Evolution génétique et écophysiologie: vers une nouvelle discipline l'écophysiologie des populations ?



Hendrik Davi, Sylvie Muratorio
INRA d' Avignon
Jean Louis Durand
INRA Lusignan

PLAN

1.1 L'unité et diversité de l'écologie
1.2 L'importance de la variabilité interindividuelle
1.3 La mesure de sources de la variabilité
1.4 La sélection: un processus populationnel
1.5 Pourquoi coupler physiologie, dynamique et génétique?

2.1 Comment coupler écophysiologie et démogénétique
2.2 Avantages et limites des modèles de simulation
2.3 Ecophysiologie des populations prairiale
2.4 Ecophysiologie des populations forestière
2.5 Perspectives

1. **Introduction/ généralité sur les modèles**: Mémoire de Master II de Philosophie, Université d'Aix Marseille 2012. Spécialité Philosophie analytique et Epistémologie: « Peut on dépasser le pluralisme en écologie par la modélisation ? »

2. **Modélisation**: Oddou-Muratorio S, Davi H (2013). Simulating local adaptation of forest trees to climate using a model coupling physiology, demography and genetics applied to budburst phenology. *Evolutionary application*.

3. **HDR:** Vulnérabilité et adaptation des écosystèmes forestiers dans un contexte de changement climatique : observation, modélisation et réflexion épistémique

1.1 L'unité et diversité de l'écologie

« Depuis que Darwin, il y a quarante ans de cela, nous a mis entre les mains la clef de l'explication moniste de l'organisation, par sa théorie de la sélection, nous sommes en état de ramener l'infinie diversité des dispositions conformes à une fin, que nous observons dans le monde des corps vivants, à des causes mécaniques naturelles, absolument comme nous le faisons quand il s'agit de nature inorganique, pour laquelle seule la chose était possible auparavant. » p297


