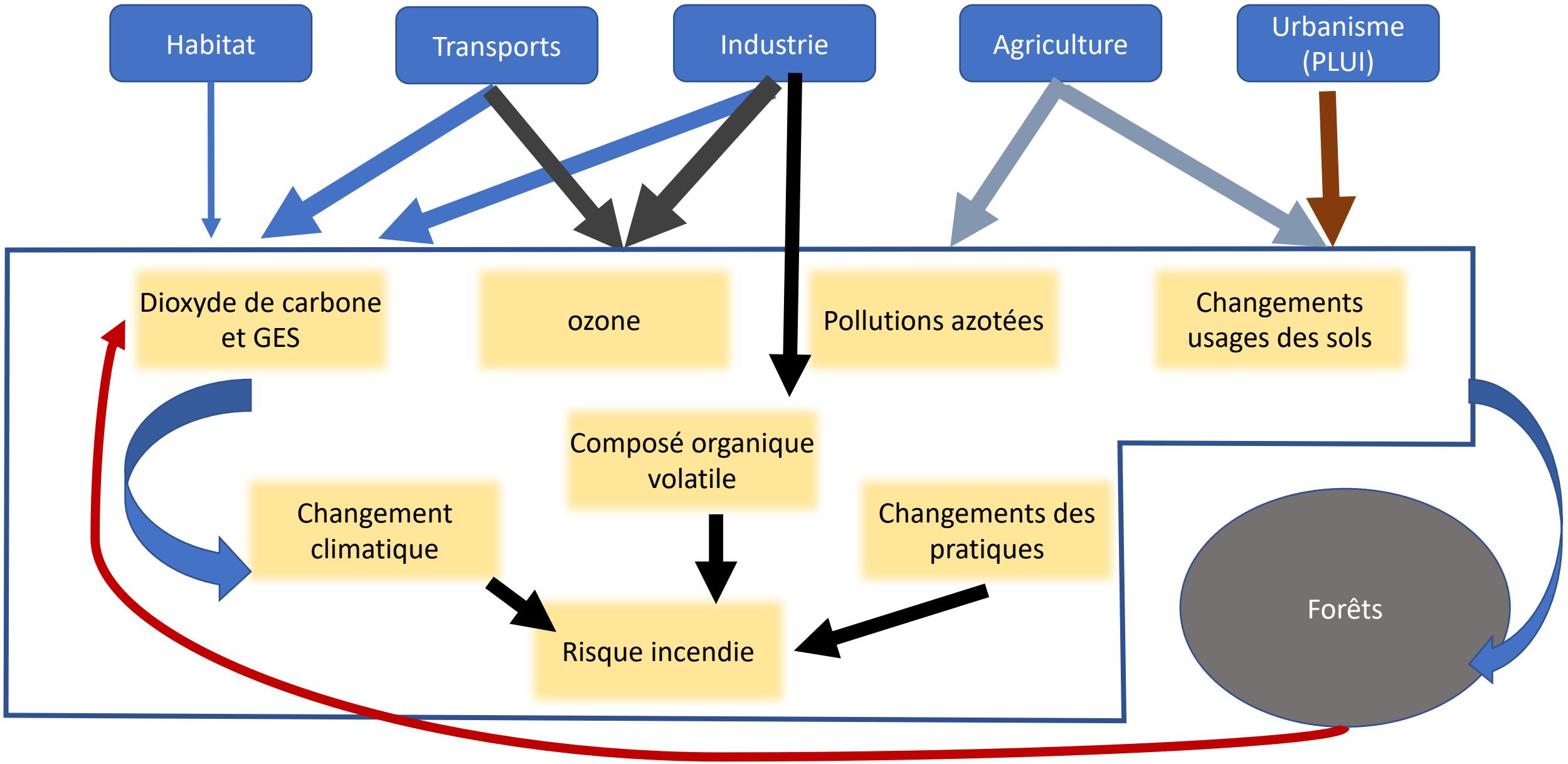
Principales incidences du changement global sur la forêt: impacts observés et attendus

Hendrik Davi

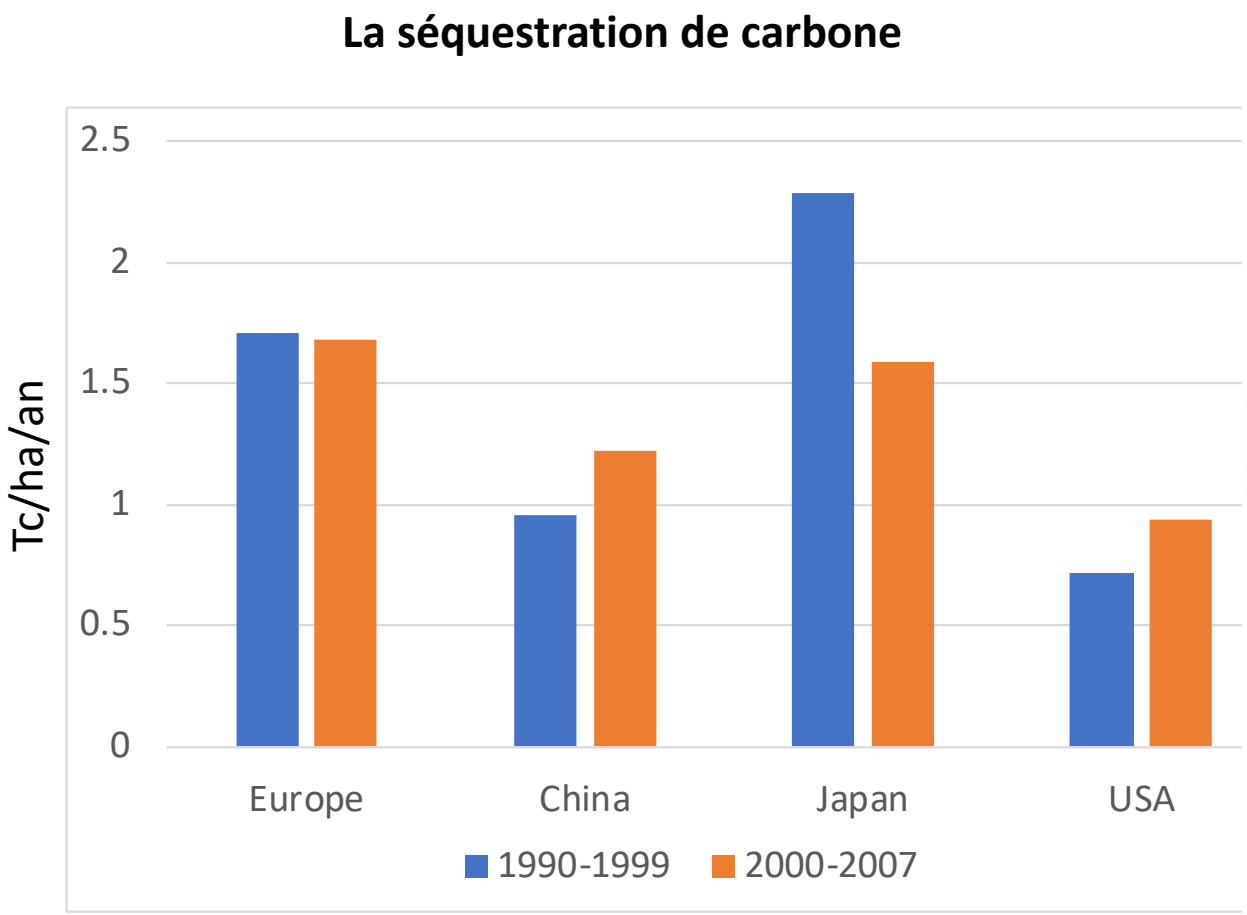
Directeur de Recherche

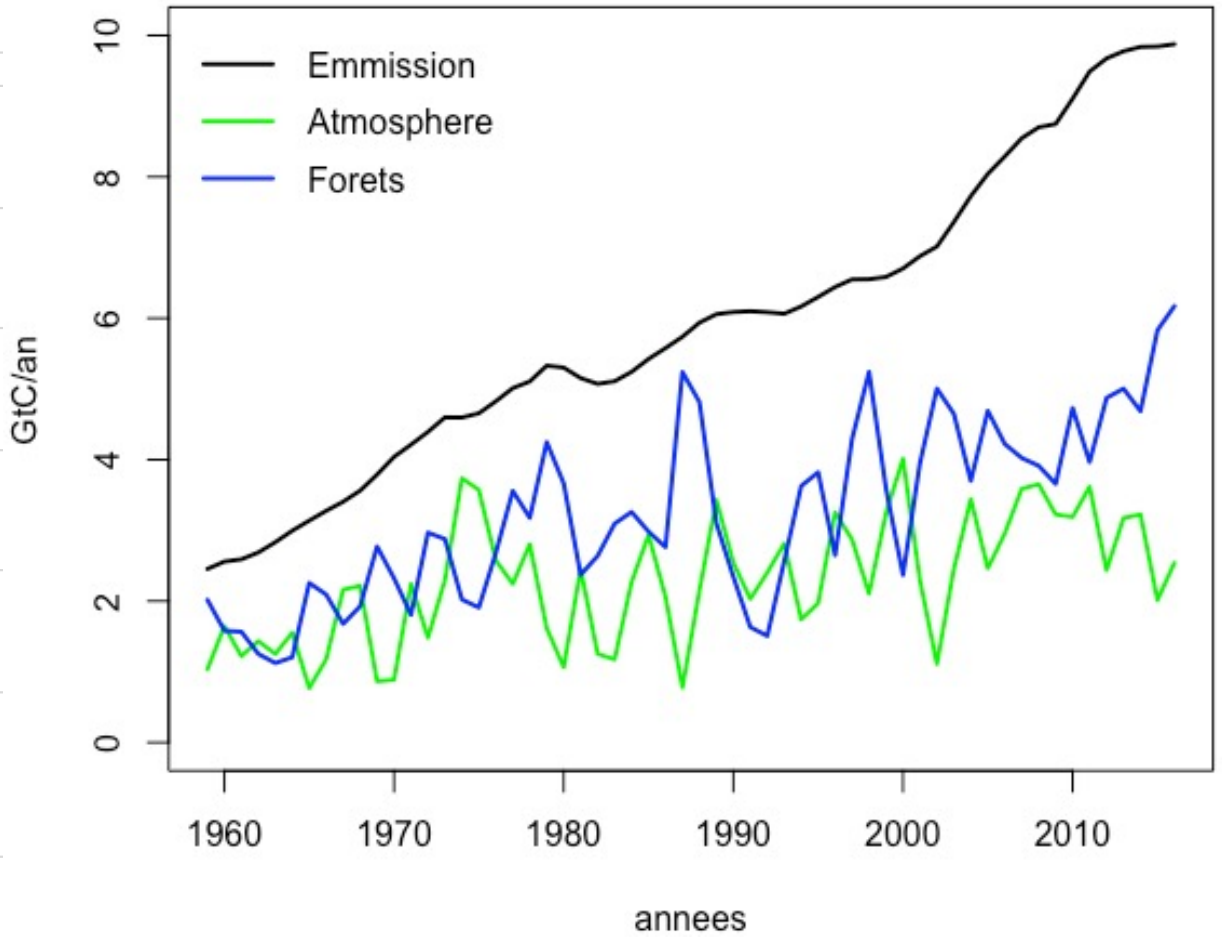
(INRAE Avignon)

Les facettes du changement global



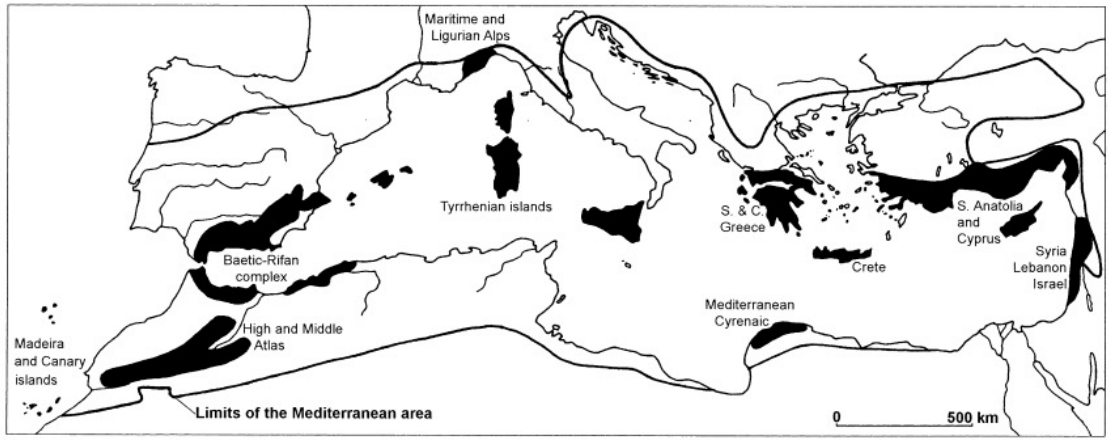
Le rôle des forêts





Le rôle des forêts

La biodiversité: la zone méditerranéenne 5% de la surface mondiale et 20% de la biodiversité



Le bois exploité en PACA en 2014

Bois industrie (300 000 m^3)
Bois d'oeuvre (146 000 m^3)
Bois énergie (283 000 m^3)

La protection contre l'érosion et les crues

RTM au XIXème siècle

Le changement climatique passé

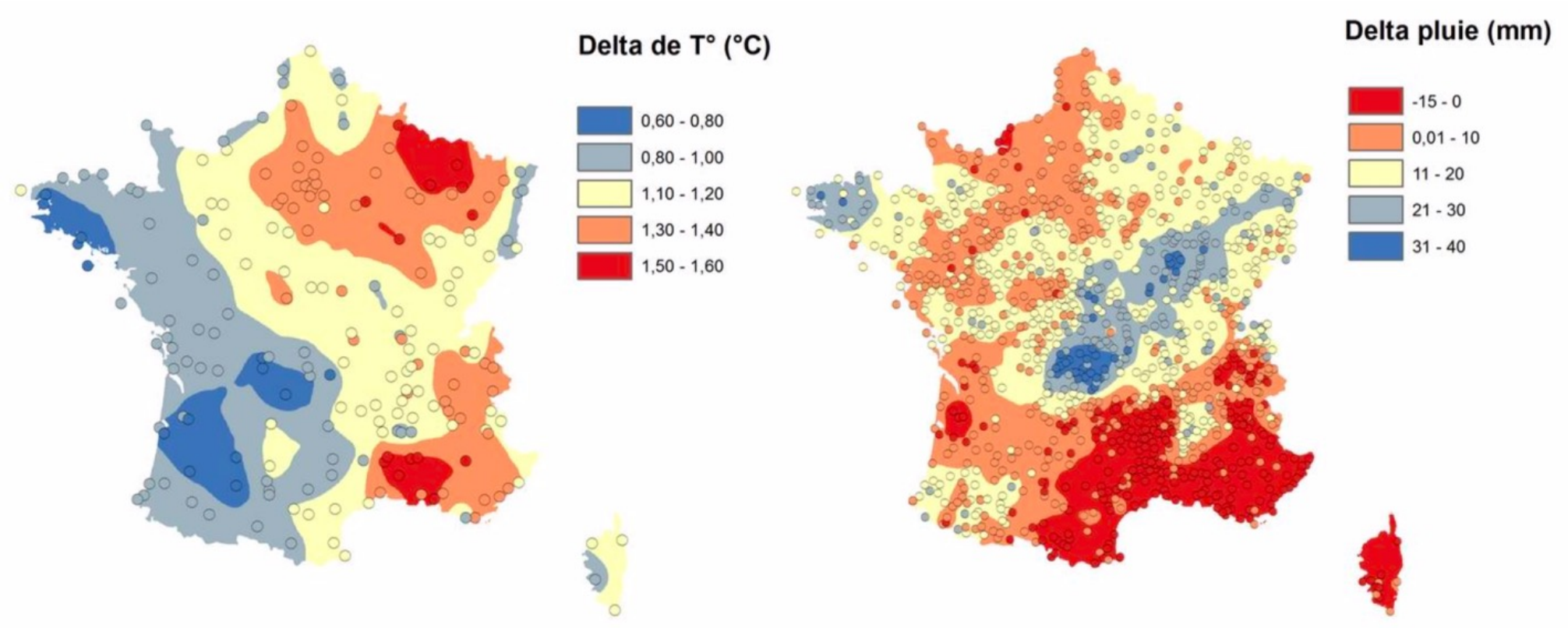
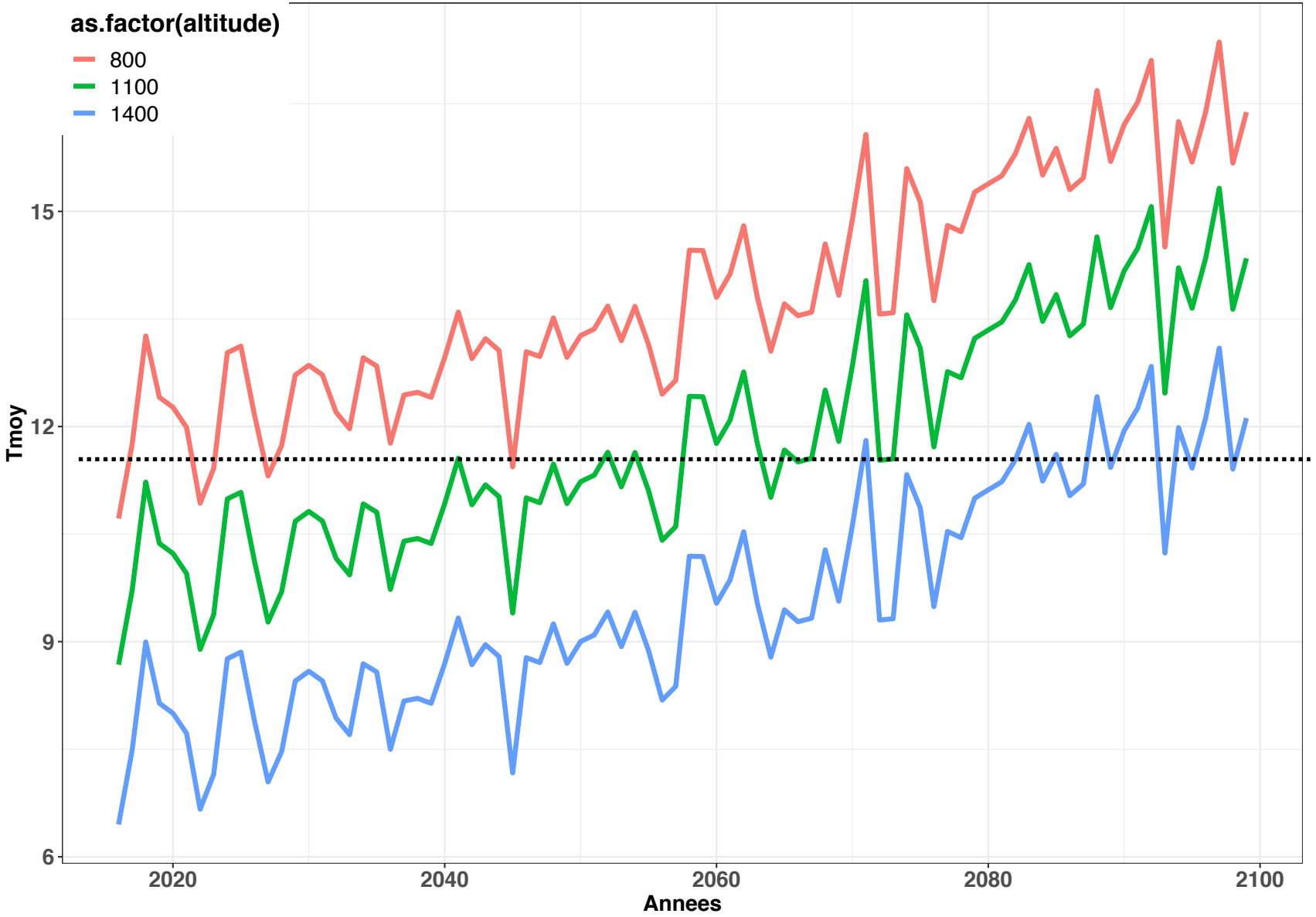


Figure 2.10 : exemple d'interpolation des anomalies pour les températures moyennes et les précipitations du mois de juillet entre les périodes 1961 – 1985 et 1995 – 2010.

Taccoen 2019

Le changement climatique future



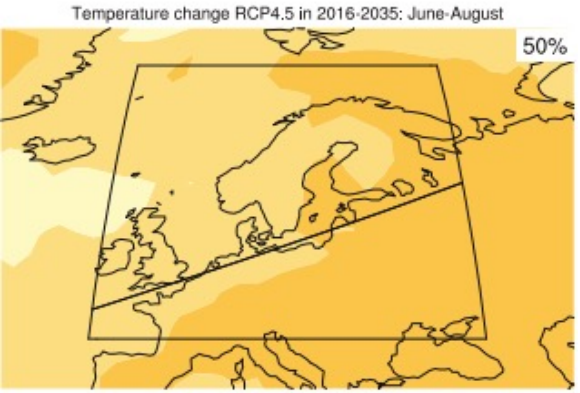
Modèle Hadgem sur le Ventoux
Rcp 8.5 = en 2100 600m d'altitude

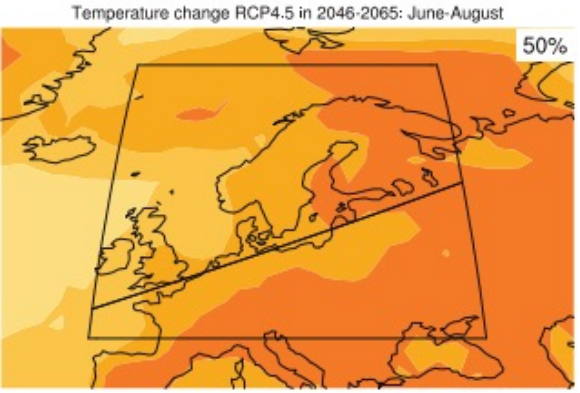
Les effets du changement global

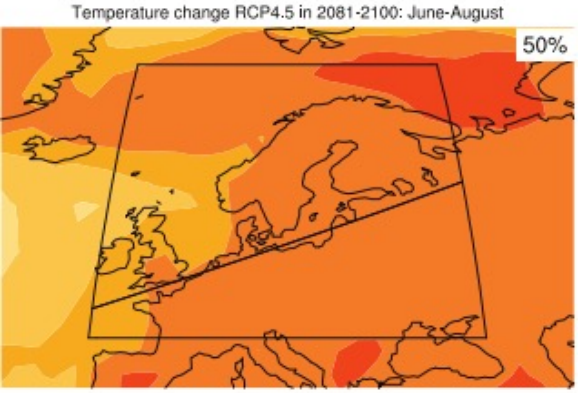
Changements globaux	Risques associés	Bénéfices
Dépôt azotés		Accroissement de la productivité de la végétation
Hausse du CO_2		Accroissement de la productivité de la végétation
Déforestation	Climat régional	
Déprise agricole	Erosion des sols	Accroissement de la surface forestière
Herbivores et pathogènes	Dégâts sur la régénération Mortalité	

Multiplication des prélèvements par 4.2 pour les cerfs en 20 ans, 3.8 les chevreuils et 5.2 les sangliers

Les effets du changement climatique

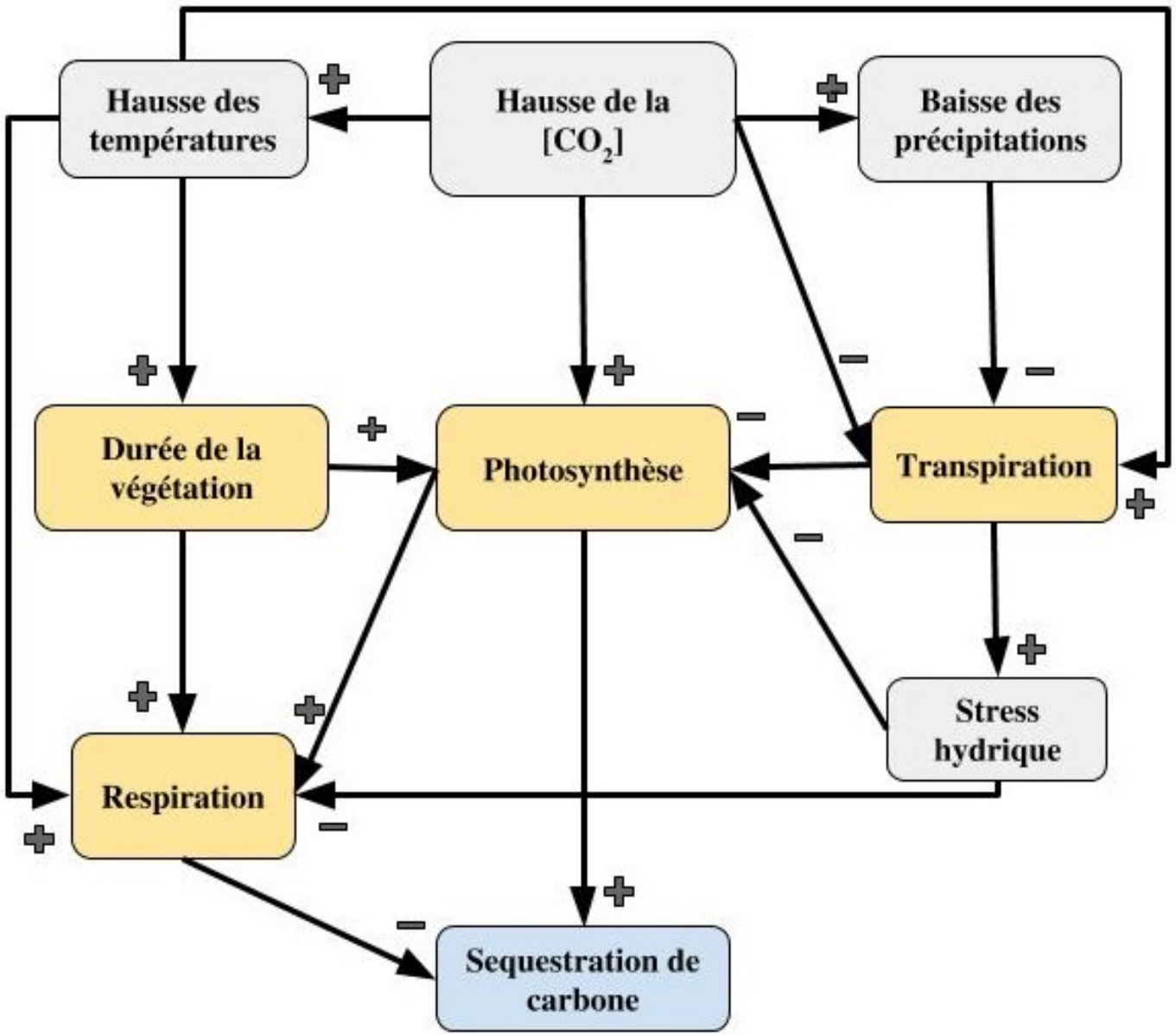




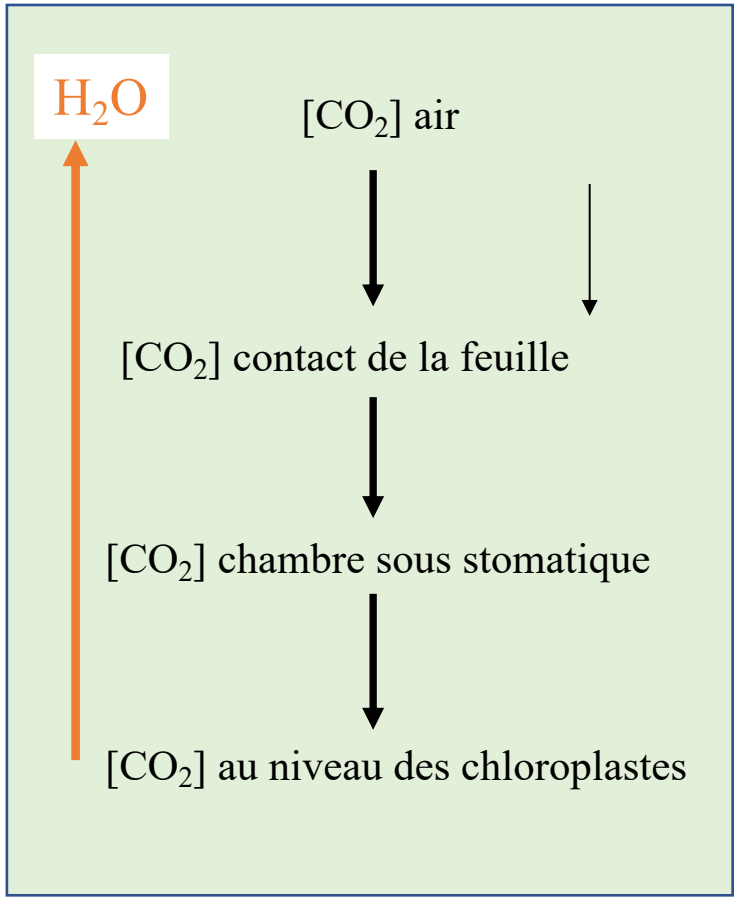


Climat	Risques associés	Bénéfices
Hausse des températures estivales	Hausse du stress hydrique, hausse des fortes températures => dépérissements, risque feux	
Baisse des précipitations estivales		
Hausse des températures printanières	Gel tardif	Accroissement de la durée de végétation
Hausse des températures hivernales	Dormance plus difficile à lever	Accroissement des essences sempervirentes
Hausse des fortes précipitations en hiver et au printemps	Erosion des sols, chutes d'arbres, dégâts de neige lourde	Recharge en eau des nappes

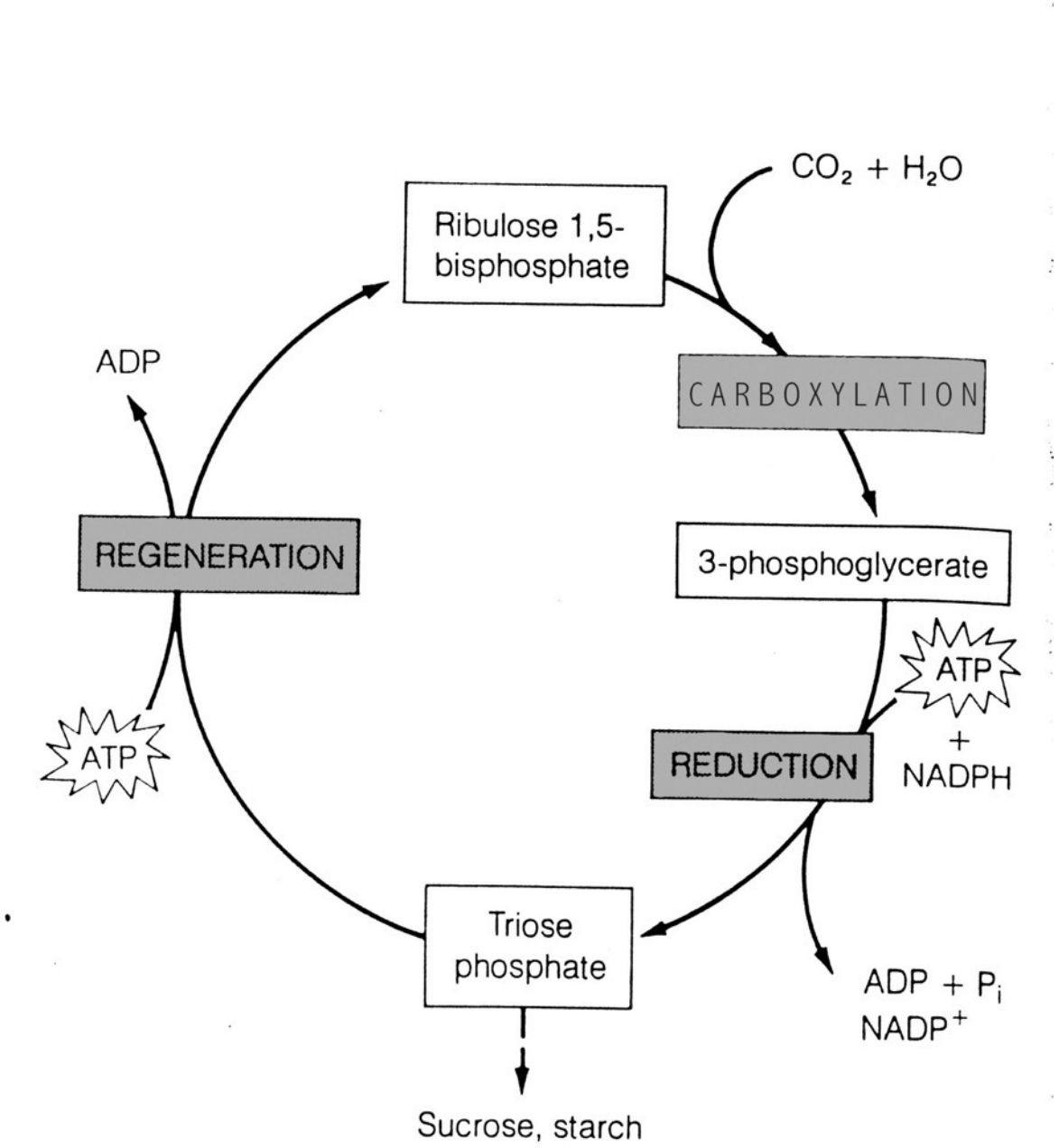
Impact des changements globaux sur les forêts



