

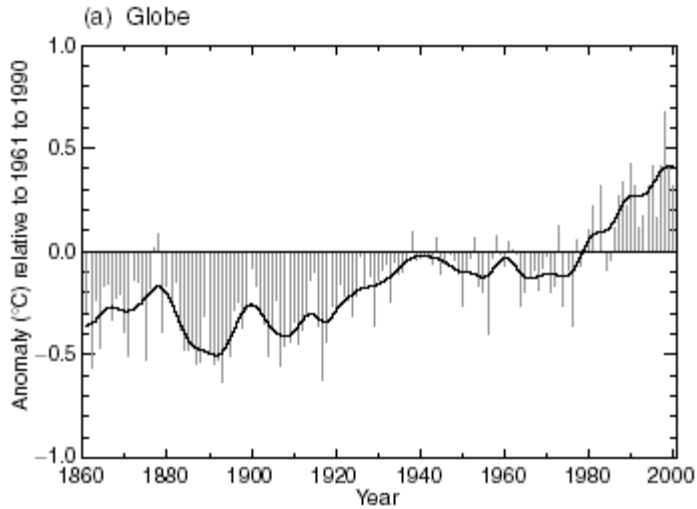
Effet des changements climatiques sur le fonctionnement et la dynamique des forêts

Hendrik Davi

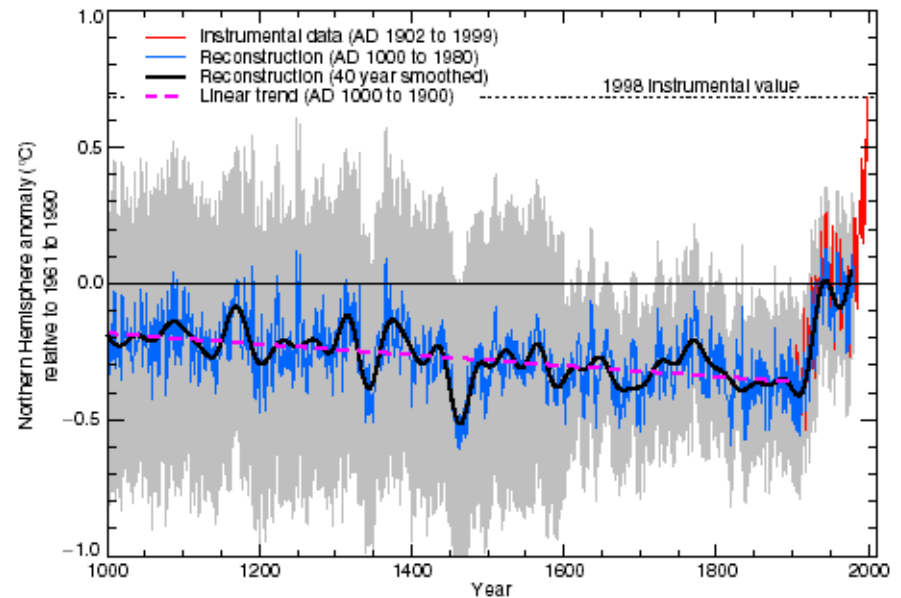
Plan

- 1. Changements climatiques avérés et attendus**
- 2. Modélisation du fonctionnement des forêts**
- 3. Couplage avec la dynamique**
- 4. Quelques résultats sur la régénération, reproduction et mortalité**

Changements climatiques causes et conséquences

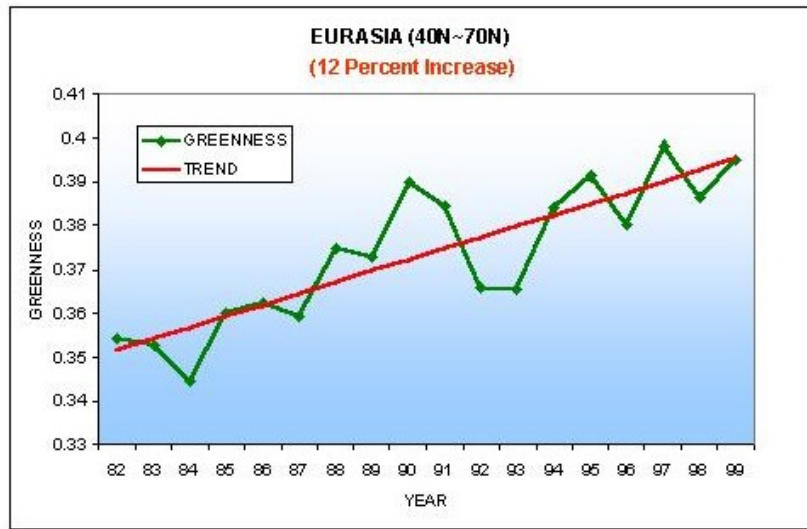
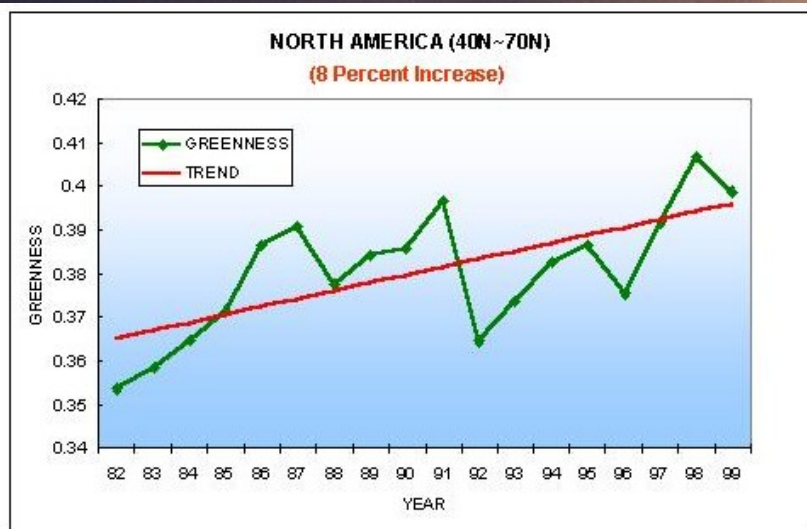


1. Hausse des T_{ure} depuis 1860
+0.6°C
2. Hausse de l'amplitude diurne
3. Baisse du nombre de jours de gel



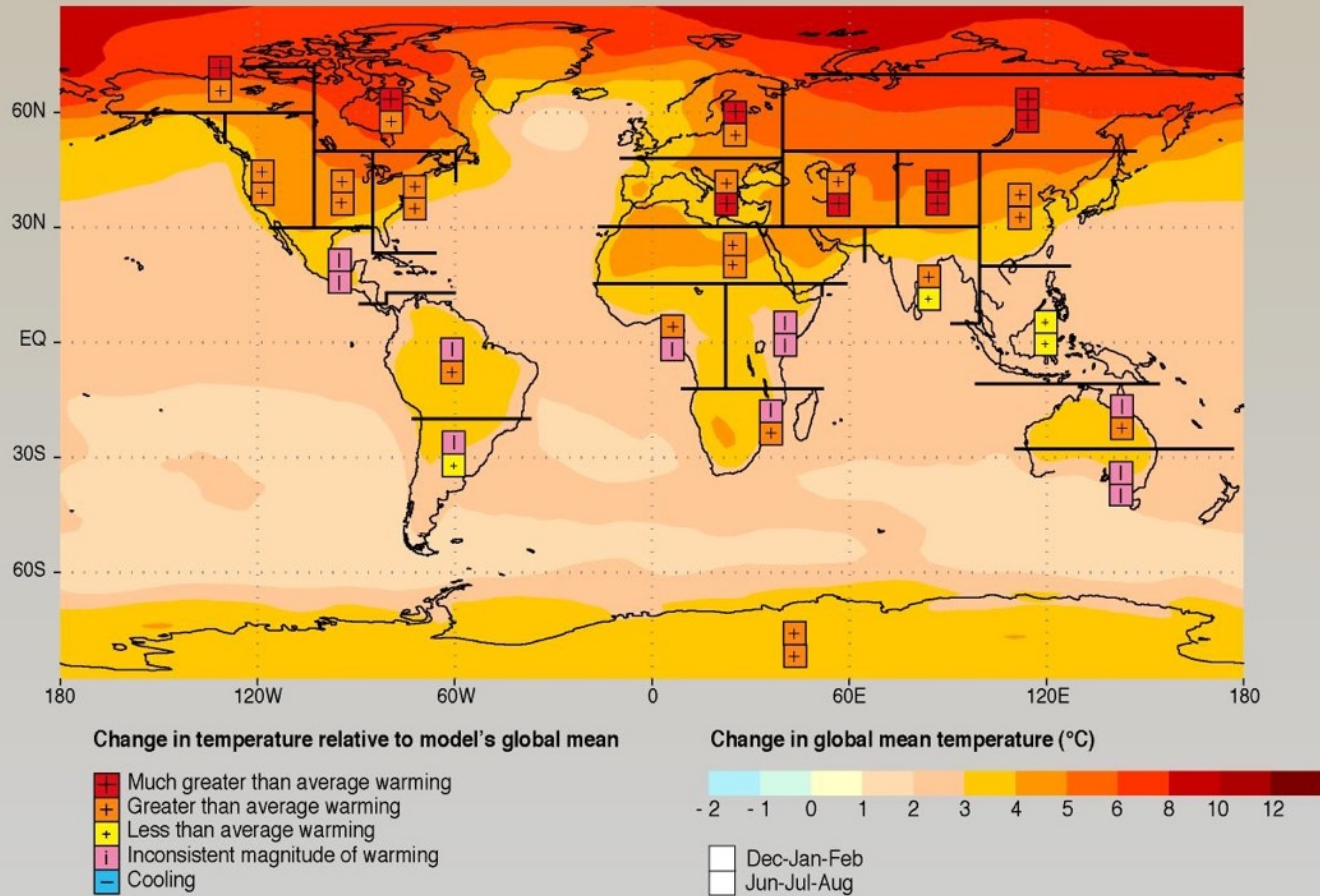
Variations depuis 1000

Changements climatiques causes et conséquences



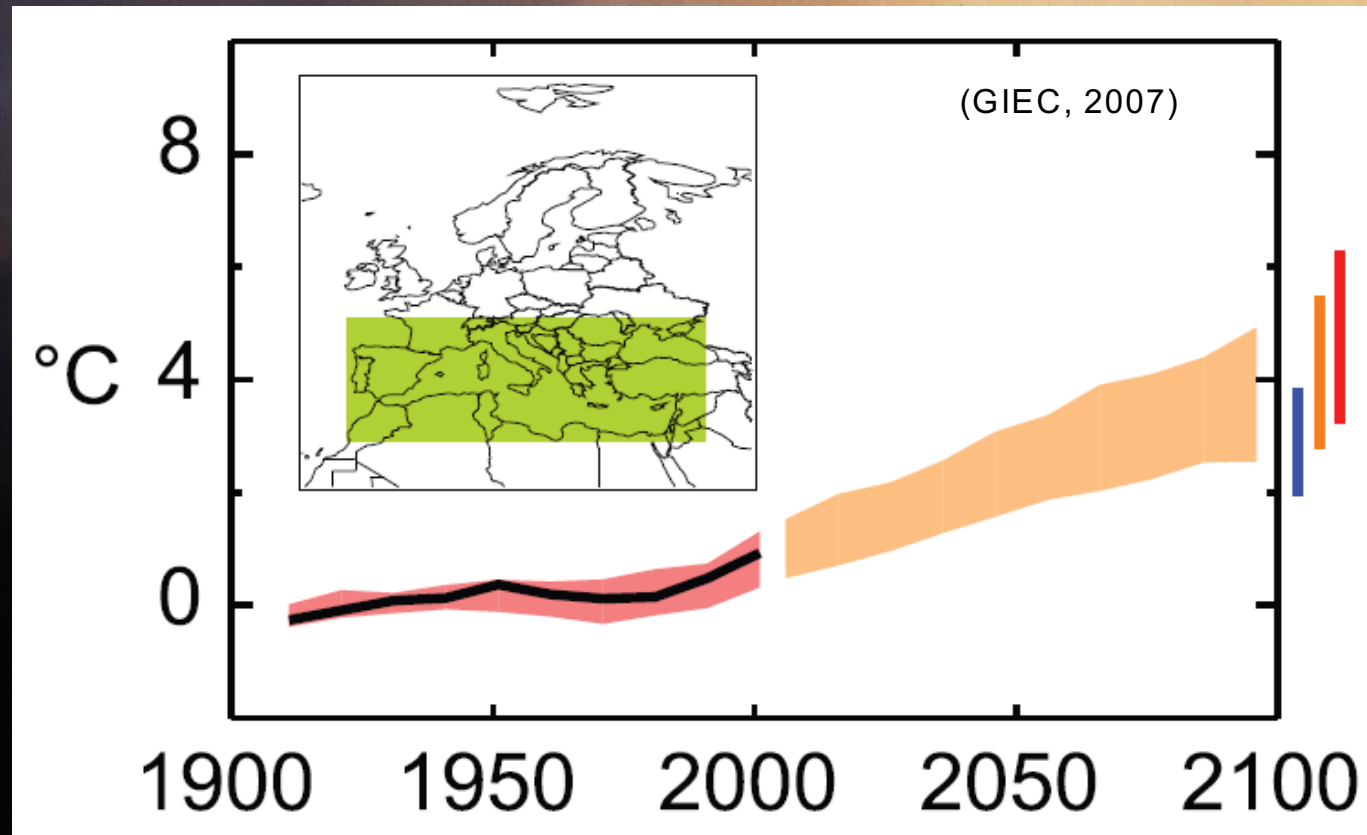
- Augmentation de la durée de végétation de 7 jours depuis 70
- Avancement de la reproduction et de la date de migrations
- Extinction d'espèces

Change in temperature for scenario A2



SYR - FIGURE 3-2 a

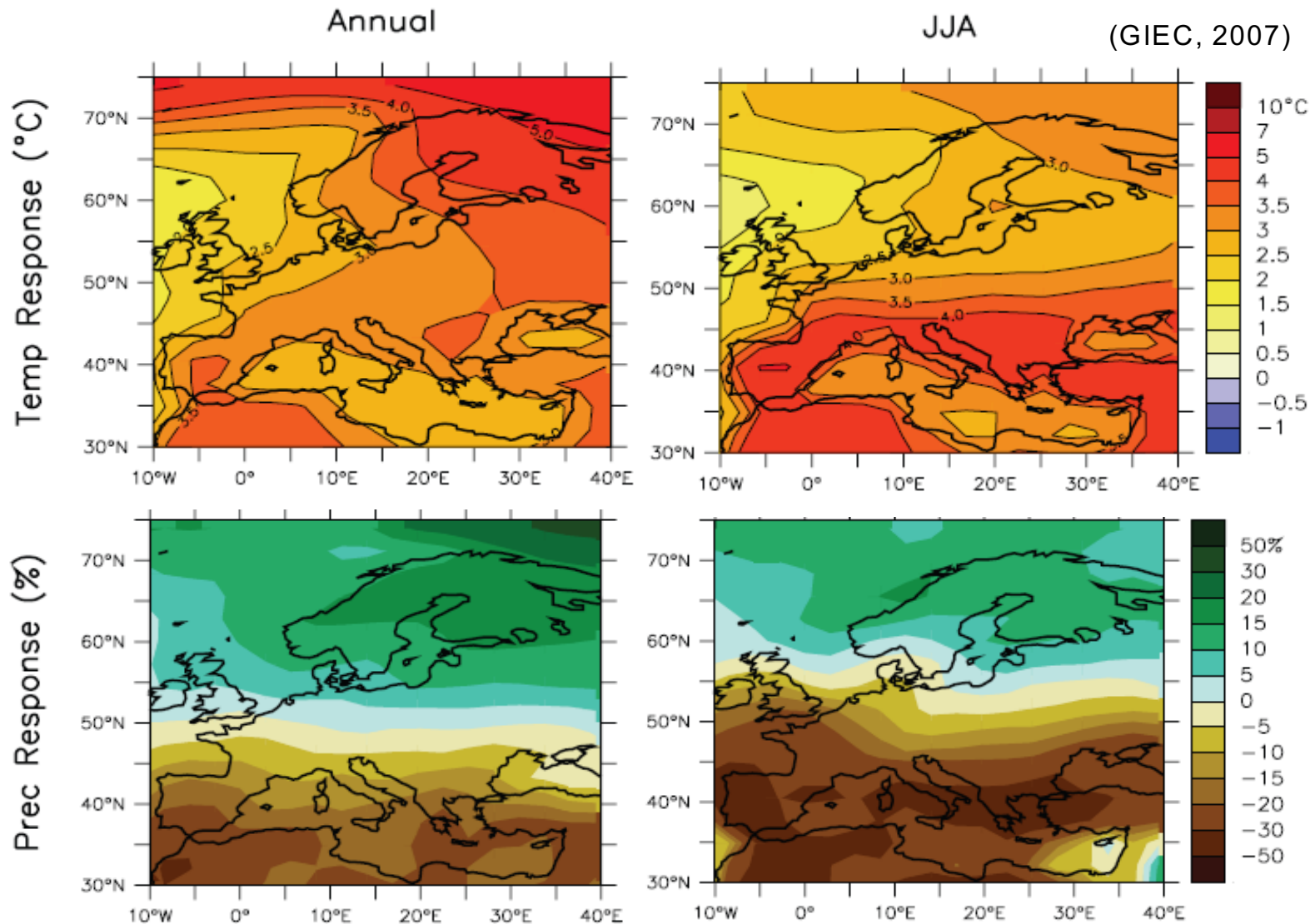
Changements prédits du climat en zone méditerranéenne



Scenario A1B comparaison 1980-1999 à 2080-2999 pour la zone méditerranéenne

- T° annuelle : +2,2°C à 5,1°C (Scenario A1B)
- le plus fort réchauffement devrait avoir lieu l'été

Changements attendus de la température et des précipitations en Europe (période 1980 - 1999 comparée à 2080 - 2099)