ÉNIGMES DE L'UNIVERS

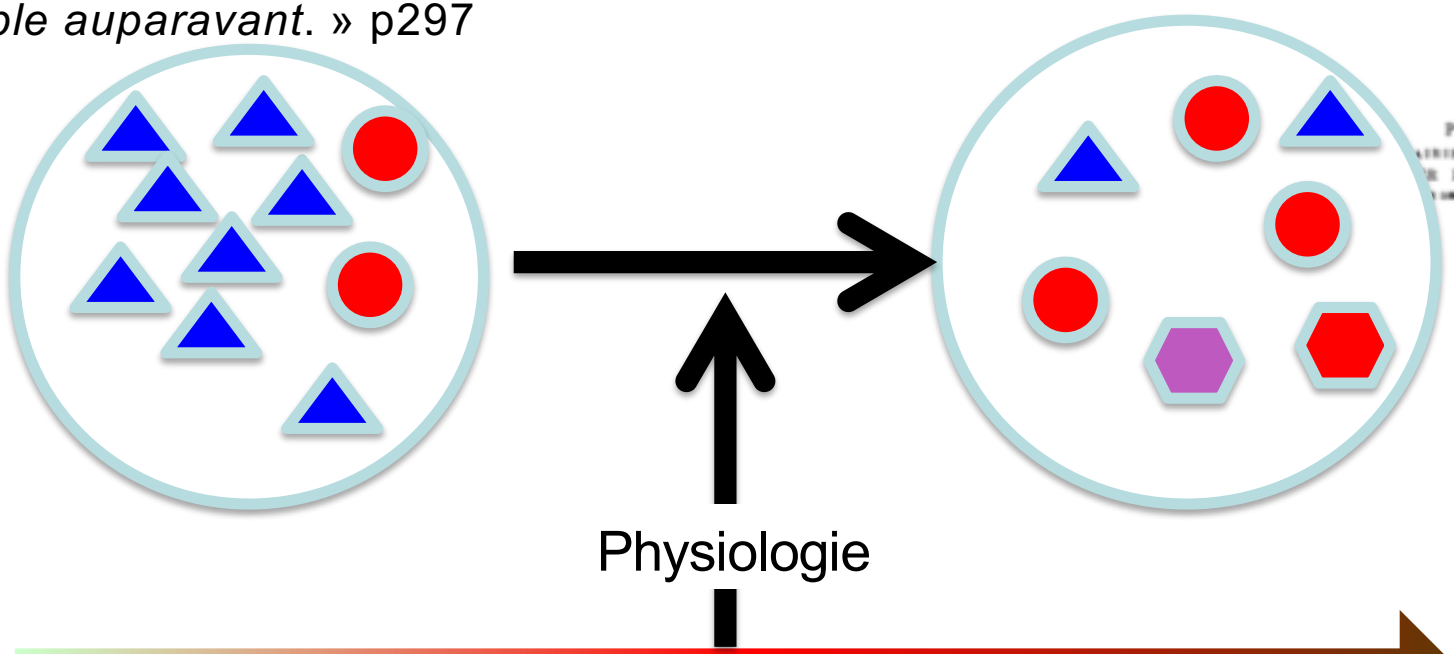
ERNEST HAECKEL

Traduit de l'allemand

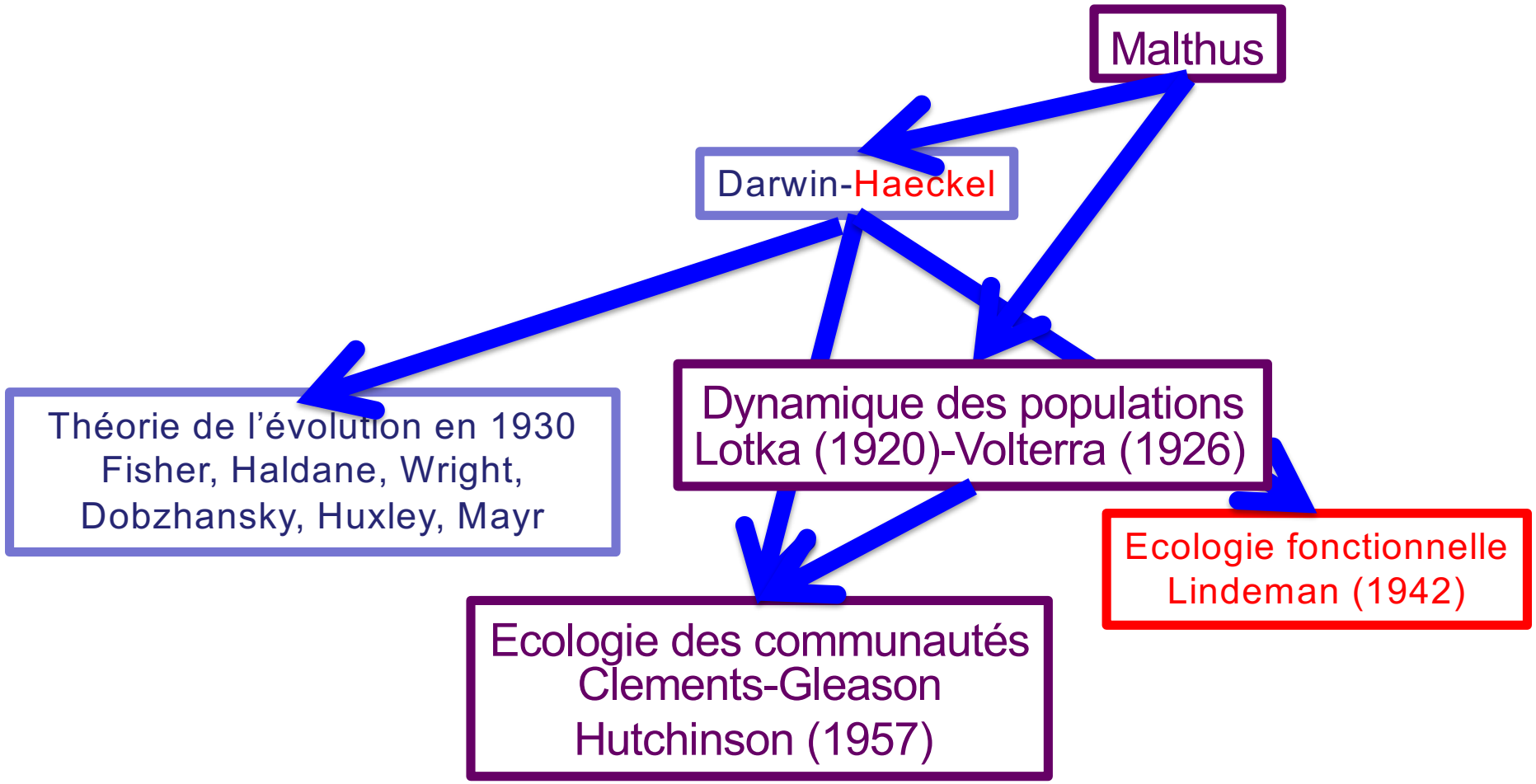
CAMILLE BOS

PARIS

R. FRÈRES, ÉDITEURS



1.1 L'unité et diversité de l'écologie



1.1 L'unité et diversité de l'écologie

Opinion TRENDS in Ecology and Evolution Vol.21 No.4 April 2006

Rebuilding community ecology from functional traits

Brian J. McGill[1], Brian J. Enquist[2], Evan Weiher[3] and Mark Westoby[4]

[1]Department of Biology, McGill University, Montreal, QC, Canada, H3A 1B1
[2]Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Arizona, Tucson, AZ 85721, USA
[3]Department of Biology, University of Wisconsin – Eau Claire, Eau Claire, WI 54702, USA

Opinion TRENDS in Ecology and Evolution Vol.22 No.5

An emerging synthesis between community ecology and evolutionary biology

Marc T.J. Johnson[1,2] and John R. Stinchcombe[1,3]

[1] Department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Toronto, Toronto, ON, M5S 3B2, Canada
[2] Present address: Department of Biology, Box 90338, Duke University, Durham, NC, 27708, USA
[3] Centre for the Analysis of Genome Evolution and Function, University of Toronto, Toronto, ON, M5S 3B2, Canada

Bringing the Hutchinsonian niche into the 21st century: Ecological and evolutionary perspectives

Robert D. Holt[1]

Department of Biology, University of Florida, Gainesville, FL 32611-8525

Edited by David D. Ackerly, University of California, Berkeley, CA, and accepted by the Editorial Board, Septe May 11, 2009)

VOL. 173, NO. 6 THE AMERICAN NATURALIST DECEMBER 2008

Disintegration of the Ecological Community

American Society of Naturalists Sewall Wright Award Winner Address*

1.1 L'unité et diversité de l'écologie

Qu'est ce qu'une discipline scientifique?
Bourdieu (2001): Science de la science et réflexivité

« *La discipline est un champ relativement stable et délimité, donc relativement facile à identifier : elle a un nom reconnu scolairement et socialement (…) ; elle est inscrite dans des institutions, des laboratoires, des départements universitaires, des revues, des instances nationales et internationales, des procédures de certification des compétences, des systèmes de rétribution, des prix* » p128