Le CO_2 et la photosynthèse



Ouverture stomatique dépend de la turgescence des cellules des gardes



La fertilisation du CO_2

Processus	Organe	β
Photosynthèse	Feuille	+0.79 (C3)
Capacités photosynthétiques	Feuille	-0.38
Photosynthèse	Canopée	+1.2
Photosynthèse	Planète	+1.3
Efficience d'utilisation de l'eau	Canopée	+1.2
Conductance stomatique	Canopée	-0.6
Transpiration	Canopée	-0.54
Production de biomasse	Parcelle	-0.3 et +0.56
Production de racines	Parcelle	+0.92
Largeur de cernes	Arbre	+0.45
Mortalité	Parcelle	+1.6 /+3.9
Mortalité (Canada)	Parcelle	+6.1
Mortalité (USA)	Parcelle	+6.2
Mortalité (UE)	Parcelle	0
Stockage de carbone	Parcelle	+0.6

$$\beta = \frac{\log\left({}^{Y_e}/_{Ya}\right)}{\log\left({}^{CO2_e}/_{CO2a}\right)}$$

$si\ \beta > 0$: effet positif de la fertilisation

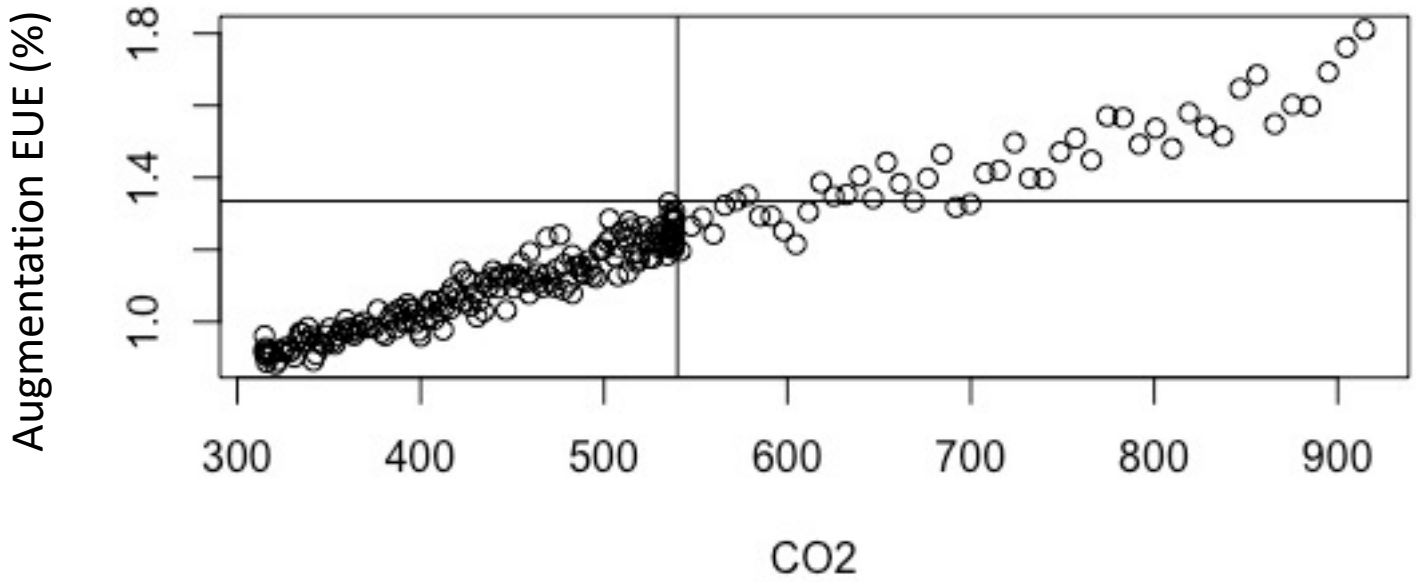
$si\ \beta > 1$: effet plus fort que un effet linéaire

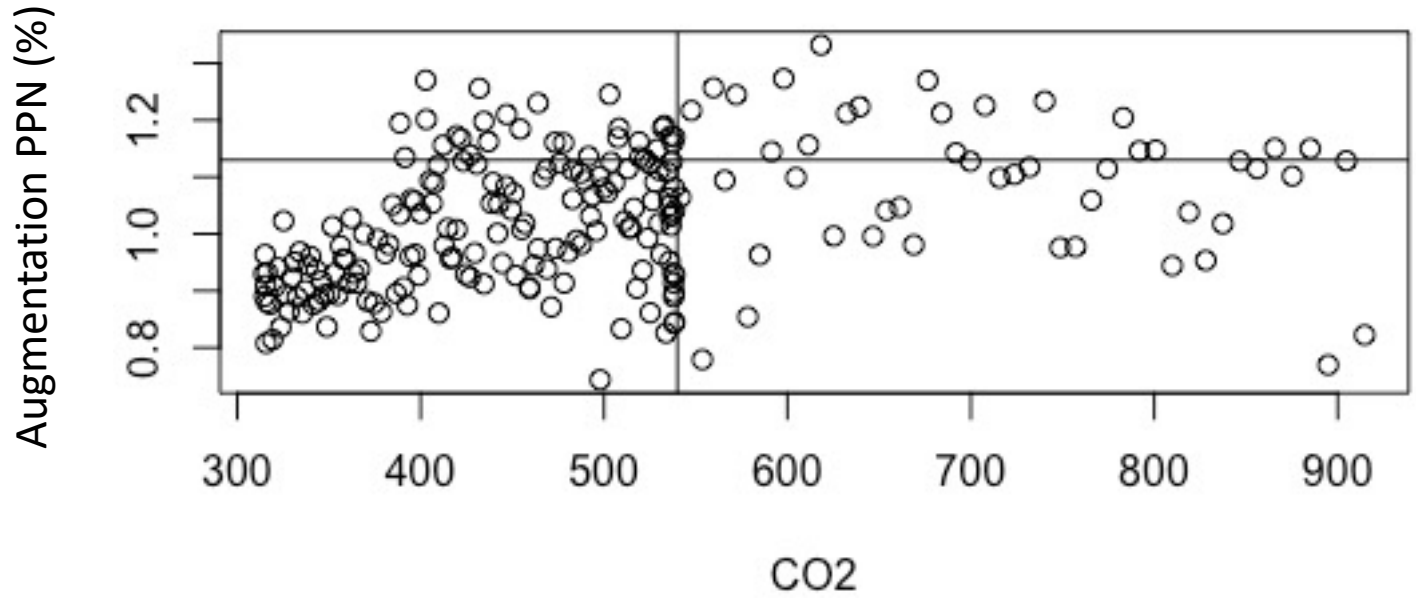
Noir : attributable au seul effet CO2

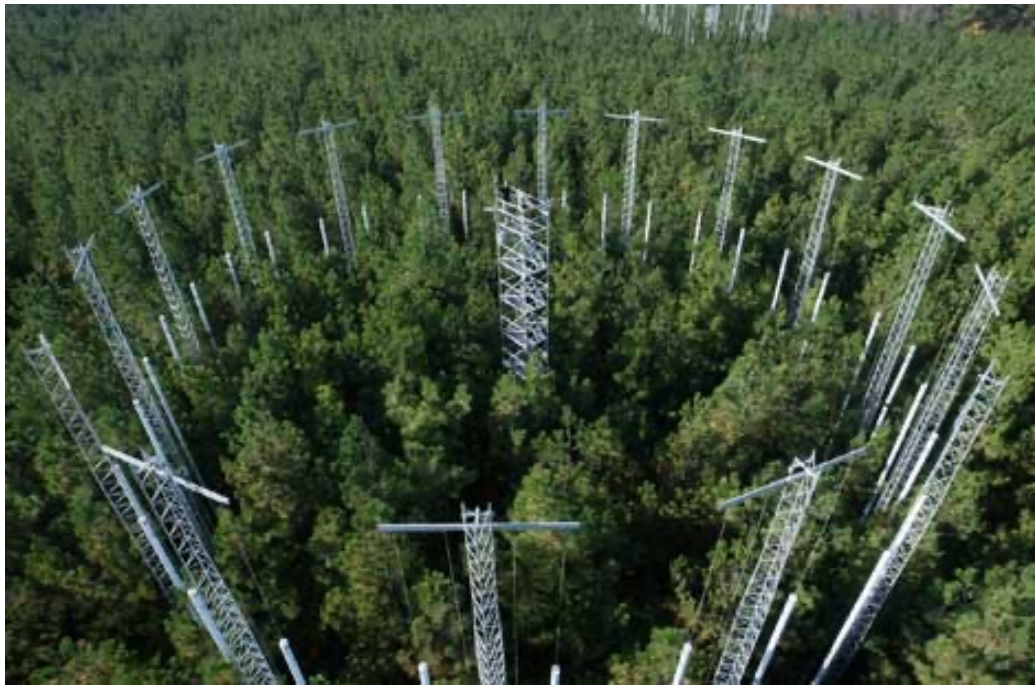
Bleu: pas attribuable au seul effet CO2

Walker et al., 2021

La fertilisation du CO_2



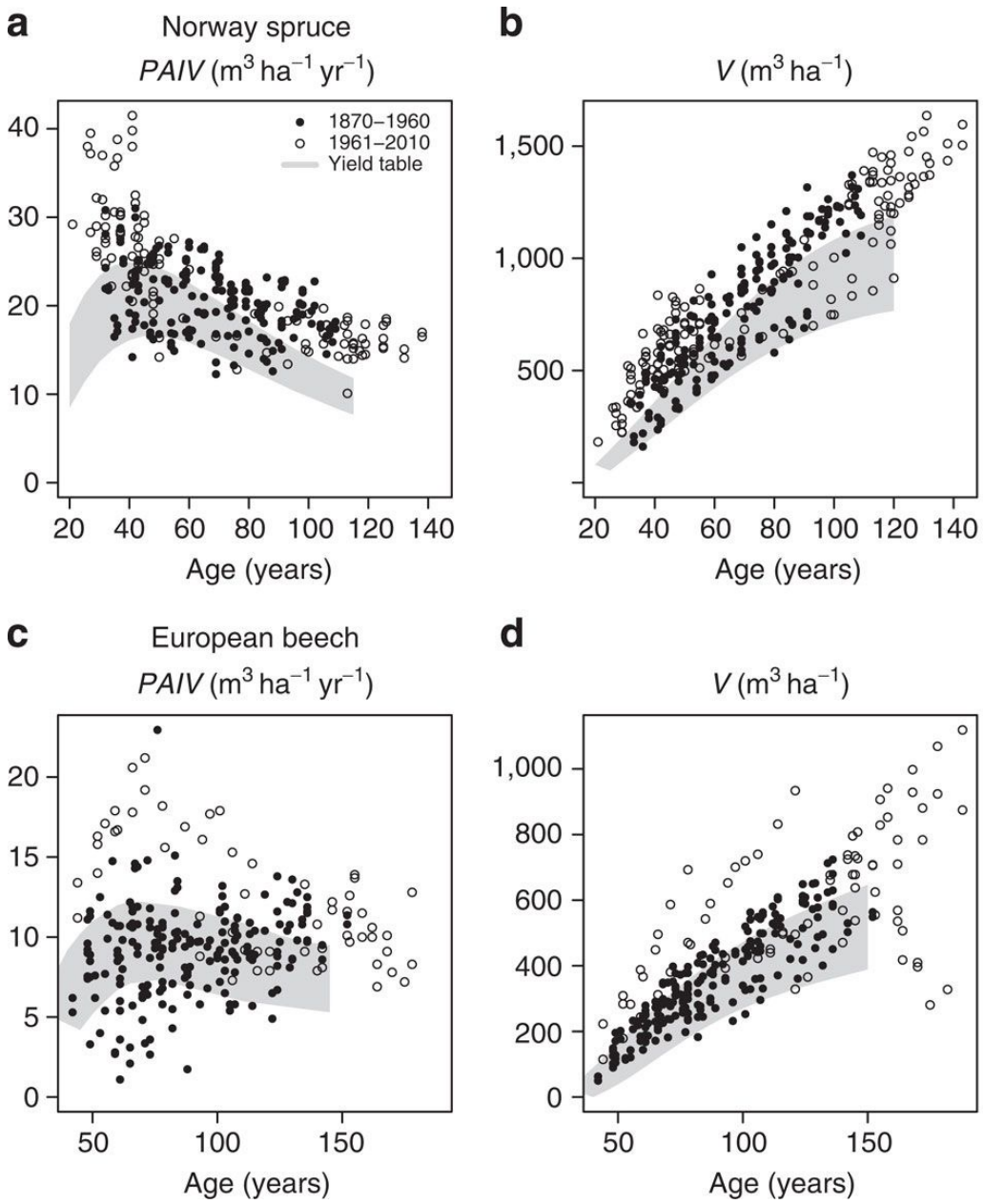




Observations à 2 sites FACE (Oak Ridge & Duke Face)

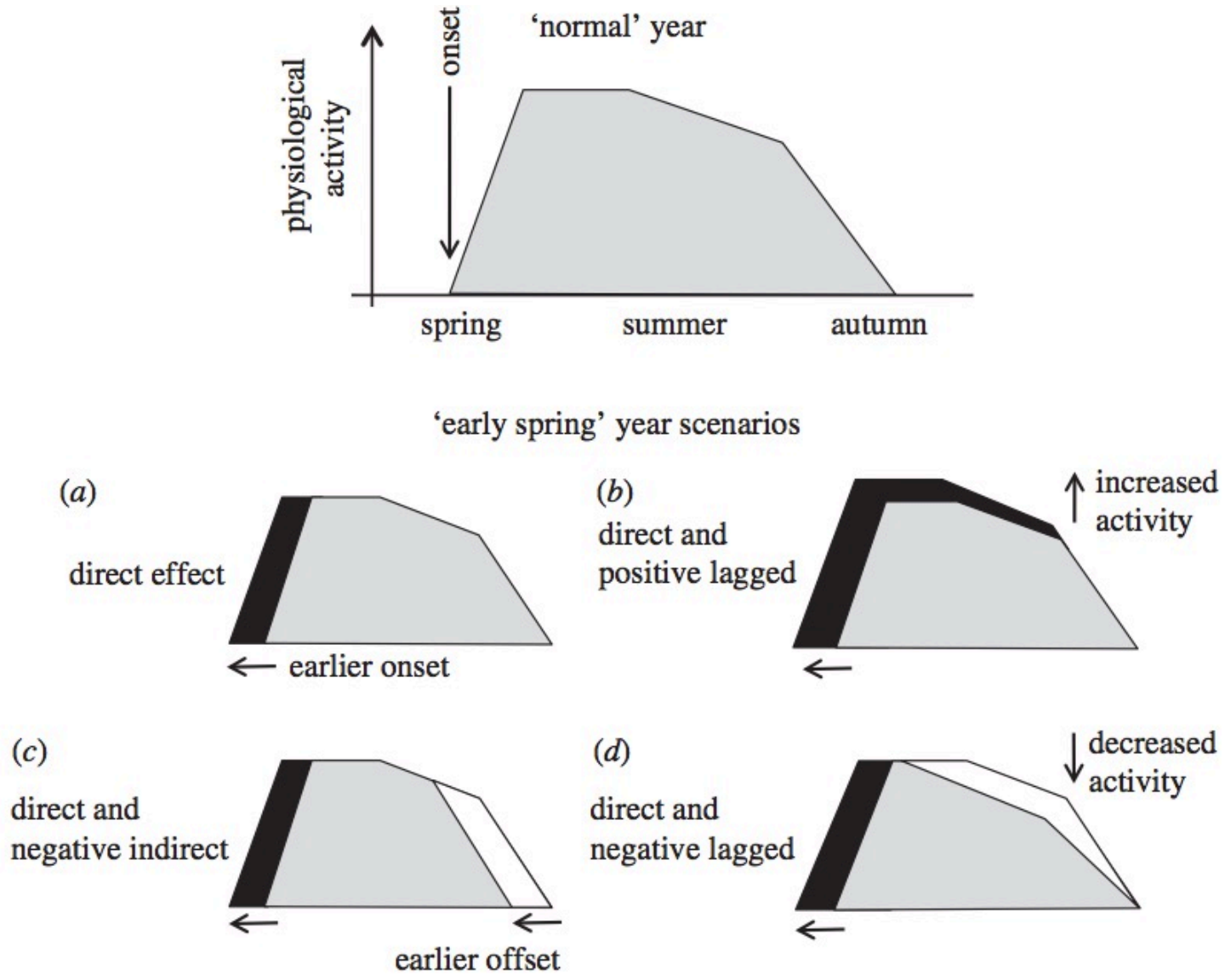
EUE: Efficience d'Utilisation de l'Eau
PPN: Production Primaire Nette

La fertilisation du CO_2



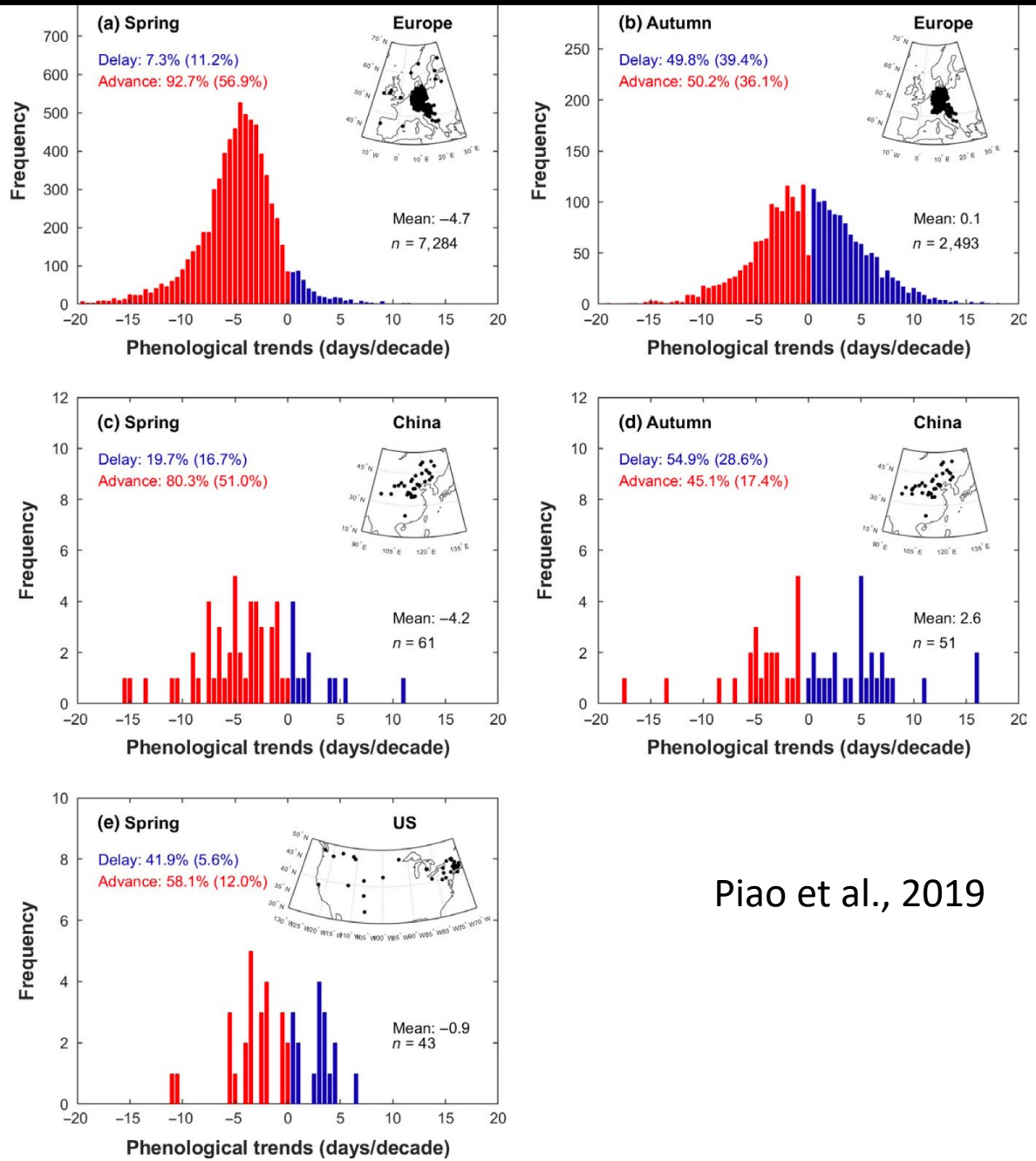
Pretzsch et al. 2014

La durée de végétation



Richardson et al.,2010 (*Phil. Trans. R. Soc. B*)

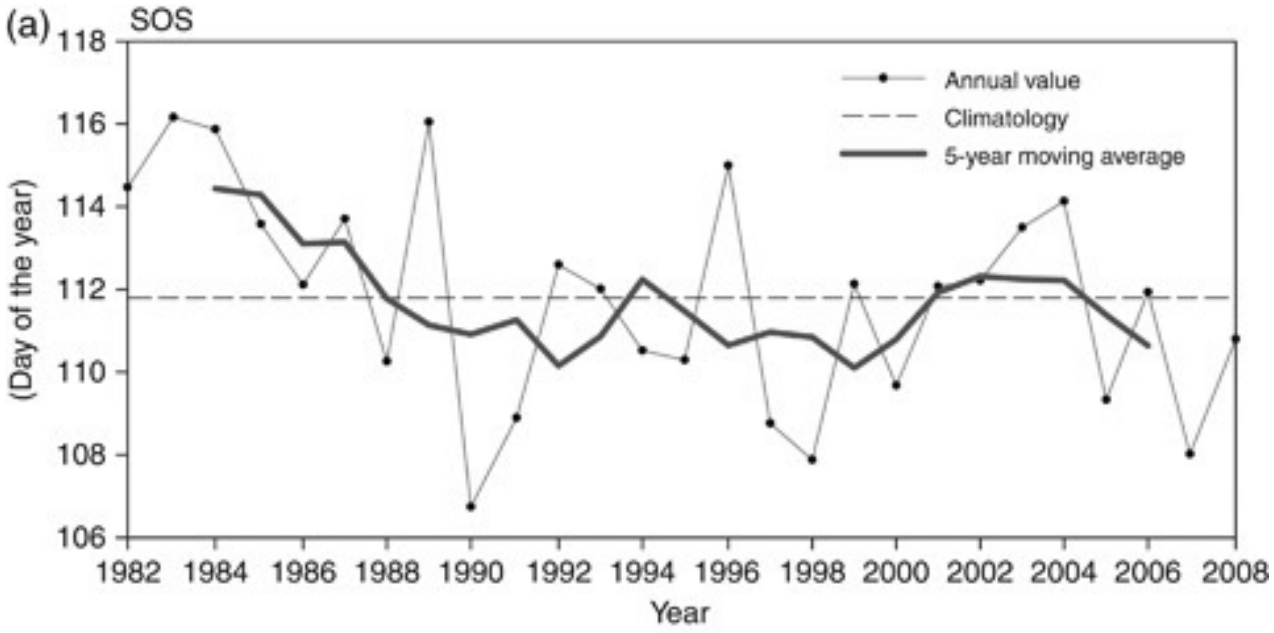
La durée de végétation

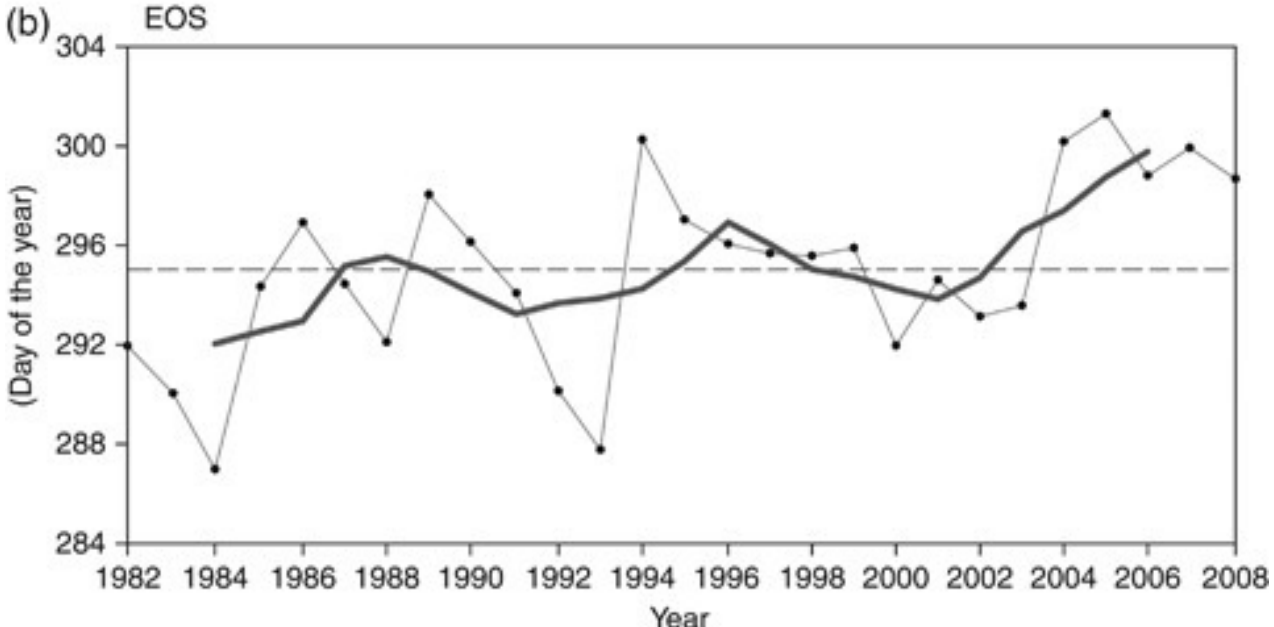


Piao et al., 2019

- Débourrement plus précoce
- Moins d'effet sur la chute des feuilles

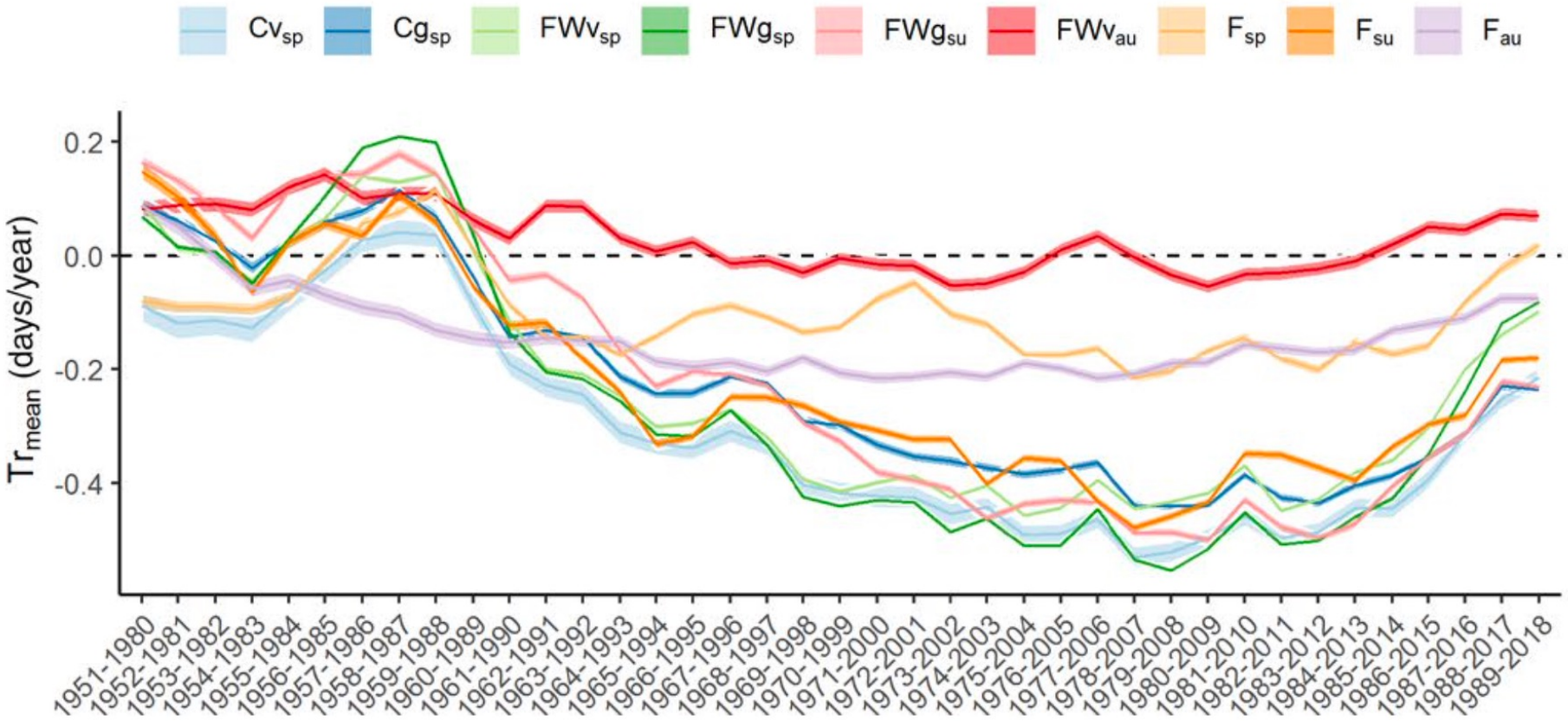
La durée de végétation





Jeong et al., 2011
satelitttes

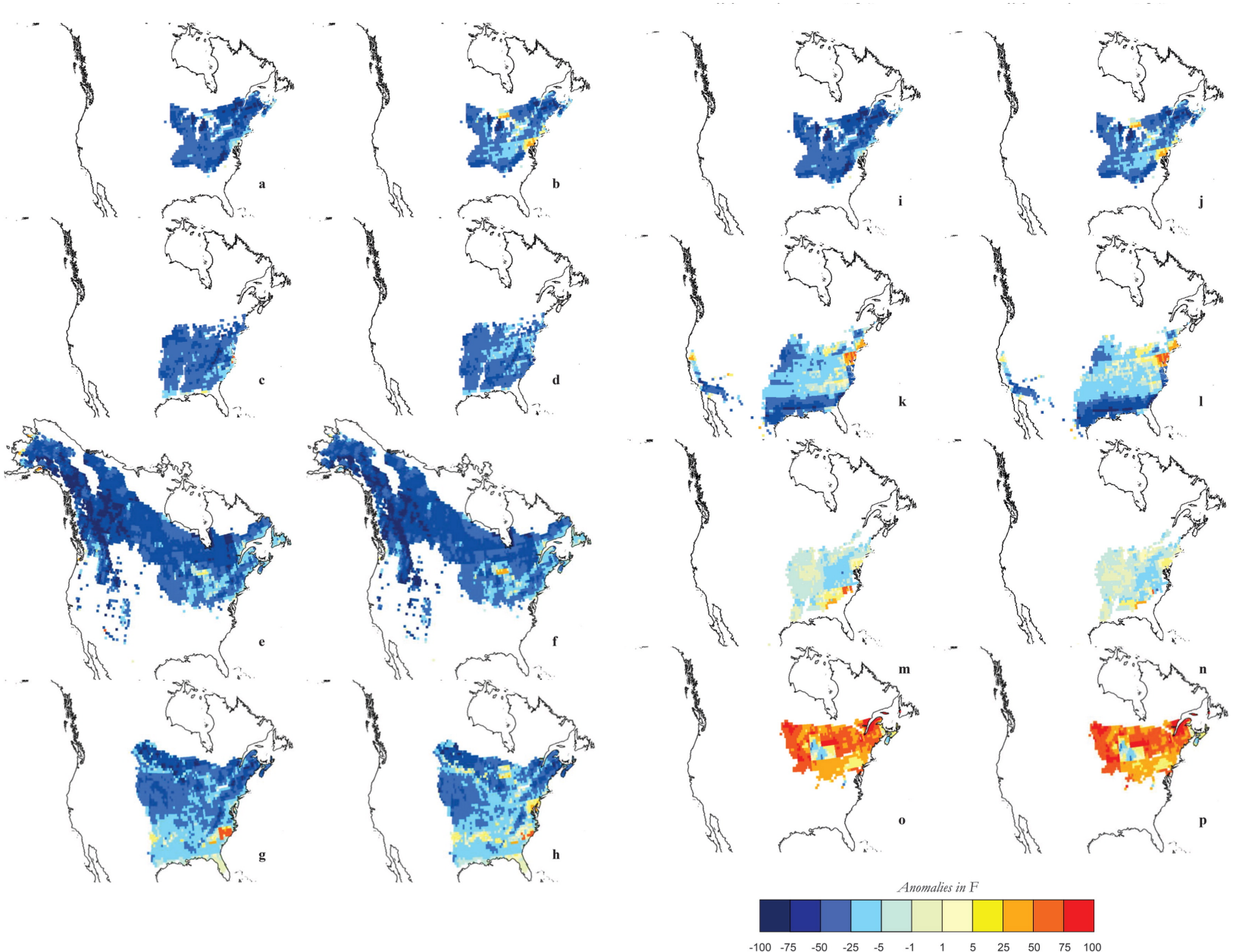
La durée de végétation



Cgsp, Crop generative spring; **Cvsp**, Crop vegetative spring; **Fau**, Farmer autumn; **Fsp**, Farmer spring; **Fsu**, Farmer summer; **FWgsp**, Fruit trees & wild plant species generative spring; **FWgsu**, Fruit trees & wild plant species generative summer; **FWvau**, Fruit trees & wild plant species vegetative autumn; **FWvsp**, Fruit trees & wild plant species vegetative sprin