Augmentation du risque d'événements extrêmes

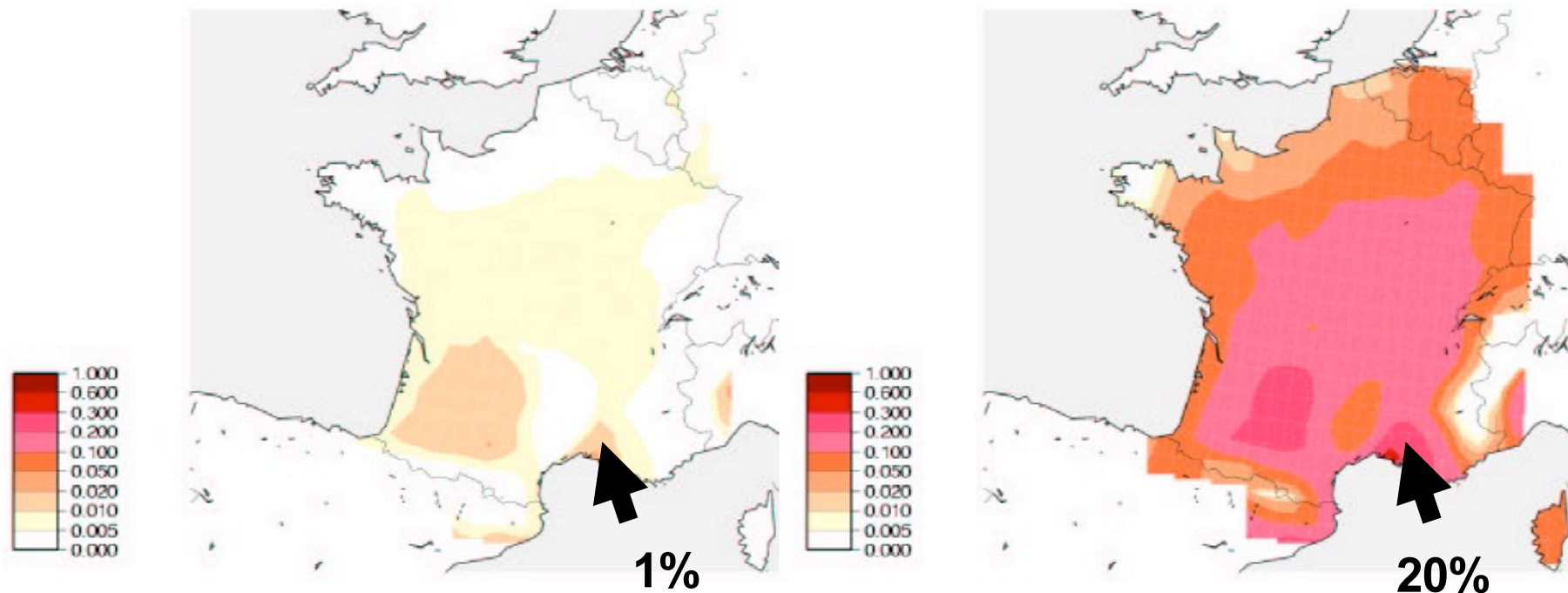


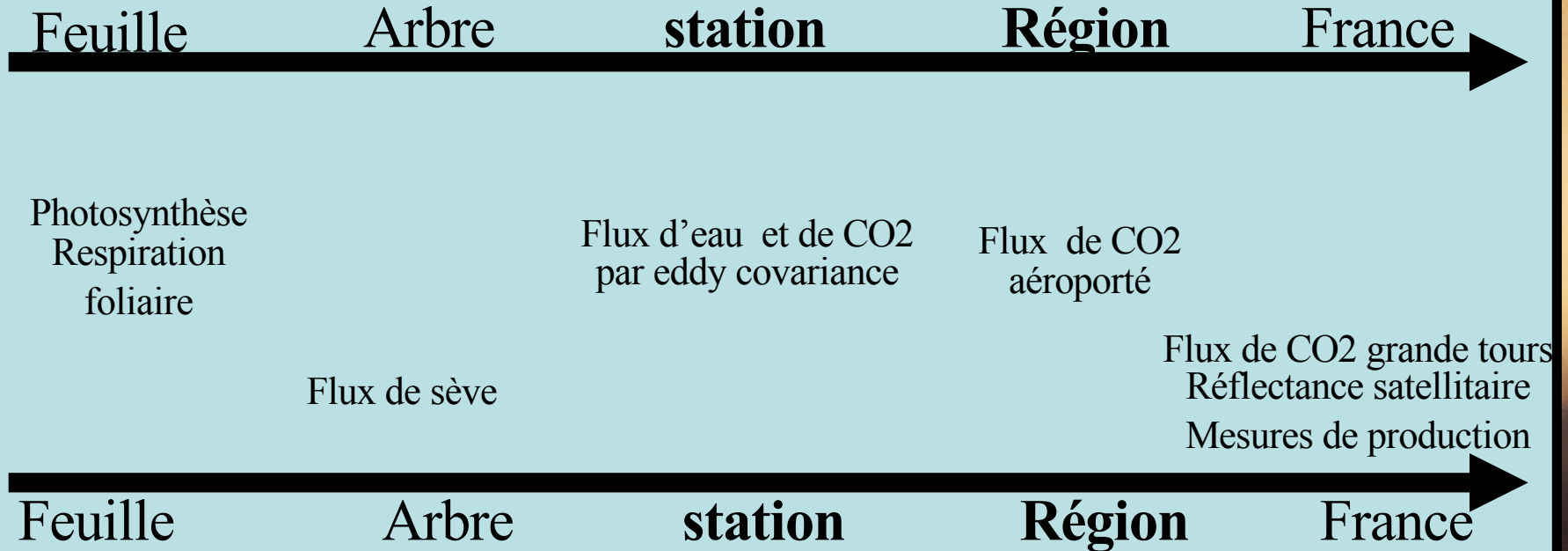
Figure 4: Probabilité d'avoir une température maximale supérieure à 35°C en été pour la période 1961-1990 (à gauche) et la période 2071-2100 (à droite).

Effet des changements climatiques sur le fonctionnement et la dynamique des forêts

Plan

1. Changements climatiques avérés et attendus
2. **Modélisation du fonctionnement des forêts**
3. Couplage avec la dynamique
4. Quelques résultats sur la croissance et la mortalité

Les changements d'échelle



Processus fonctionnant à une échelle très fine



Questions scientifiques et sociétales une échelle très large

flux de carbone mesuré à l'échelle locales (organes)

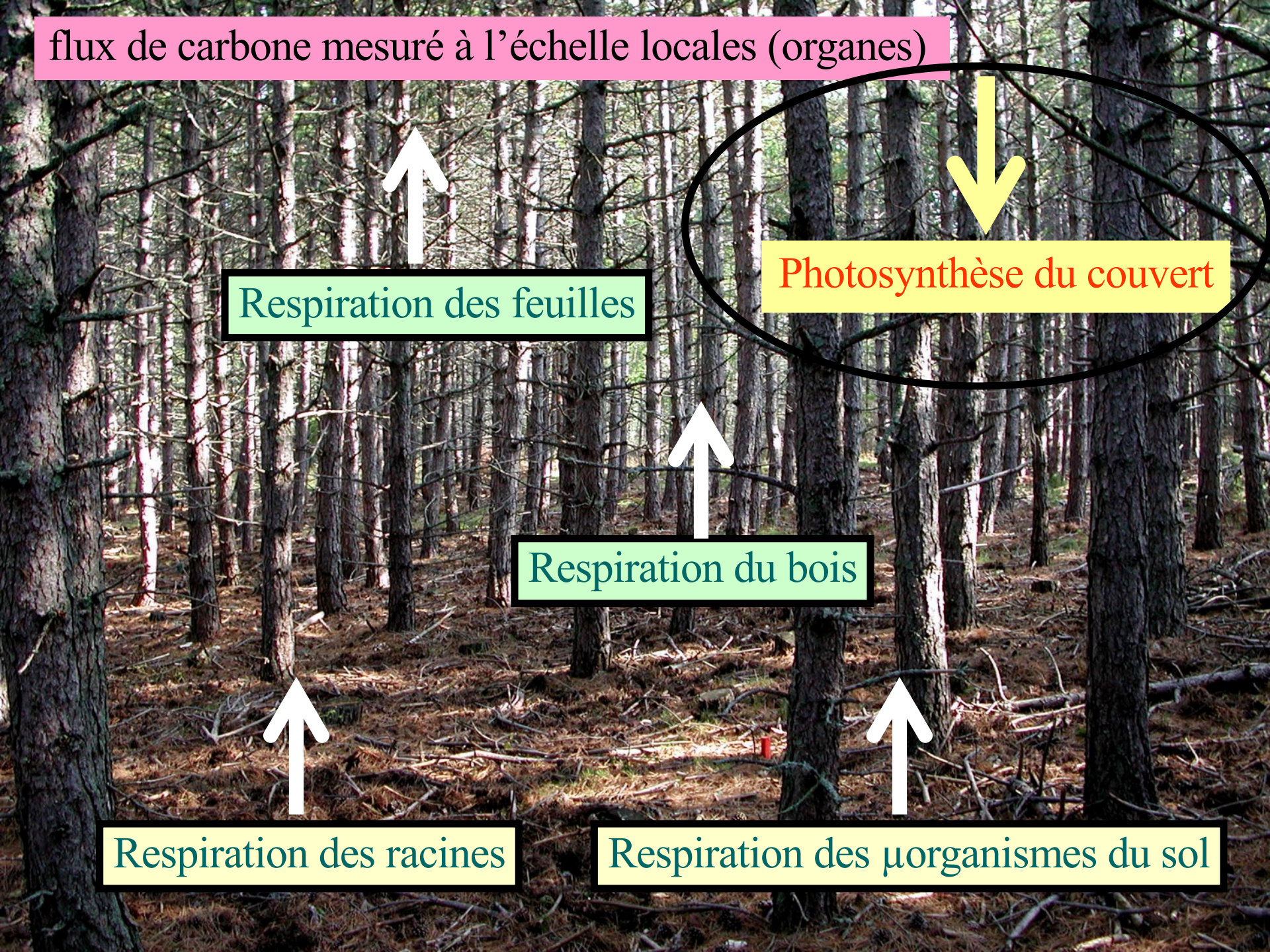
Respiration des feuilles

Photosynthèse du couvert

Respiration du bois

Respiration des racines

Respiration des μorganismes du sol



Flux d'eau



interception



pluie



Transpiration



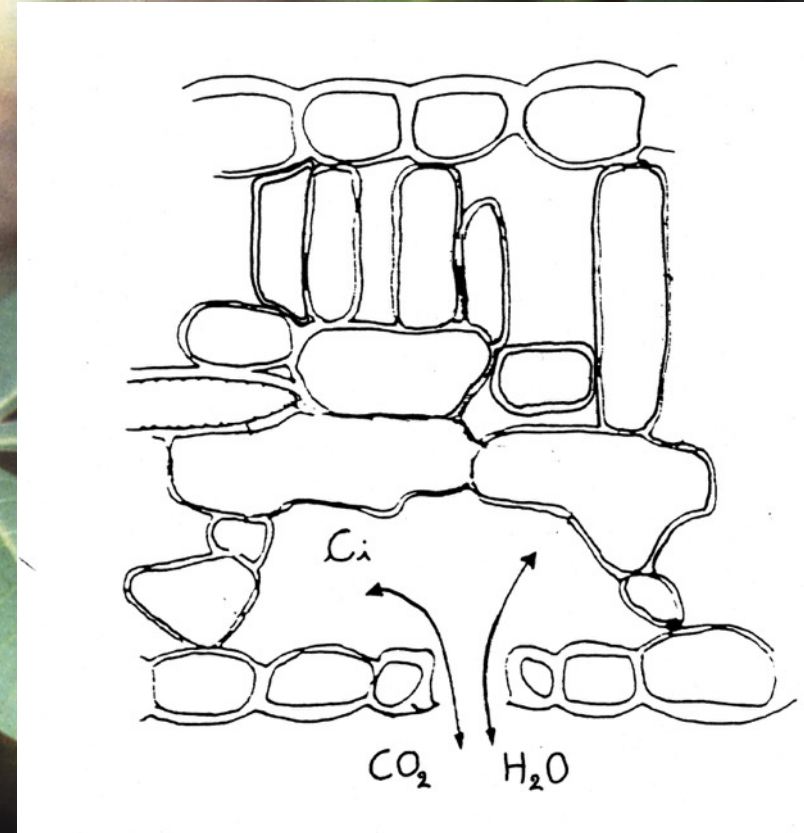
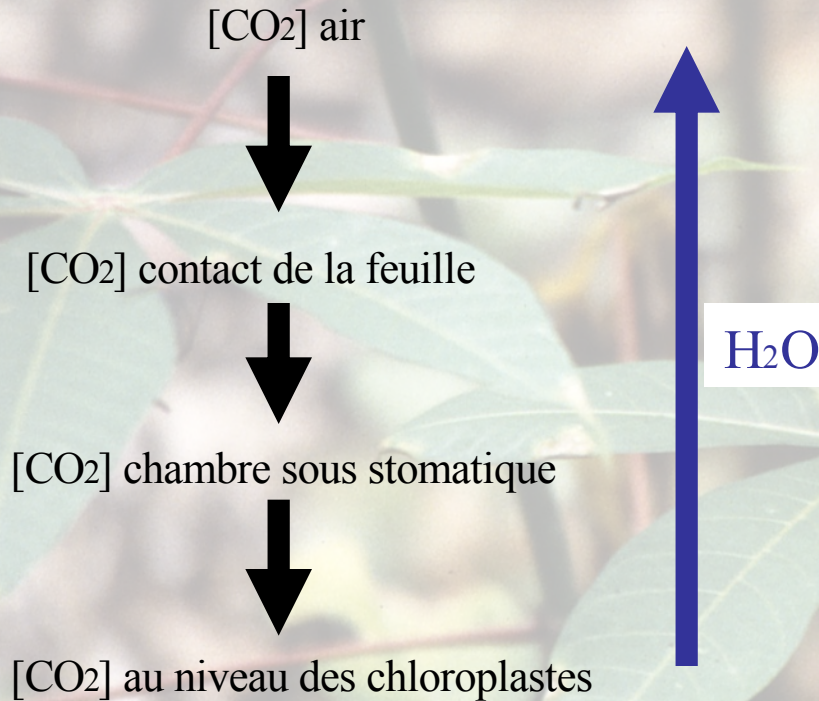
evaporation

Drainage



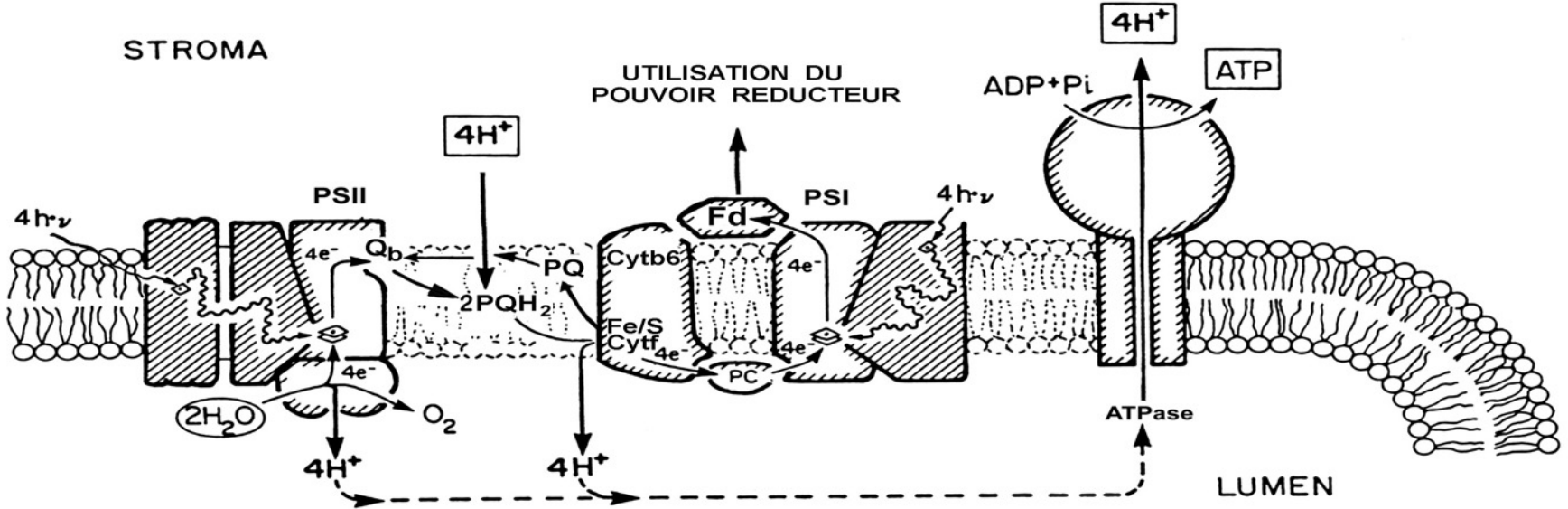
Processus biophysique et biochimique de la photosynthèse

A] Le trajet du CO₂, l'ouverture stomatique



*Ouverture stomatique dépend de la turgescence
des cellules des gardes*

B] L'interception de la lumière



PSI Photosystème I

PSII Photosystème II

**Fe/S
Cytf** Cytochrome f

Fd Ferredoxine

Centre réactionnel

PQ Plastoquinone

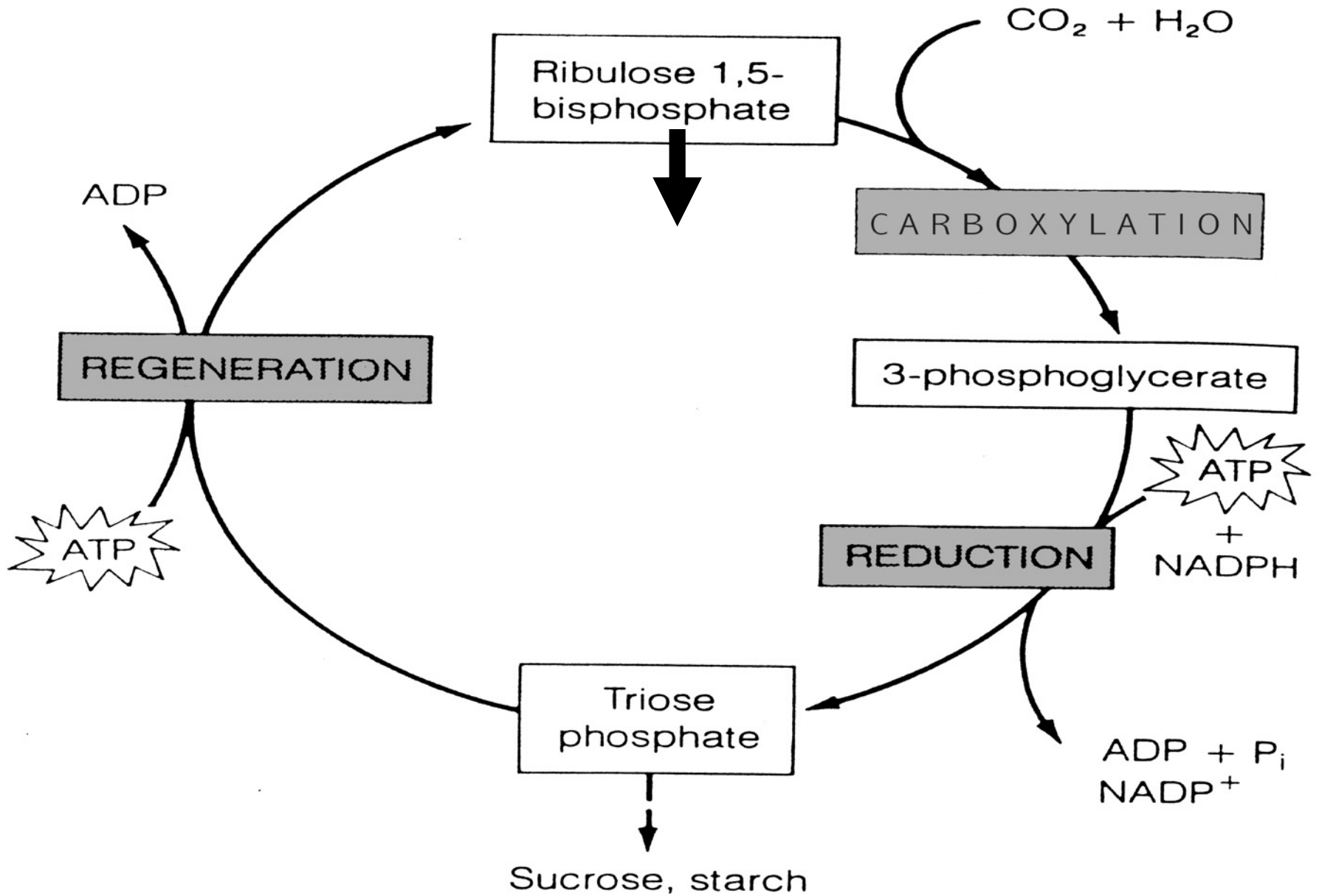
PQH₂ Plastoquinone réduite

Q_b Plastoquinone fixée sur le PS₂
pour accepter les e⁻

e⁻ électrons

- 1 Collecte des photons antennes PSI et PSII
- 2 Hydrolyse de l'eau
3. Production d'ATP
4. Production de pouvoir réducteur