« *La discipline est définie par la possession d'un capital collectif de méthodes et de concepts spécialisés dont la maîtrise constitue le droit d'entrée tacite ou implicite dans le champ. Elle produit un transcendantal historique, l'habitus disciplinaire comme système de schèmes de perception et d'appréciation (la discipline incorporée agissant comme censure). Elle est caractérisée par un ensemble de conditions socio-transcendantales, constitutives d'un style* » p129

1.1 L'unité et diversité de l'écologie

- On approche la vérissimilitude (terme de Popper) par un processus social: questions, observations, expérimentations, contrôle par des pairs

> « *Problème P1 -> Théorie à l'essai -> élimination de l'erreur avec évaluation-> problème P2* » p230.
>
> **Popper, K. (1979). Objective knowledge. Editions Flammarion 2009. La connaissance objective. 578p.**

- Selon Bourdieu la discipline comme champ « clos » est central dans ce processus: homogénéité des questions, concepts et connaissances acquises

> « *Les études de laboratoires ont oublié ou grandement sous-estimé la logique inséparablement sociale et intellectuelle de cette circulation et les effets de contrôle logique et empirique, et par là d'universalisation qu'elle produit. La circulation critique est un processus de déparcularisation, de publication, au double sens d'officialisation et d'universalisation, aboutissant (…) à l'oblitération de la source des idées, des méthodes et des découvertes par leur incorporation dans la connaissance admise* » p147

1.1 L'unité et diversité de l'écologie

«since Niko Tinbergen's articulation of four questions and Ernst Mayr's distinction between ultimate and proximate causes, there is general recognition of multiple levels of analysis (function, cause, development, evolution) or questions (why and how) that can be brought to bear to explain a biological property or behavior (…). Biological questions are stratified into levels of evolutionary origin, current reproductive function, ontogeny, and mechanism. Naturally, questions at different levels require different answers.