Menzel et al., 2020

Le risque de gelée

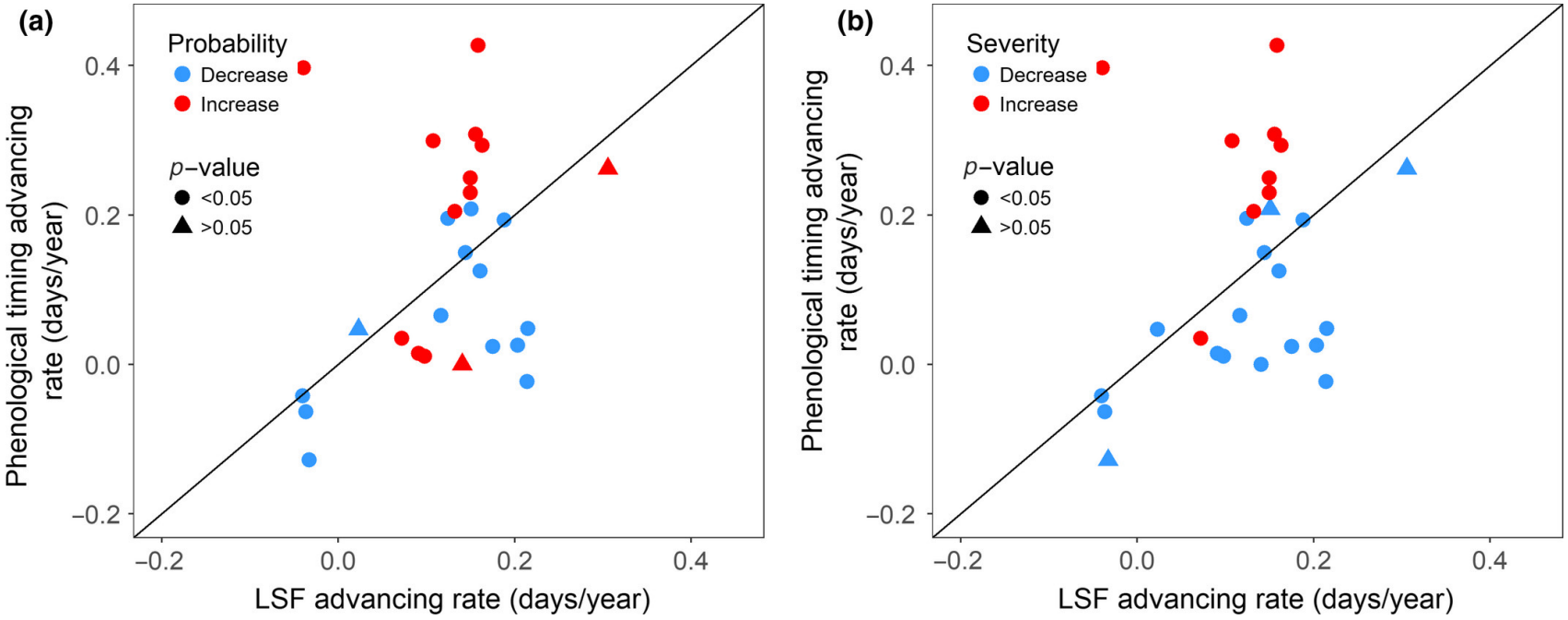


(a) & (b) Acer saccharum
(*c*) & (*d*) *Quercus velutina*
(*e*) & (*f*) *Populus tremuloides*
(*g*) & (*h*) *Ulmus americana*
(*i*) & (*j*) *Acer saccharinum*
(*k*) & (*l*) *Salix nigra*
(*m*) & (*n*) *Carya ovata*
(*o*) & (*p*) *Fraxinus nigra*.

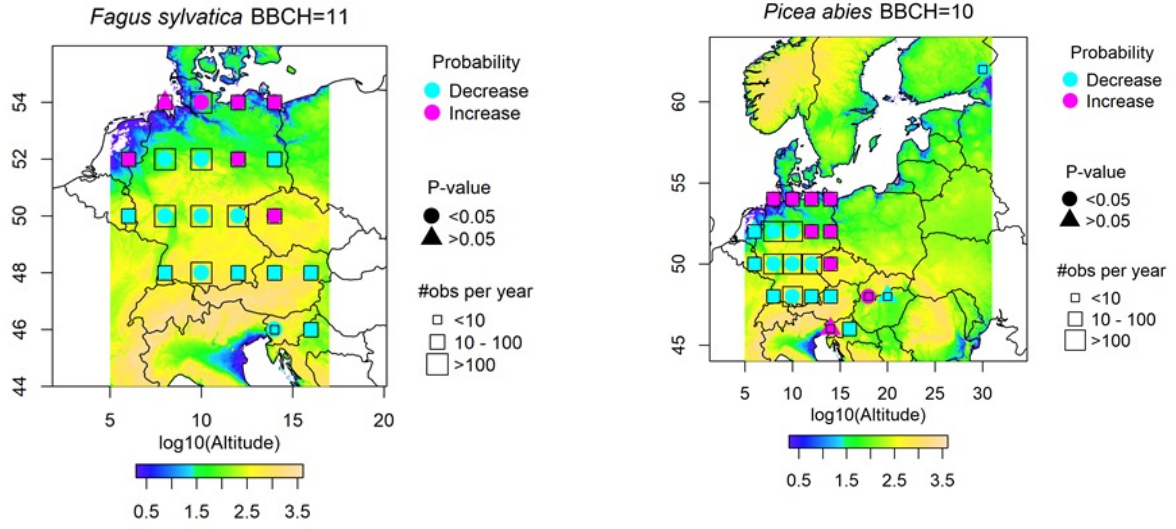
Les valeurs négatives indiquent une diminution des dommages causés par le gel en 2001-2100 par rapport à 1901-2000. Les valeurs positives indiquent une augmentation des dommages causés par le gel en 2001-2100 par rapport à 1901-2000.

Morin & Chuine 2014

Le risque de gelée



LSF date est définie comme le dernier jour avant le 15 juillet avec une température minimale quotidienne inférieure à -2,2°.



Ma et al., 2018

L'évolution des croissances

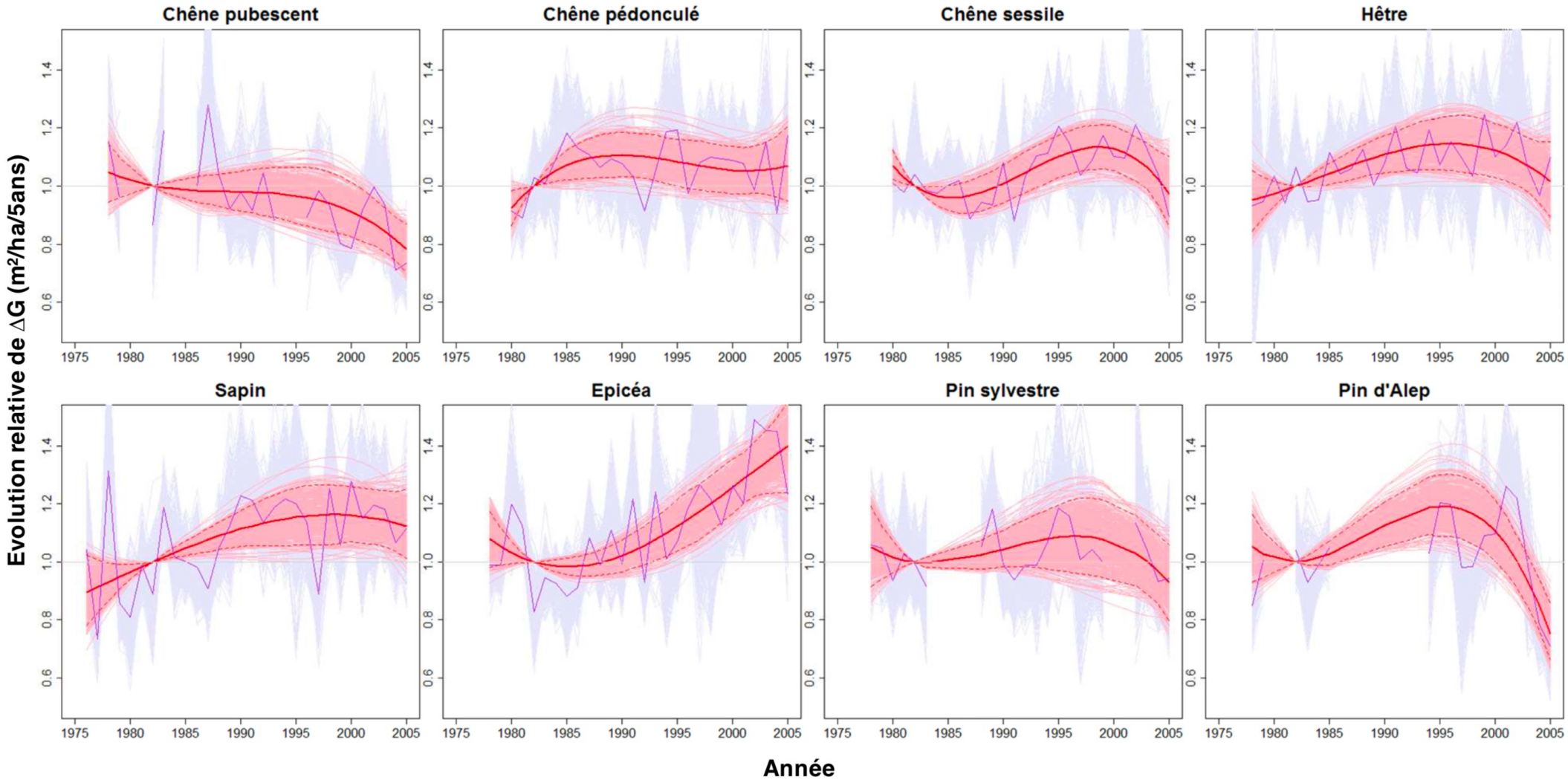
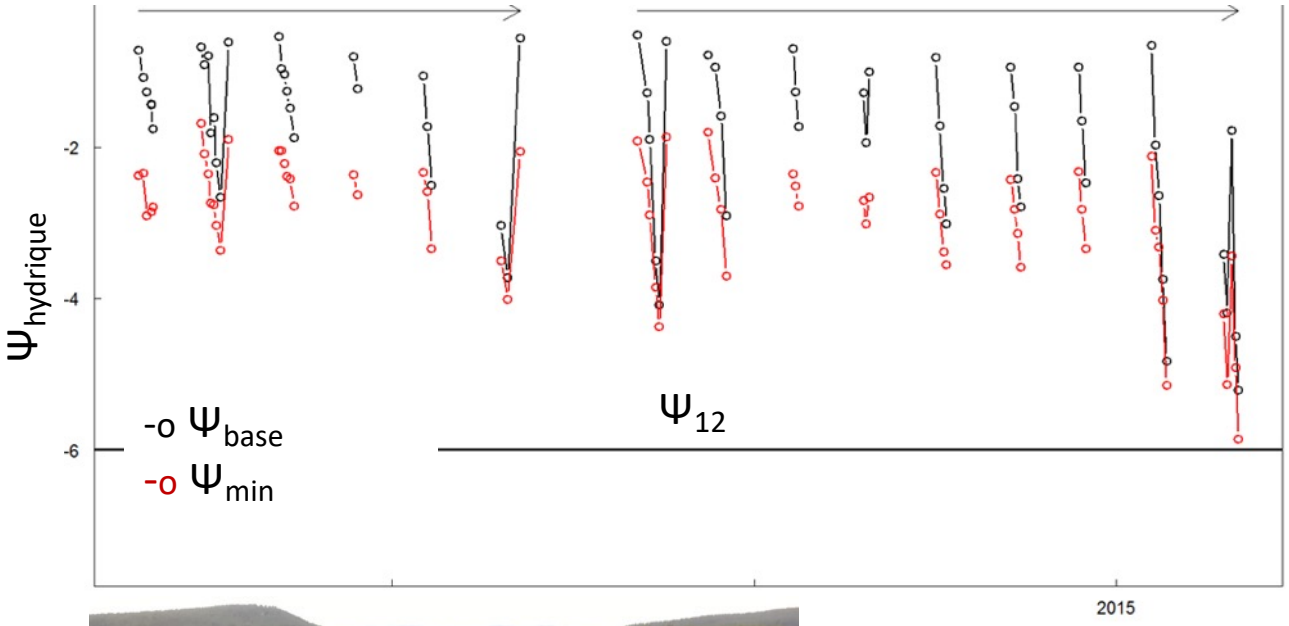


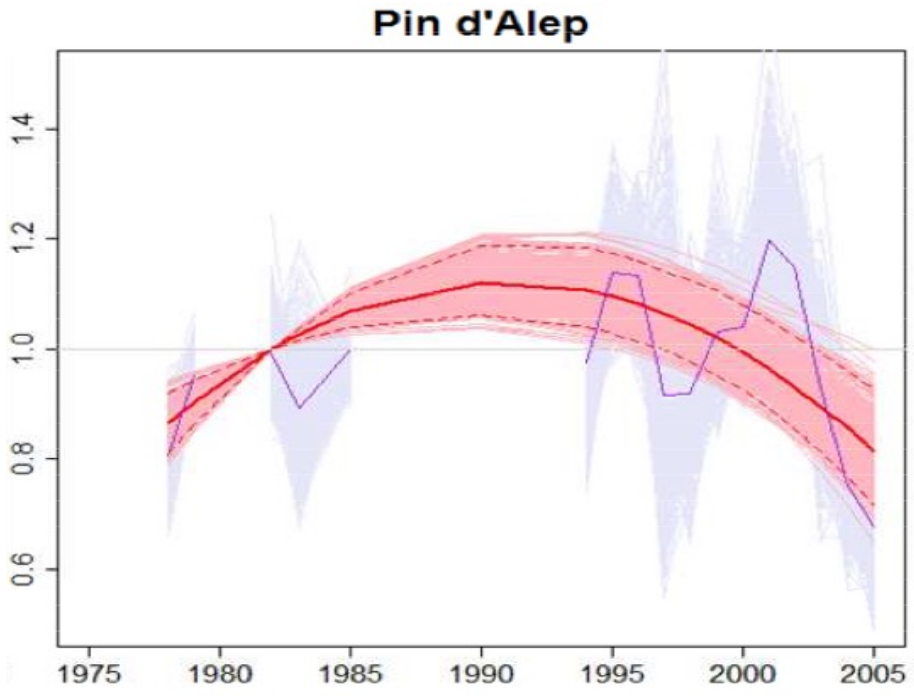
Figure 4.14 : Tendances du troisième degré (Eq. 4.5) ajustées pour les 8 espèces par régression non linéaire (en rouge) et résidus partiels des modèles liés à la date (Eq. 4.8, en violet) moyennées sur les 500 estimations bootstrap (représentées en rose et en bleu pour les tendances et les résidus partiels, respectivement*). Les tirets rouges représentent les intervalles de confiance bootstrap au niveau de confiance de 95% des tendances ajustées (section 2.3.1)*