C] La carboxylation: le cycle de Calvin



Modélisation: Modèle CASTANEA (Dufrêne et al., 2005)

Bilan C foliaire

$$N_s = f(N_m) * LMA$$

Selon Ryan
 $R_f = f(N_s, T)$

selon Farquhar
 $A = f(N_s, T, PAR)$

selon Ball & al
 $G_s = f(A, HR)$

Bilan C couvert

PAR (Verhoeff)

LMA

G_c

Bilan H₂O couvert

ETR
Penman
Monteith

Bilan C-H₂O-E écosystème

EP_{sol} (Penman)

C_{sol} (Parton)

ΔB

Eau du sol

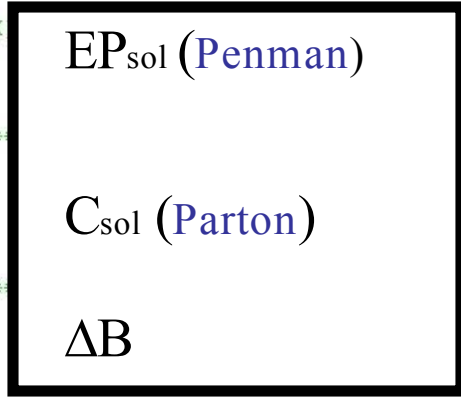
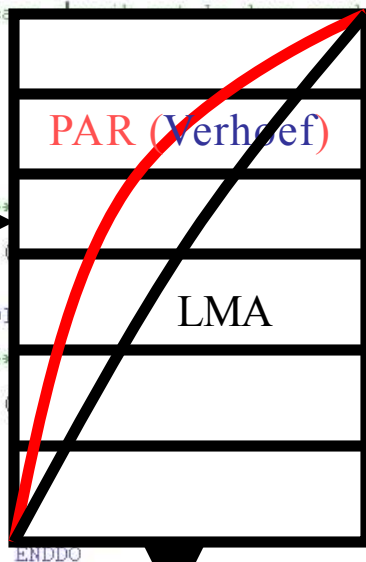
selon Sala & al

Modèle multicouche

```
IMPLICIT NONE
CHARACTER *80 bufferleg
INTEGER parcel, i1, i2, i3, i4, i5, i6, ss, nsim
INCLUDE 'common.f90'
INCLUDE 'common_rand.f90'

CALL initrandom()

! ...
CALL open_files
```



CASTANEA (Dufrêne et al., 2005)

Modèle arbre moyen



Couvert= n couches

Réserves



Tronc et branches

Sol= 2 couches



Fine racines

Feuilles

- indice foliaire (LAI)
 - azote (N)
- masse surfacique (LMA)

Bois aérien
Biomasse (B_{bois})

Les paramètres clés de l'écosystème

Racines
Biomasse (B_{racines})

Réserve utile en eau
(RU)

Matière organique du sol
(C_{sol})



Branch bag



sapflow



Gas exchange



Dendrometer



Biochemical



photosynthesis



photos



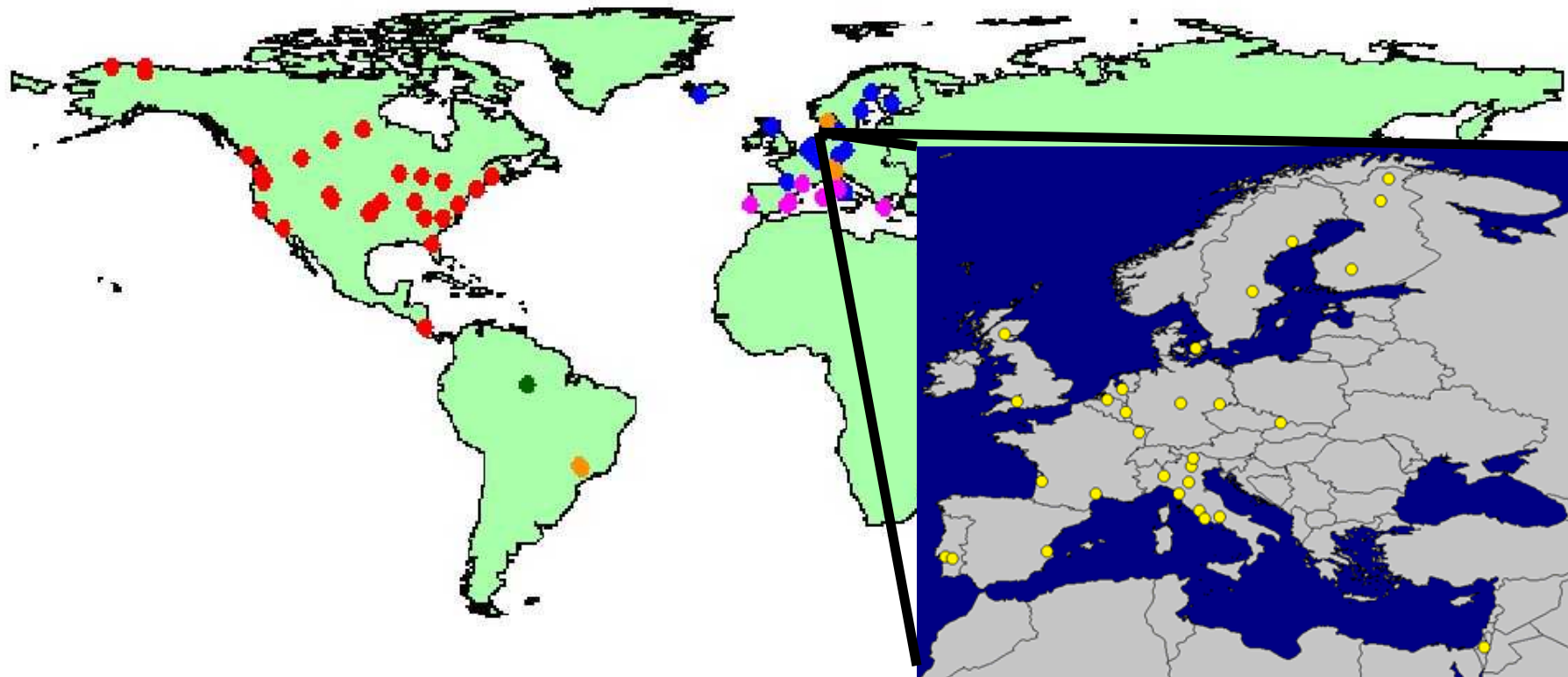
LAI2000





FLUXNET Sites

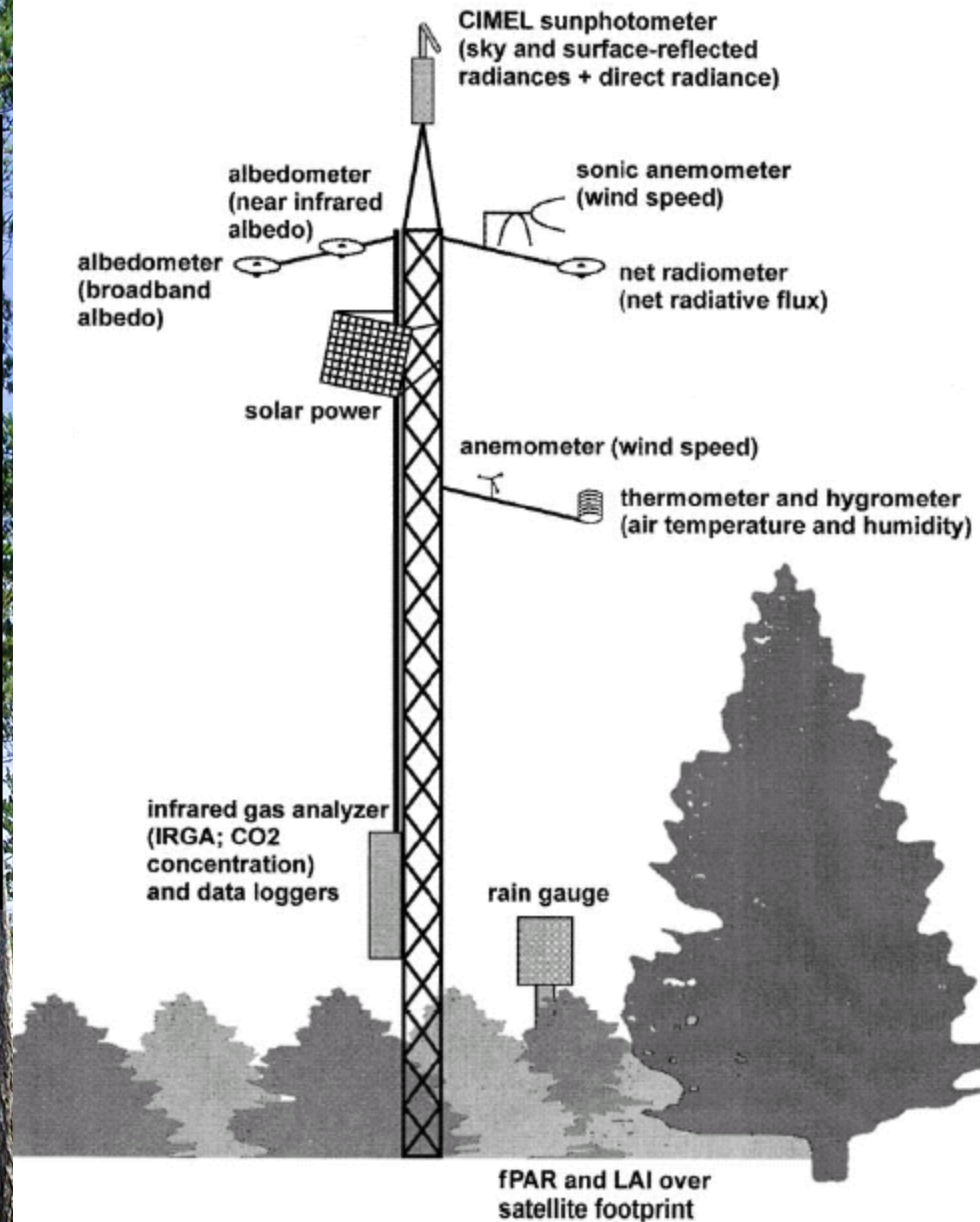
AmeriFlux(•), EUROFLUX(•), Medeflu(•),
JapanNet(•), LBA(•), others(•)



Carbon and water flux estimation by eddy correlation method

Les mesures intégratives

Tour à flux: mesure intégrative méthode des corrélations



Running et al., 1999

Hesse: hêtre



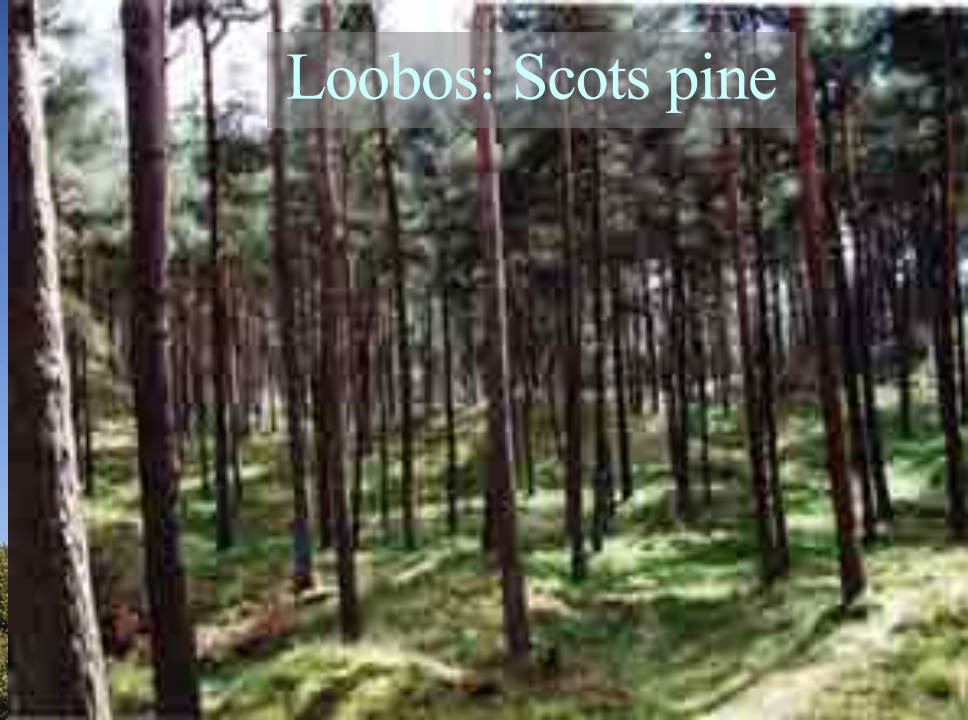
Le Bray: maritime pine



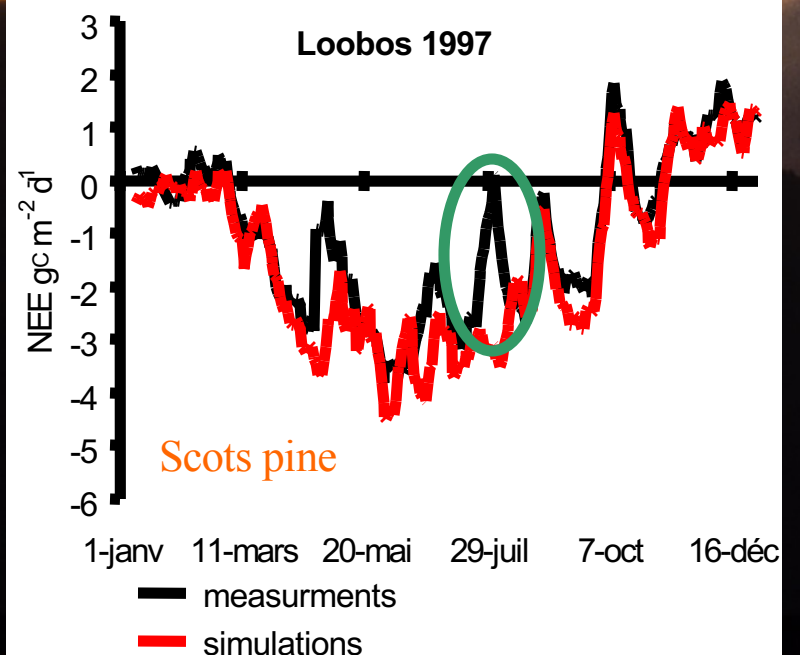
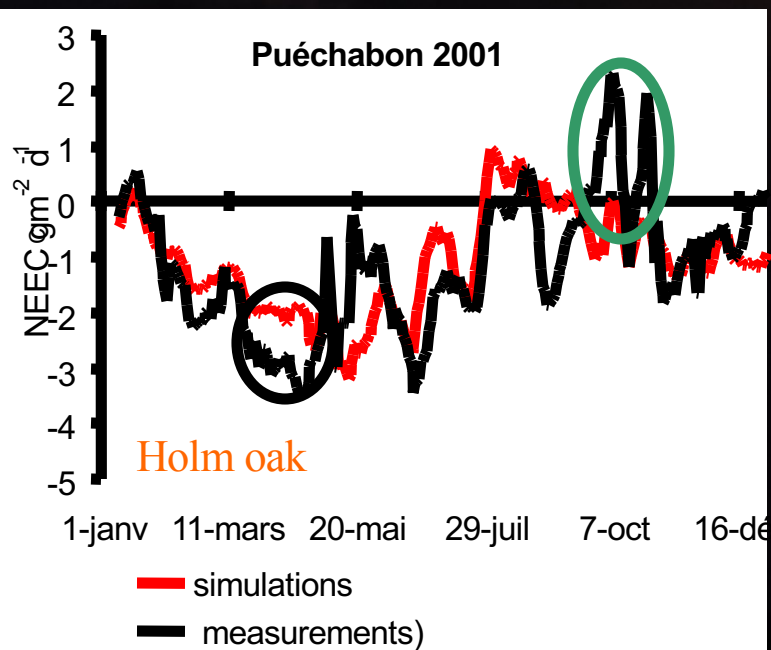
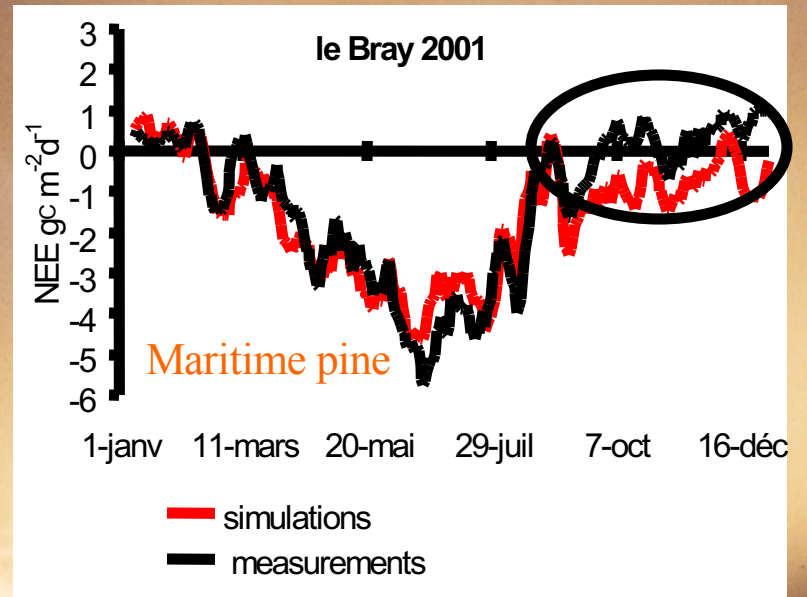
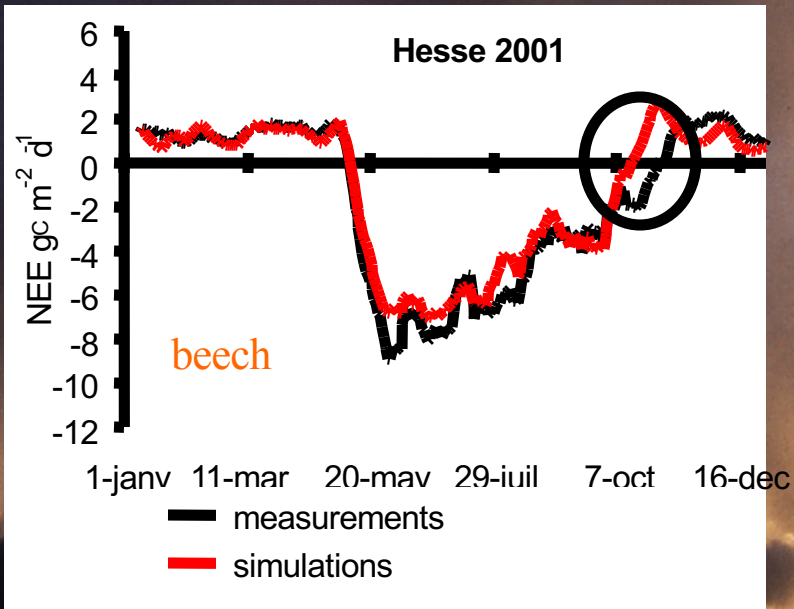
Puéchabon: Chêne vert