Ann. Rev. Ecol. Syst. 1987. 18:321-41
Copyright © 1987 by Annual Reviews Inc. All rights reserved

PLURALISM IN ECOLOGY

Robert P. McIntosh

Department of Biological Sciences, University of Notre Dame, Notre Dame, Indiana 46556

Introspective Ecology

Ecologists are in a period of retrenchment, soul searching, "extraordinary introspection" (68), or "presenting introspective examinations at an alarming rate" (35). This follows on nearly three decades of heady belief on the part of some ecologists, newly ventured into the maze of community ecology, that communities are structured in an orderly predictable manner, and of others that information theory, systems analysis, and mathematical models would

Questions des fins (téléologique= > sciences évolutive)
Question des moyens (écologie fonctionnelle)

VOL. 168, SUPPLEMENT THE AMERICAN NATURALIST DECEMBER 2006

Integration without Unification: An Argument for Pluralism in the Biological Sciences

1.2 L'importance de la variabilité interindividuelle

- **Variations: plasticité phénotypique** (écophysiologie) / **variations héritables** (hérédité mendélienne, maternelle ou culturelle).

- Ernst Mayer: « Une histoire de la biologie » (1982). Physique .vs. la biologie sur la question de la **variation (ε)** et la **notion de population**

- **Darwin:**
  1. Titre**: « origine des espèces »:** la bonne question selon Mayer (Lyell .vs. Lamark)
  2. Réponse à cette question: Analyse de la variation / sélection
  3. Manque **les sources de variations** à Darwin (mutation, recombinaison génétique) et leur mode de transmission (Mendel)