Le stress hydrique

Hausse du stress hydrique

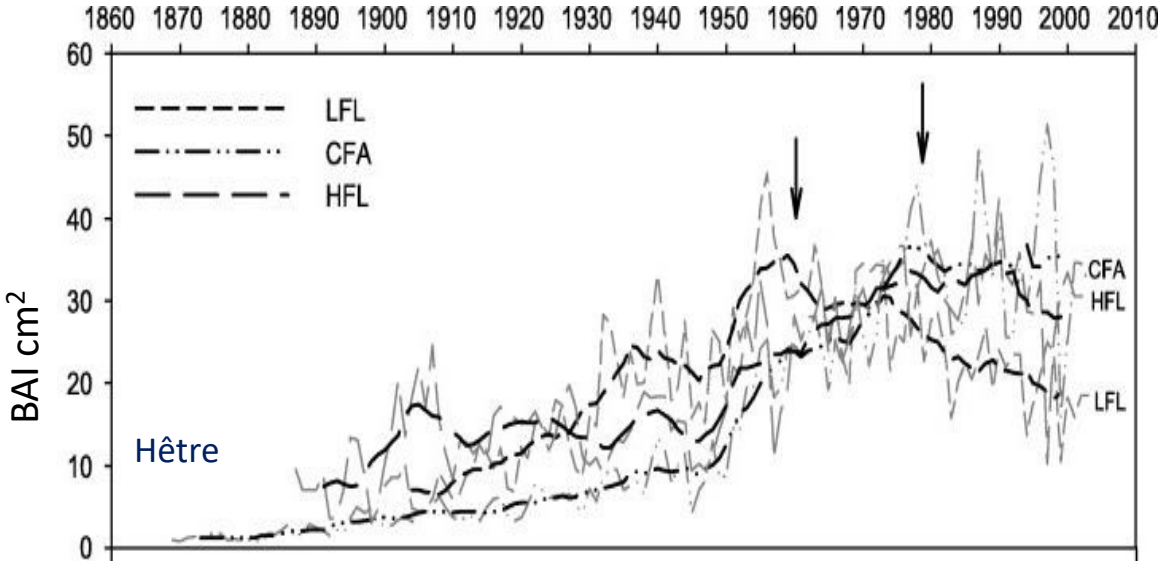


Stress hydrique et croissance



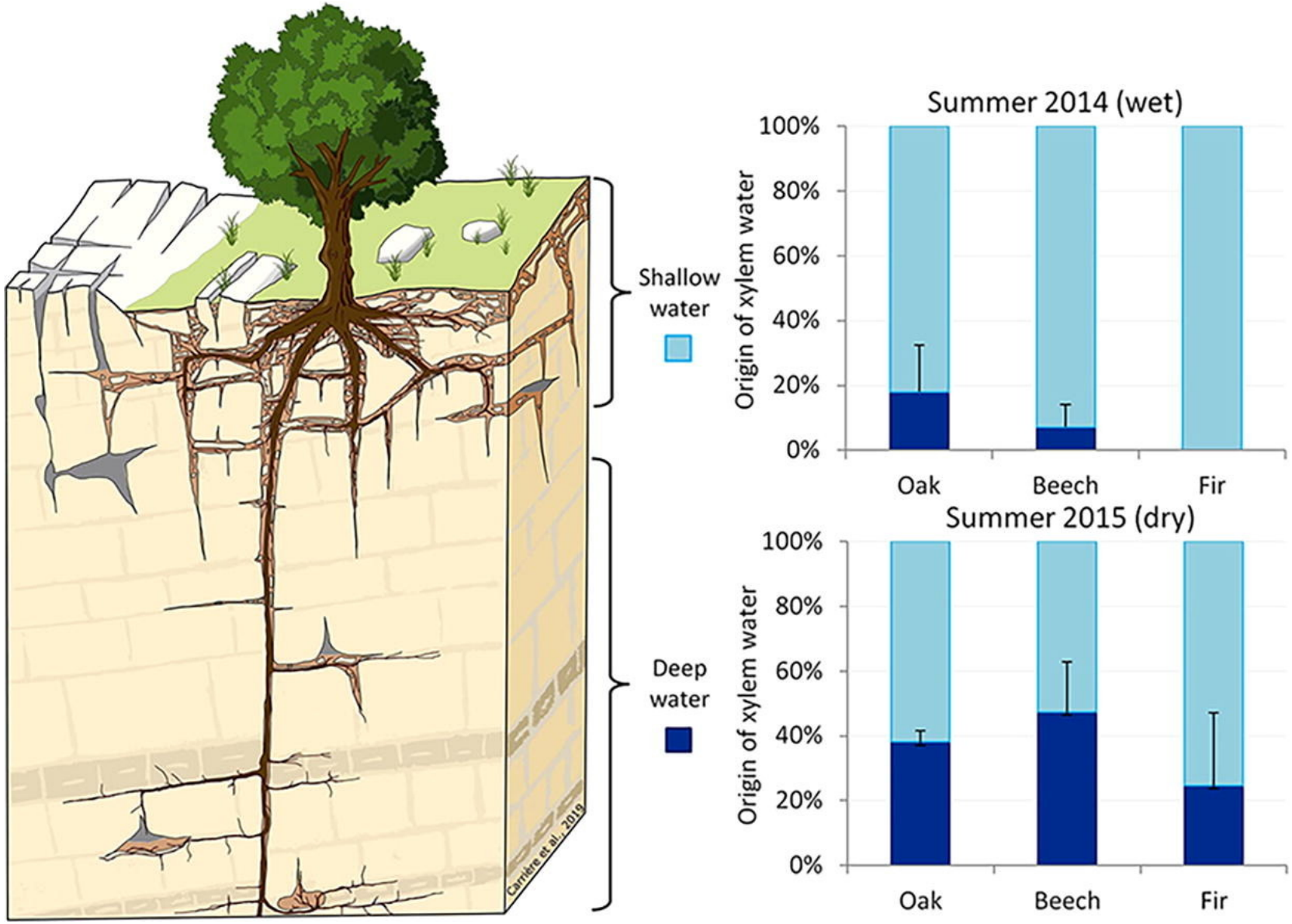
Charu 2015

Jump et al., 2006



LFL= basse altitude, HFL= haute altitude

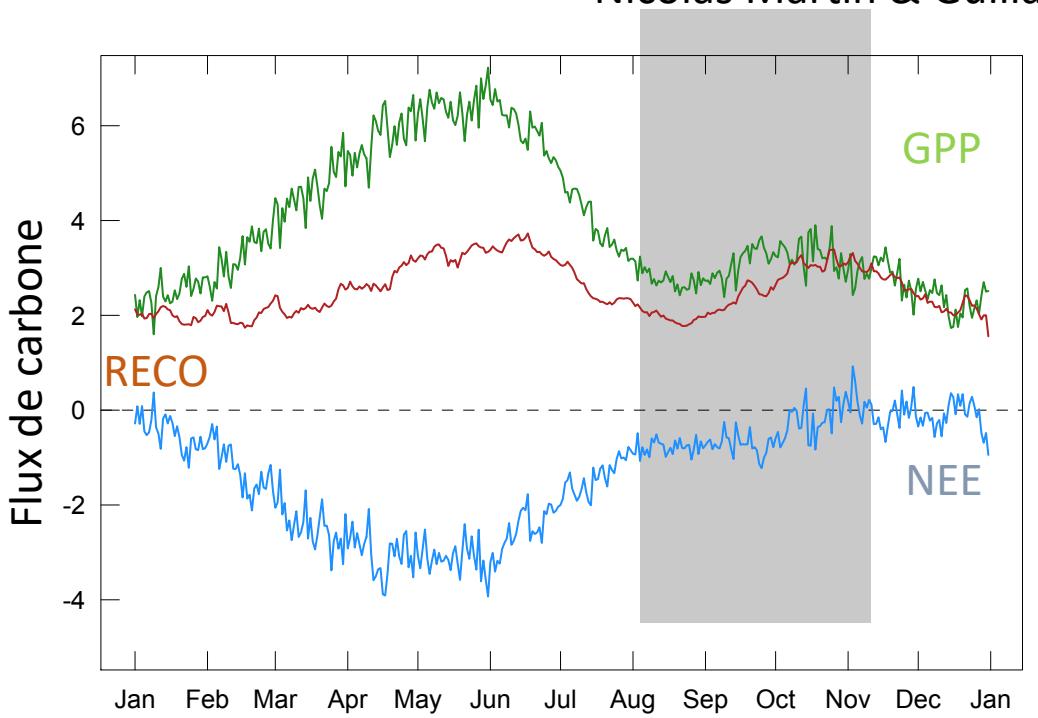
Les réserves en eau du sous-sol

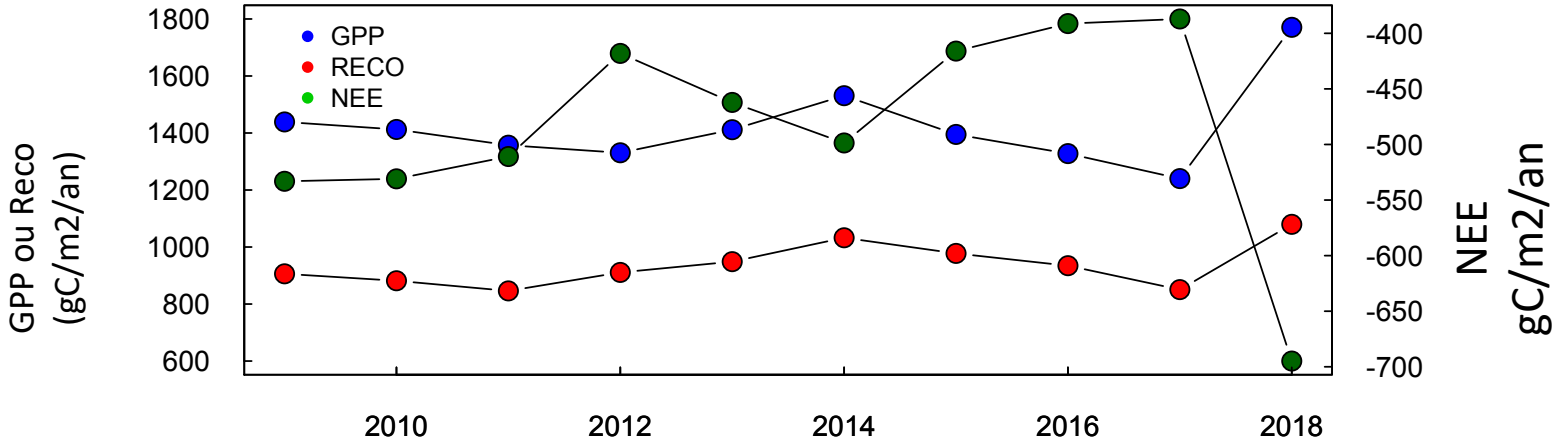


Carriere et al., 2019

La séquestration de carbone: le site Fontblanche

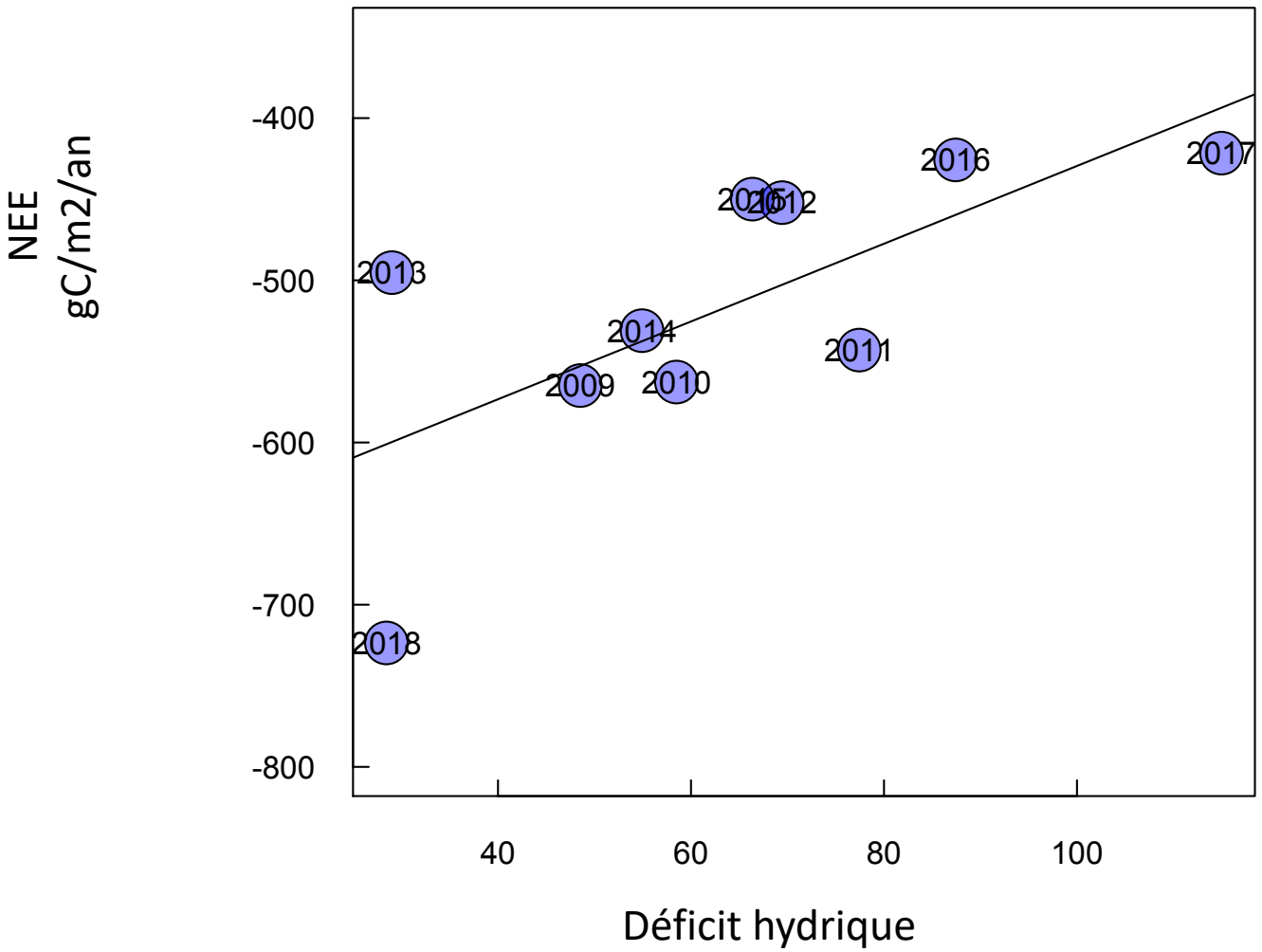
Nicolas Martin & Guillaume Simioni



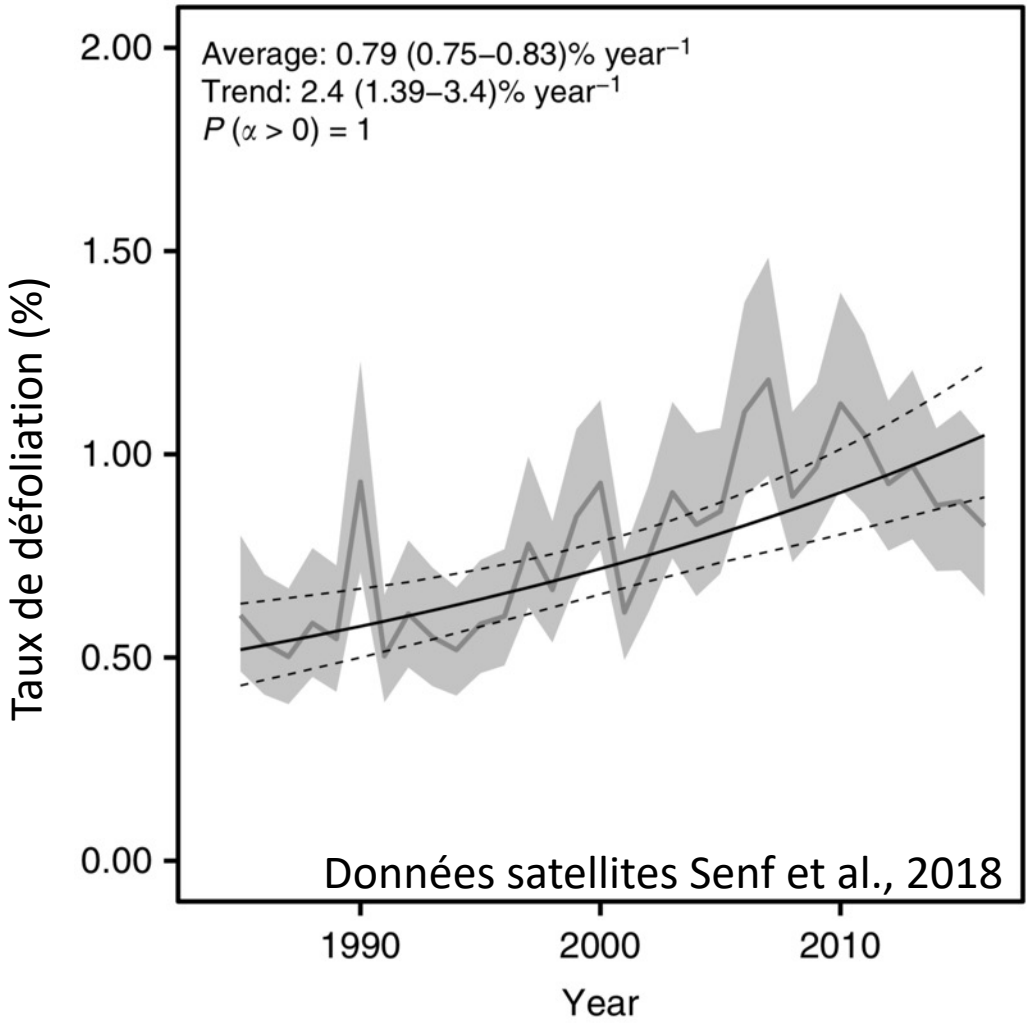


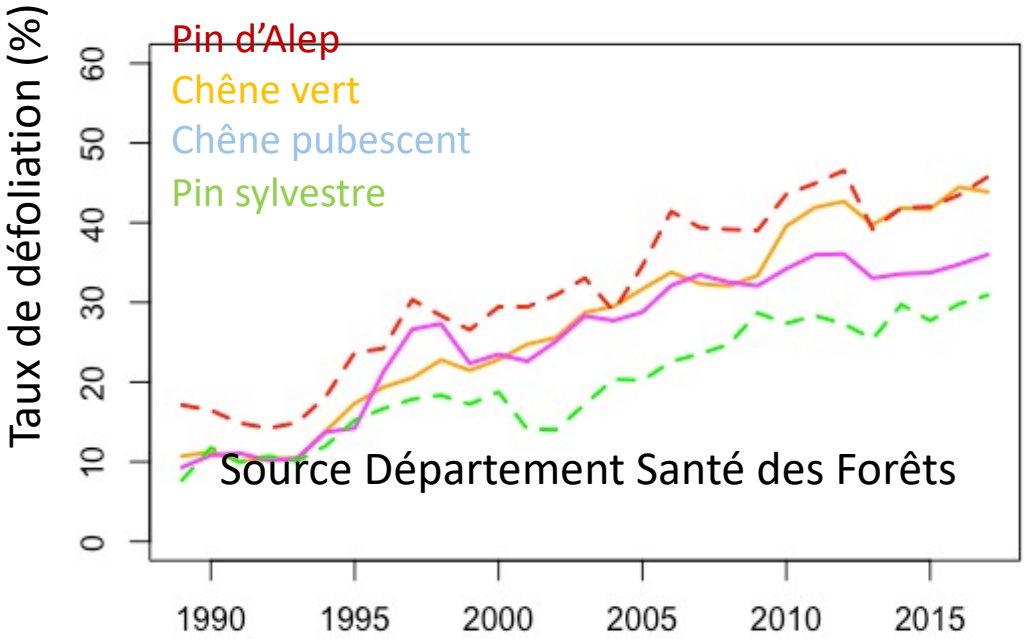
La séquestration de carbone et le stress hydrique