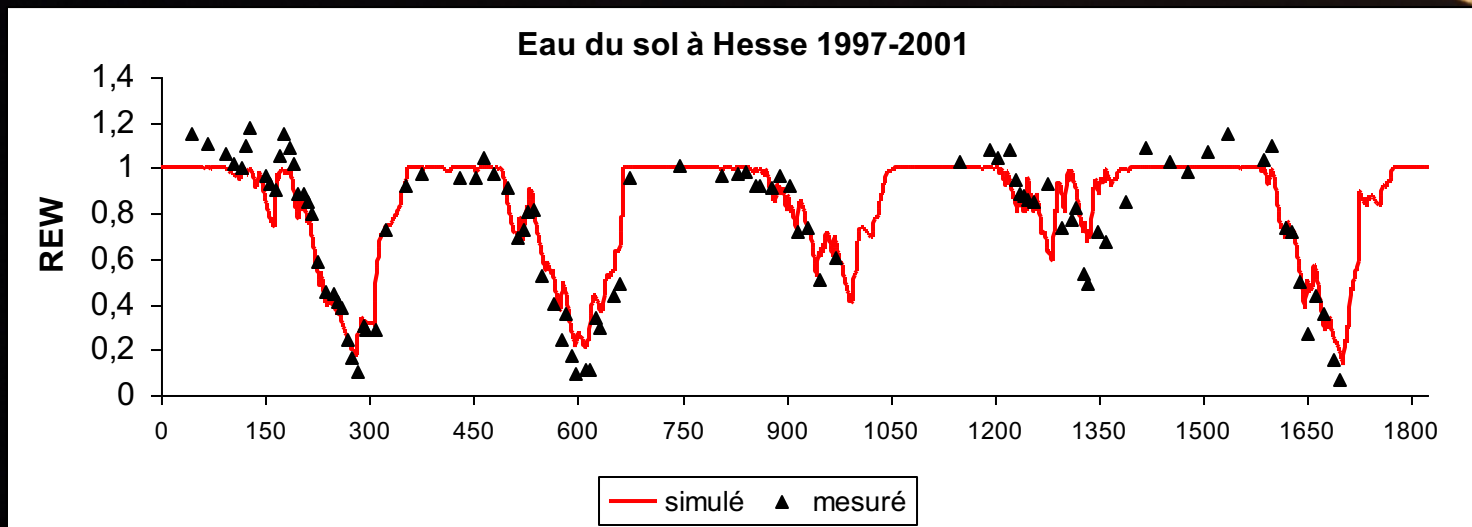
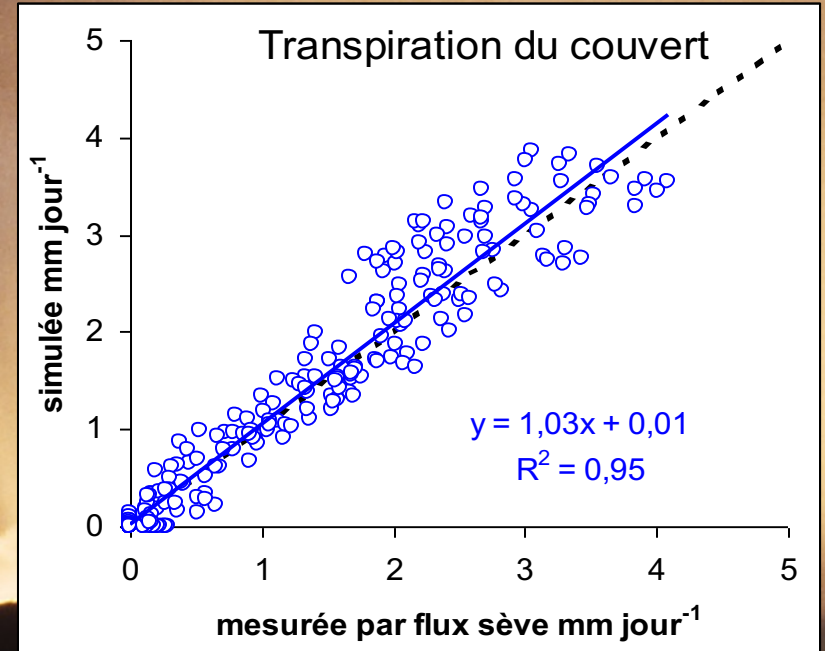
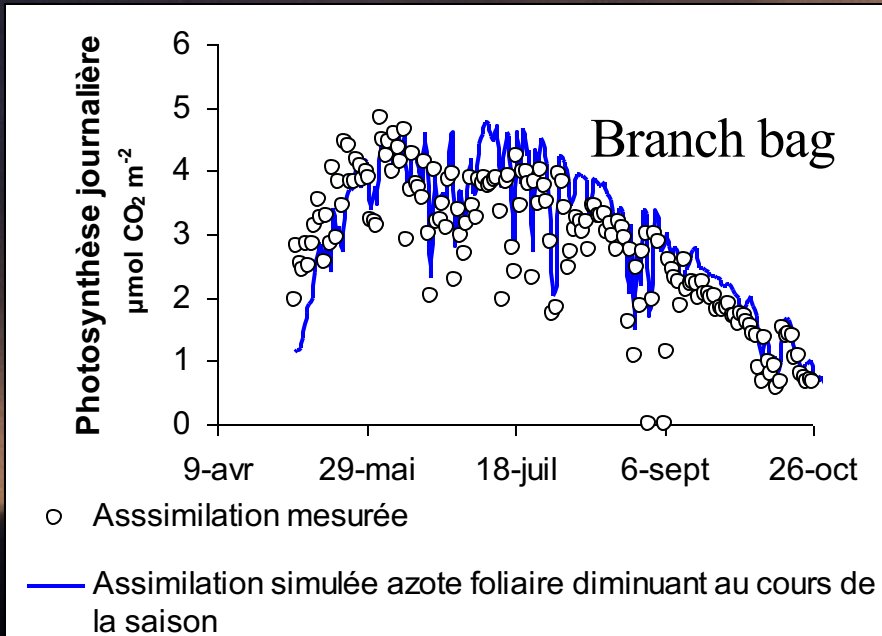
Loobos: Scots pine



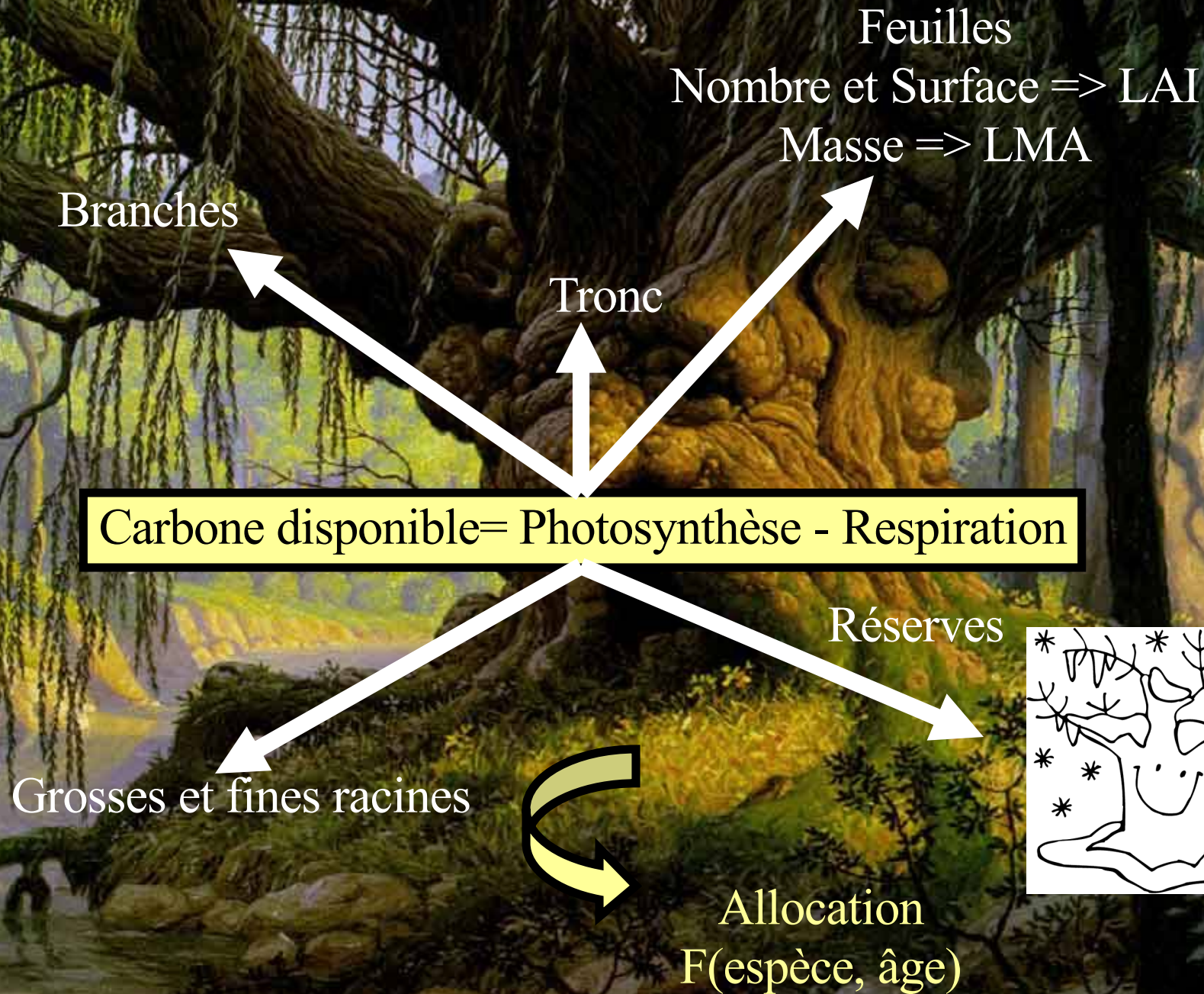
Evaluation du modèle sur le FNC (Davi et al. 2006a)



Evaluation du modèle (Davi et al. 2005)

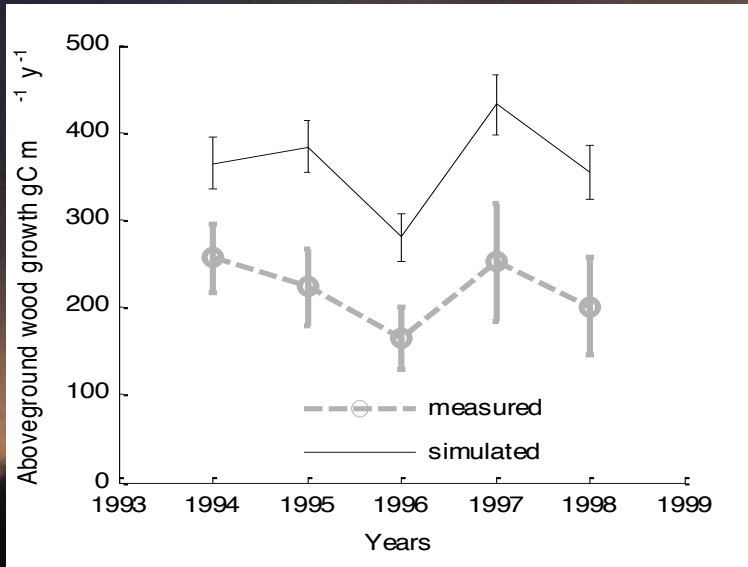


l'allocation du carbone

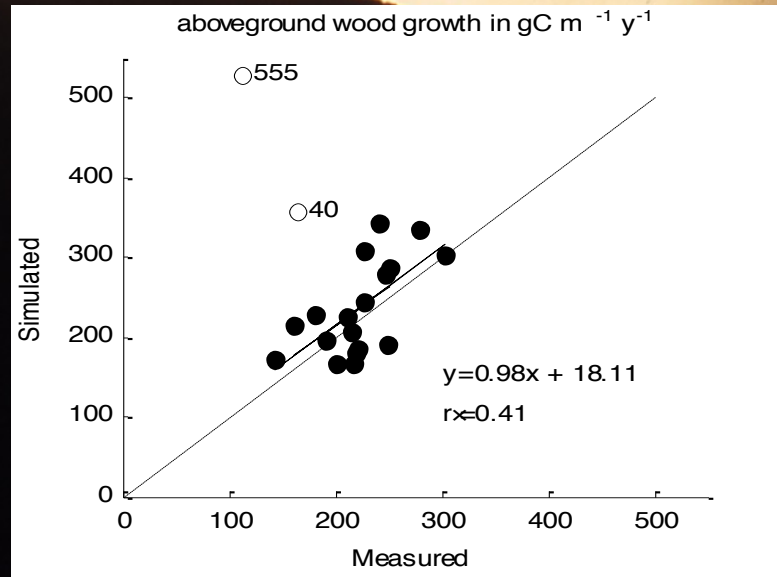
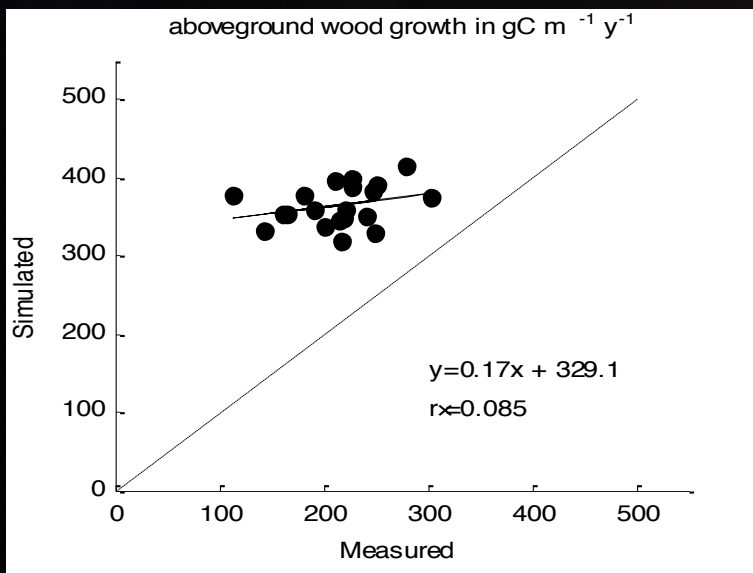
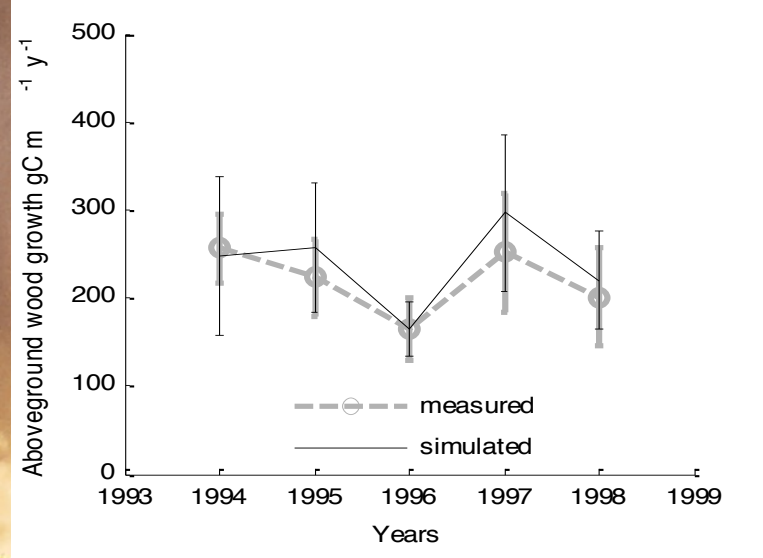


Allocation du carbone

Constant coefficient of allocation



Coefficient of allocation varying according tree size using hydraulic laws



Effet des changements climatiques

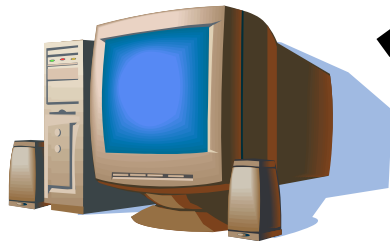
Mesures sur les sites euroflux



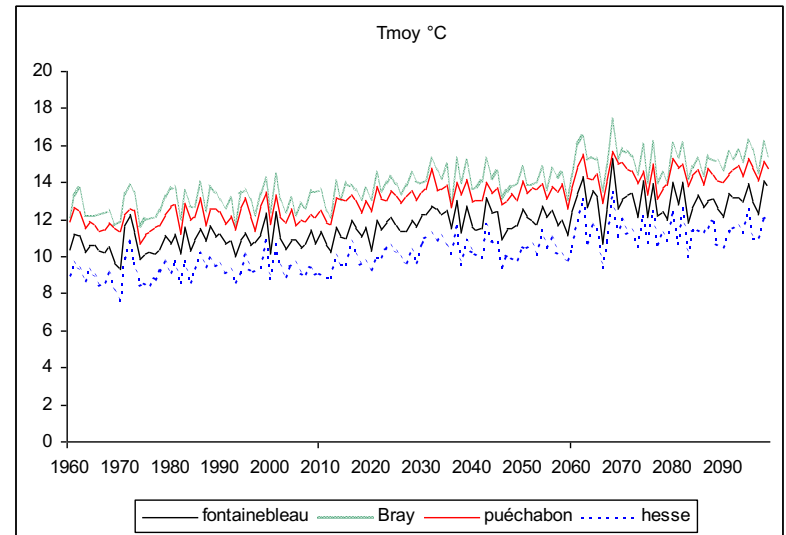
Validation

Paramétrisation

Modèle CASTANEA



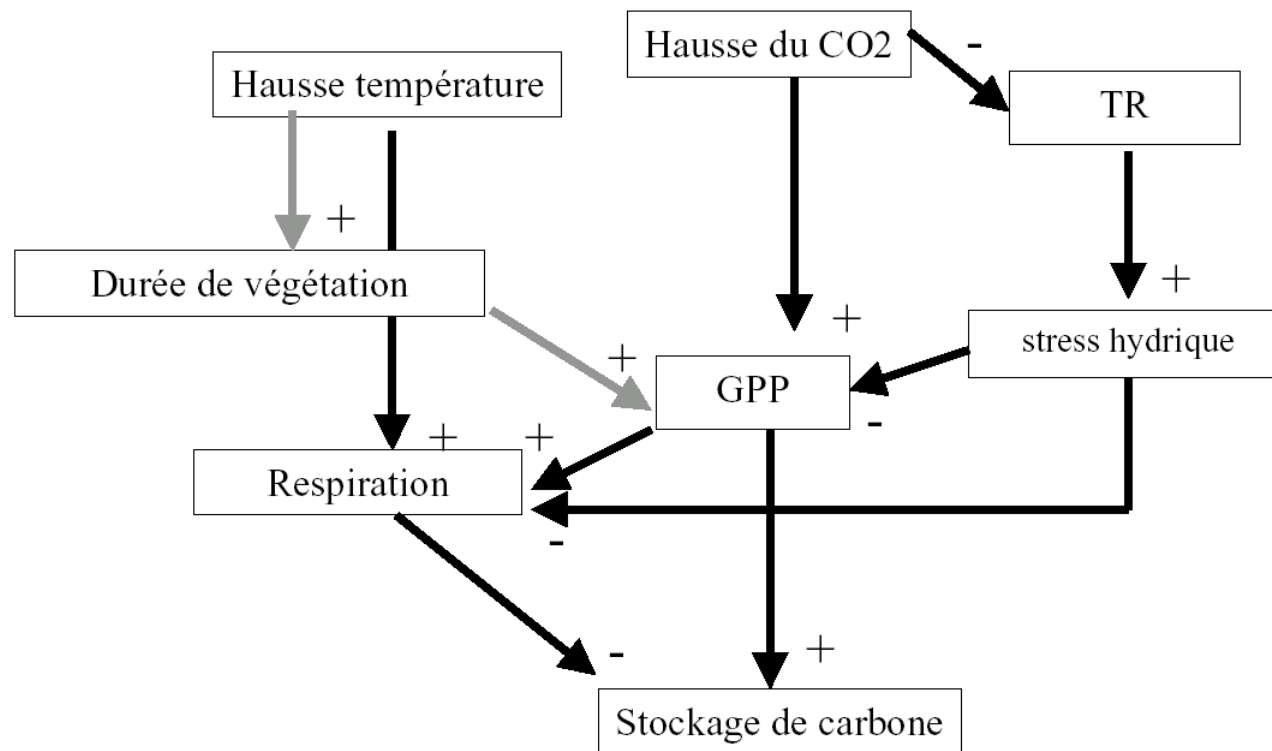
Données climatiques simulées de 1960 à 2099