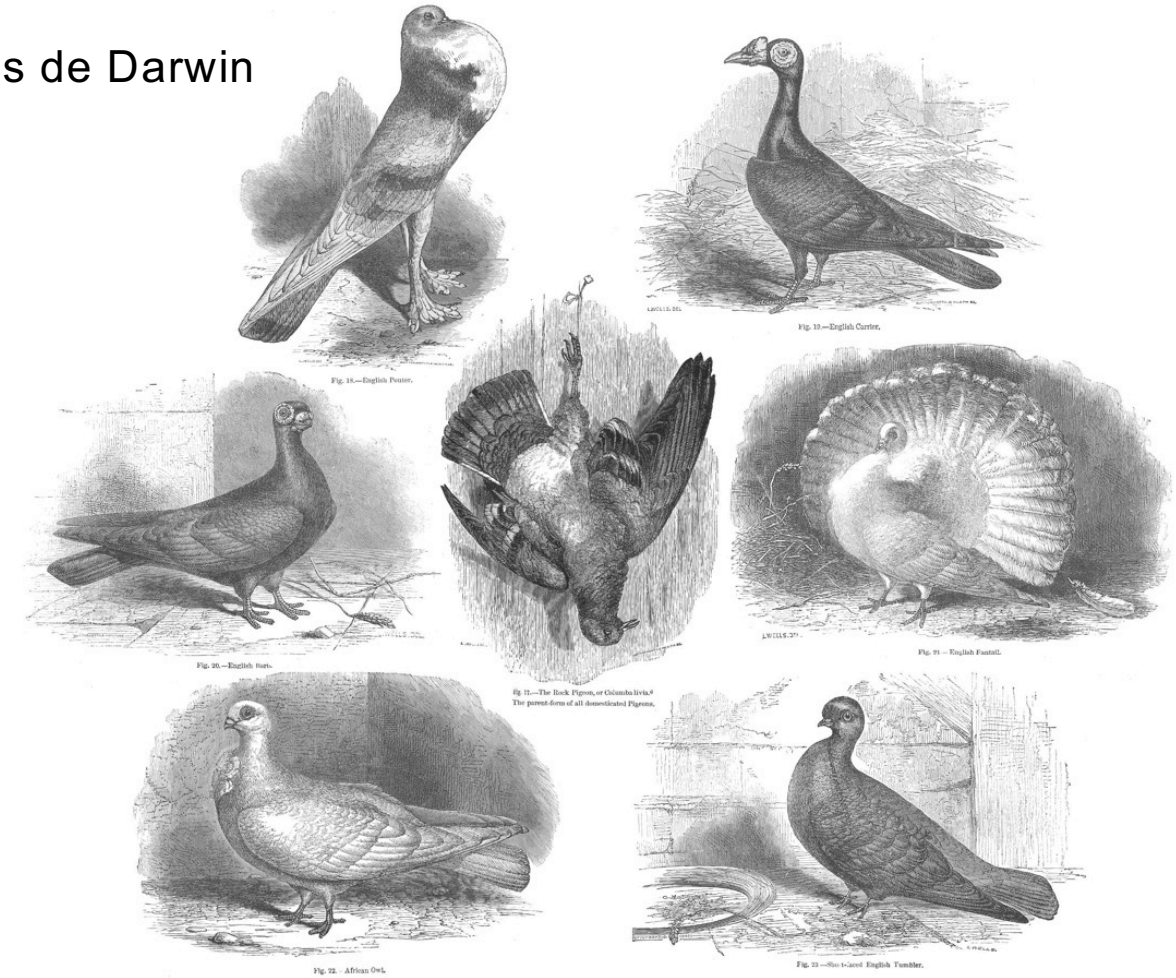






1.2 L'importance de la variabilité interindividuelle

Les pigeons de Darwin



« Darwin montra d'abord comment l'âpre lutte pour la vie est le régulateur inconsciemment efficace qui gouverne l'action réciproque de l'hérédité et de l'adaptation, dans la graduelle transformation des espèces; c'est le grand Dieu éleveur qui, sans intention, produit de nouvelles formes par la « sélection naturelle », tout comme un éleveur humain, avec intention, réalise de nouvelles formes par la « sélection artificielle ». Haeckel p302

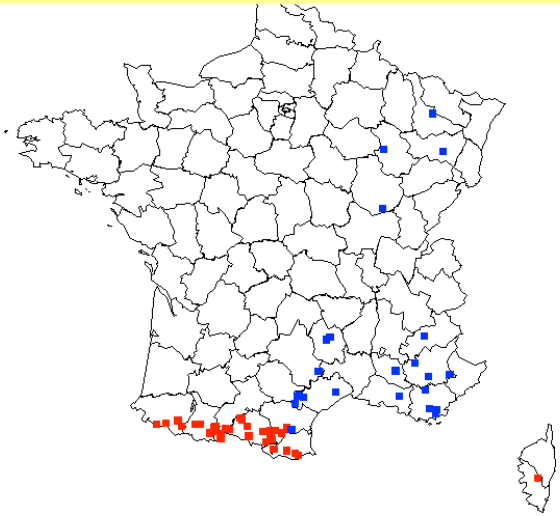
1.2 L'importance de la variabilité interindividuelle

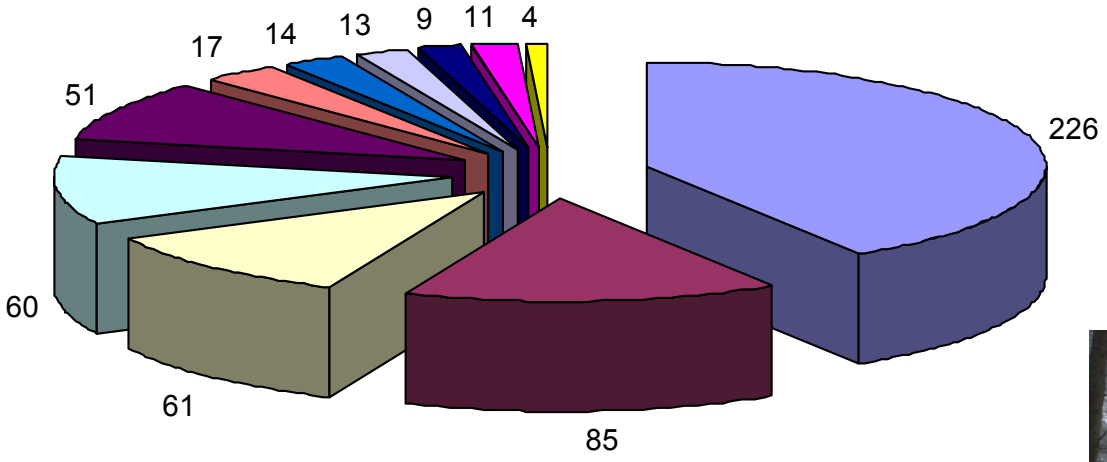
« Le Runt (pigeon romain) est un gros oiseau, au bec long et massif et aux grand pieds ; quelques sous-races ont le cou très long, d'autres de très longues ailes et une longue queue, d'autres enfin ont la queue extrêmement courte. Le Barbe est allié au Messager ; mais son bec, au lieu d'être long, est large et très court. Le Grosse-gorge a le corps, les ailes et les pattes allongés ; son énorme jabot, qu'il enfle avec orgueil, lui donne un aspect bizarre et comique. »

