des pertes en eau
<b>Augmentation de la vitesse de rotation</b>	Augmente le stockage de carbone Diminue les risques de mortalité
<b>Exploitation du bois mort</b>	Diminue les risques d'attaques de scolytes et les risques de feux
<b>Enrichir génétiquement avec des populations méridionales</b>	Augmente l'adaptation des populations à un climat plus chaud
<b>Favoriser la régénération naturelle d'essences plus résistantes à la sécheresse</b>	Limite le risque de mortalité
<b>Favoriser le mélange</b>	Limite les risques
<b>Plantation de provenances plus résistantes à la sécheresse</b>	Limite le risque de mortalité
<b>Plantation d'essences plus résistantes à la sécheresse</b>	Limite le risque de mortalité

# Many thanks:

- Phd: Maxime Cailleret, Marion Gillmann, Aurore Bontemps, Annabelle Amm
- Postdoc: Katalin Csillery
- Colleagues: Sylvie Oddou-Muratorio, Philippe Dreyfus, François de Coligny
- Experimental units (Norbert, Olivier, EFDC team (Nicolas, Florence, William))