Effet des Δ du climat sur 6 peuplements types

Effet des changements climatiques

Schéma des effets des changements globaux sur la végétation

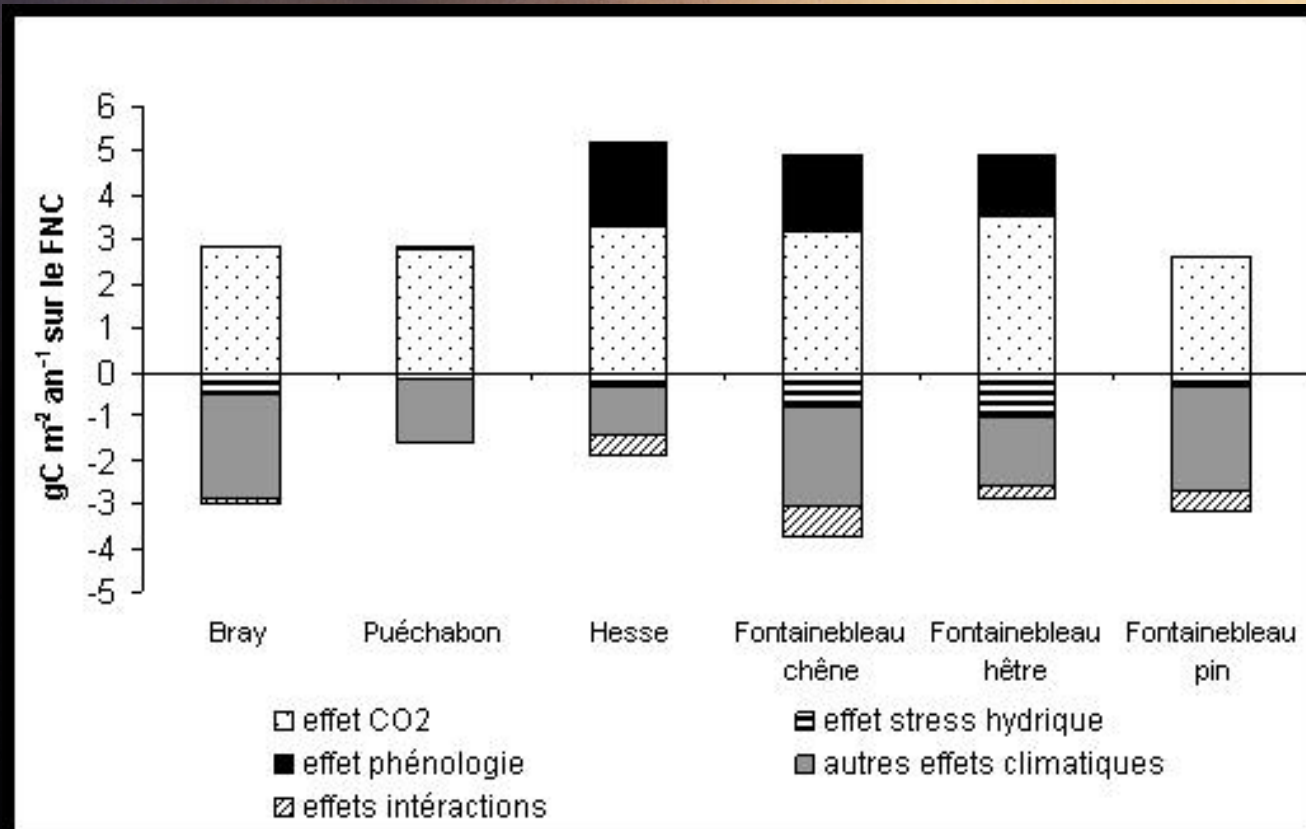


Augmentation conjointe de la température, du stress hydrique et du CO2

Modélisation des effets est complexe (dépendent de l'espèce)

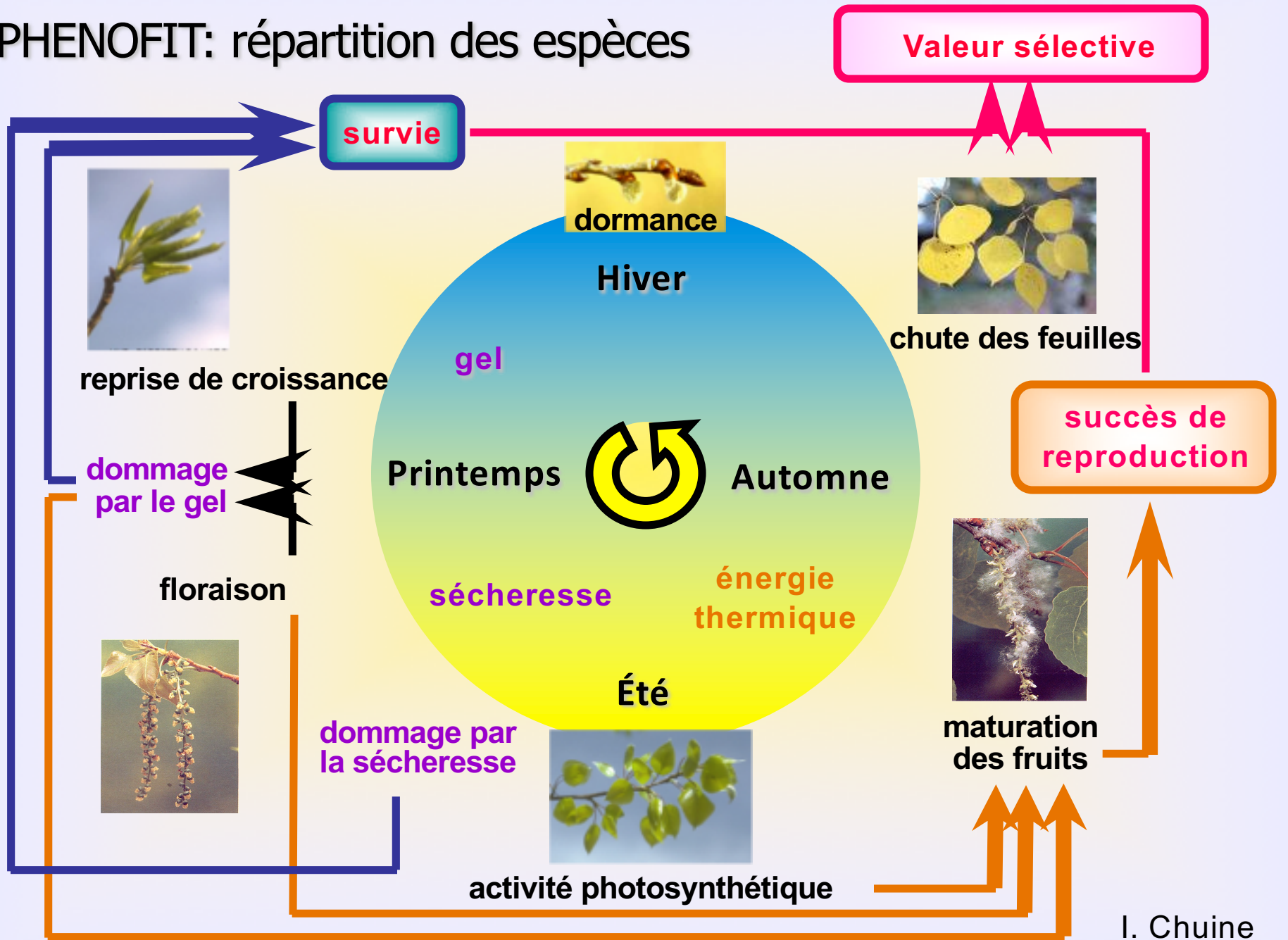


Modèles statistiques sont inopérants



Résumé de la contribution de chaque facteur dans la tendance observée sur le FNC entre 1960 et 2100

PHENOFIT: répartition des espèces

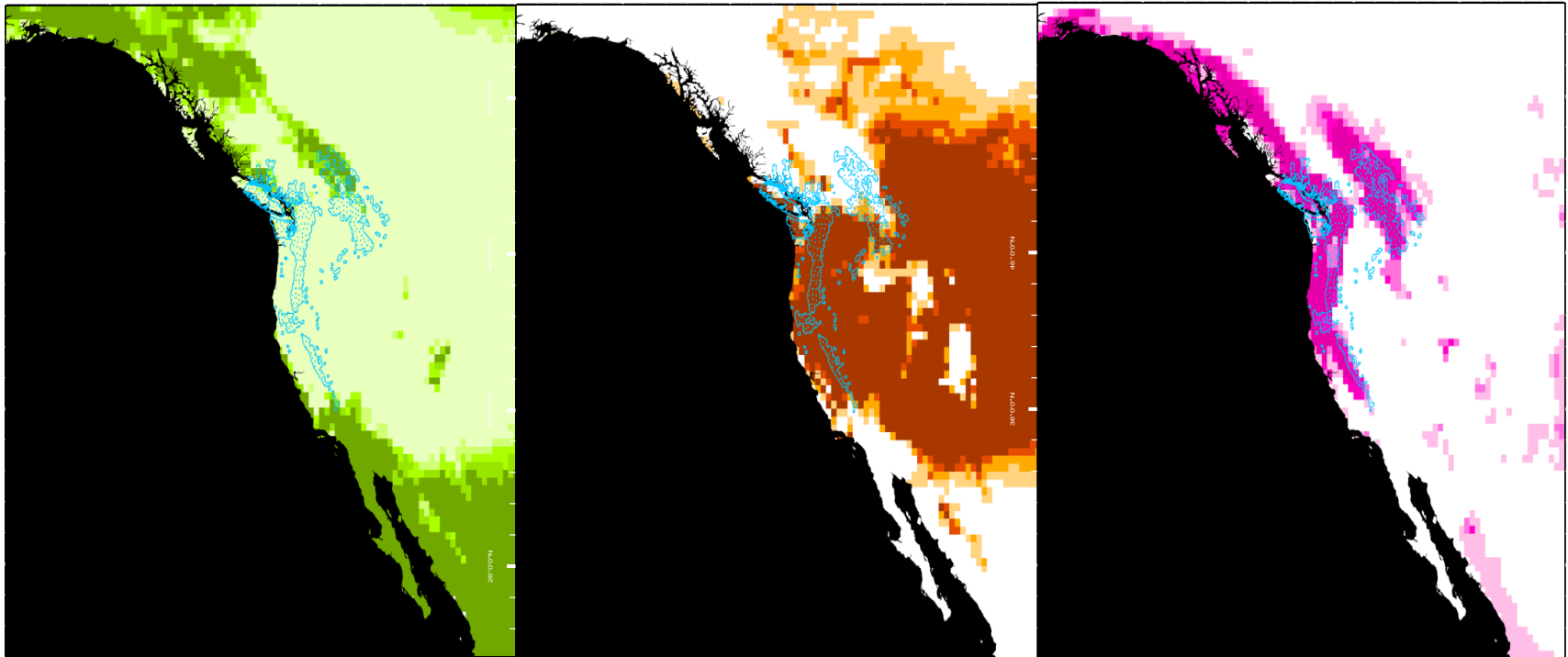


Qu'est ce qui détermine la répartition du pin blanc ?

DOMMAGE DE GEL
(PHENOLOGIE)

SUCCESS REPRODUCTEUR

SURVIE



faible  élevé

faible  élevé

faible  élevé

Effet des changements climatiques sur le fonctionnement et la dynamique des forêts

Plan

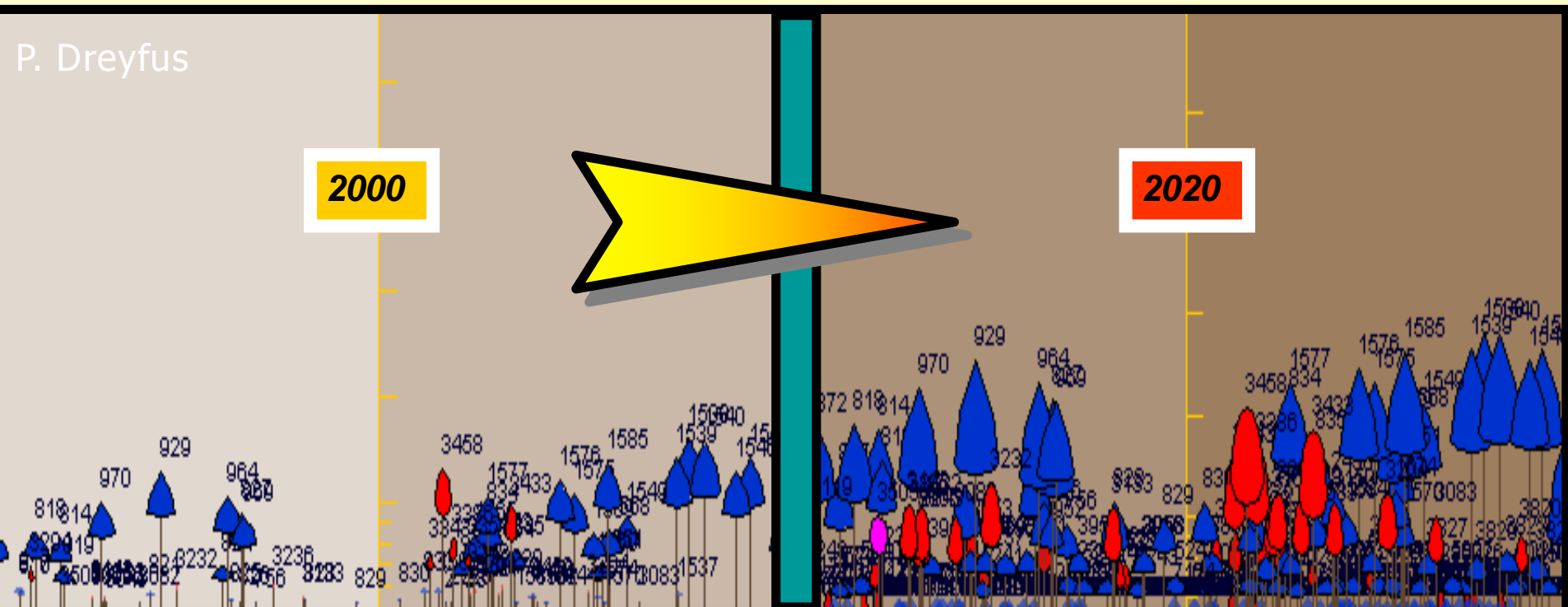
1. Changements climatiques avérés et attendus
2. Modélisation du fonctionnement des forêts
3. **Couplage avec la dynamique**
4. Quelques résultats sur la régénération, reproduction et mortalité

La dynamique forestière: un exemple



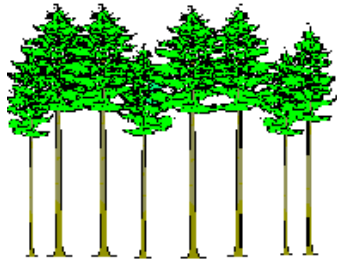
Dynamique d'un massif

- Dissémination du pollen
- Dispersion des graines
- Régénération (germination, croissance juvénile)
- Croissance adulte
- Compétition
- Mortalité



La Dynamique sur le mont ventoux et ses variantes

1 dynamique, 2 (ou 3) variantes



Pin

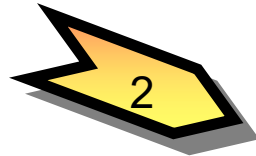
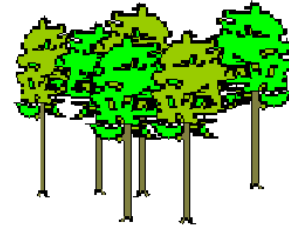
P. nigra
P. sylvestris
P. uncinata



Pin + Hêtre
versant sud



Hêtre pur
versant sud



Sapin
+ Hêtre
+ Pin
versant Nord

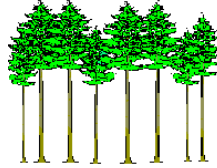


Versant Sud du Mont-Ventoux : mélange de **Pin noir**, **Hêtre**,
Érable à feuille d'obier, **Alisier blanc**, **Chêne pubescent**.

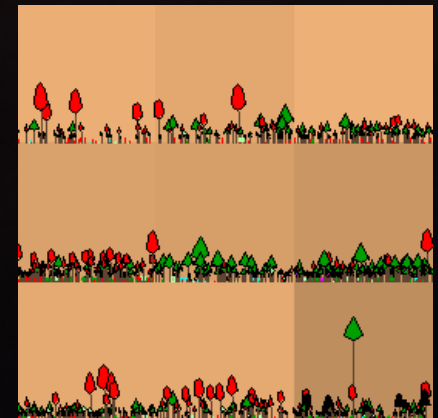
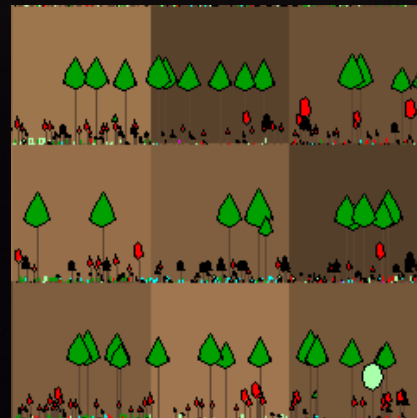
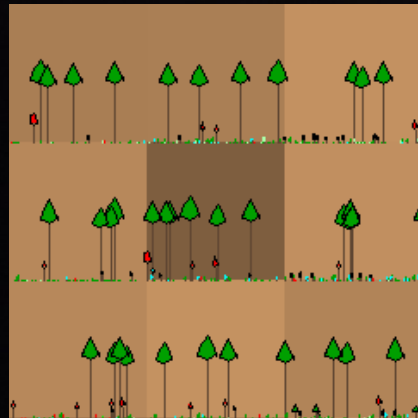
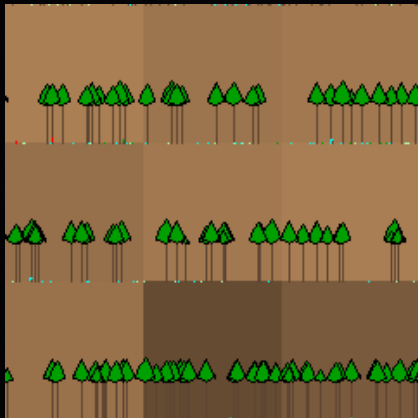
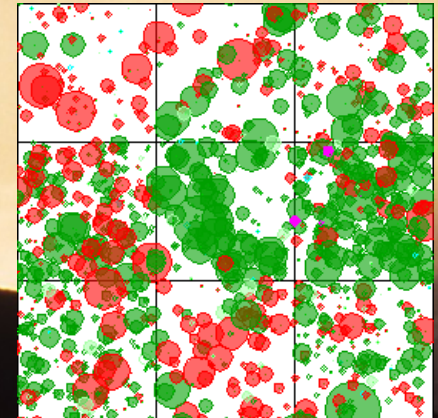
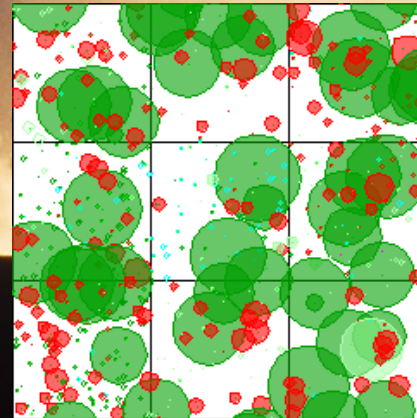
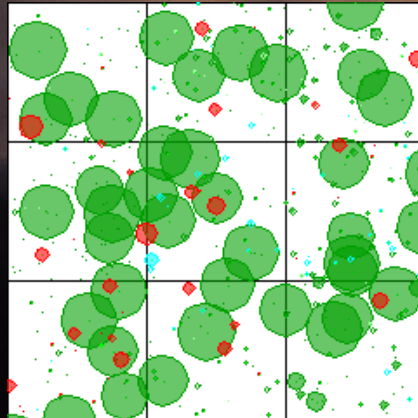
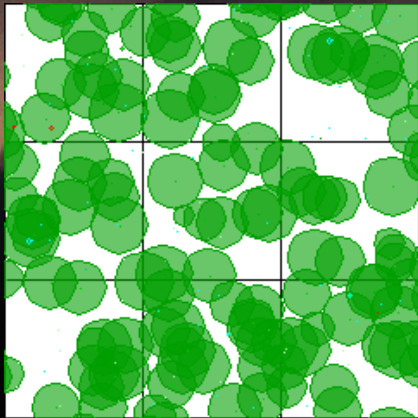


Pin

P. nigra, *P. sylvestris*
P. uncinata



Pin + **Hêtre**

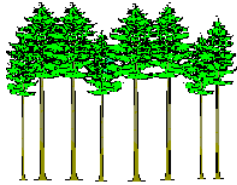


Versant Nord du Mont-Ventoux

Régénération de **Sapin pectiné** et **Hêtre** sous *Pin sylvestre*.