Nicolas Martin & Guillaume Simioni

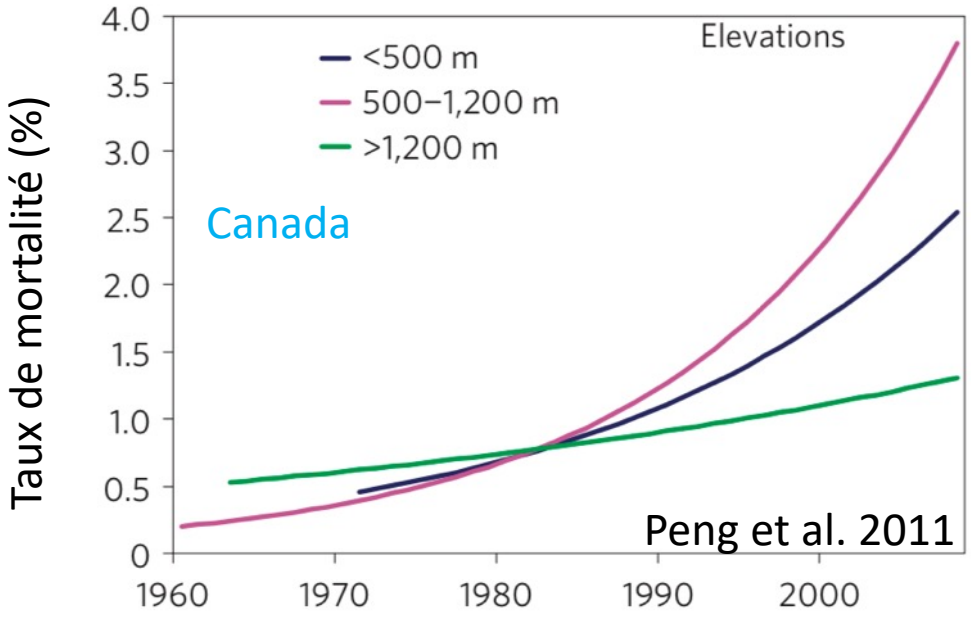


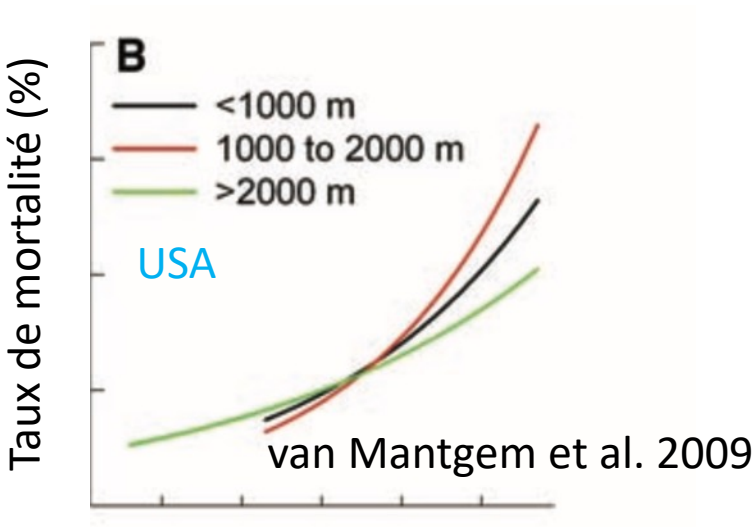
Augmentation de la défoliation

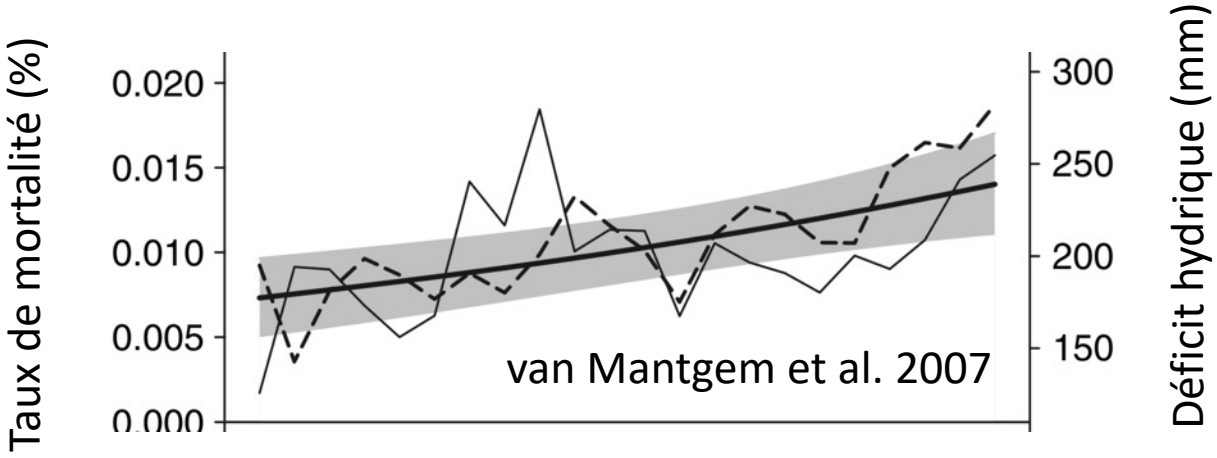




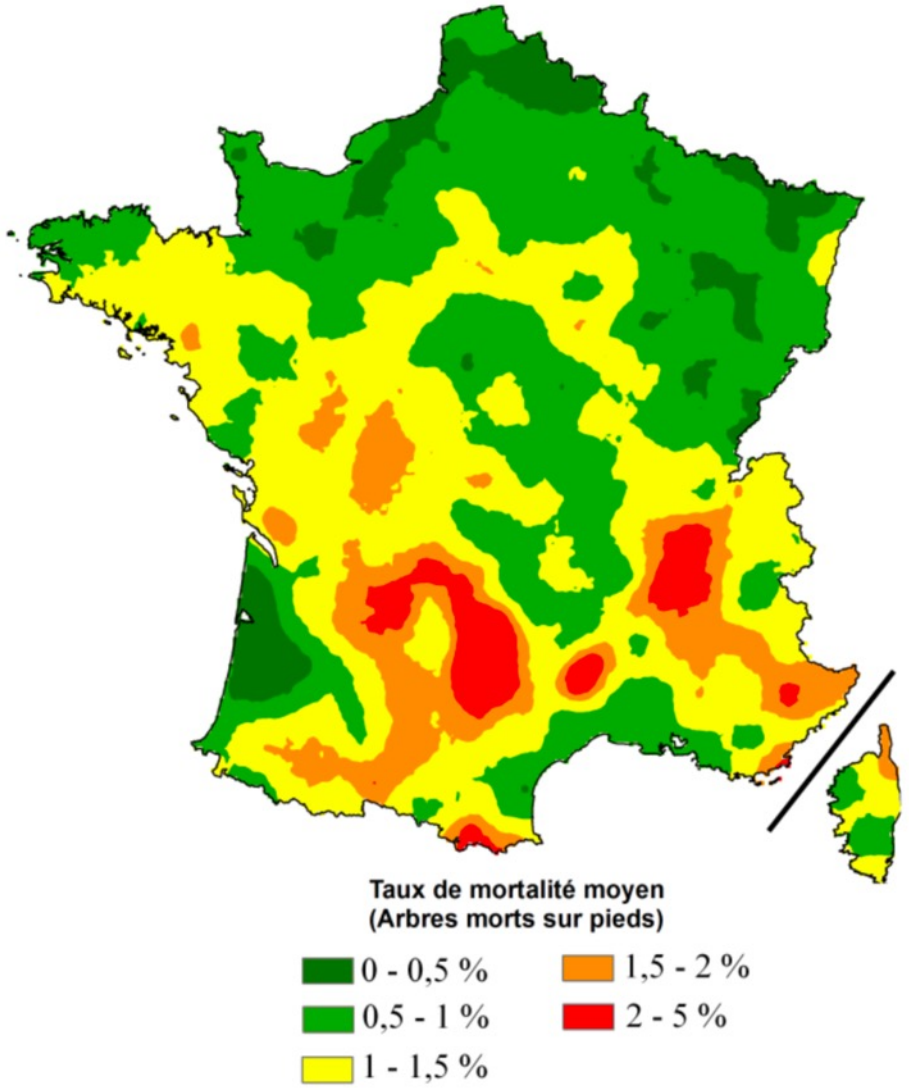
Augmentation des taux de mortalité



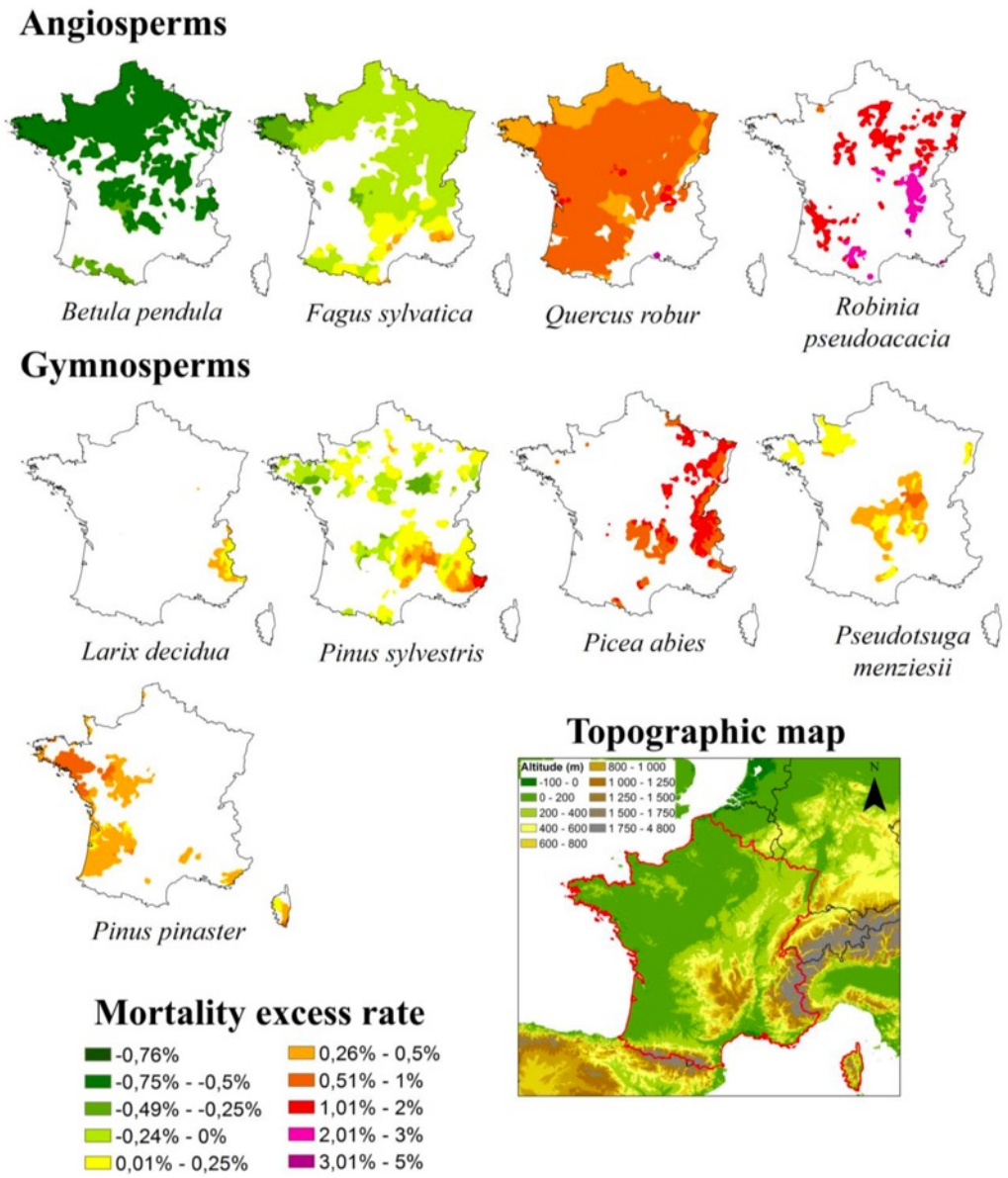




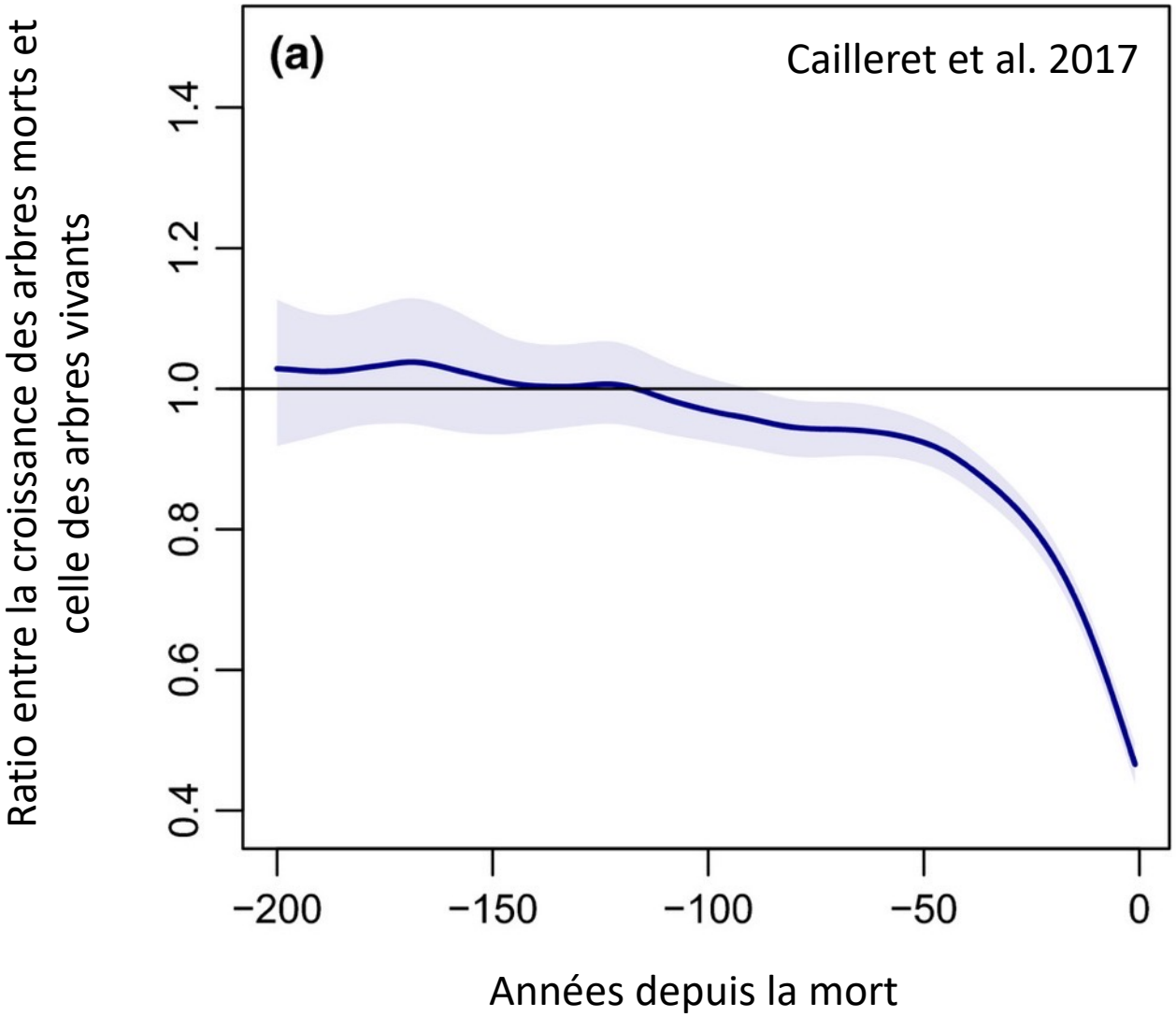
Variation des taux de mortalité



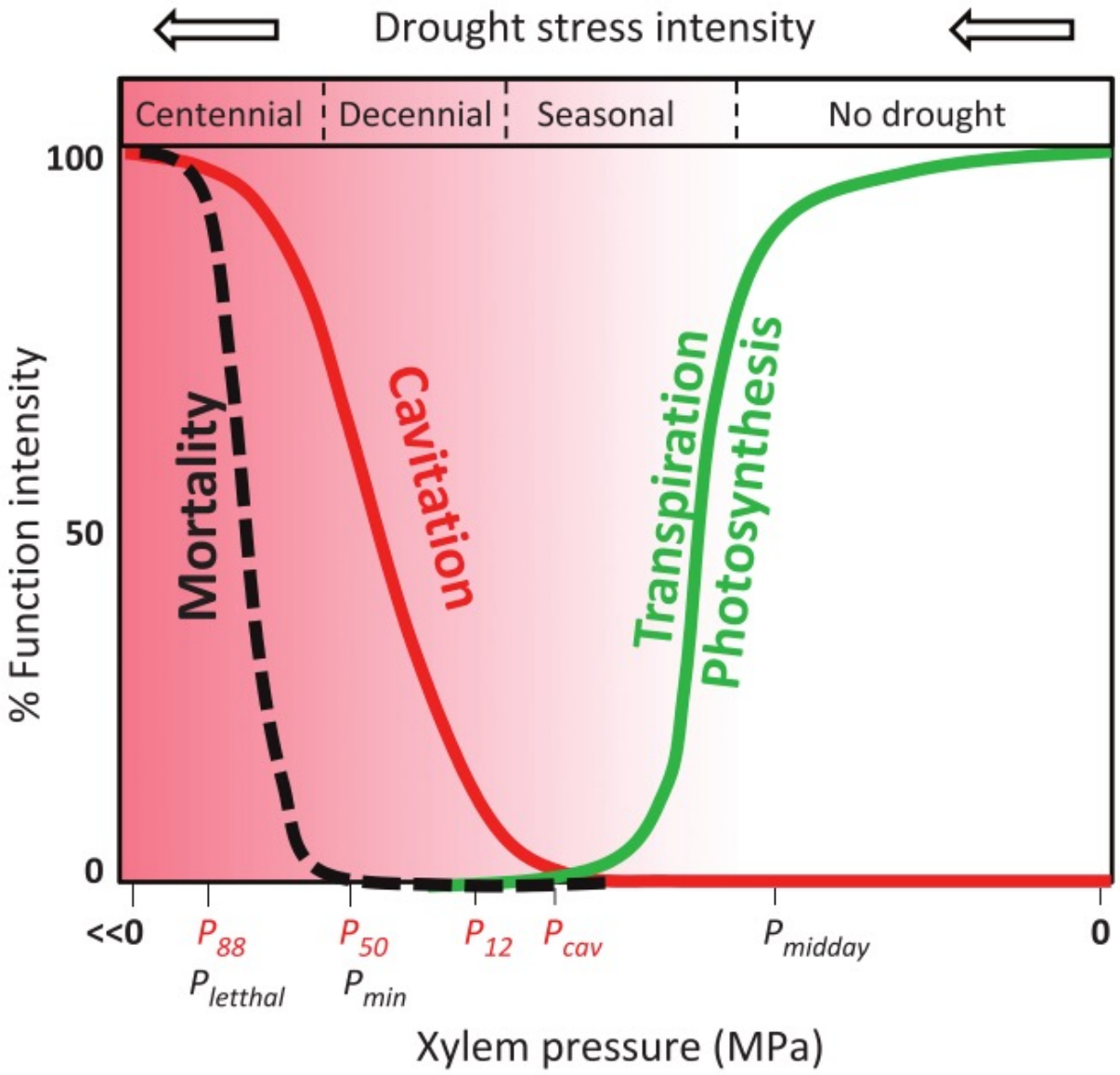
Taccoen 2019



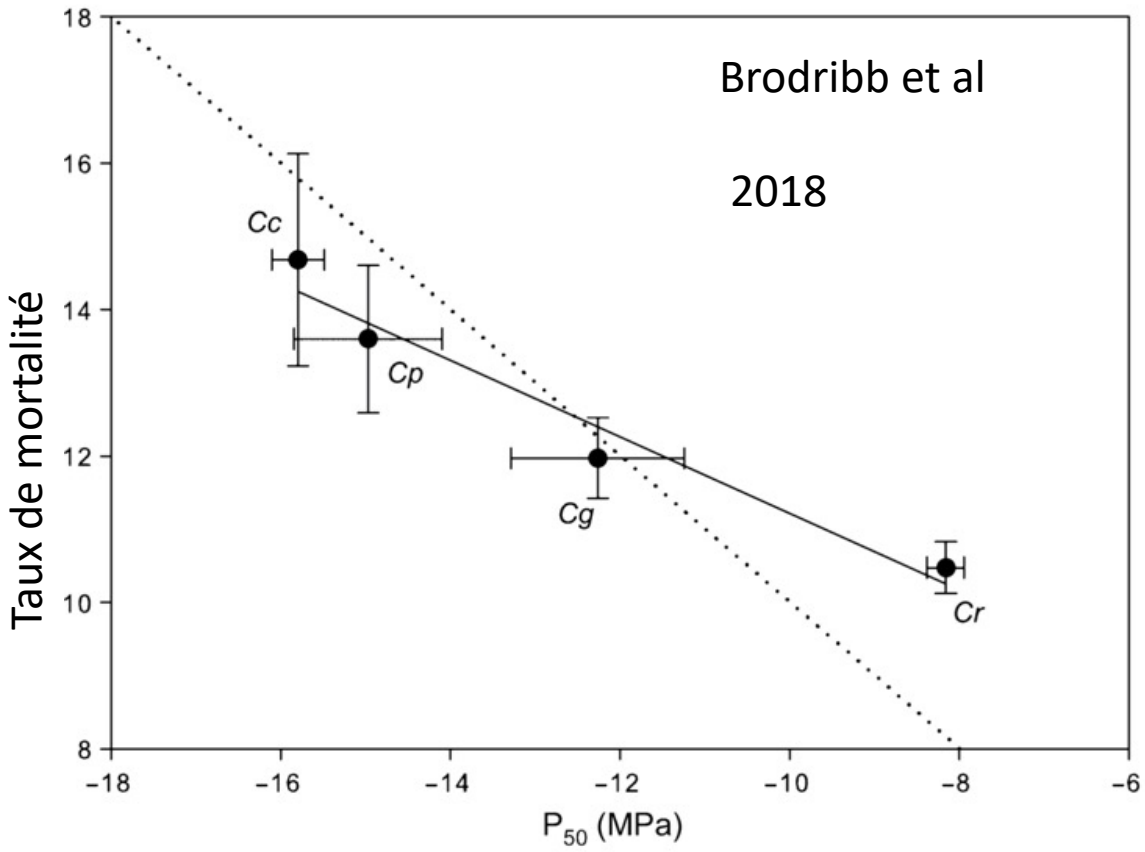
Autopsier les arbres morts

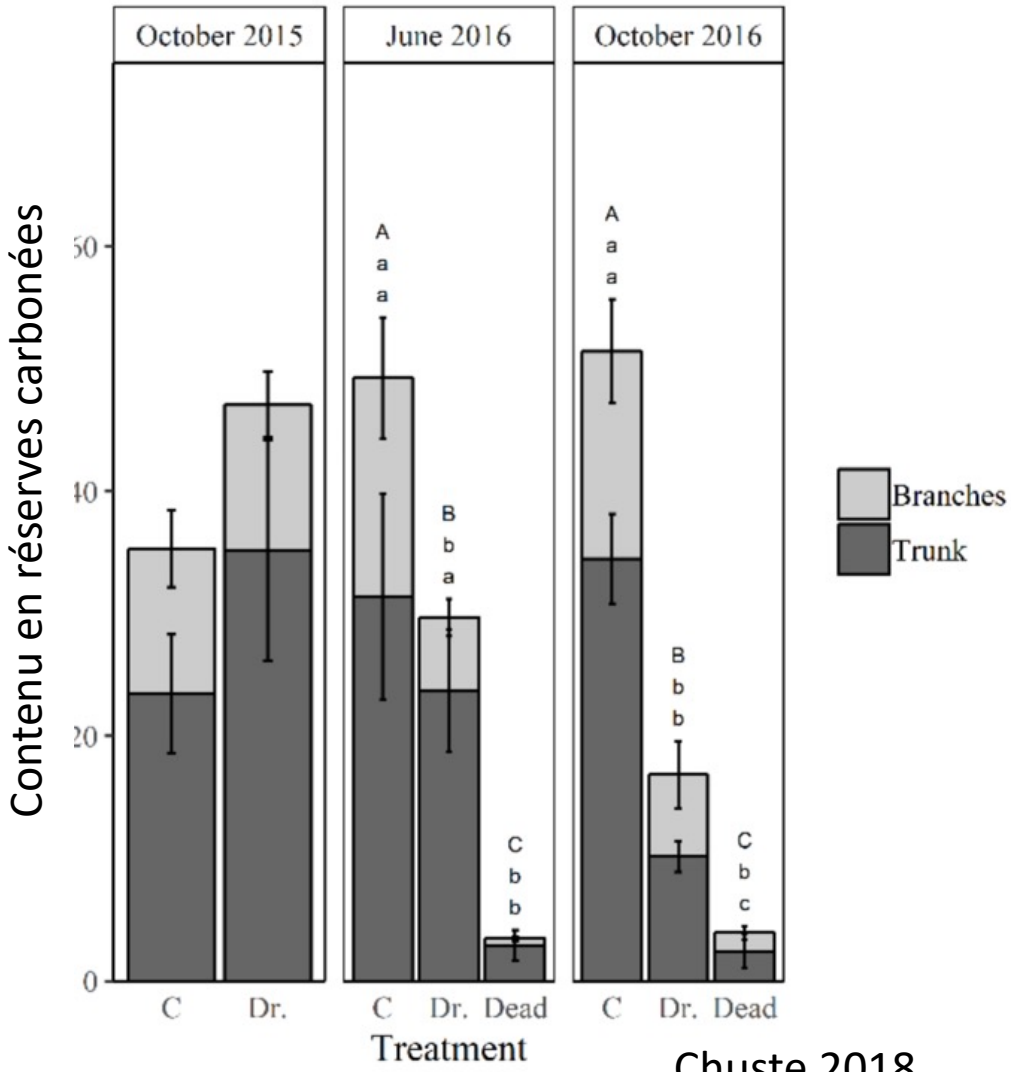


Le stress hydrique et l'embolie



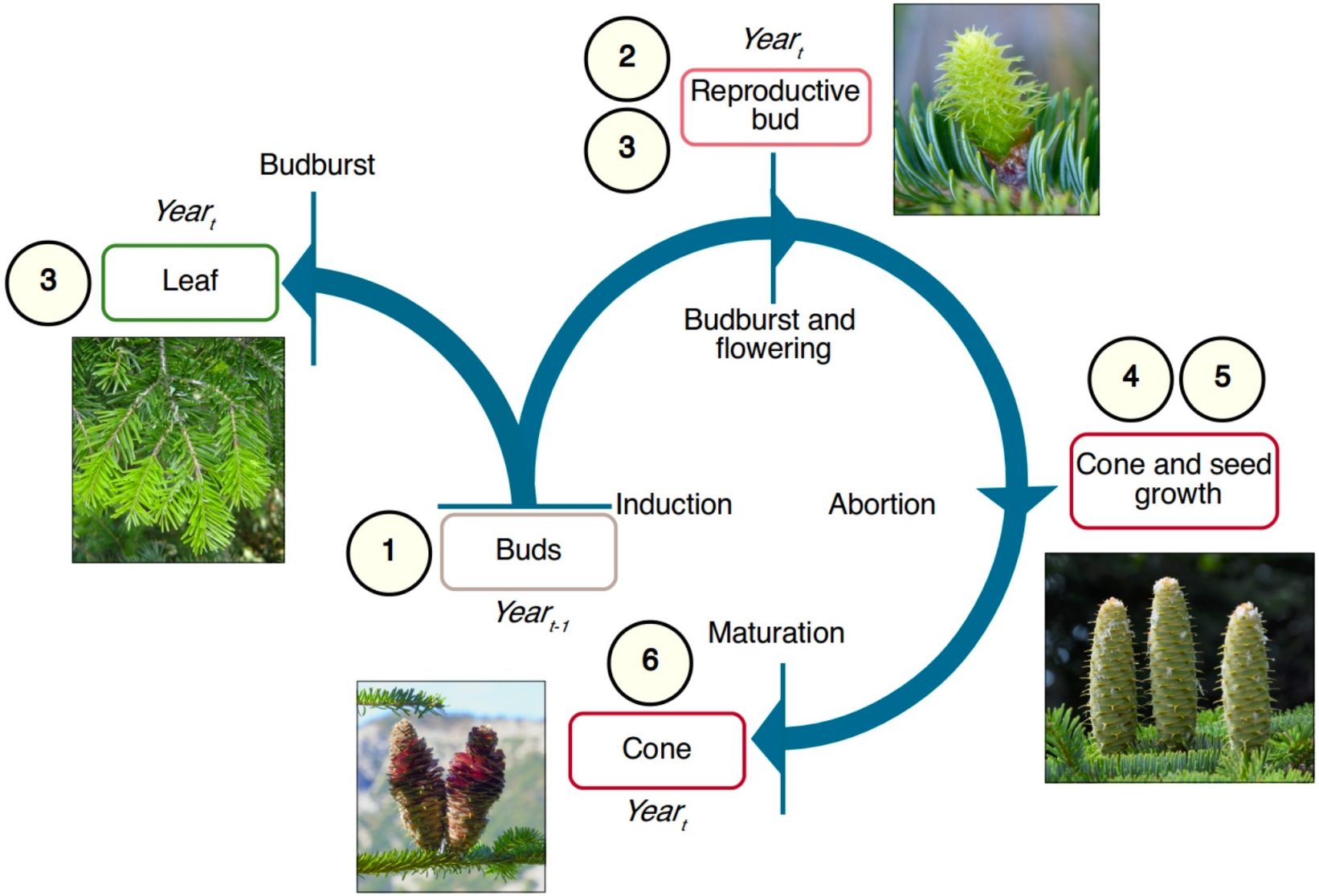
Les seuils de mortalité





Chuste 2018

Reproduction

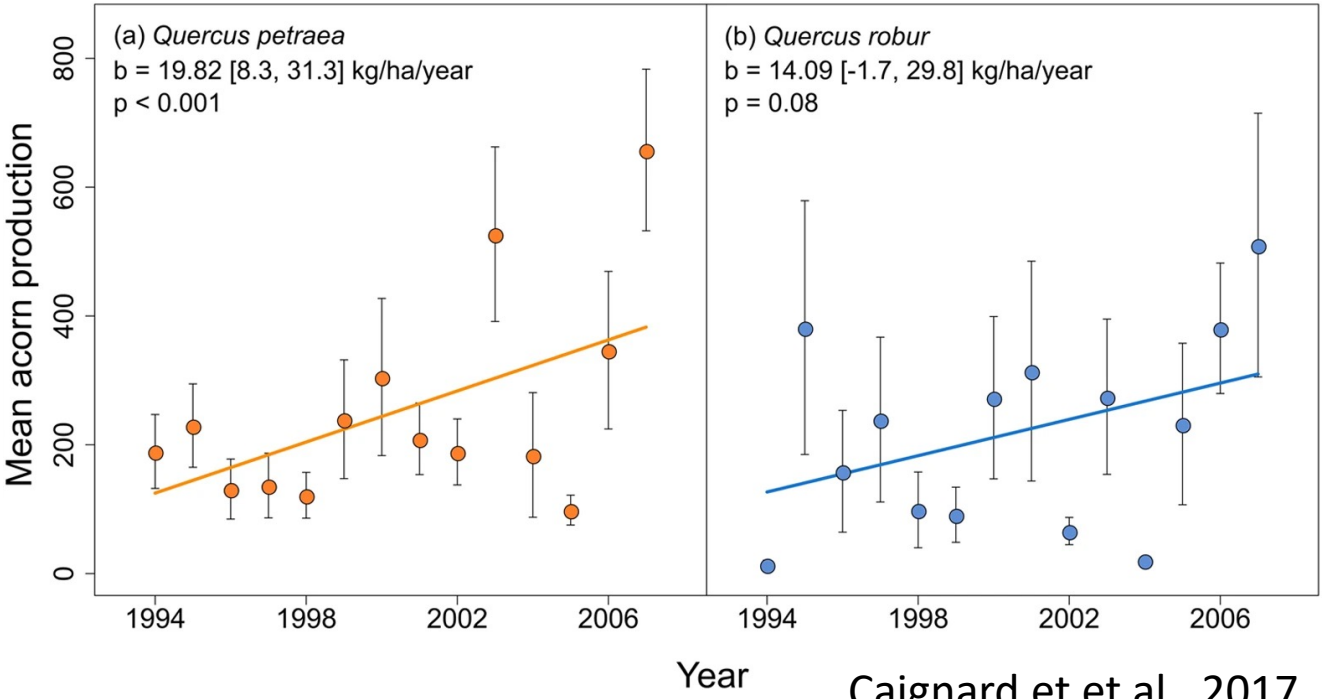


Journé et al. in prep

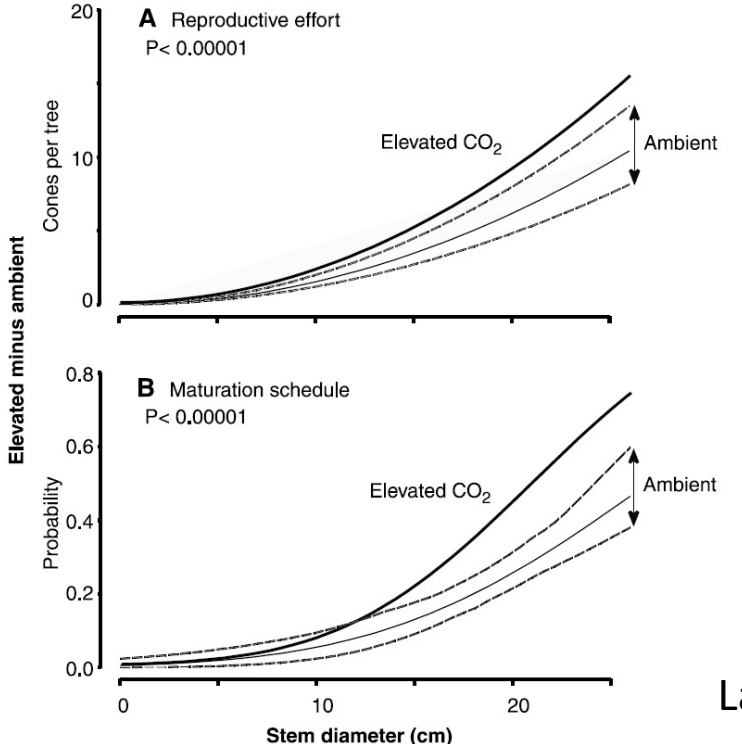
Reproduction

- Une tendance observée de réduction du rendement de production cônes de Pinus pinea de 180 à moins de 100 kg ha-1 au cours des 40 dernières années (Mutke et al., 2005)

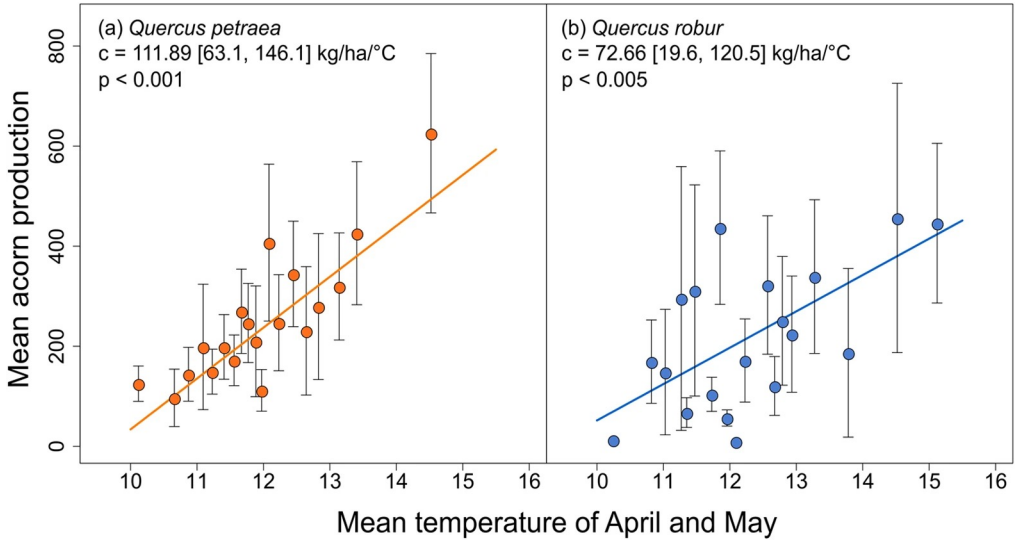
- La production de cônes de graines chez le pin ponderosa (Pinus edulis), une espèce en voie de disparition, a diminué de 40 % entre la décennie 1974 (1969-1978) et la décennie 2008 (2003-2012) dans des peuplements revisités dans tout le Nouveau-Mexique et le nord-ouest de l'Oklahoma (Redmon et al., 2012)



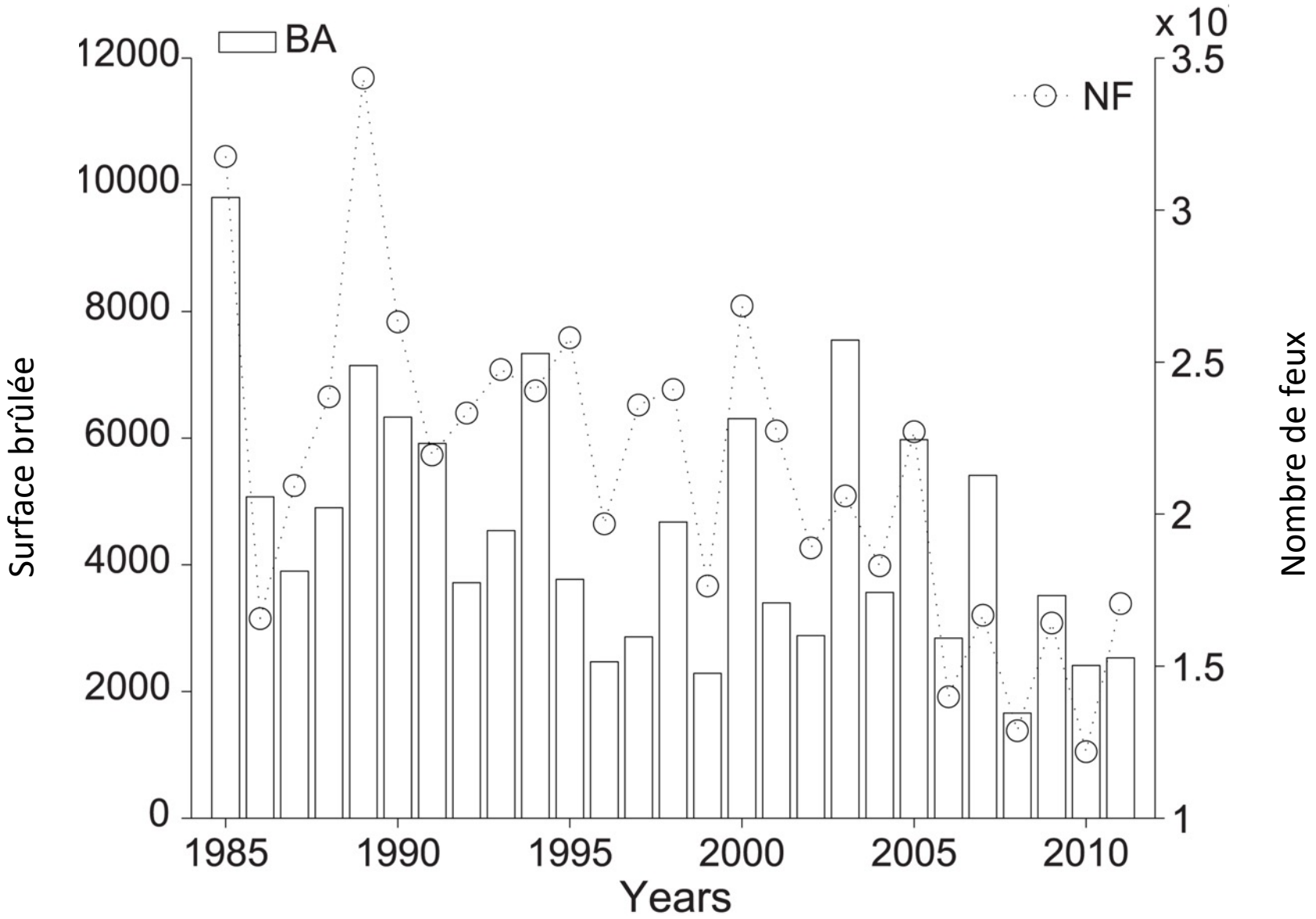
Caignard et et al., 2017



Ladeau et Clark, 2001



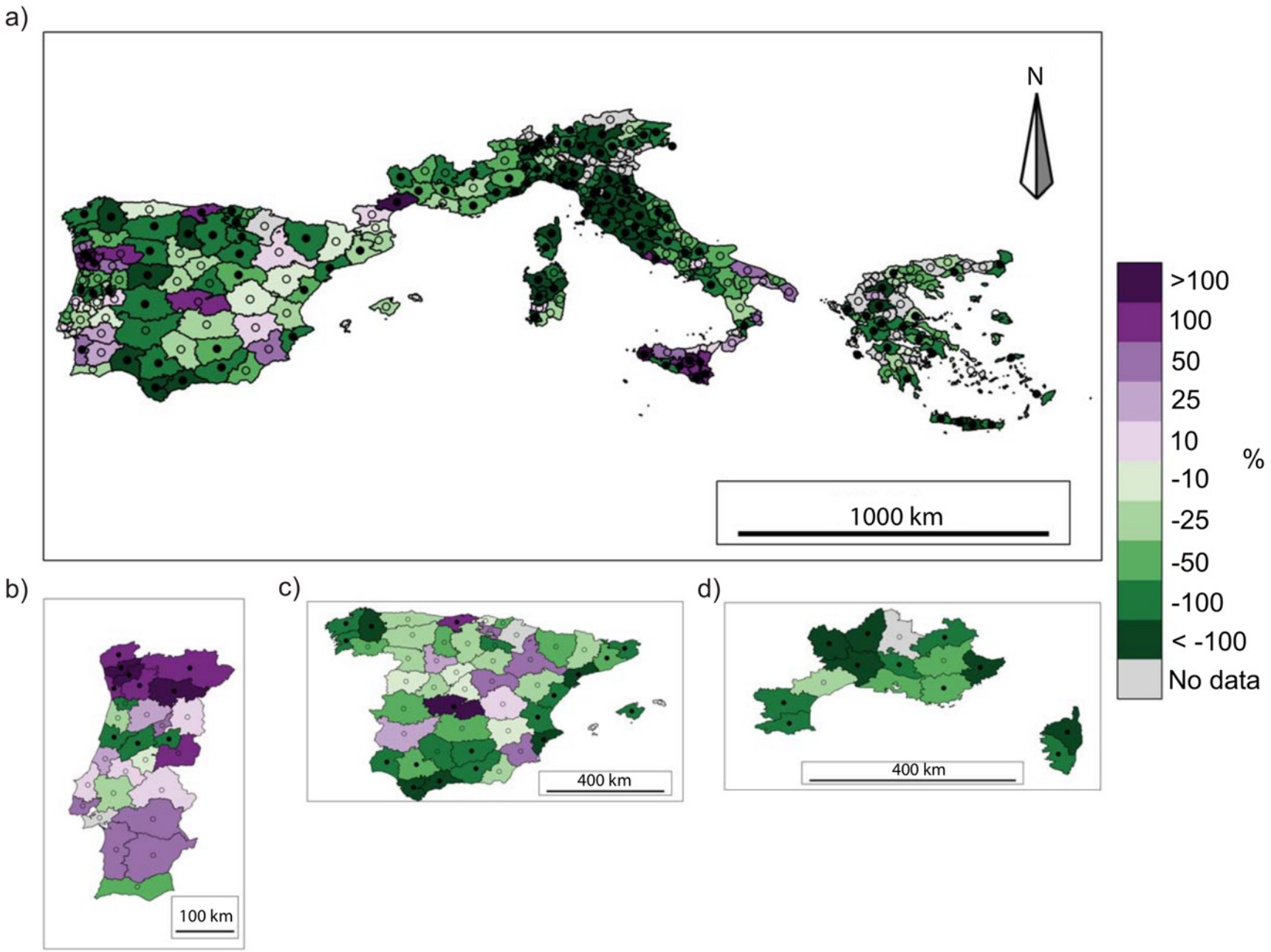
Le risque incendie passé



Baisse due aux efforts de préventions et aux moyens

Turco et al., 2016

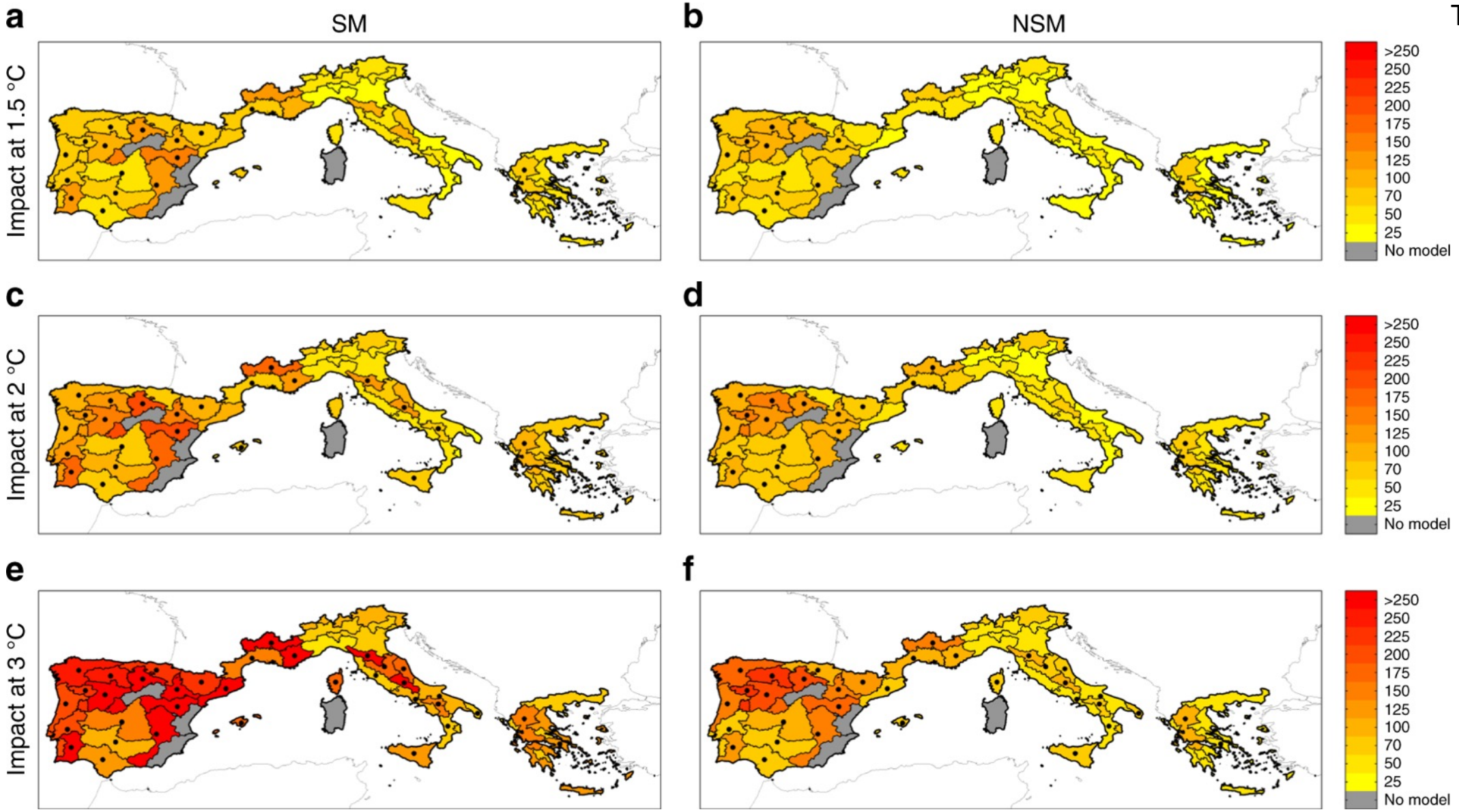
Le risque incendie passé



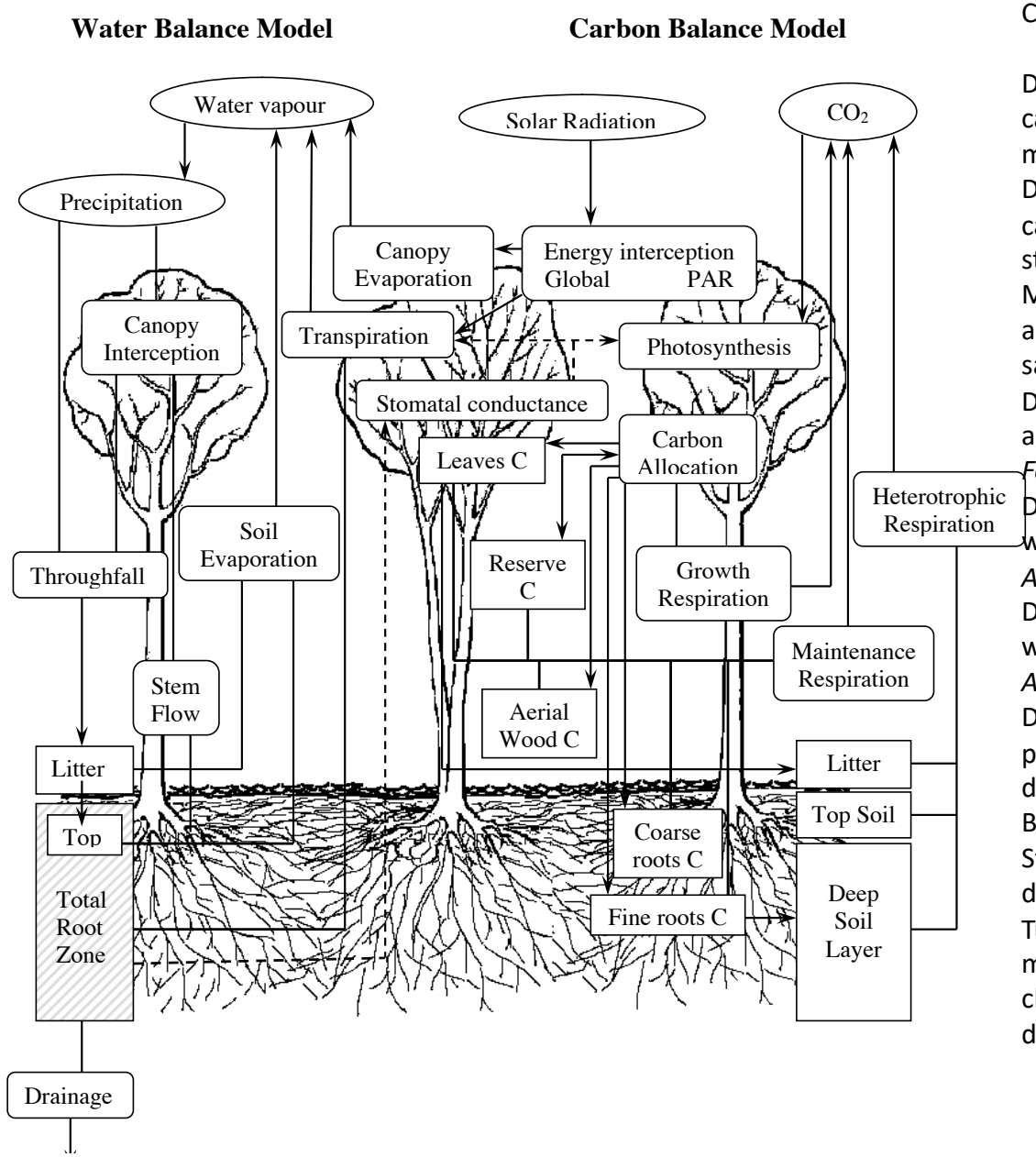
Turco et al., 2016

Le risque incendie futur

Turco et al., 2018



Projections futures: CASTANEA



CASTANEA : quelques références

Dufrêne, E., Davi, H., François, C., Maire, G. le, Dantec, V. L., and Granier, A. (2005). Modelling carbon and water cycles in a beech forest: Part I: Model description and uncertainty analysis on modelled NEE. *Ecological Modelling* 185, 407–436. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.01.004.

Davi, H., Dufrêne, E., Granier, A., Le Dantec, V., Barbaroux, C., François, C., et al. (2005). Modelling carbon and water cycles in a beech forest: Part II.: Validation of the main processes from organ to stand scale. *Ecological Modelling* 185, 387–405. doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.01.003.

Maire, G. L., Davi, H., Soudani, K., François, C., Dantec, V. L., and Dufrêne, E. (2005). Modeling annual production and carbon fluxes of a large managed temperate forest using forest inventories, satellite data and field measurements. *Tree Physiol* 25, 859–872. doi:10.1093/treephys/25.7.859.

Davi, H., Bouriaud, O., Dufrêne, E., Soudani, K., Pontailler, J. Y., le Maire, G., et al. (2006). Effect of aggregating spatial parameters on modelling forest carbon and water fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology* 139, 269–287. doi:10.1016/j.agrformet.2006.07.007.

Davi, H., Dufrêne, E., Francois, C., Le Maire, G., Loustau, D., Bosc, A., et al. (2006). Sensitivity of water and carbon fluxes to climate changes from 1960 to 2100 in European forest ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology* 141, 35–56. doi:10.1016/j.agrformet.2006.09.003.

Davi, H., Dufrêne, E., Francois, C., Le Maire, G., Loustau, D., Bosc, A., et al. (2006). Sensitivity of water and carbon fluxes to climate changes from 1960 to 2100 in European forest ecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology* 141, 35–56. doi:10.1016/j.agrformet.2006.09.003.

Davi, H., and Cailleret, M. (2017). Assessing drought-driven mortality trees with physiological process-based models. *Agricultural and Forest Meteorology* 232, 279–290. doi:10.1016/j.agrformet.2016.08.019.

Brèteau-Amores, S., Brunette, M., and Davi, H. (2019). An Economic Comparison of Adaptation Strategies Towards a Drought-induced Risk of Forest Decline. *Ecological Economics* 164, 106294. doi:10.1016/j.ecolecon.2019.04.006.

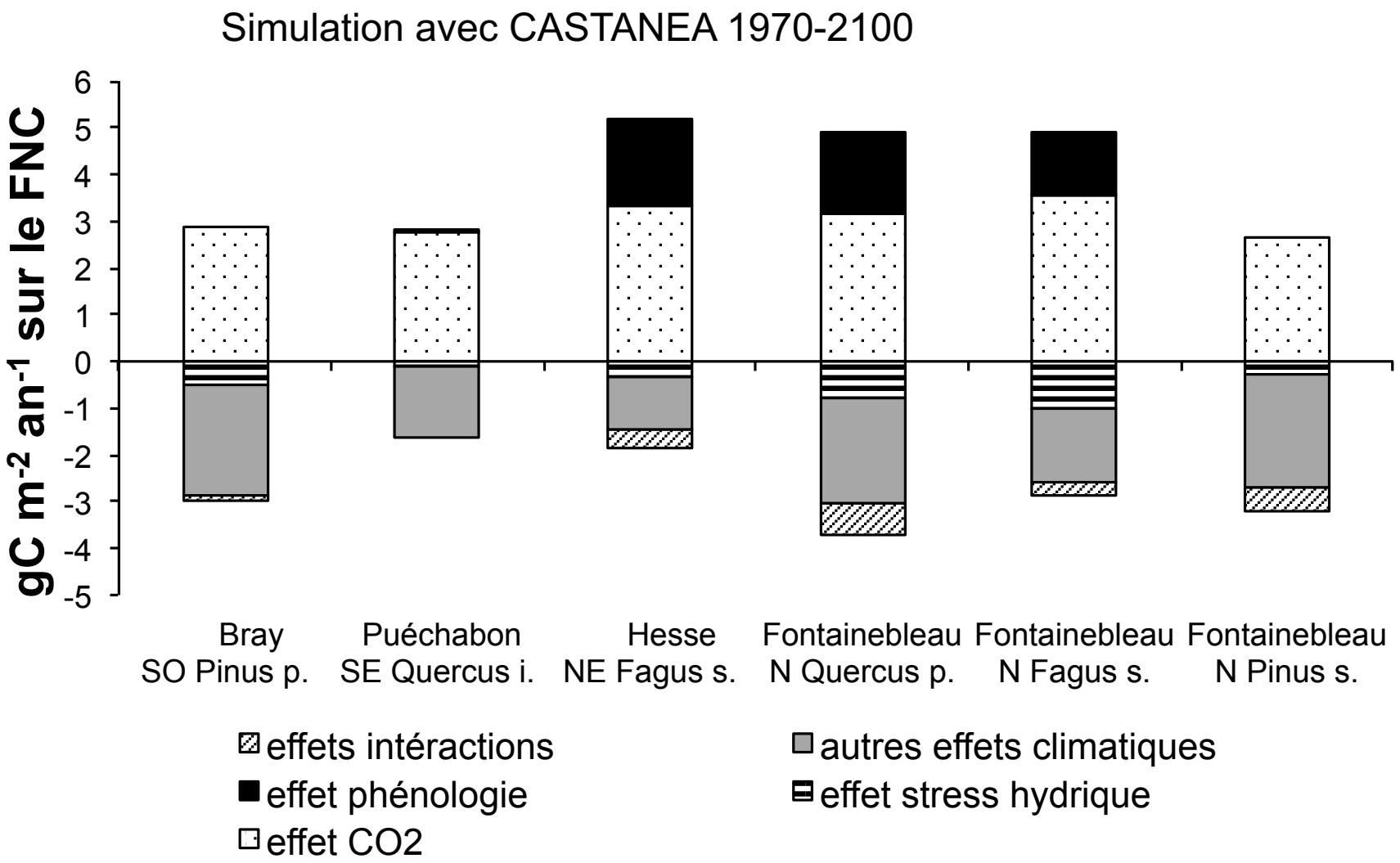
Tuffery, L., Davi, H., López-García, N., Rigolot, E., Jean, F., Stenger, A., et al. (2021). Adaptive measures for mountain Mediterranean forest ecosystem services under climate and land cover change in the Mont-Ventoux regional nature park, France. *Reg Environ Change* 21, 12. doi:10.1007/s10113-020-01732-4.