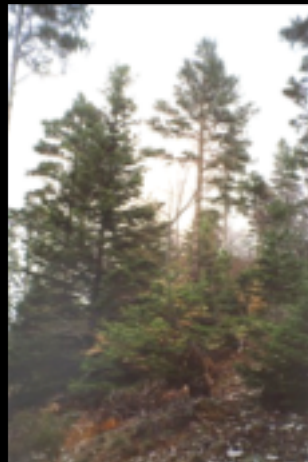
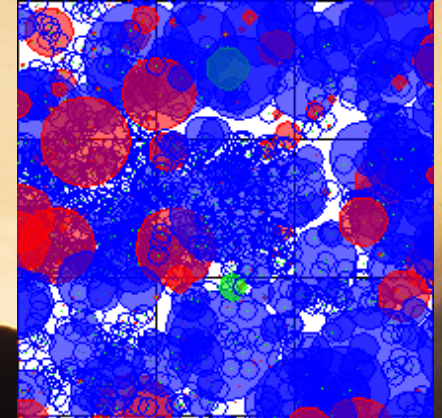
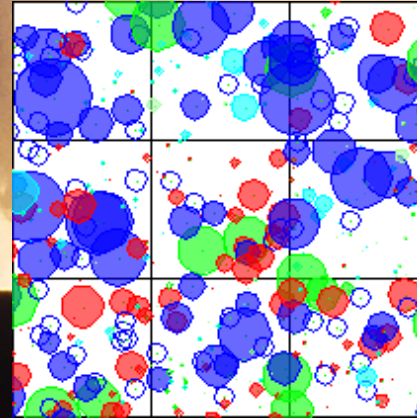
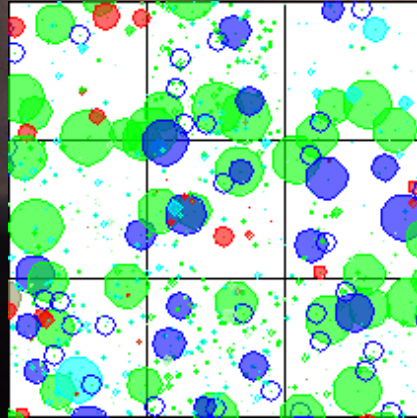
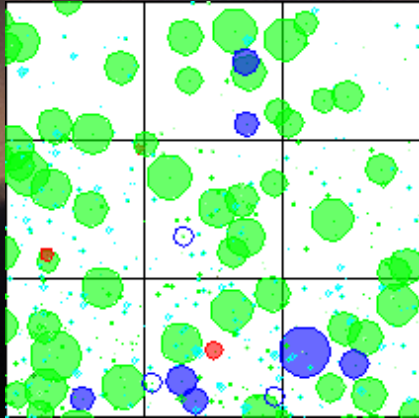
Pin

P. nigra, *P. sylvestris*
P. uncinata



Sapin
Hêtre

+ Pin



Structure des Relations constitutives du modèle de dynamique

Croissance :

$$\begin{aligned} dH, dD &= POT \quad (\text{espèce, âge indiv., station}) \\ &\times RED1 \quad (\text{densité, couvert, espèce}) \\ &\times RED2 \quad (\text{statut concurrentiel indiv. (ex. : taille relative, « BAL »), espèce}) \end{aligned}$$

Mortalité :

- Probabilité = $f(\text{espèce, RED1, RED2})$
- Probabilité = $f(\text{espèce, dH, POT})$

Régénération :

- Nb nouveaux semis $h=30$ cm = cumul des flux issus des Unités d'Analyse sources
- 1 Flux élémentaire d'une espèce
= $f(\text{âge dominant de l'espèce dans l'UA-source, distance de l'UA-source})$

Hausse du CO₂

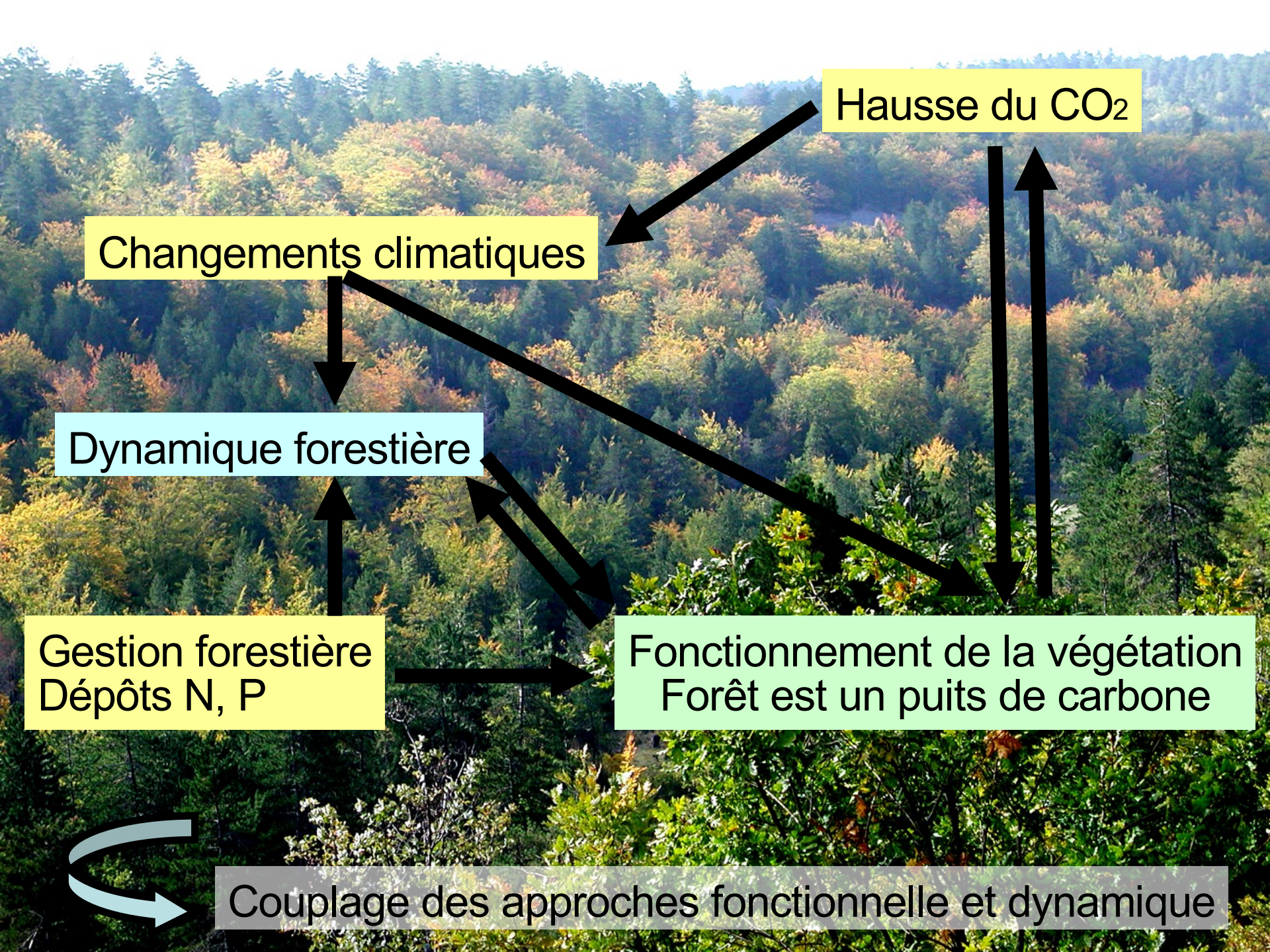
Changements climatiques

Dynamique forestière

Gestion forestière
Dépôts N, P

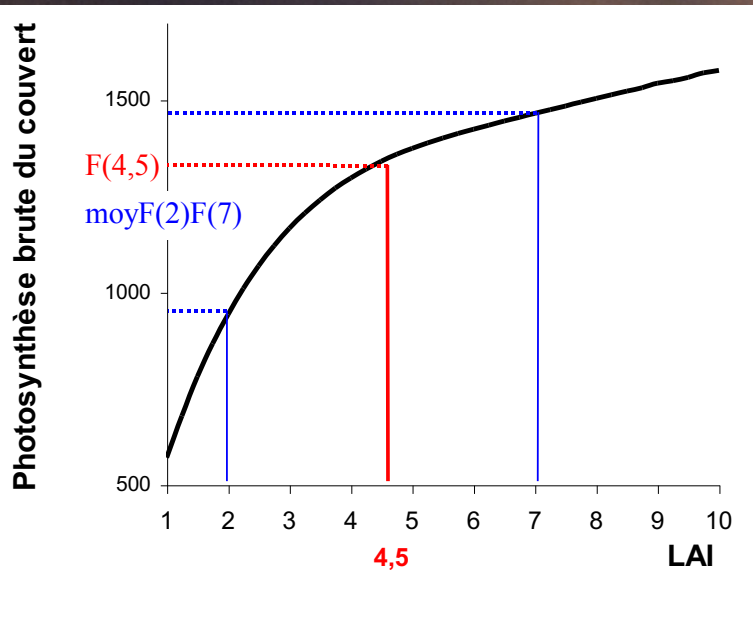
Fonctionnement de la végétation
Forêt est un puits de carbone

Couplage des approches fonctionnelle et dynamique



Couplage des modèles de fonctionnement et de dynamique/ production

Non linéarité des processus



Effet du stress hydrique ou de la fertilité sur la croissance ou la mortalité



Fonctions statistiques peuvent être inopérantes
Expliciter le terme potentiel de croissance par exemple

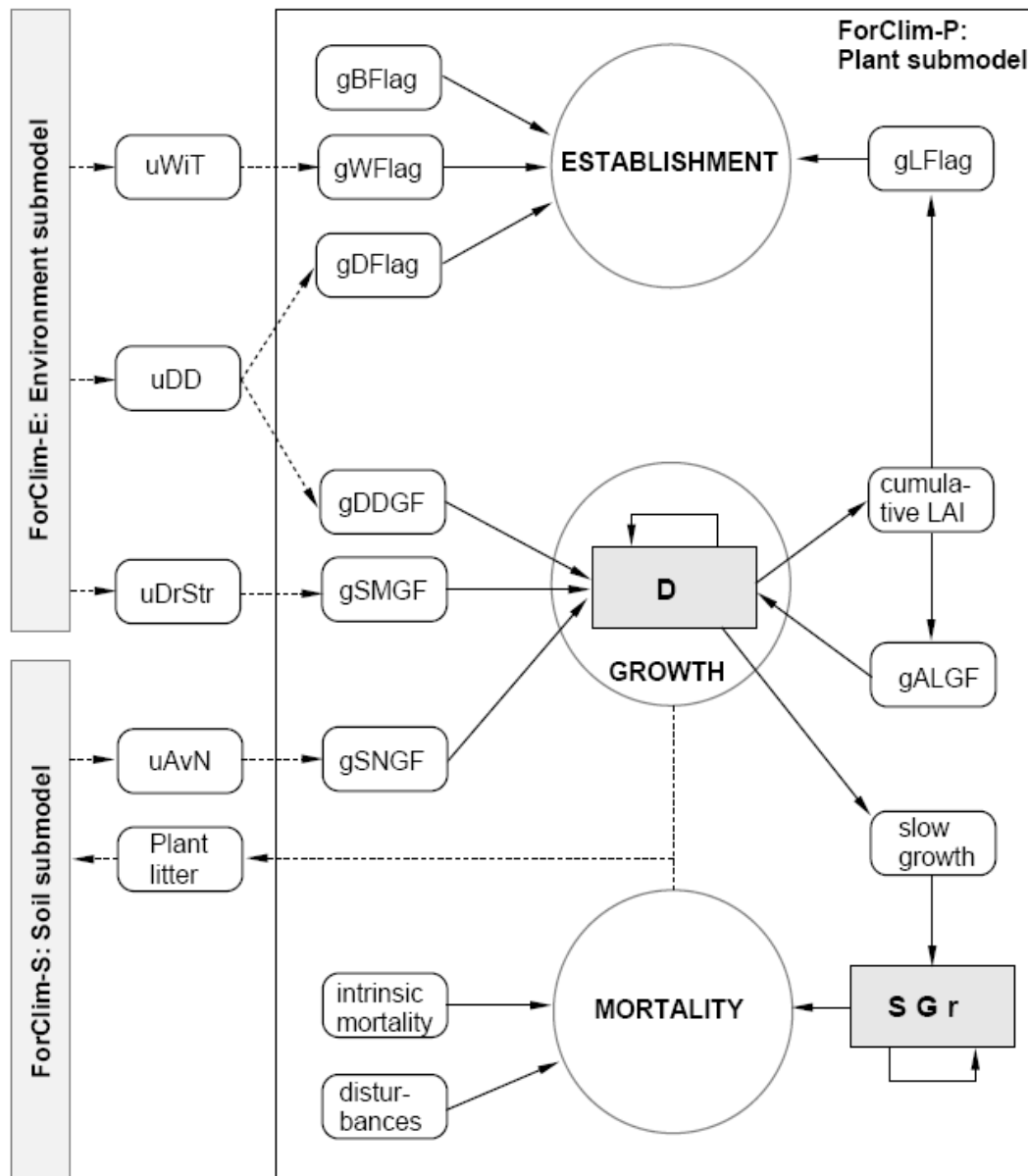


Fig. 3.2: Structure of the plant submodel FORCLIM-P. Square boxes denote state variables; boxes with rounded edges are auxiliary variables. Arrows from x to y indicate that $y = f(x)$, and broken lines denote the calculation of input/output variables. The identifiers are explained in the text.

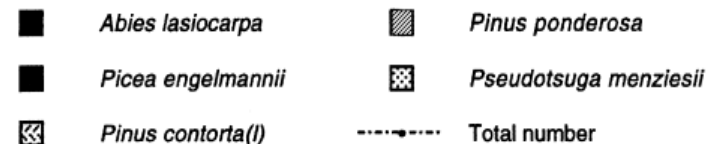
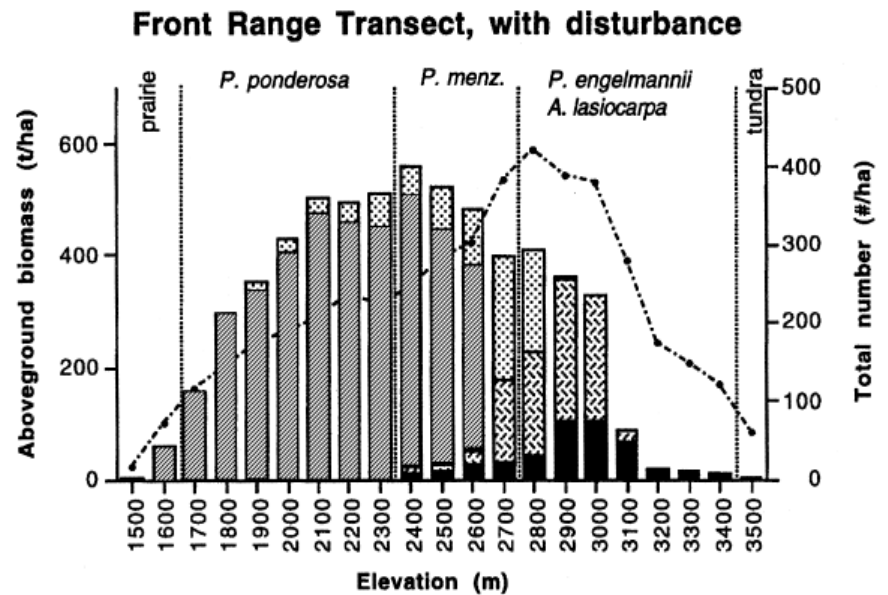
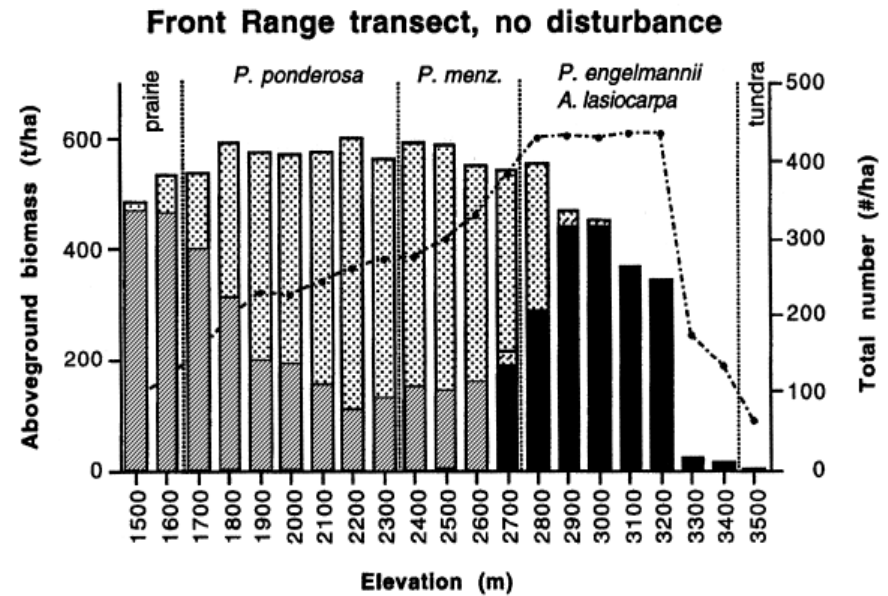
Un exemple de Gap Model intégrant le climat: ForClim