Capsis4

Capsis

Computer-aided projection of strategies in silviculture

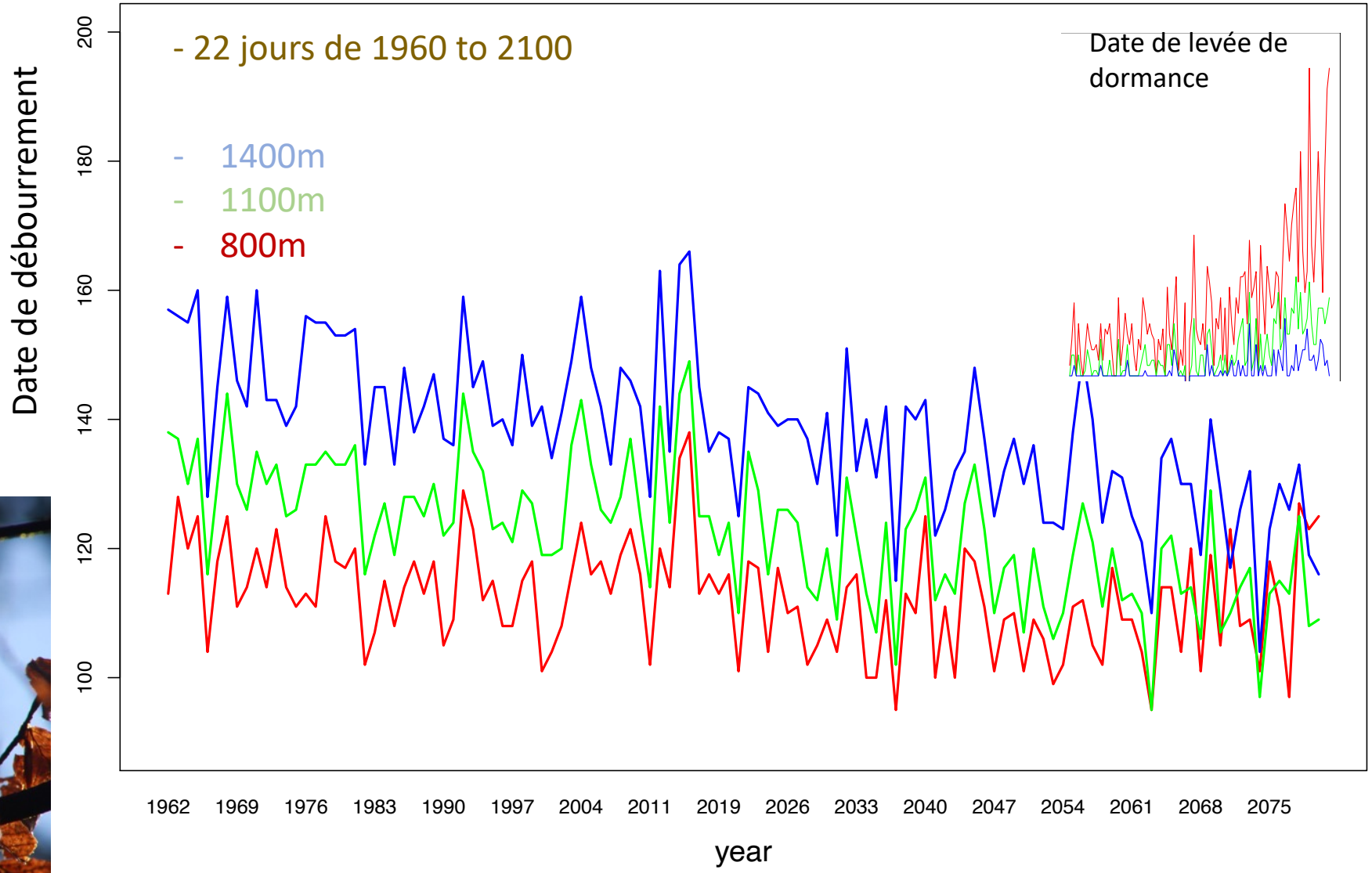
Les différents effets du changements climatiques sur la séquestration de carbone



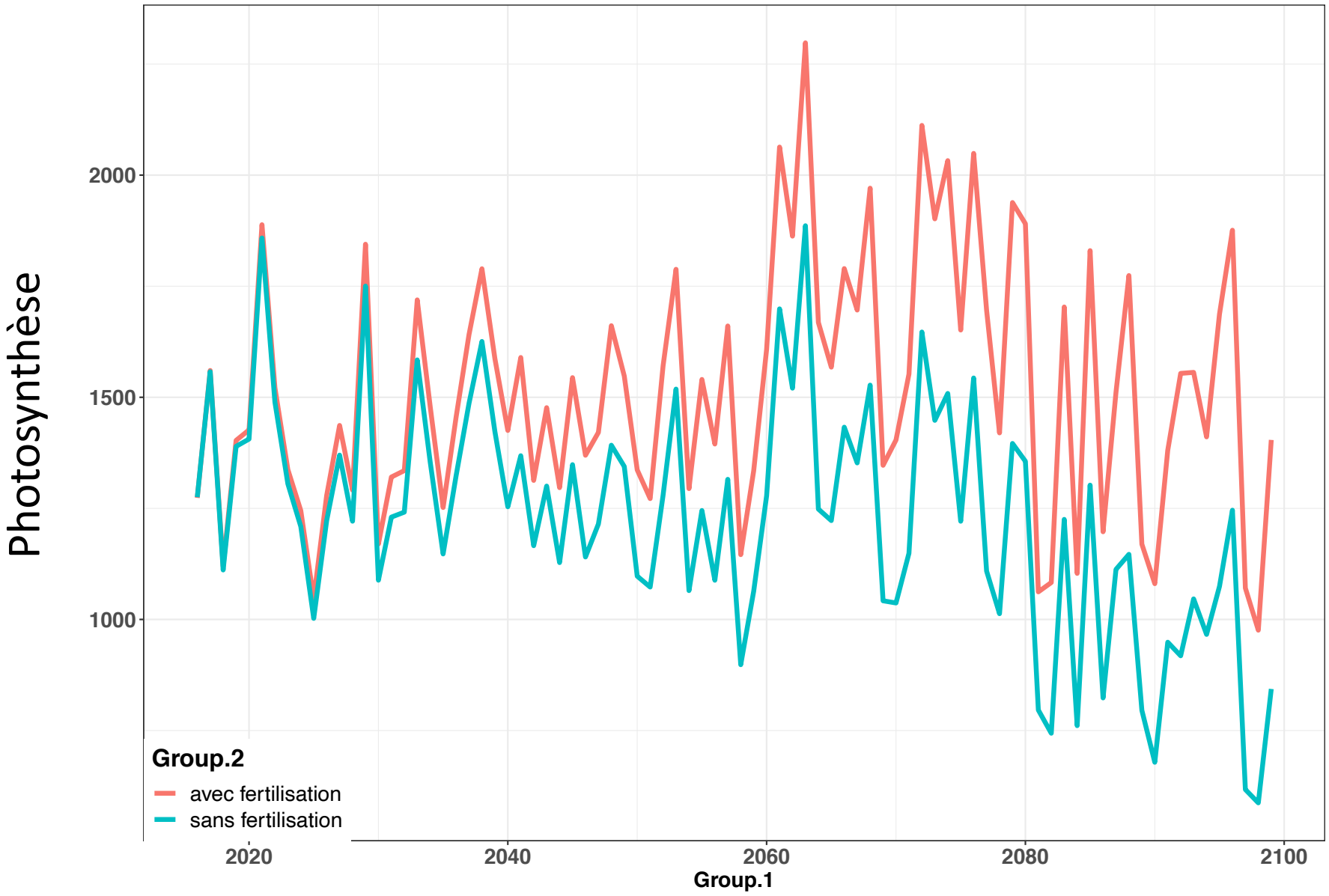
Davi et al. 2006 (AFM)

La durée de végétation

Simulation sur du Hêtre au Ventoux avec le modèle CASTANEA

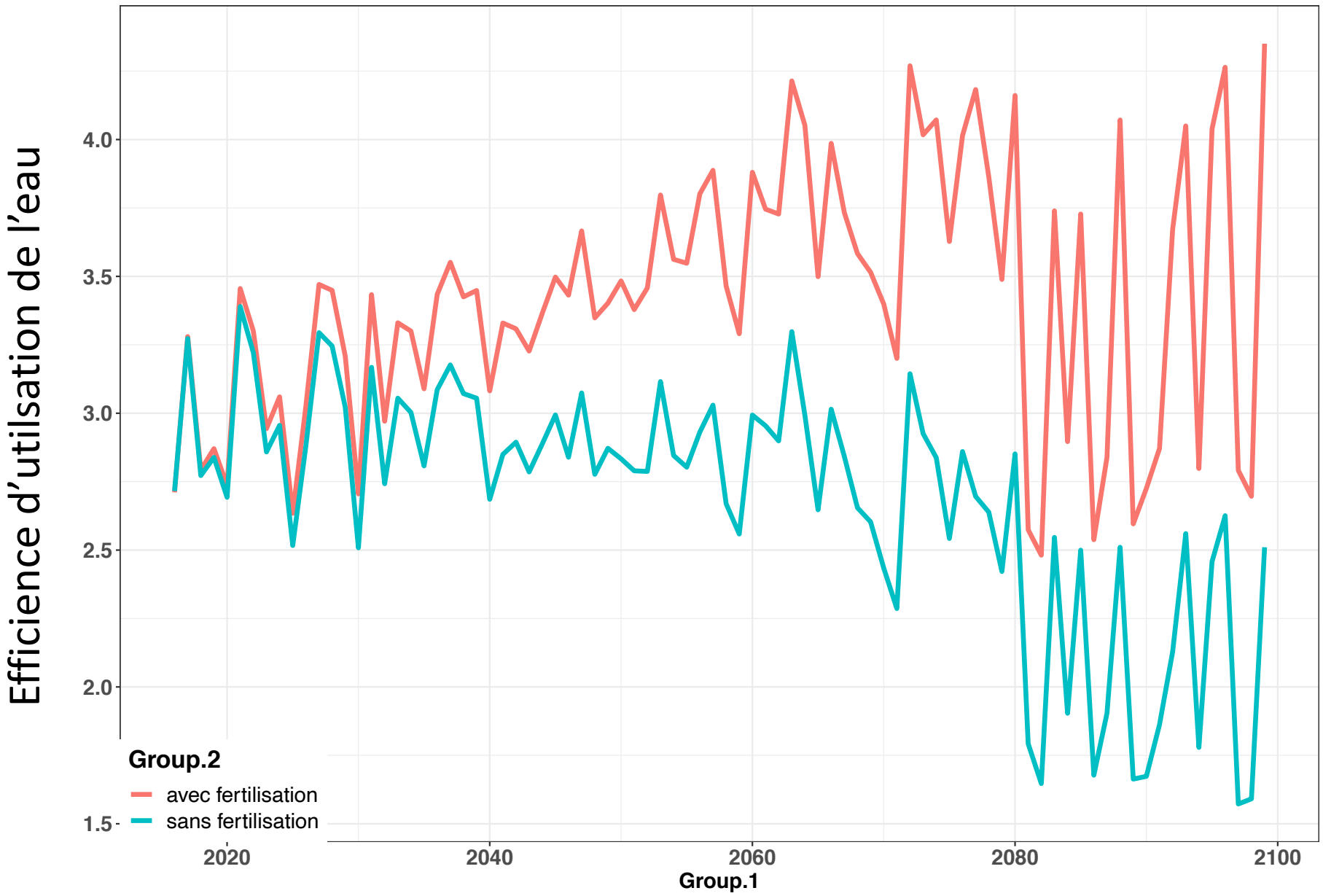


La fertilisation du CO_2



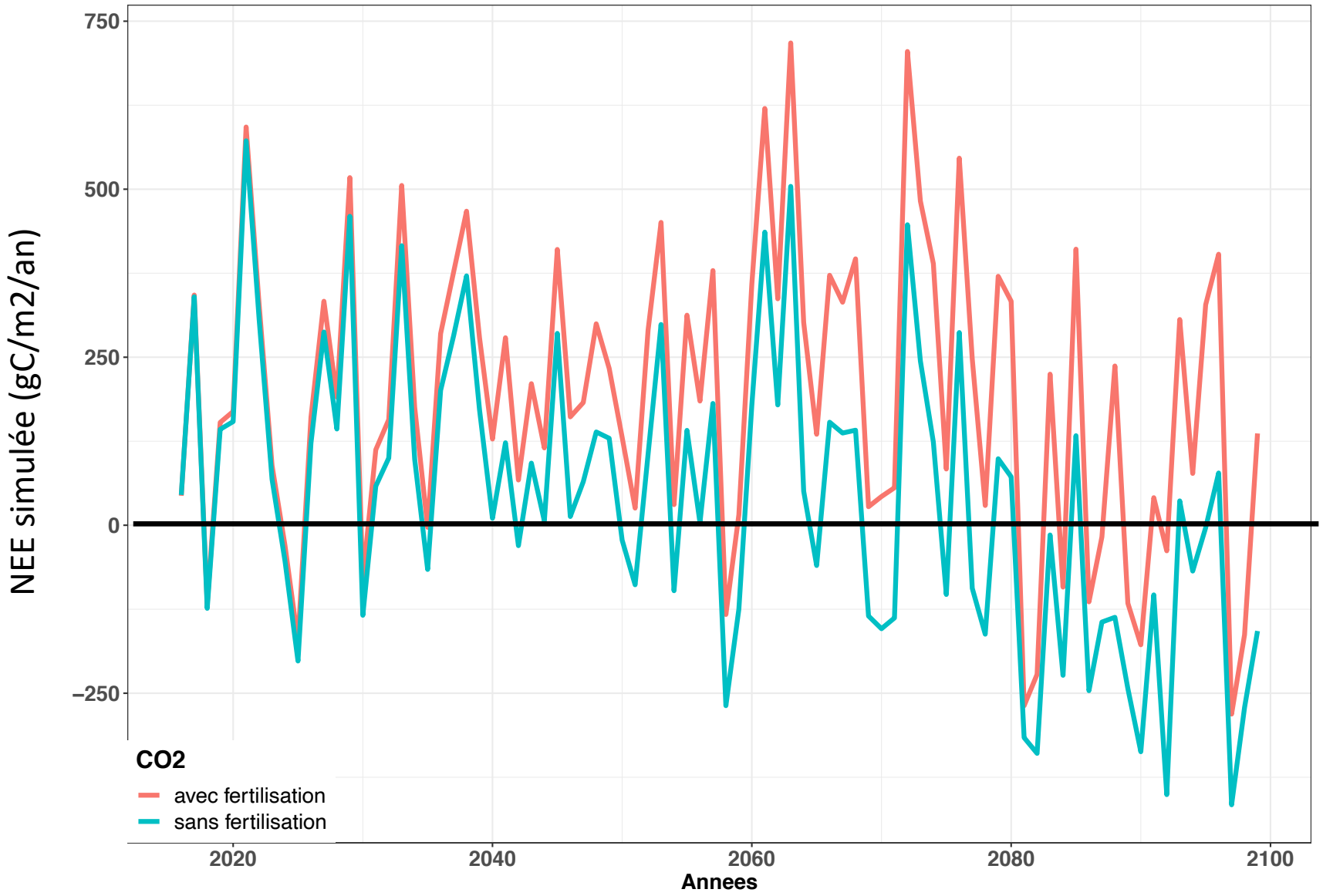
Simulation sur du Hêtre au Ventoux avec le modèle CASTANEA

La fertilisation du CO_2



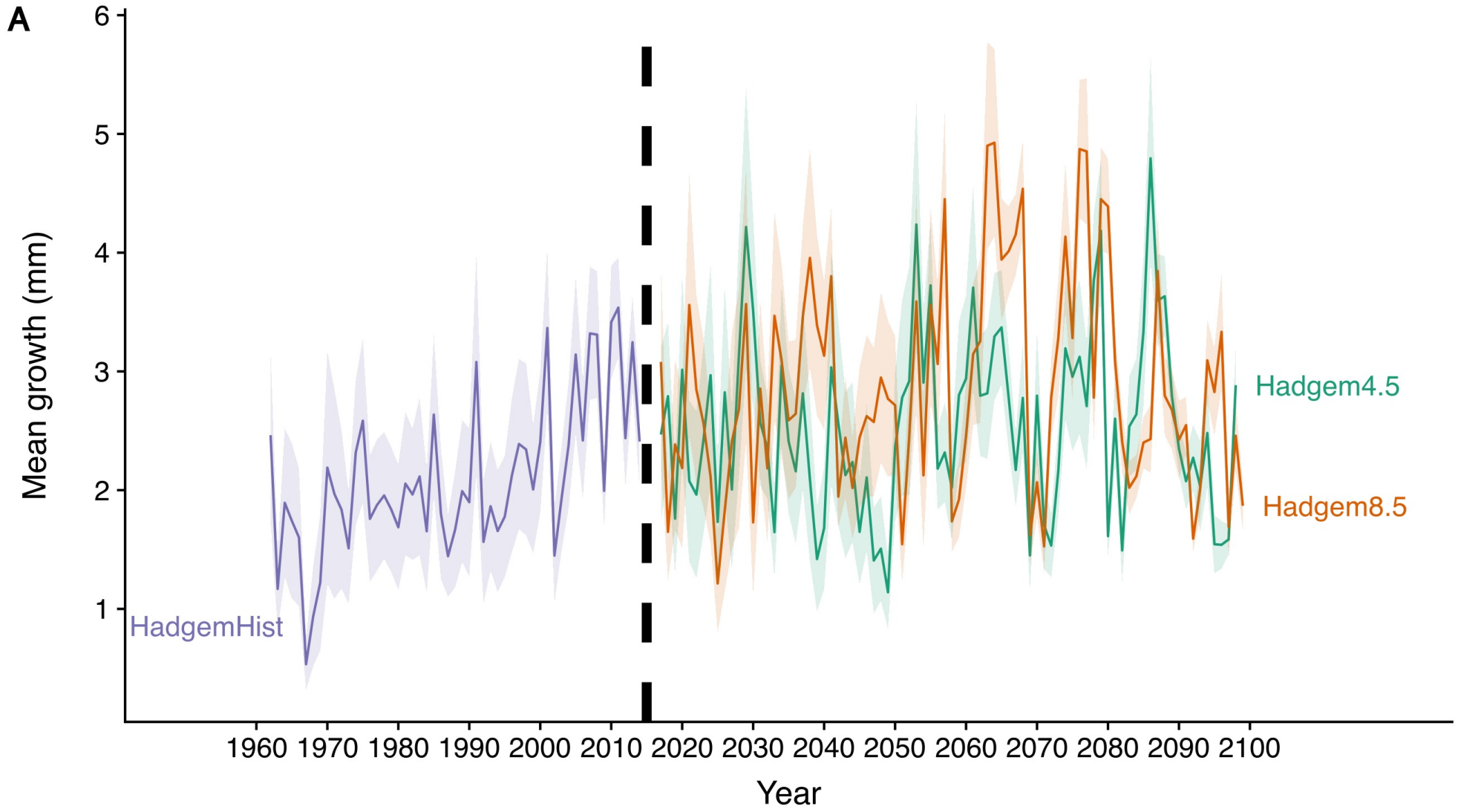
Simulation sur du Hêtre au Ventoux avec le modèle CASTANEA

La fertilisation du CO_2

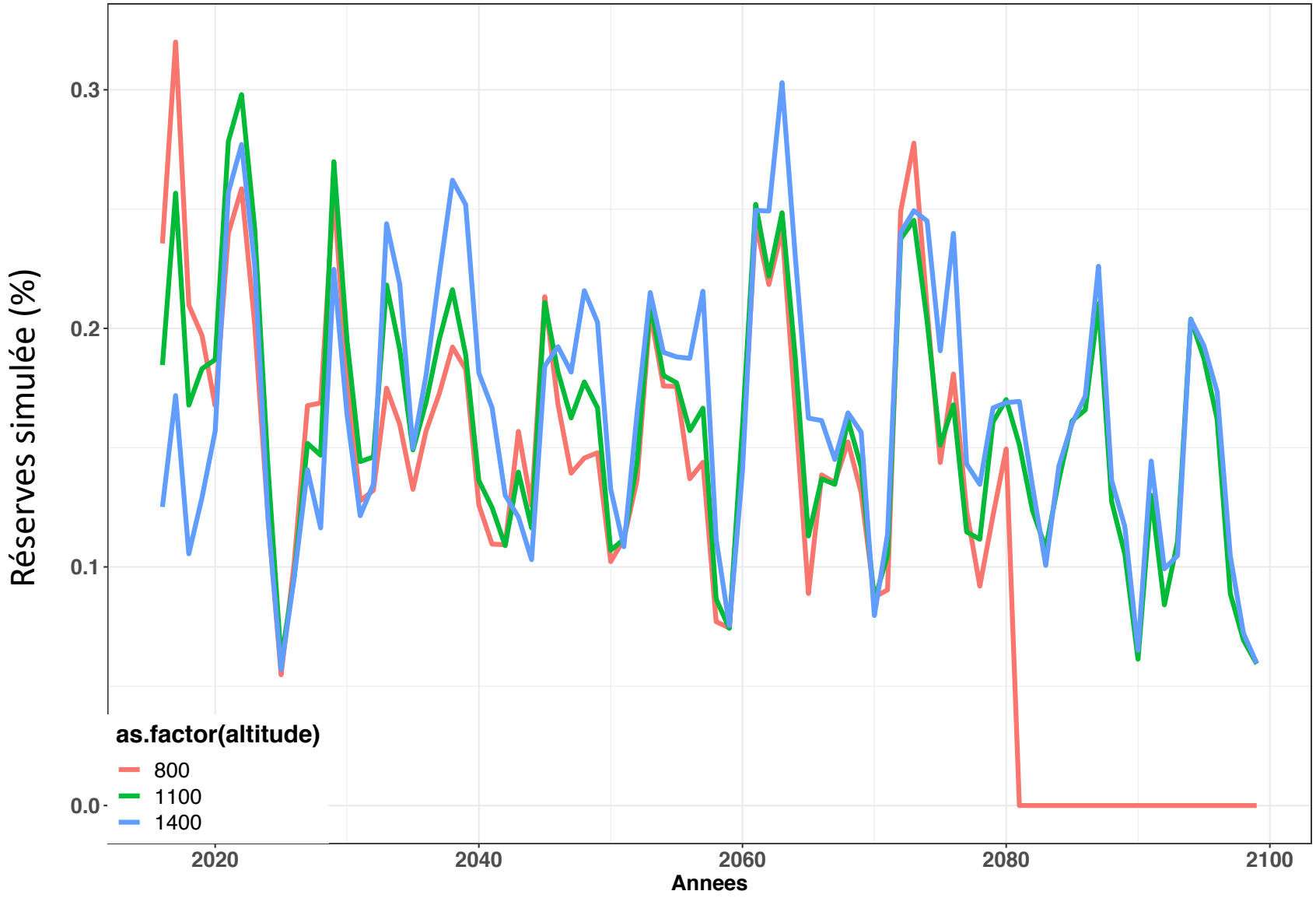


Simulation sur du Hêtre au Ventoux avec le modèle CASTANEA

La fertilisation du CO_2 : croissance du sapin

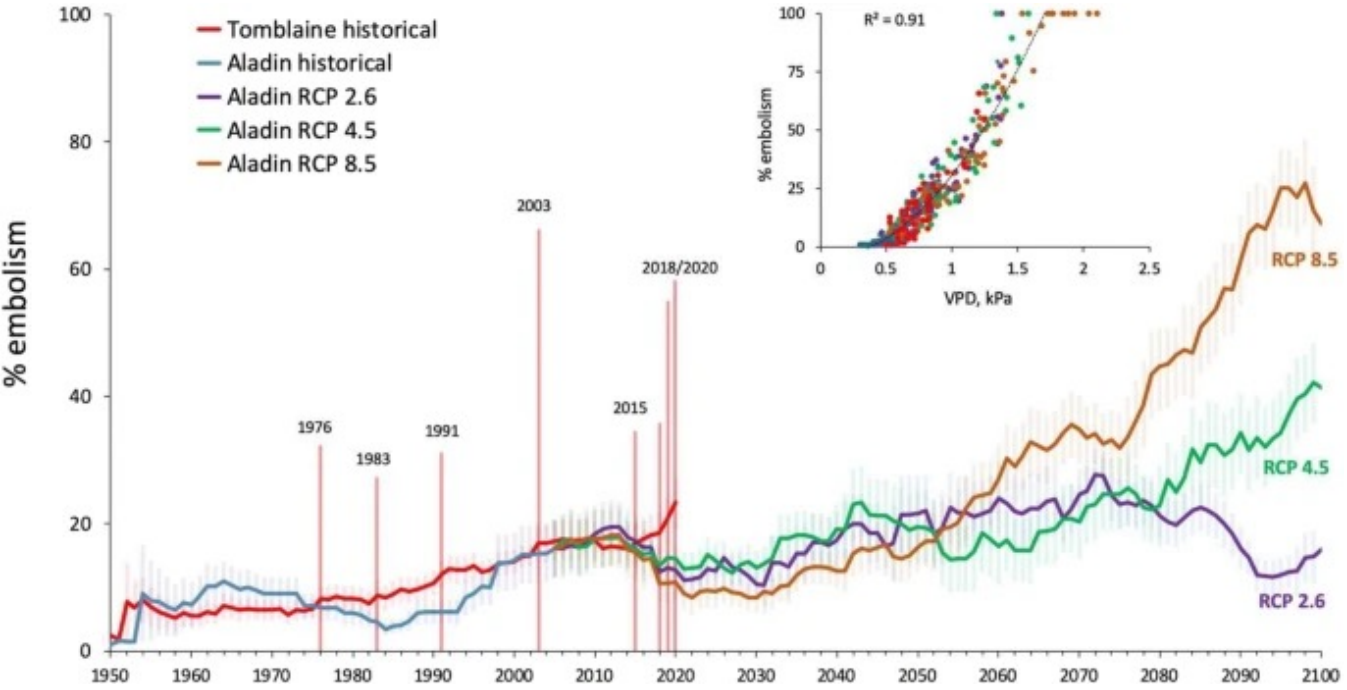


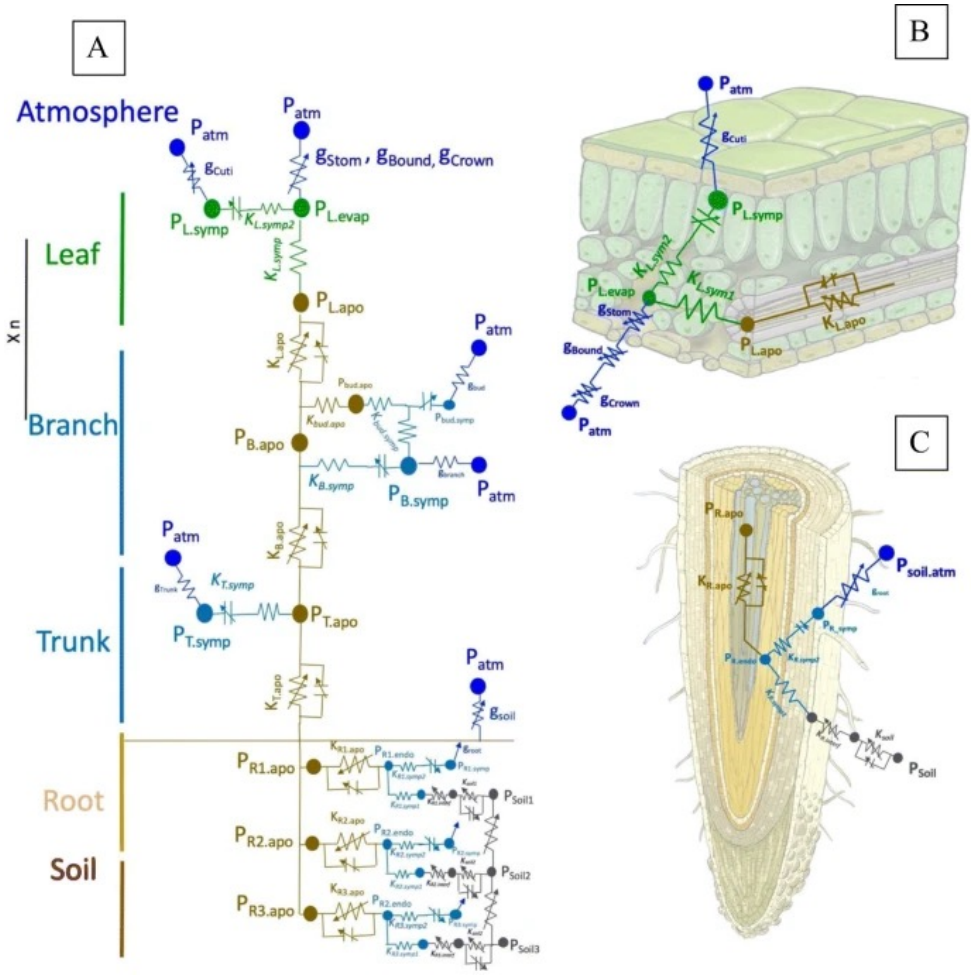
La mortalité future



Simulation sur du Hêtre au Ventoux avec le modèle CASTANEA

Projection future: SUR-EAU

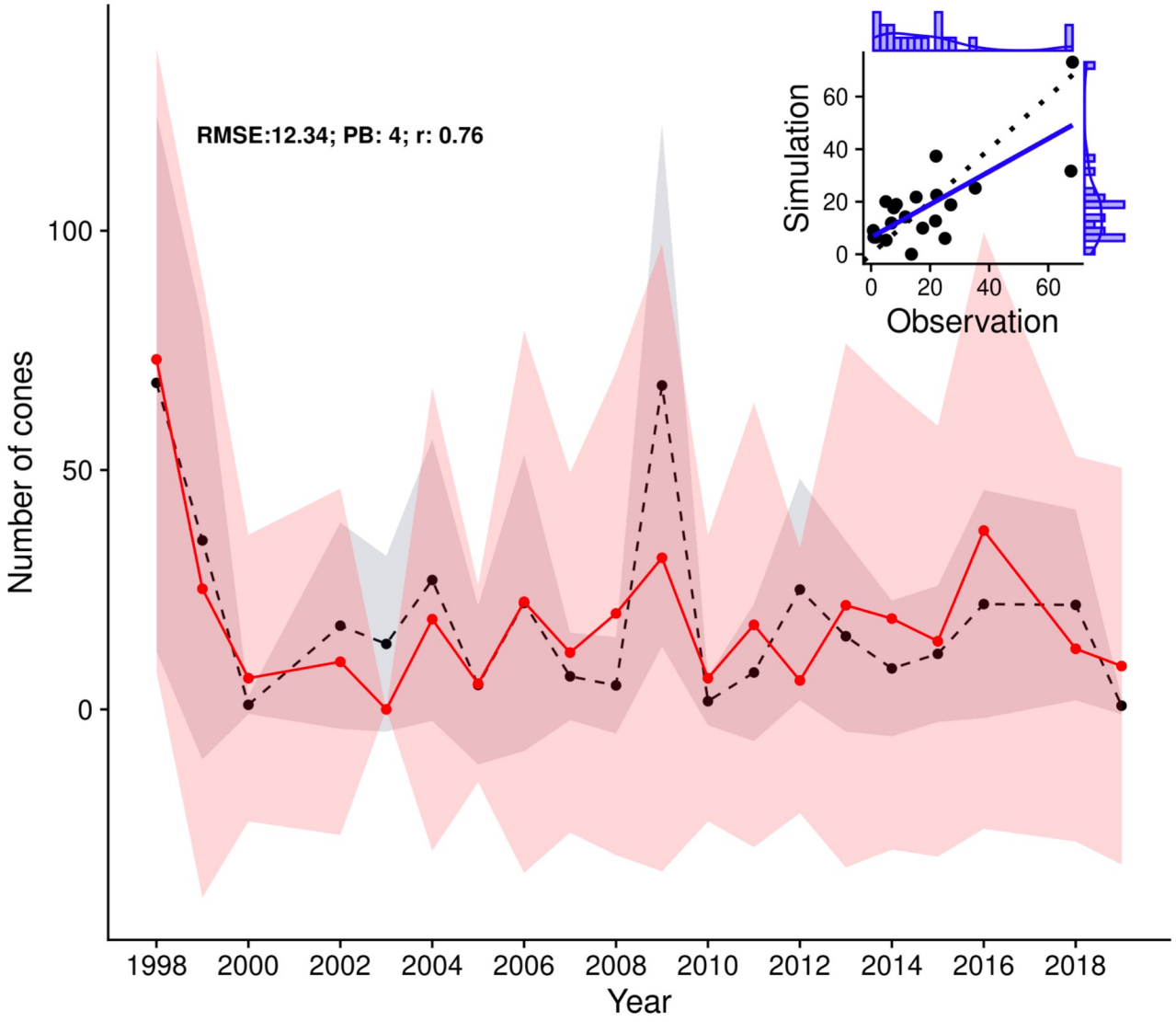




Projections plus pessimistes en tenant compte des mécanismes fins de la cavitation hydraulique

Cochard et al., 2021

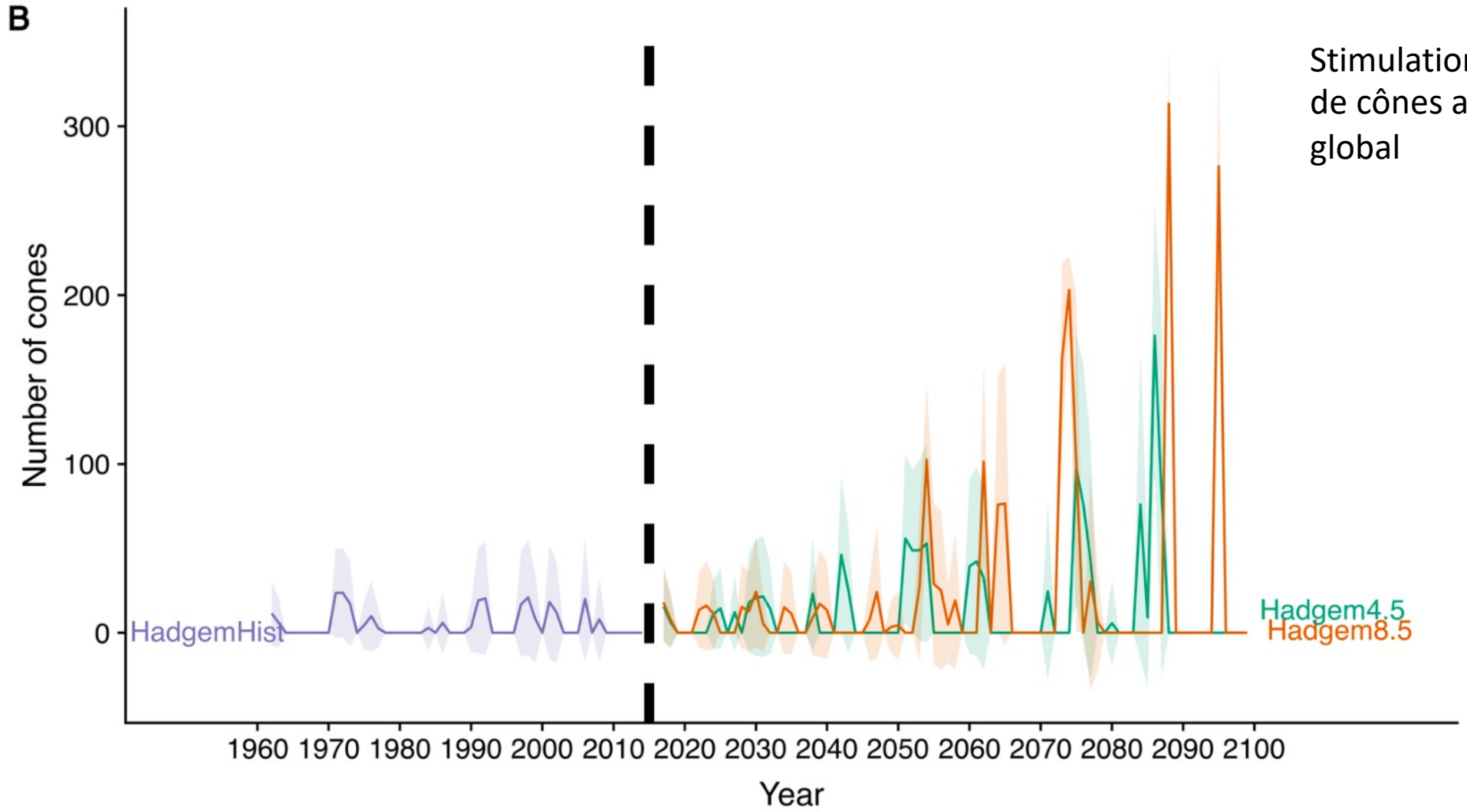
La reproduction du sapin



Modélisation des phénomènes de masting

Journé et al. in prep

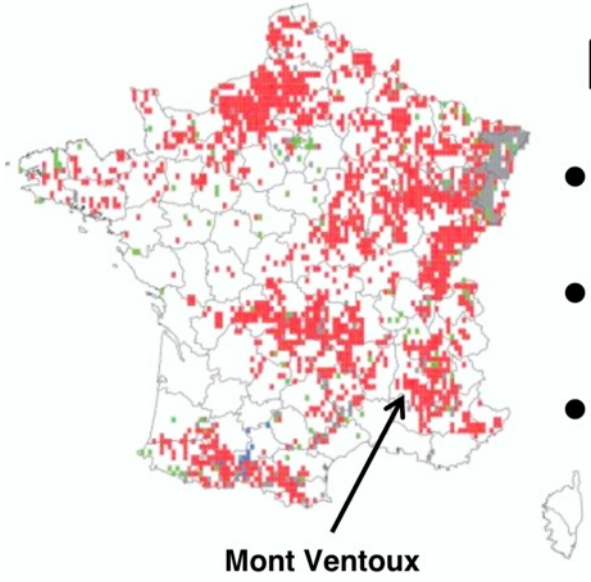
La reproduction du sapin



Stimulation de la production de cônes avec le changement global

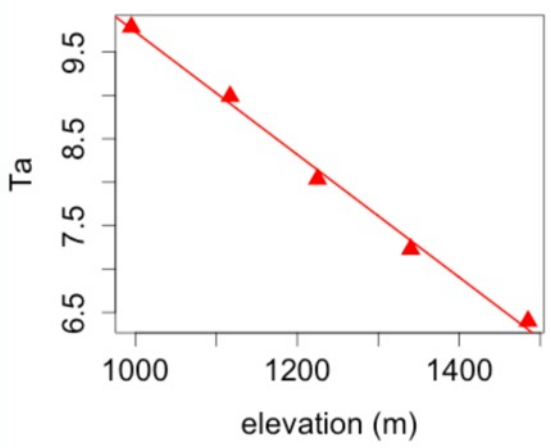
Journé et al. in prep

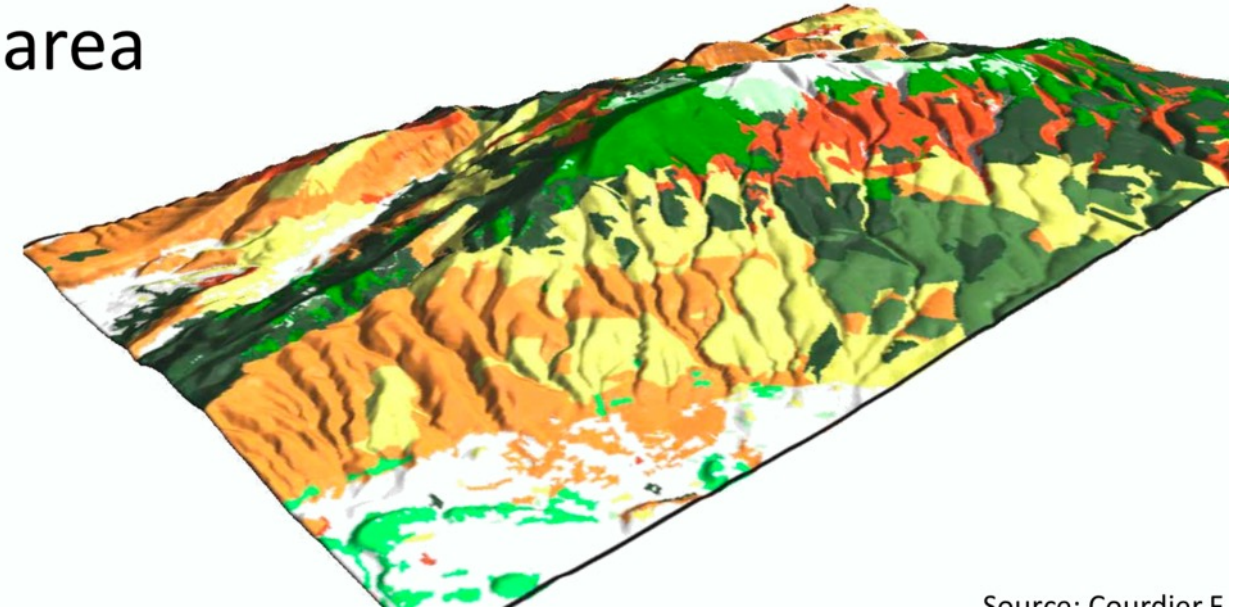
Estimer les services ecosystémiques



Mont Ventoux, Regional Natural Park

- South-eastern France
- 91600 ha
- 9% of urban area, 34% of agricultural area, 57% of natural area



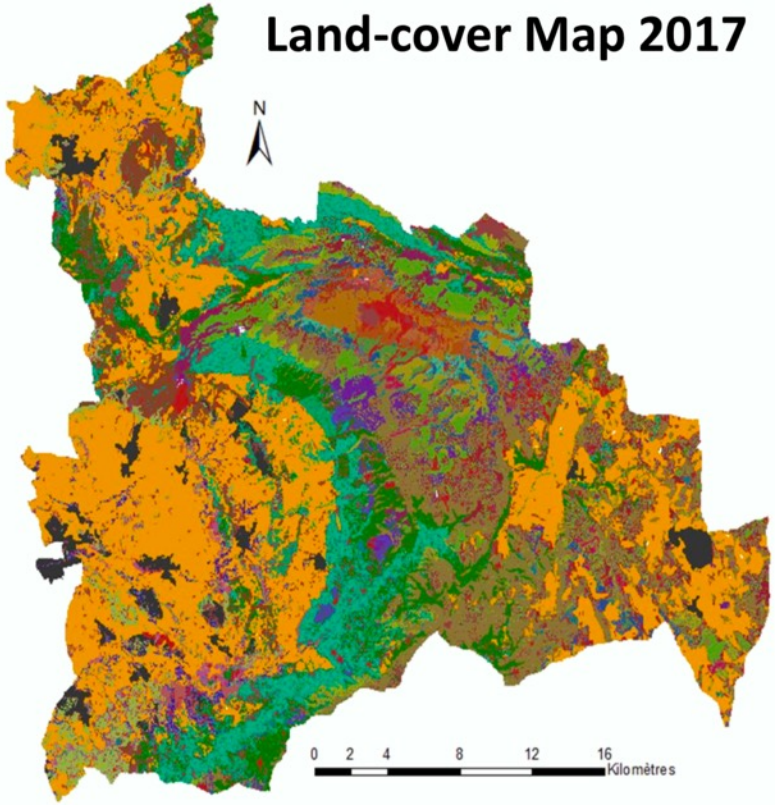


Source: Courdier F.

Noelia Lopez

Study area: Mont Ventoux

Mosaic of farmland and forest composed of coniferous, deciduous and sclerophyllous evergreen species

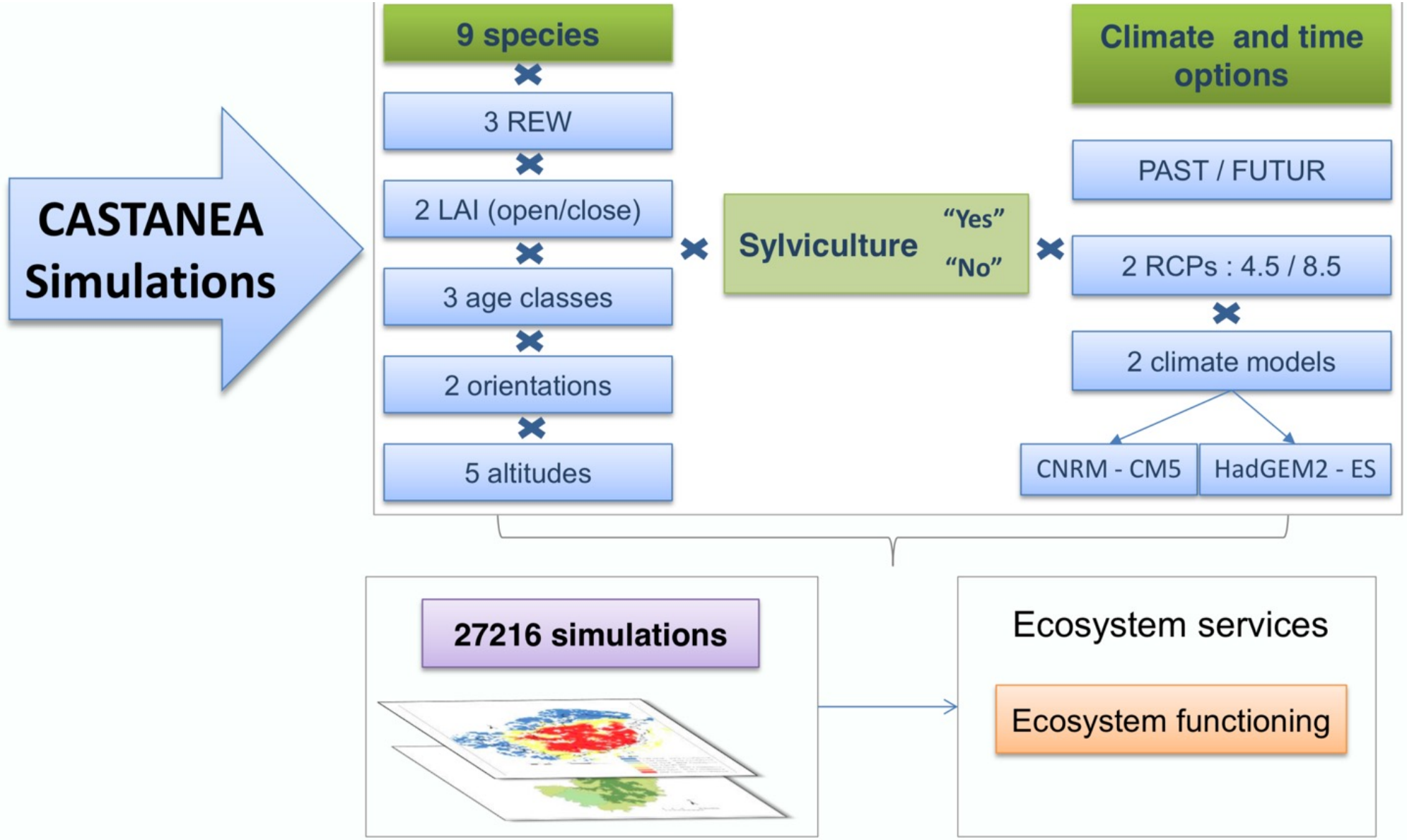


- **37 types of Land-covers (9 species, 5 altitudinal gradients, 5 aggregate land-covers)**

Source: Tuffery L.

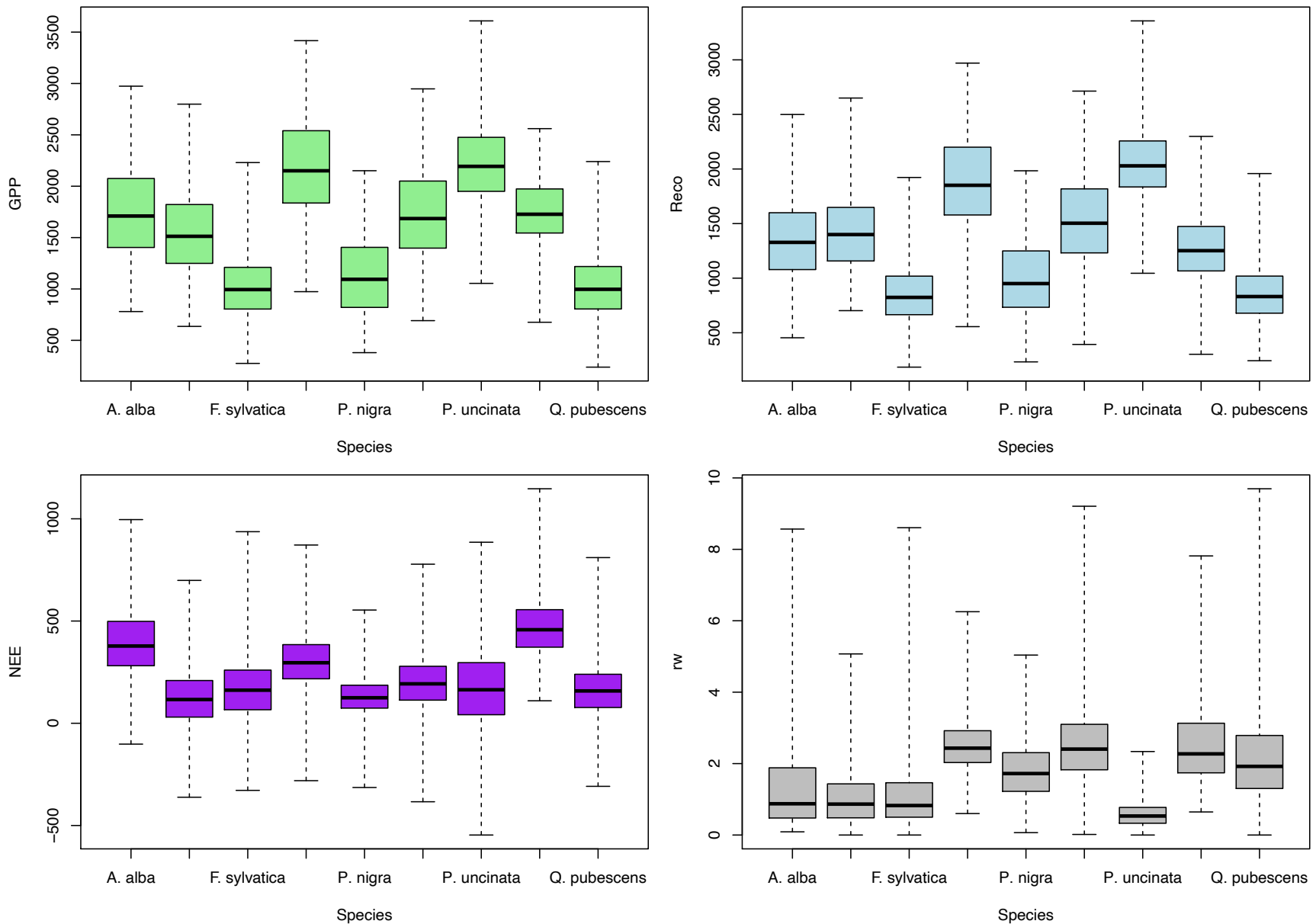
Noelia Lopez

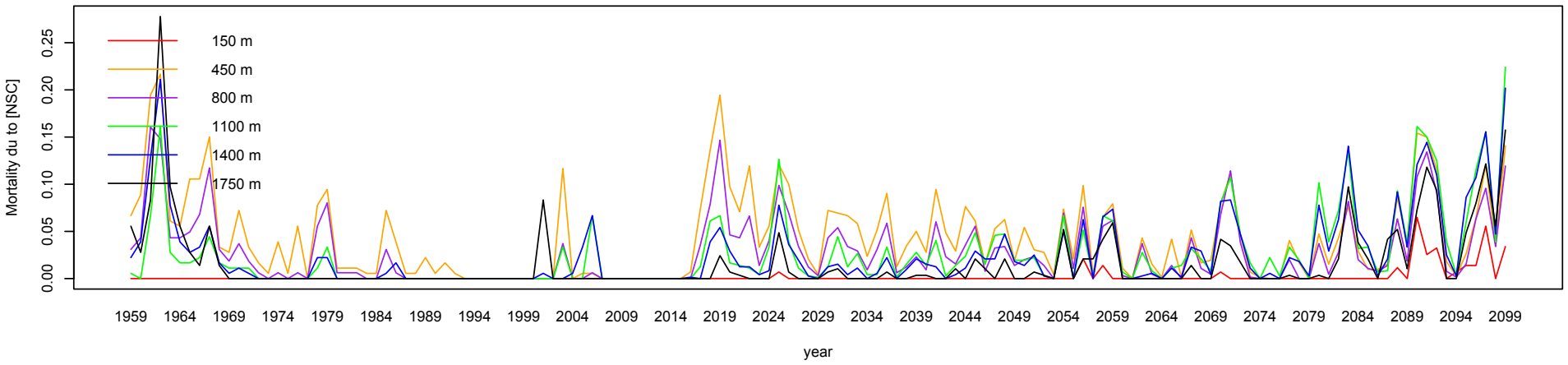
Estimer les services ecosystémiques

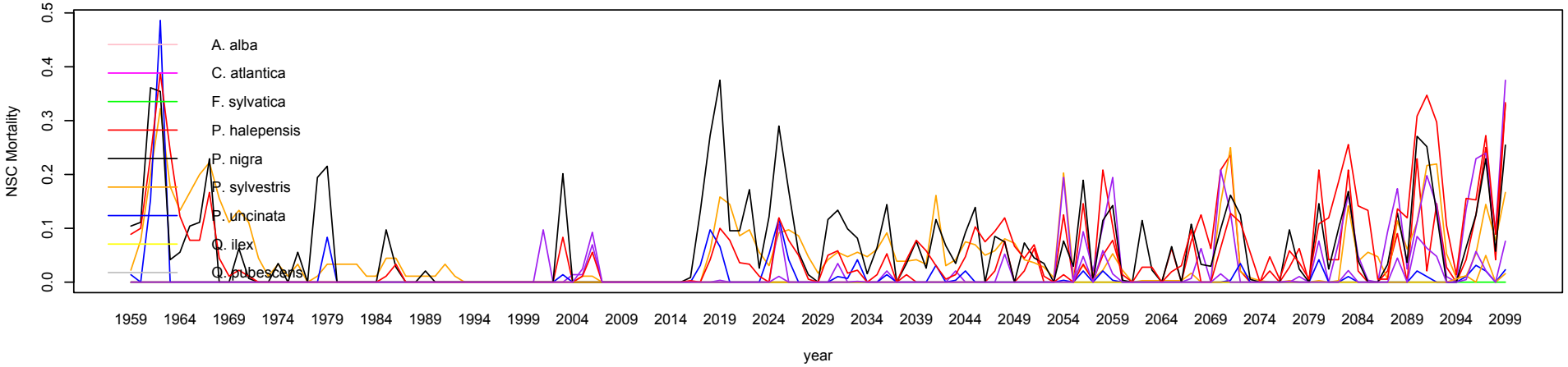


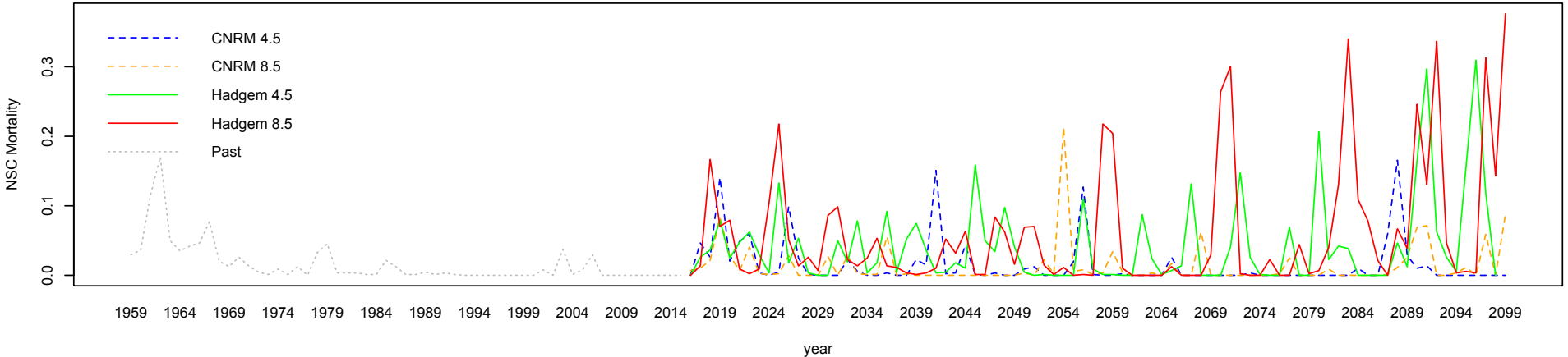
Noelia Lopez

Estimer les services ecosystémiques




150 m
450 m
800 m
1100 m
1400 m
1750 m
Mortality du to [NSC]
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
1959 1964 1969 1974 1979 1984 1989 1994 1999 2004 2009 2014 2019 2024 2029 2034 2039 2044 2049 2054 2059 2064 2069 2074 2079 2084 2089 2094 2099
year


A. alba
C. atlantica
F. sylvatica
P. halepensis
P. nigra
P. sylvestris
P. uncinata
Q. ilex
Q. pubescens
NSC Mortality
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
1959 1964 1969 1974 1979 1984 1989 1994 1999 2004 2009 2014 2019 2024 2029 2034 2039 2044 2049 2054 2059 2064 2069 2074 2079 2084 2089 2094 2099
year


CNRM 4.5
CNRM 8.5
Hadgem 4.5
Hadgem 8.5
Past
NSC Mortality
0.0
0.1
0.2
0.3
1959 1964 1969 1974 1979 1984 1989 1994 1999 2004 2009 2014 2019 2024 2029 2034 2039 2044 2049 2054 2059 2064 2069 2074 2079 2084 2089 2094 2099
year

Estimer les potentialités d'adaptation

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

Plasticité adaptative face au changement climatique

Effet de la sécheresse sur la chute des feuilles

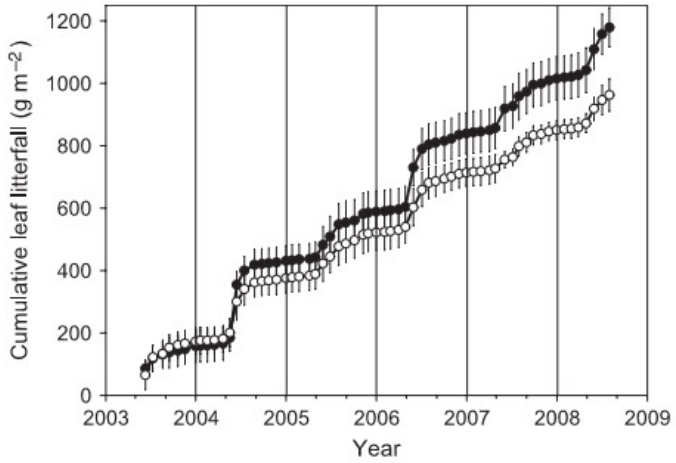
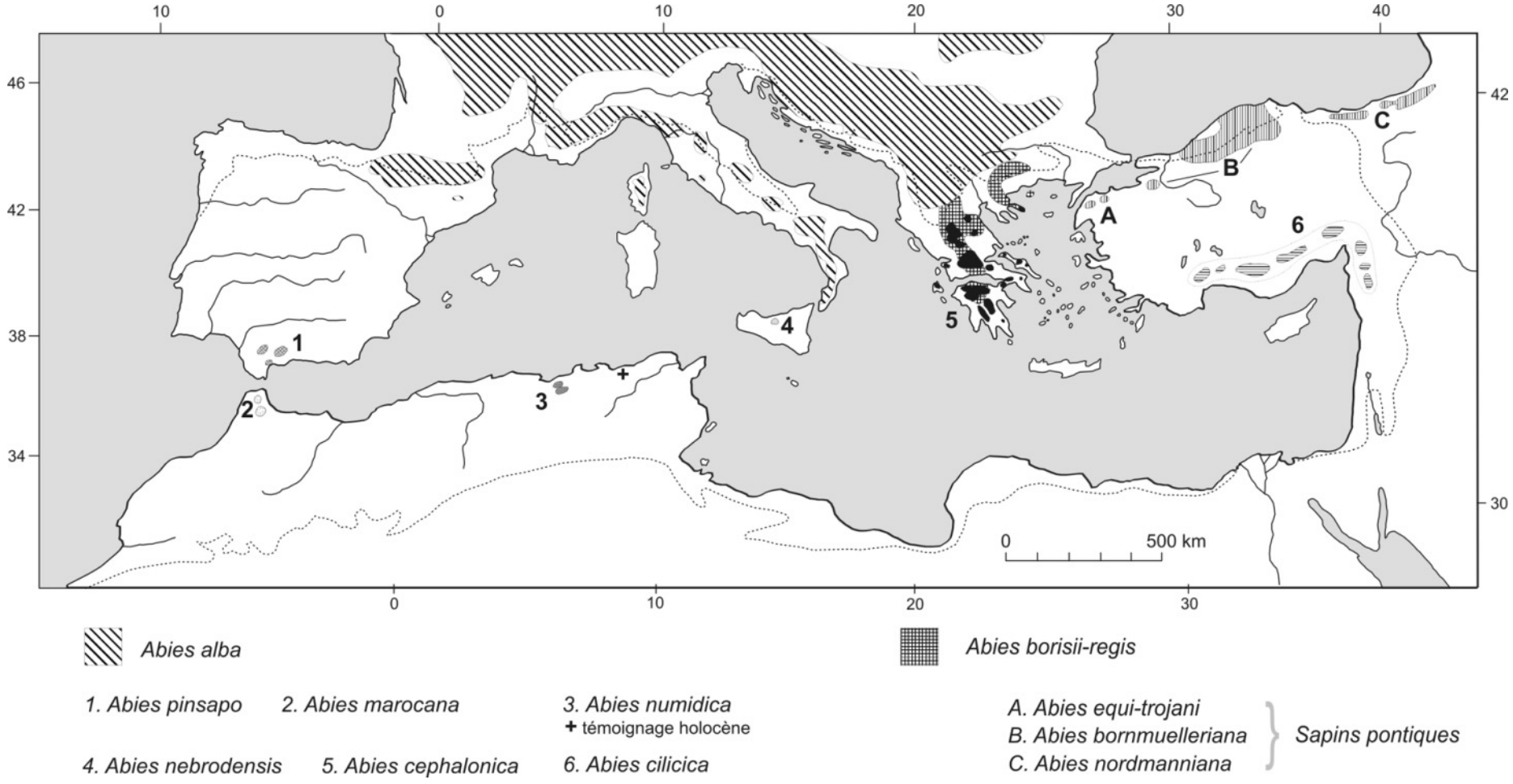


Fig. 8 Cumulative amount of leaf litter fall in the control (closed symbols) and dry treatment (open symbols) from 2003 to 2008. Error bars are standard deviations.