Effet des perturbations et du climat sur la dynamique

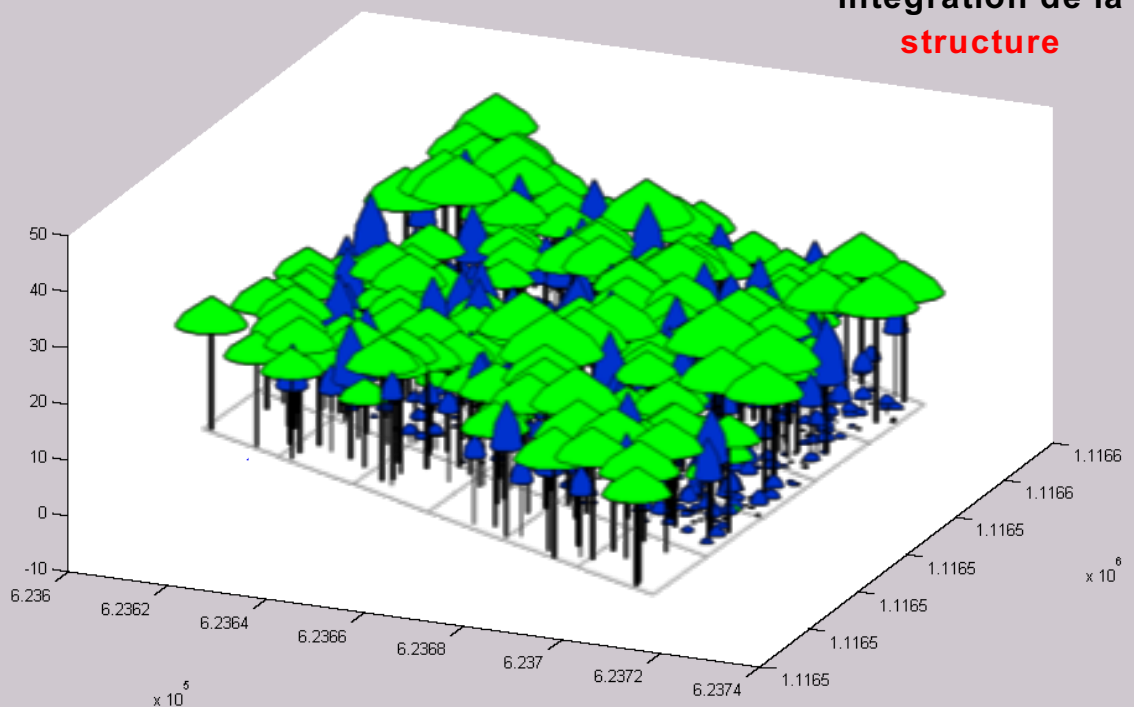
Etude par simulation
Bugmann (2001)

Il existe un fort effet interaction
entre climat et niveau de
perturbation



Prendre en compte le fonctionnement pour expliciter les effets stationnels et climatiques

Intégration de la **structure**



Intégration du **climat** et de la **station**

Maillage modèle fonctionnel
Large (ex 1 ha)
Modèle « arbre moyen »

Carbone disponible pour la croissance

Maillage modèle dynamique fin (ex 100 m²)
Modèle arbre centré
Semi-spatialement explicite

Équations de **Croissance**
Survie
Régénération

Effet des changements climatiques sur le fonctionnement et la dynamique des forêts

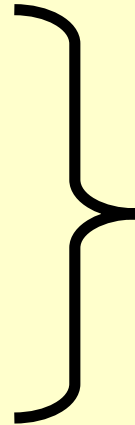
Hendrik Davi

Plan

1. Changements climatiques avérés et attendus
2. Modélisation du fonctionnement des forêts
3. Couplage avec la dynamique
4. Quelques résultats sur la croissance et la mortalité

Quelques résultats expérimentaux

1. Reproduction (production)
2. Régénération
3. Croissance
4. Mortalité



- Mesures sur le long terme
- Etude les gradients altitudinaux



MATERIEL ET METHODES

Sites d'étude

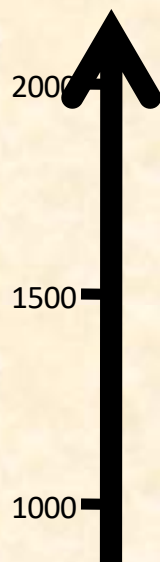


Ventoux : Gradient Nord, P34, Contrat – Mont-Serein
Lure

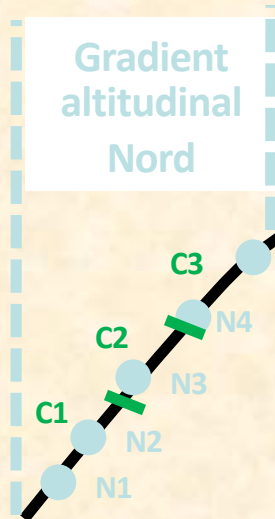
2006

2002 - 2006

Altitude (m)



Gradient altitudinal Nord



S5

S4

S3

S1

Espèces étudiées

Abies alba

Fagus sylvatica

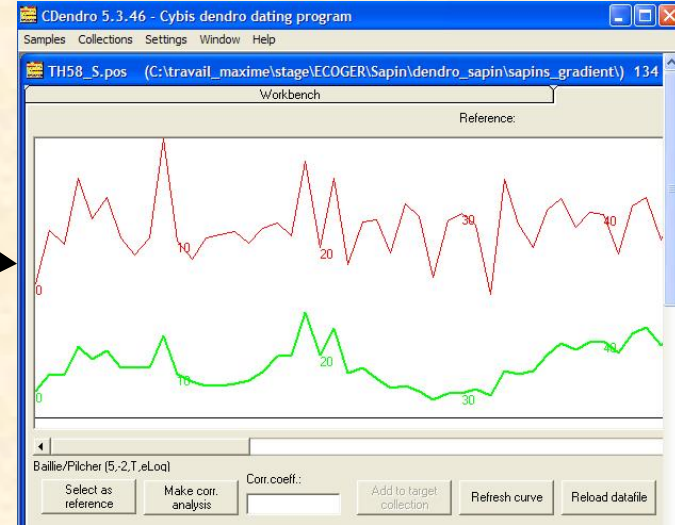
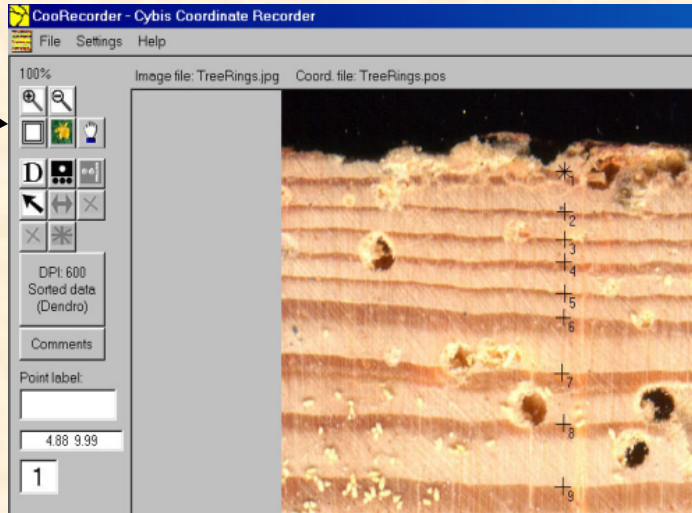
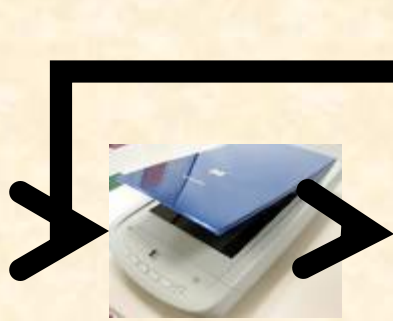
En association sur le versant Nord



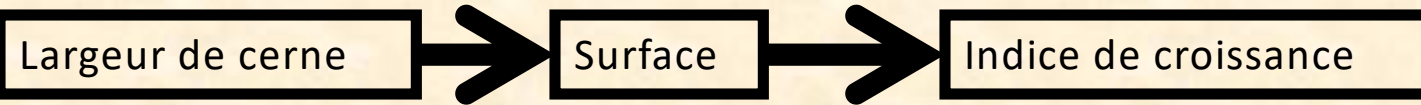
Influencées \pm de la même façon.

Mais différences : feuillage ; phénologie ...

Dendrochronologie



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

Station météo du Mont Serein et Carpentras

Analyse dendroclimatique

Cases grisées significatives

	SAPIN												HETRE															
	ANNEE N-1						ANNEE N						ANNEE N-1						ANNEE N									
	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P	+	=	=	=	+	=	=	-	+	-	+	+	+	=	=	+	=	=	=	=	=	=	+	=	=	=	=	-
Tmoy	-	-	-	=	=	+	=	=	=	+	=	=	-	=	-	-	+	+	-	=	=	-	=	-	+	+	+	+
Tmax	-	-	-	=	=	=	=	=	=	+	=	=	-	=	-	-	+	=	-	=	=	-	=	-	+	=	+	+
Tmin	=	-	-	+	=	+	=	=	=	+	=	=	-	=	-	-	=	+	-	=	=	-	+	=	+	+	=	+

	Pluies (Avr-Juil)	Tmoy (Juin - Aout)
moy 1993-2005	312,3	16,73
2003	259,1	19,3
2004	137,8	15,3

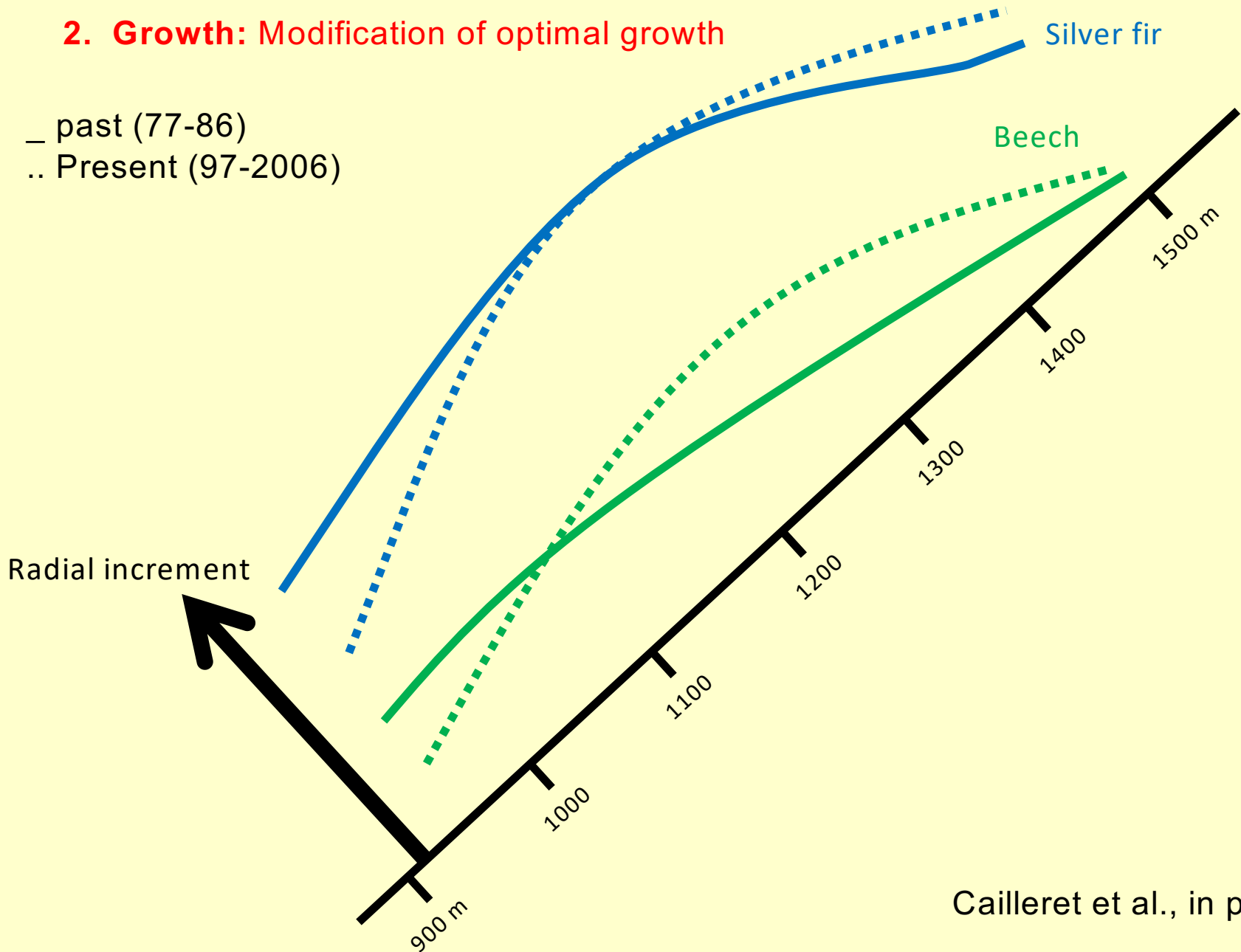

Pas d'effet négatif direct sur croissance 2003

Effet indirect sur croissance 2004

Prendre en compte effets à long terme

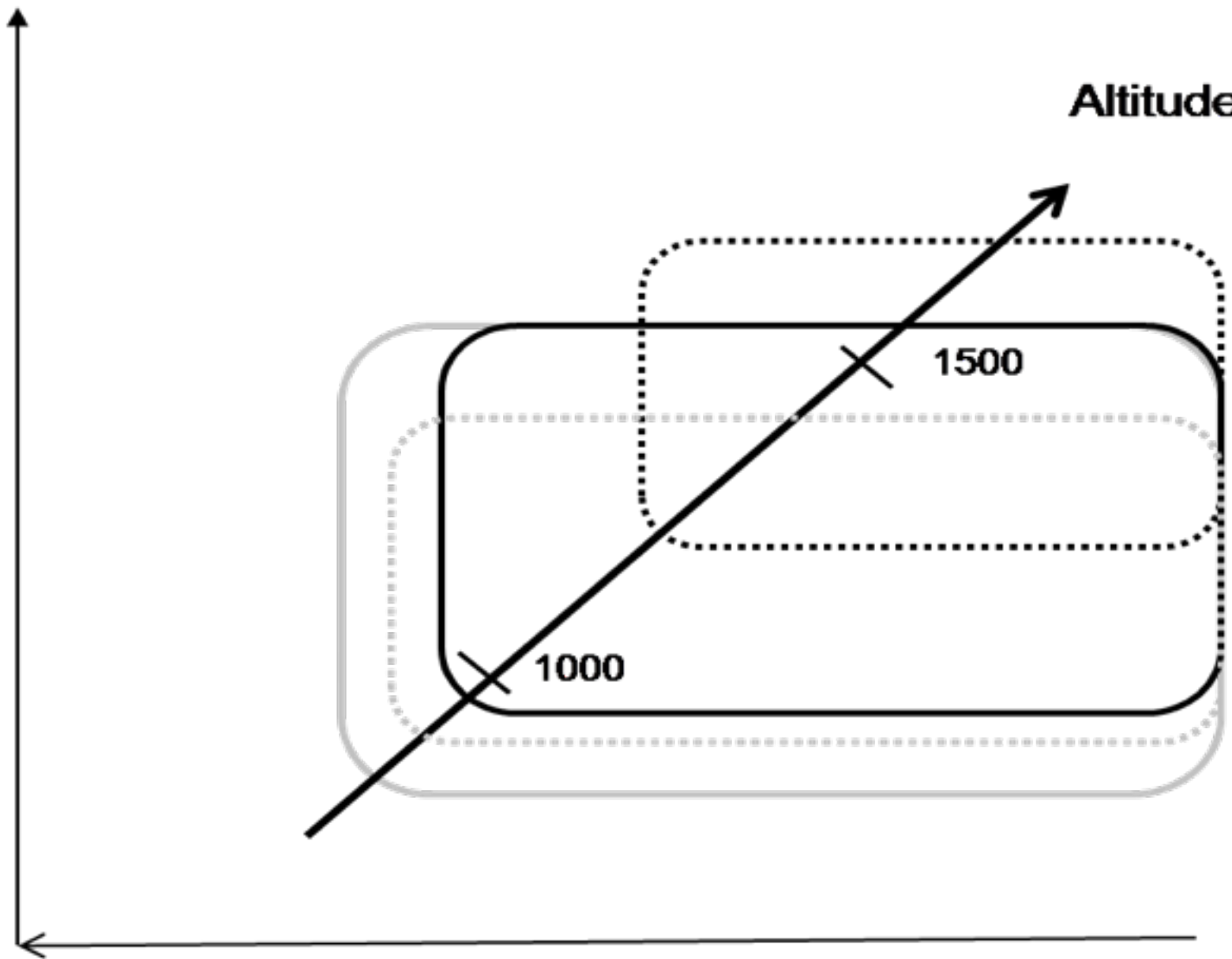
Station du Mont Serein (1445m)

2. Growth: Modification of optimal growth



Late frost

Altitude



Summer drought

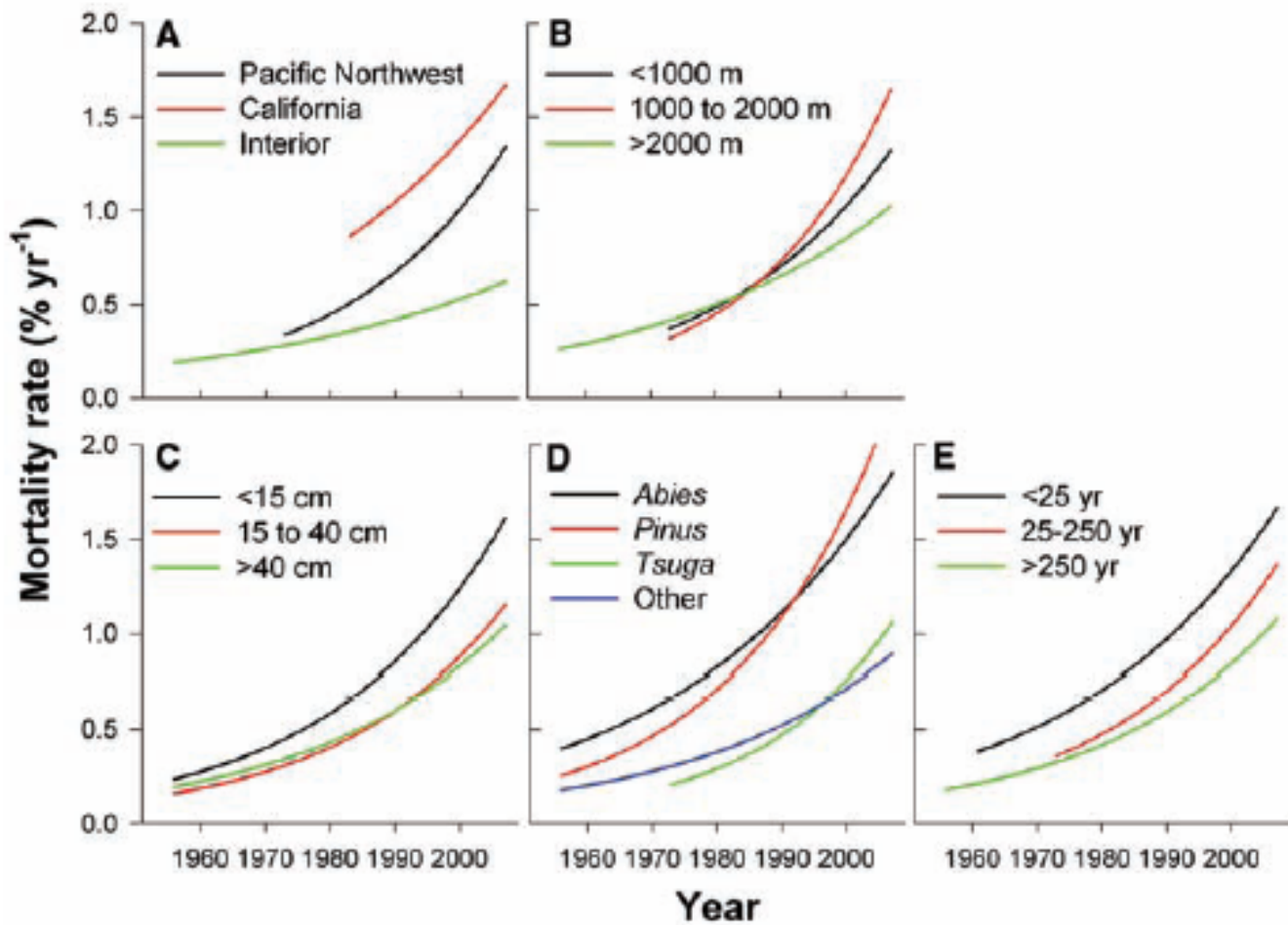


Fig. 2. Modeled trends in tree mortality rates for (A) regions, (B) elevational class, (C) stem diameter class, (D) genus, and (E) historical fire return interval class.