Estimer les potentialités d'adaptation

Les sources de la variabilité



Variations entre individus, populations, espèces d'origine génétique ou environnementale

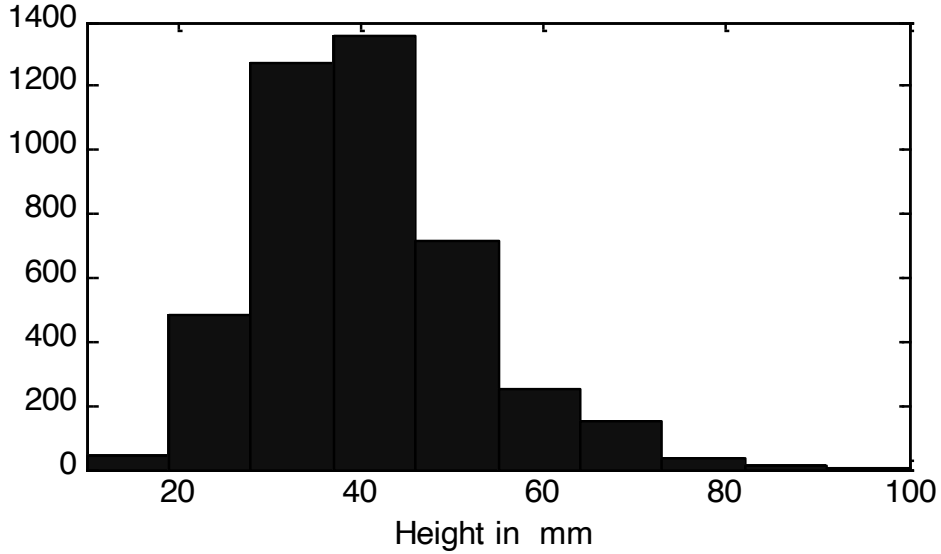
Plantations comparatives

Plantations comparatives

Estimer les potentialités d'adaptation

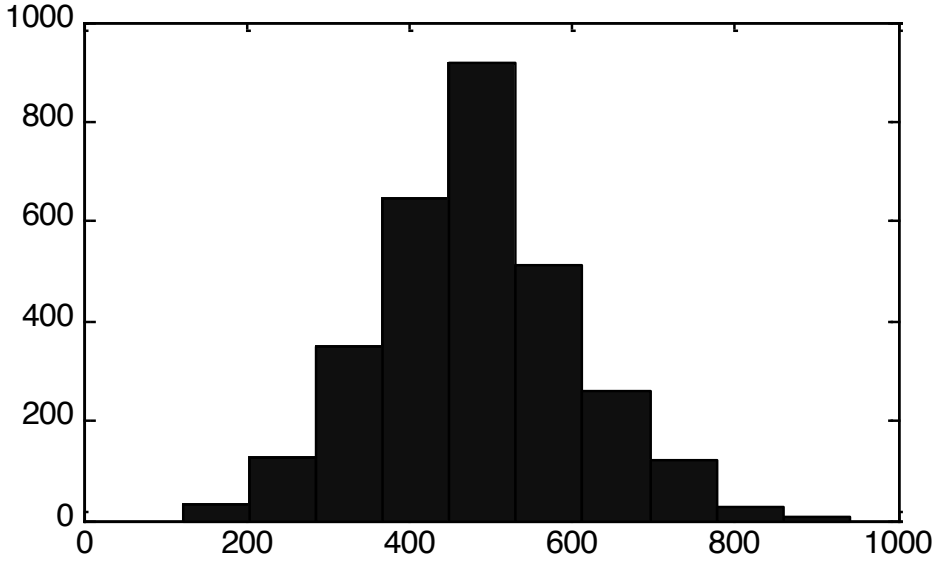
Les sources de la variabilité

Distribution des hauteurs à 4 ans dans une plantation comparative de Sapin de Céphalonie



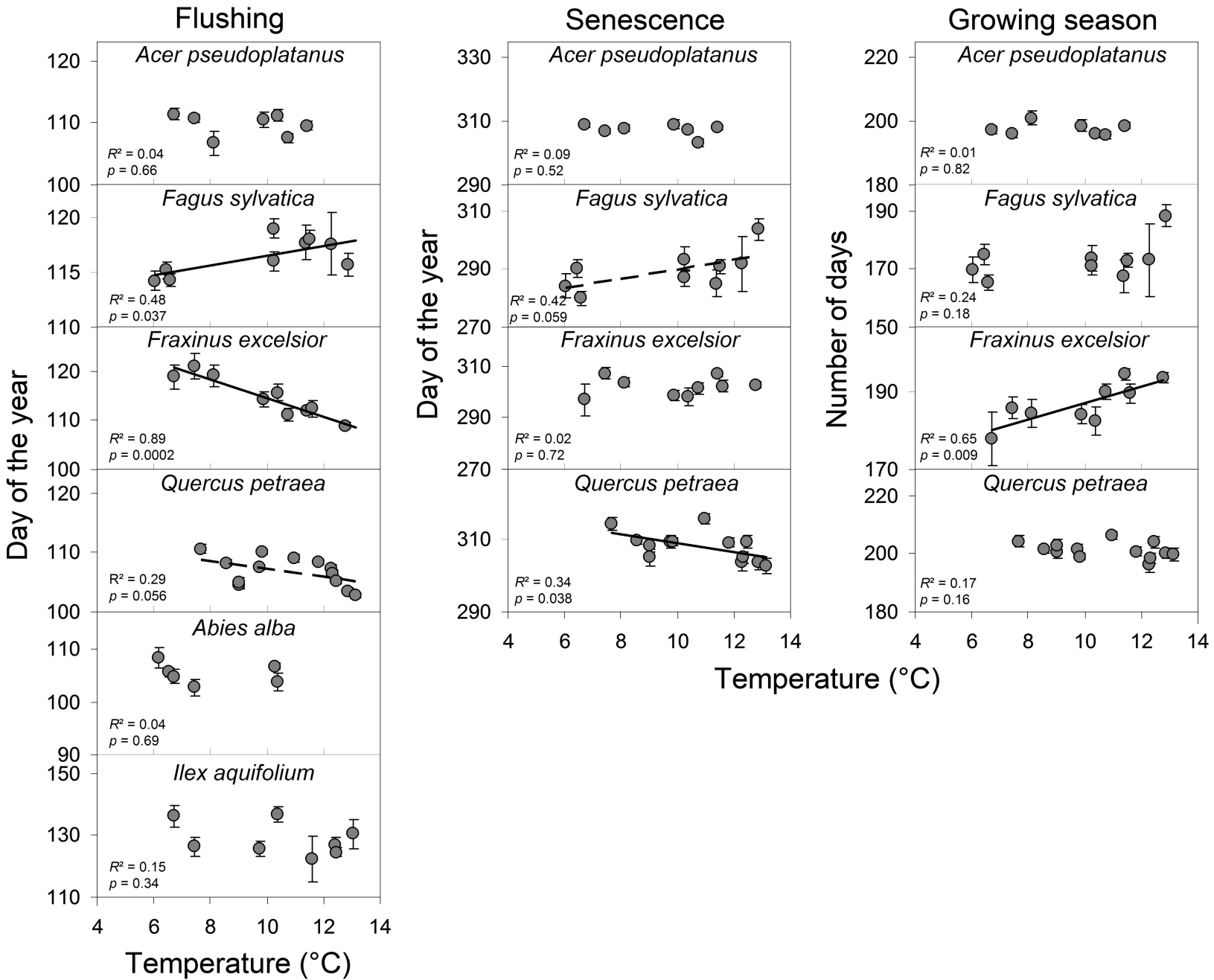
Cela va de 10 cm à 1m avec std=1.8 cm

Distribution des hauteurs à 21 ans dans une plantation comparative de Sapin de Céphalonie



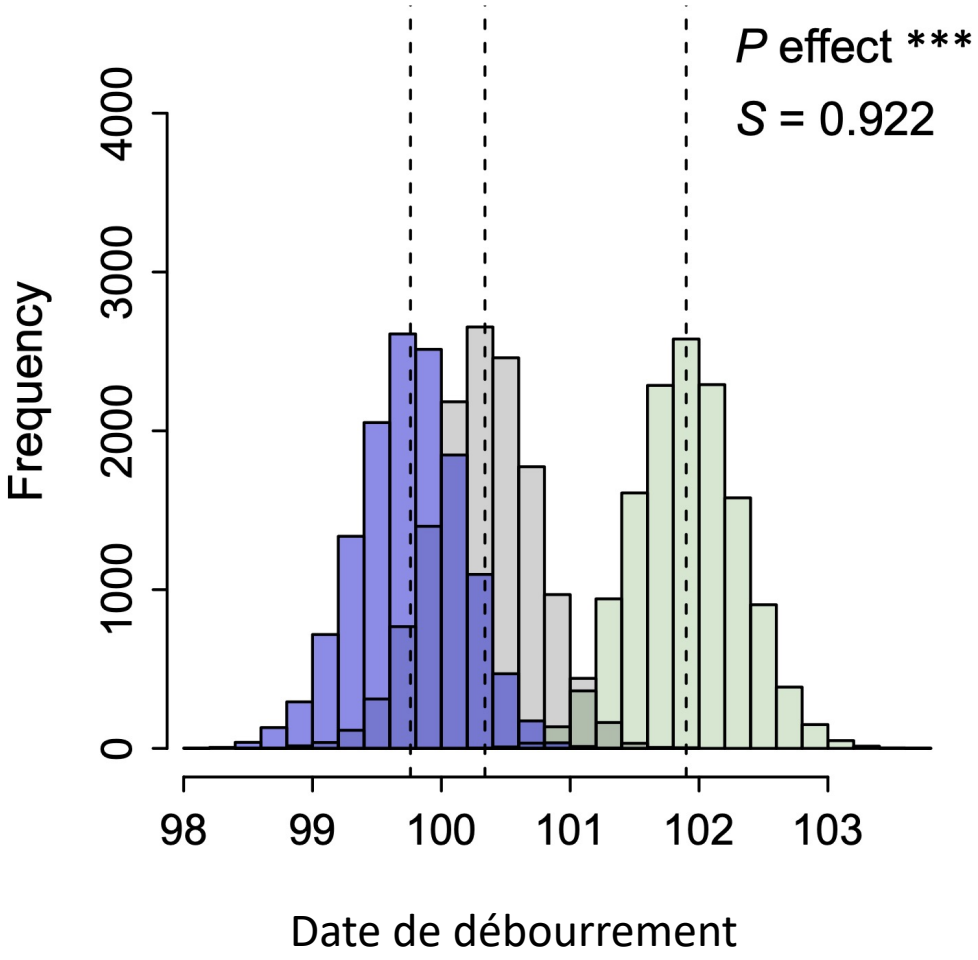
Cela va de 1 m à 9m

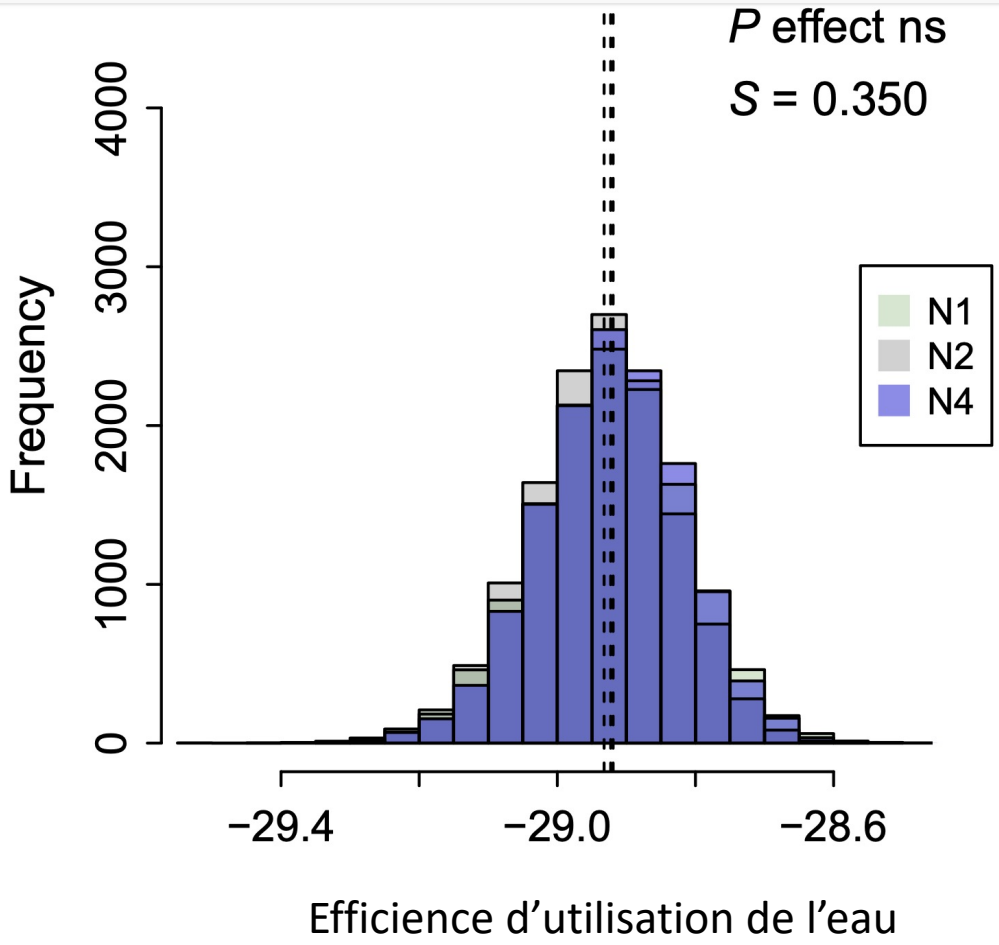
Adaptation locale de la phénologie



Vitasse et al., 2009

Adaptation locale à courte distance

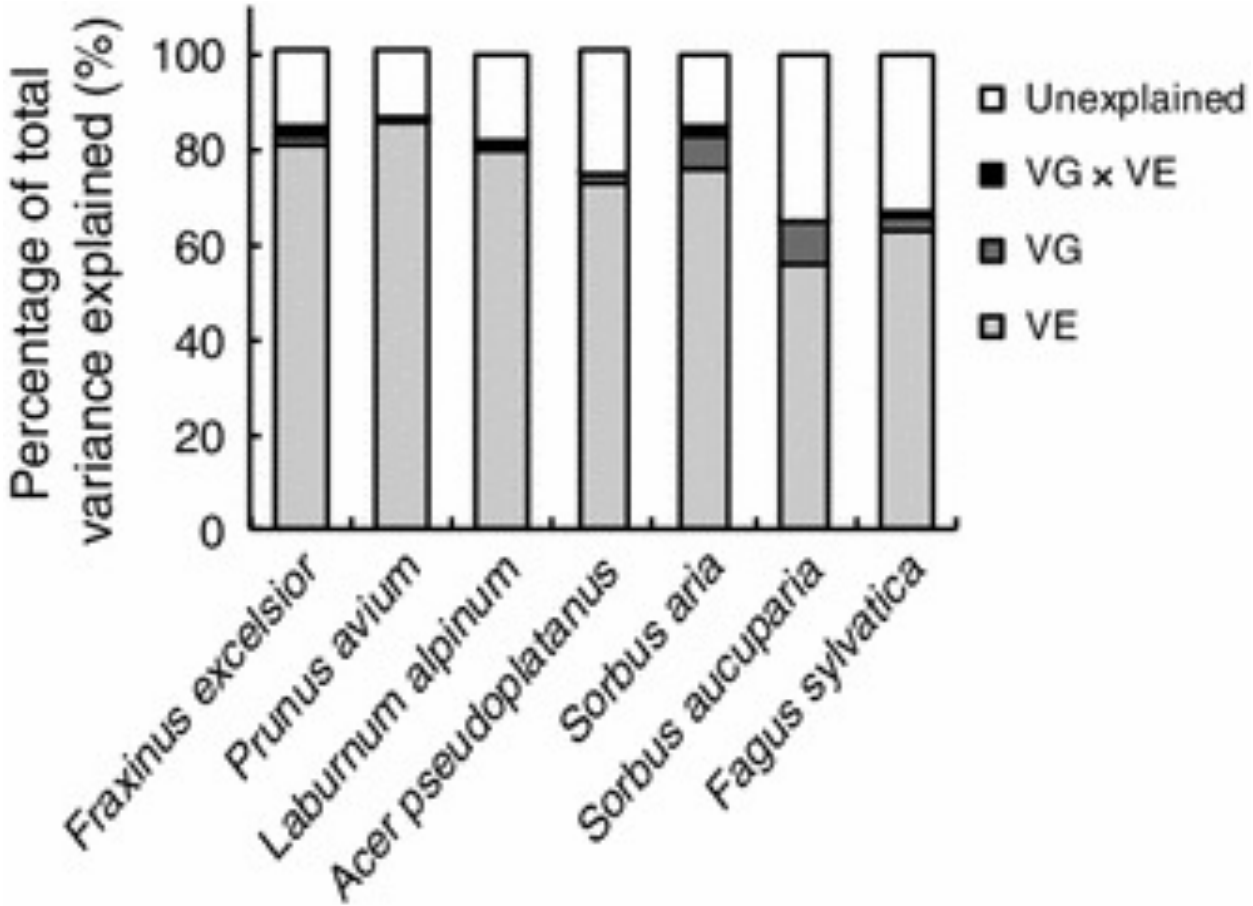




Ventoux, Fagus sylvatica

Gauzere et al., 2020

Adaptation locale



La part de la variation génétique est néanmoins faible par rapport à la plasticité environnementale

Vitasse et al., 2013

Recommandations: recherche, atténuation, résilience, adaptation

1. Besoins de **connaissances** fondamentales et finalisée: **recherche publique indépendante**

2. **Atténuation** du changement climatique : **baisse drastiques des émissions et protection des forêts,** décroissance de la production de biens et de l'utilisation de l'énergie

3. Favoriser la **résilience** des milieux : **conserver la biodiversité, favoriser les mélanges**

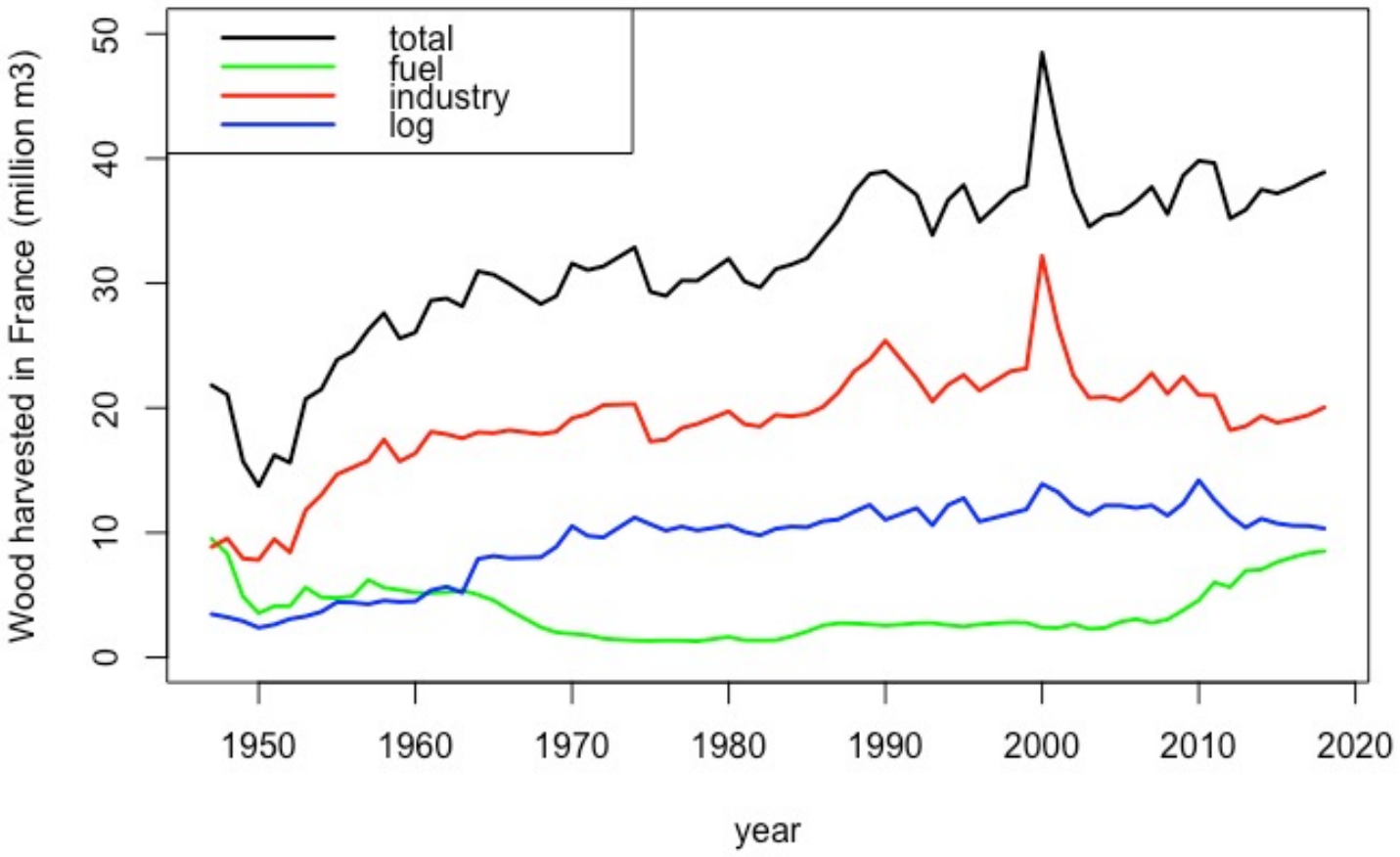
4. Prendre des mesures **adaptatives : gestion sylvicole et cynégétique adaptée (défense de l'ONF et l'ONCFS) s'appuyant les mécanismes naturelles d'adaptation**

Les mécanismes naturelles de l'adaptation

1. L'acclimatation de l'arbre au cours de sa vie
2. L'évolution génétique des populations
3. La migration des espèces
4. Le réarrangement des communautés

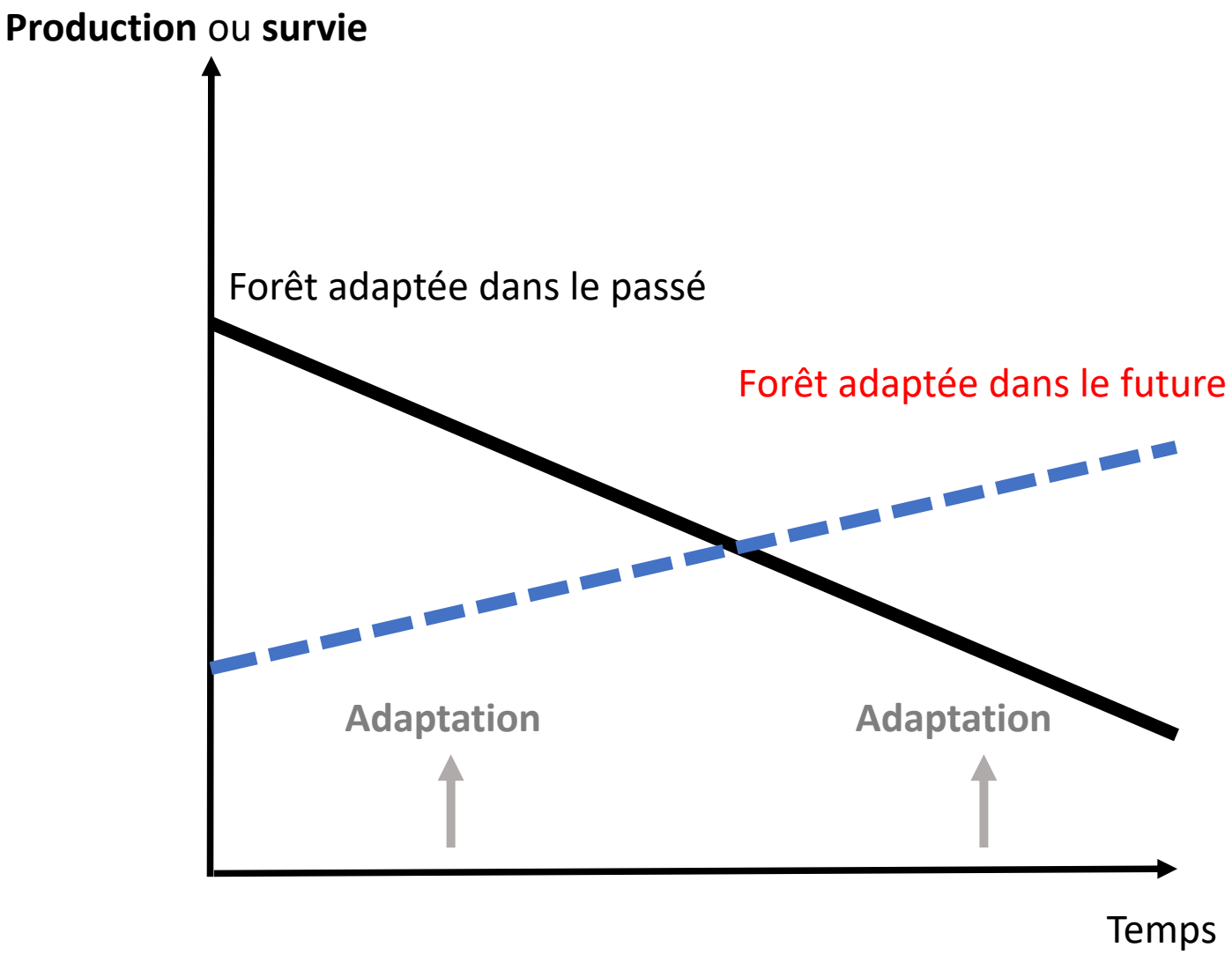
Recommandations: recherche, atténuation, résilience, adaptation

Mise en œuvre des stratégies d'adaptation doit tenir compte de **l'incertitude climatique, mais aussi en termes d'usage des ressources**



Recommandations: recherche, atténuation, résilience, adaptation

- **Protéger les milieux naturels**
- **Adapter la sylviculture**
- **Favoriser des mélanges**
- **Enrichir génétiquement**
- **Remplacement d'espèces**

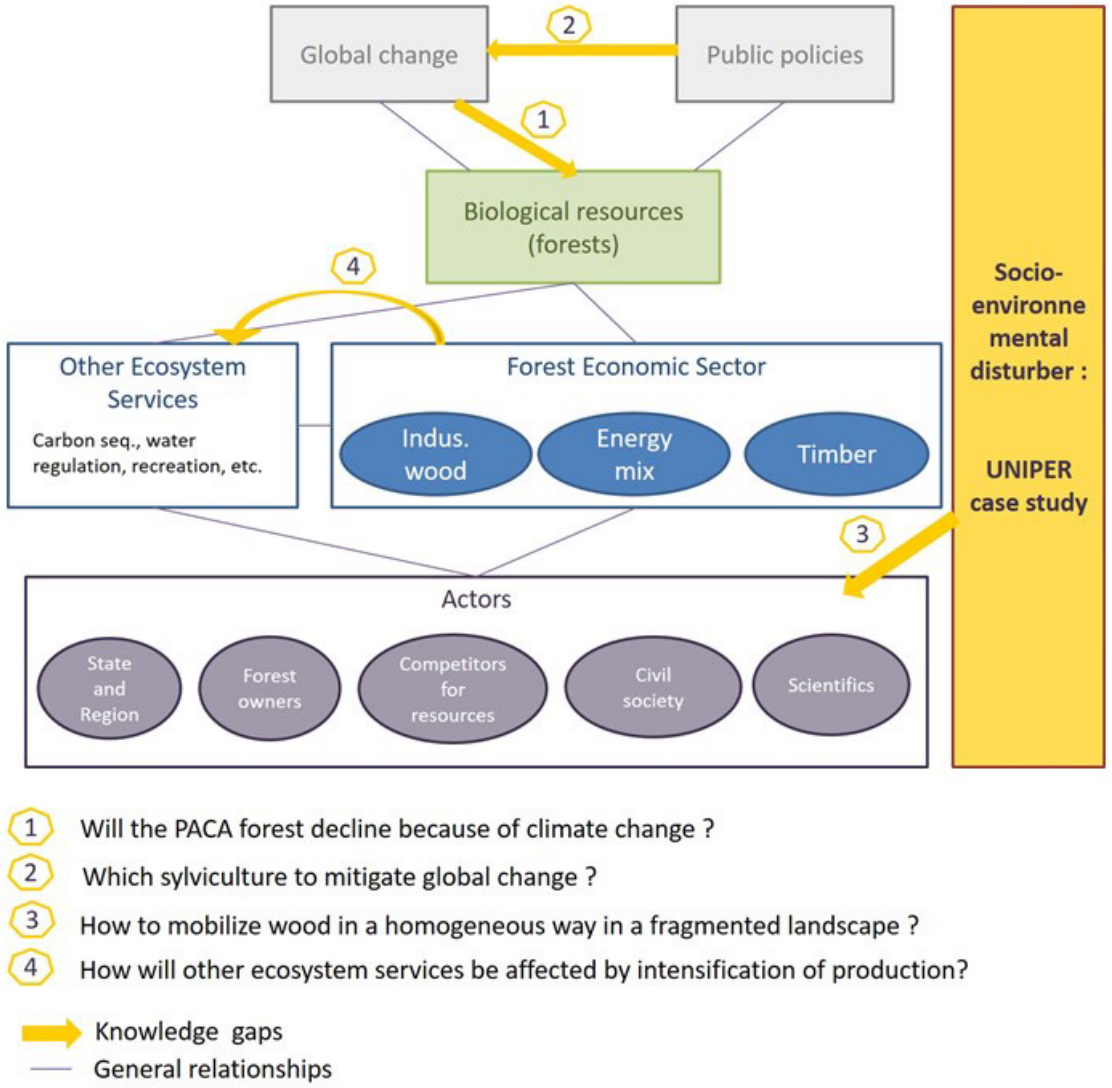


Mise en œuvre des stratégies d'adaptation doit être **tenir compte de la temporalité !**

Recommandations: recherche, atténuation, résilience, adaptation

Outils scientifiques pour l'adaptation

- **Guide de sylviculture**
- **Carte de vulnérabilité**
- **Clé de vulnérabilité**
- **Modélisation**
  - ➢ Permet de gérer la compléxité et la diversité des scénarios



Davi et al. 2020 Ecology and Society

Merci pour votre attention