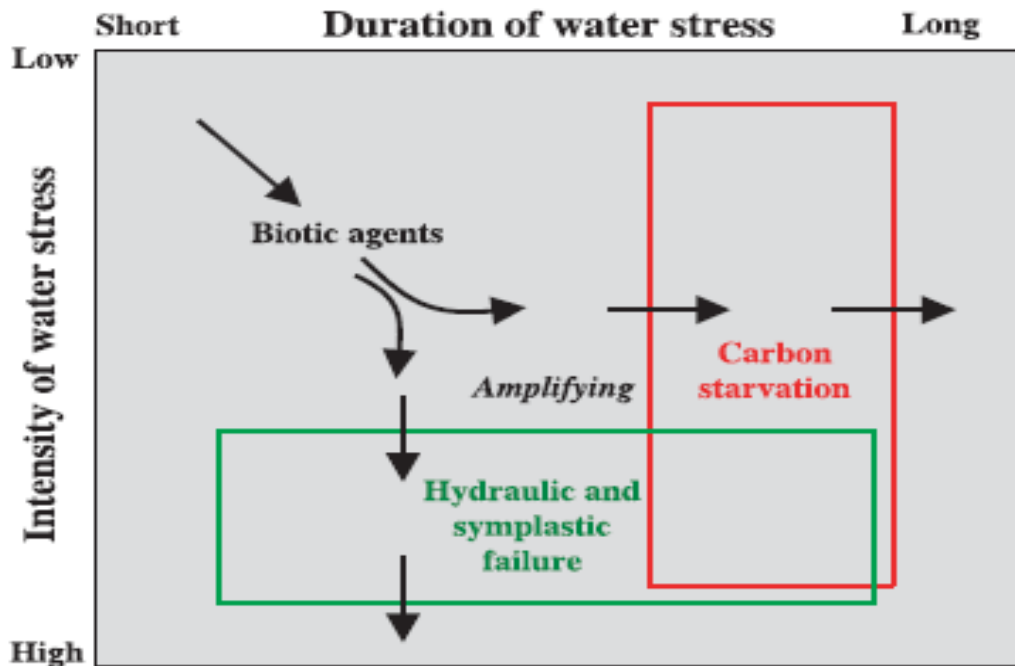
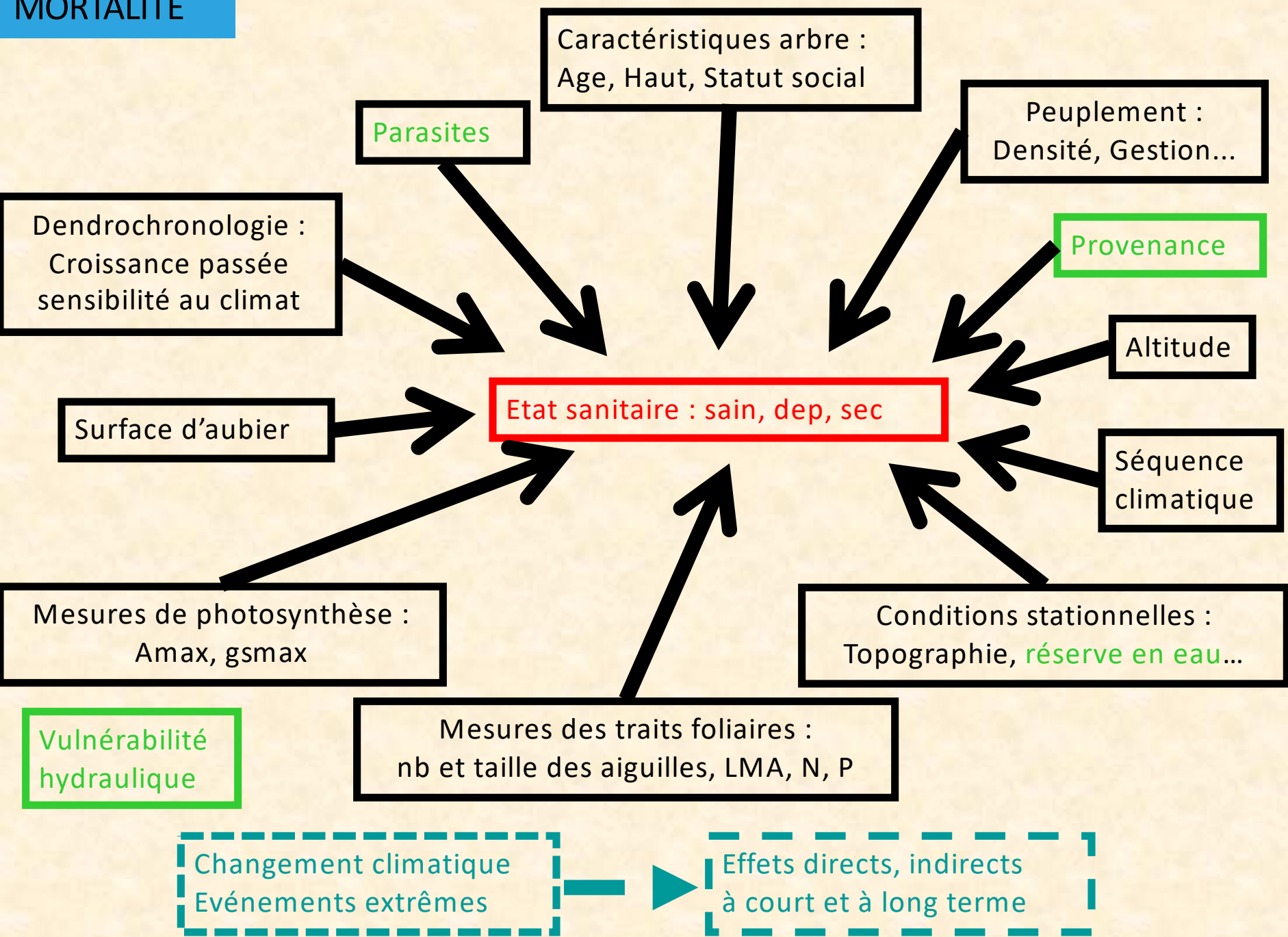


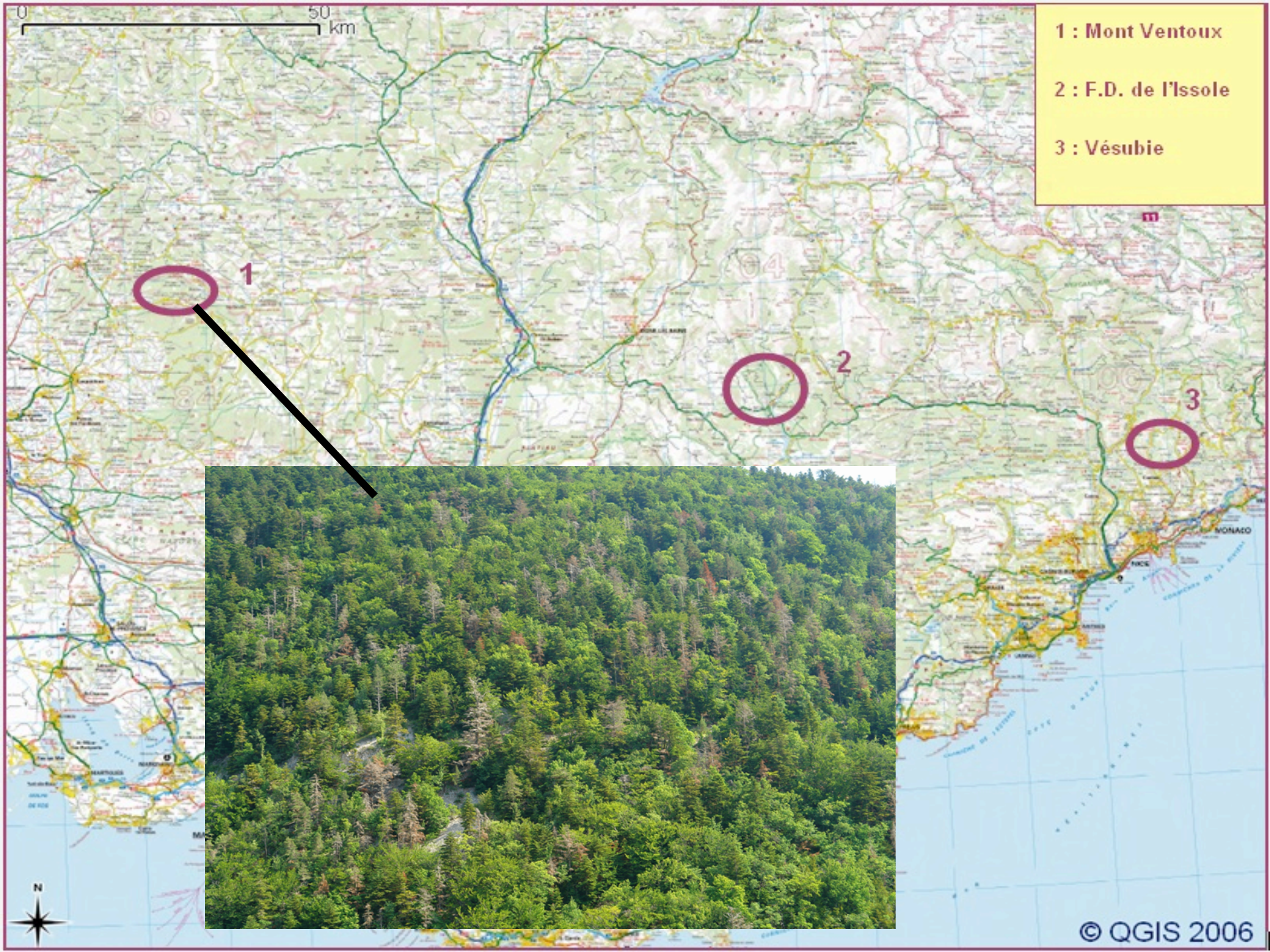
Fig. 3 Theoretical relationship, based on the hydraulic framework, between the temporal length of drought (duration), the relative decrease in water availability (intensity), and the three hypothesized mechanisms underlying mortality. Carbon starvation is hypothesized to occur when drought duration is long enough to curtail photosynthesis longer than the equivalent storage of carbon reserves for maintenance of metabolism. Hydraulic failure is hypothesized to occur if drought intensity is sufficient to push a plant past its threshold for irreversible desiccation before carbon starvation occurs. Biotic agents, such as insects and pathogens, can amplify or be amplified by both carbon starvation and hydraulic failure.

1. Démographie des pathogènes
2. Baisse des réserves
3. Rupture hydraulique

MORTALITE







1 : Mont Ventoux

2 : F.D. de l'Issole

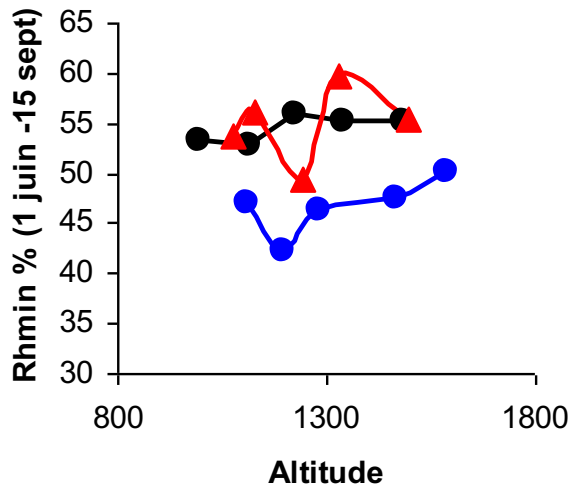
3 : Vésubie

1

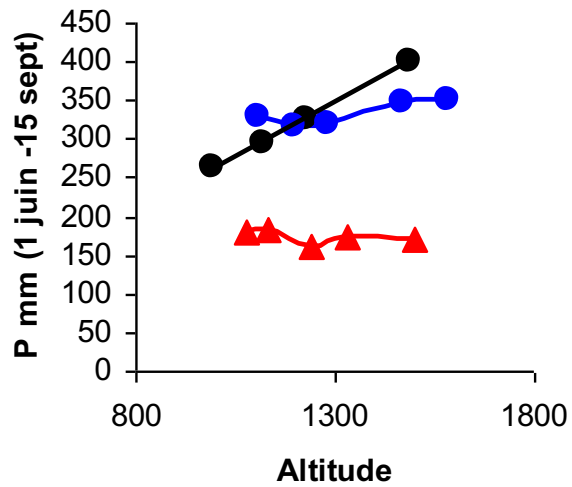
2

3

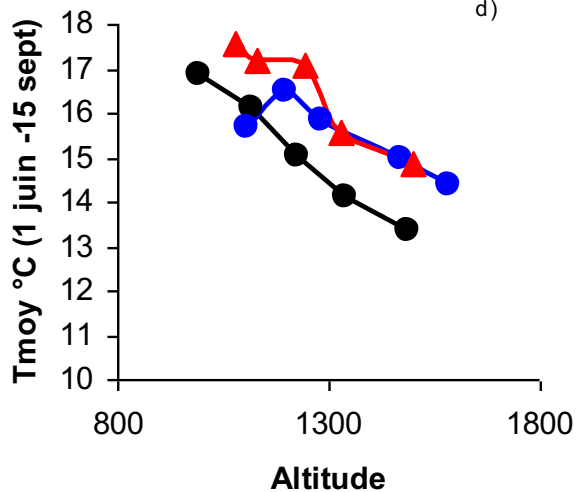
Climat



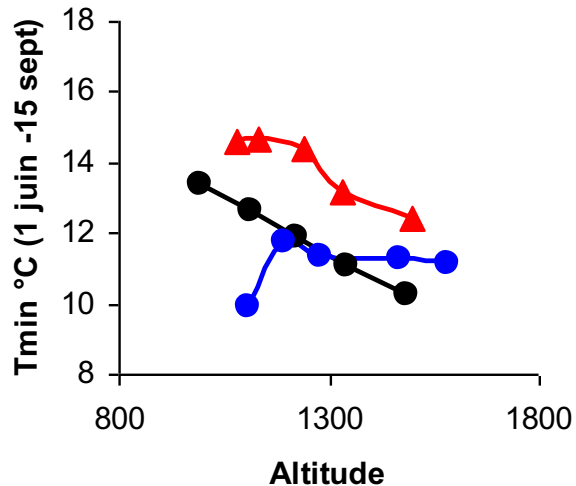
● Ventoux ● Issole ▲ Vésubie



● Ventoux ● Issole ▲ Vésubie

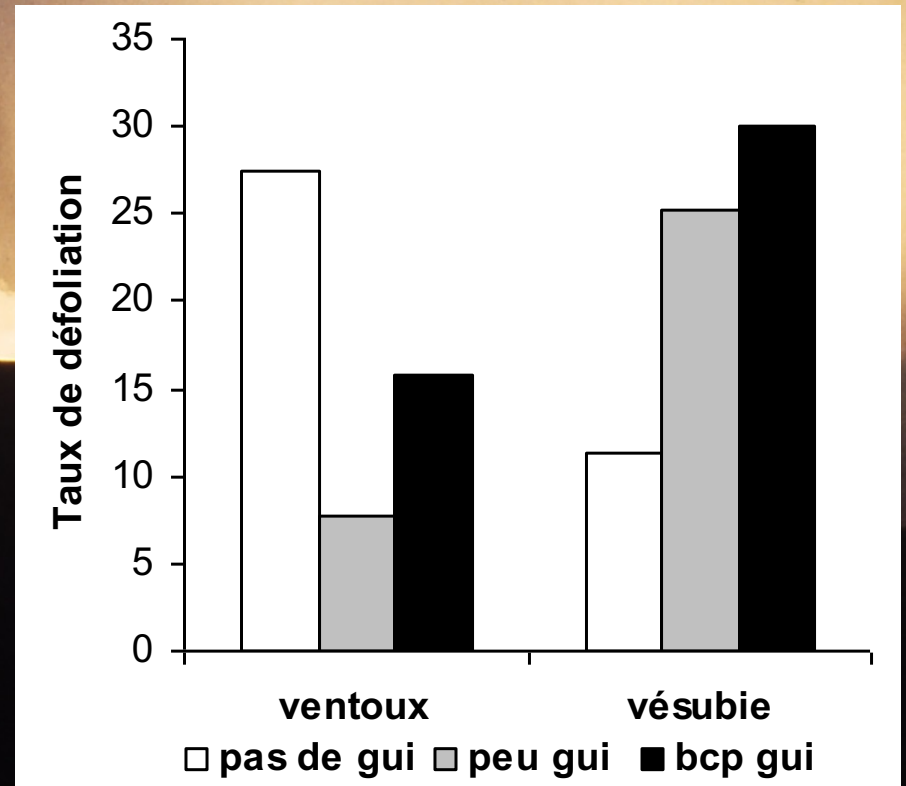
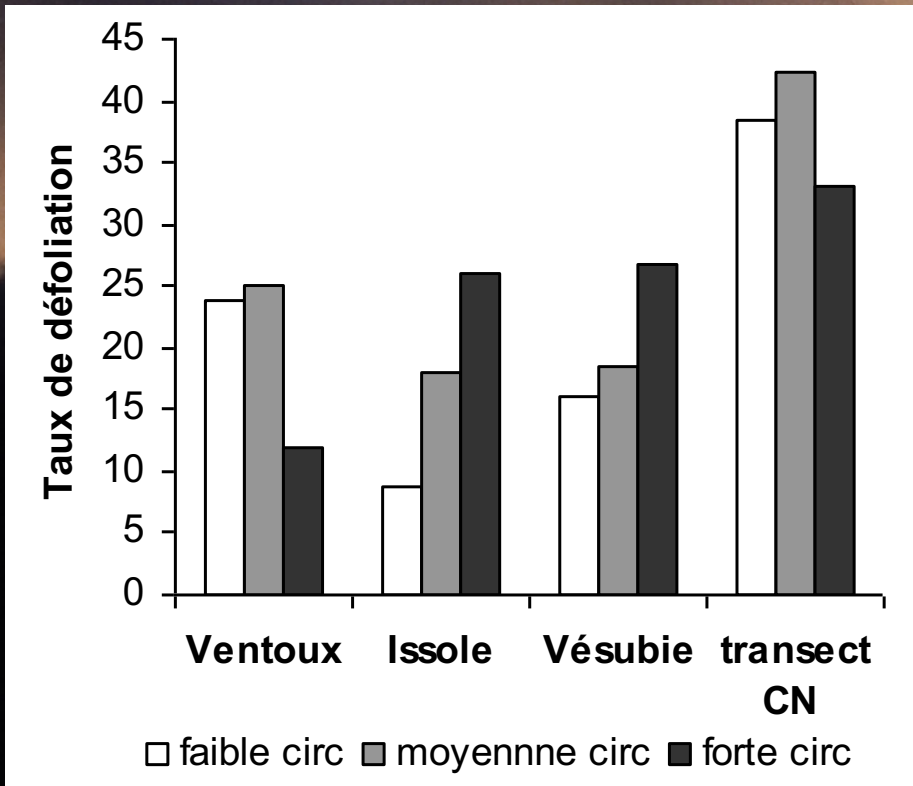


● Ventoux ● Issole ▲ Vésubie



● Ventoux ● Issole ▲ Vésubie

Les déterminants biotiques du dépérissement



Les déterminants abiotiques du dépérissement

Étude réalisée par J. Ladier sur les alpes maritimes (2008)