« Les naturalistes, qui en savent bien moins que les éleveurs sur les lois de l'hérédité, qui n'en savent pas plus sur les chaînons intermédiaires qui relient les unes aux autres de longues lignées généalogiques, et qui, cependant, admettent que la plupart de nos races domestiques descendent d'un même type, ne pourraient-ils pas devenir un peu plus prudents et cesser de tourner en dérision l'opinion qu'une espèce, à l'état de nature, puisse être la postérité directe d'autres espèces ? »

1.3 La mesure des sources de la variabilité

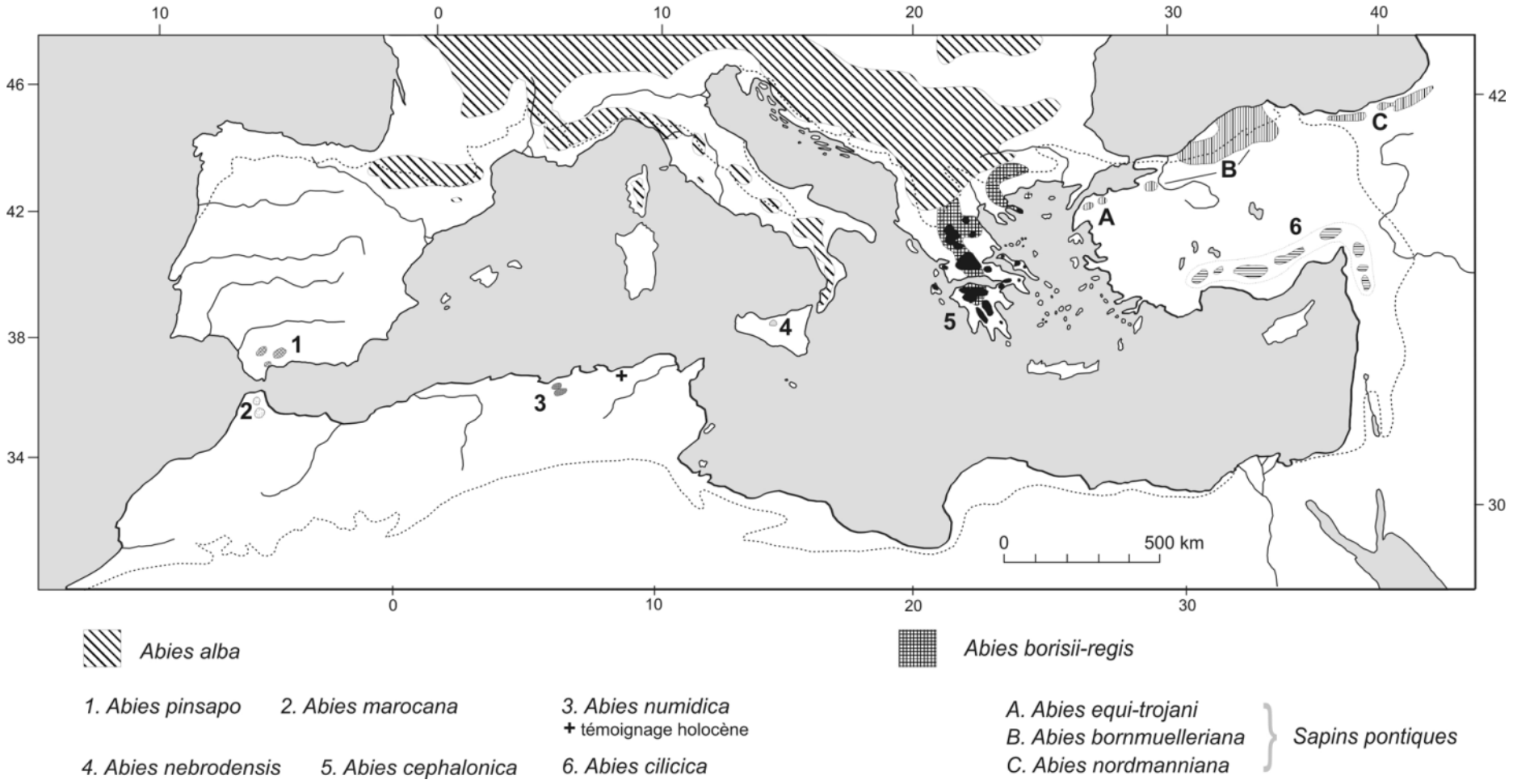
Ex: Plantations comparatives INRA





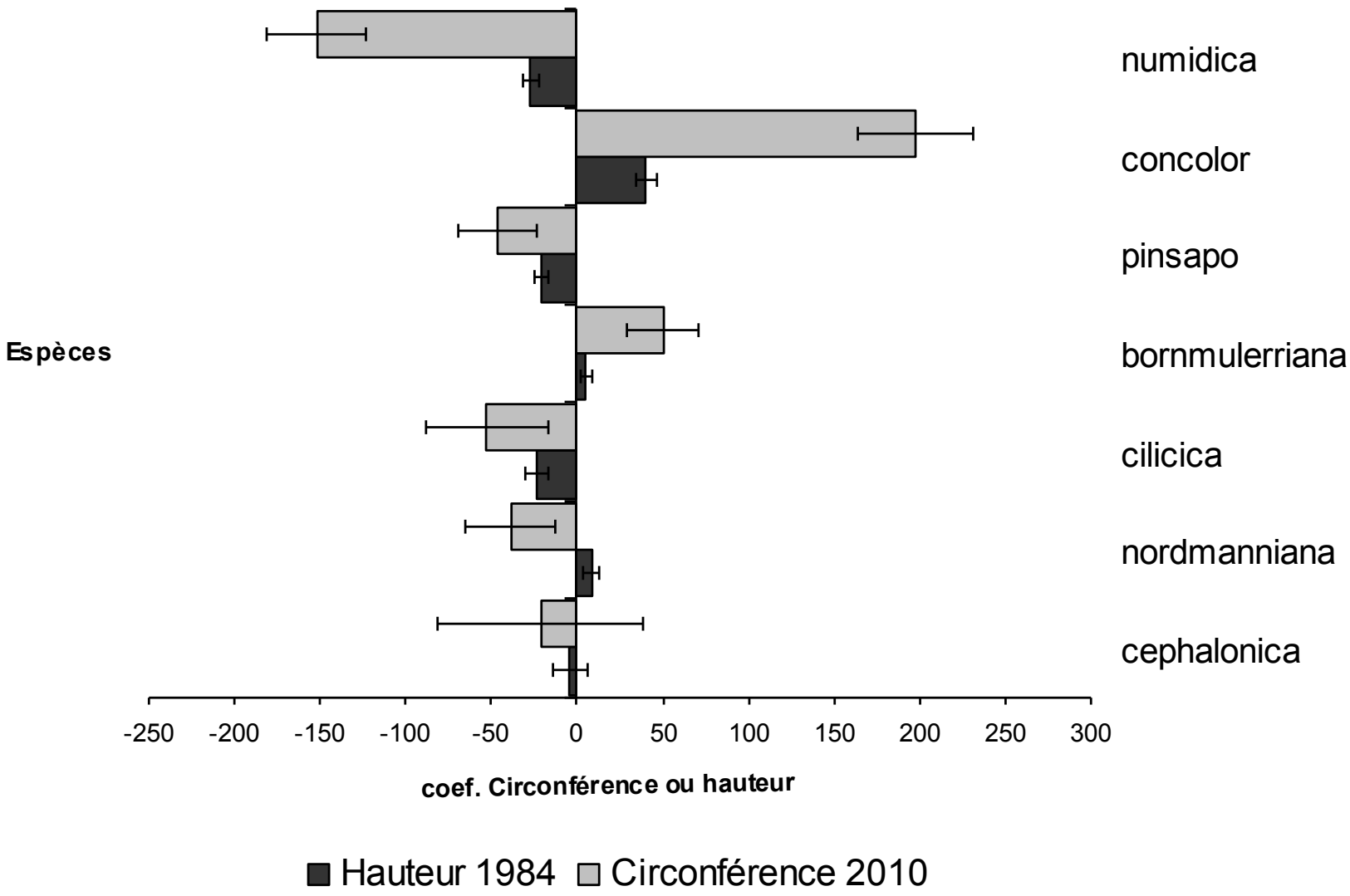


1.3 La mesure des sources de la variabilité



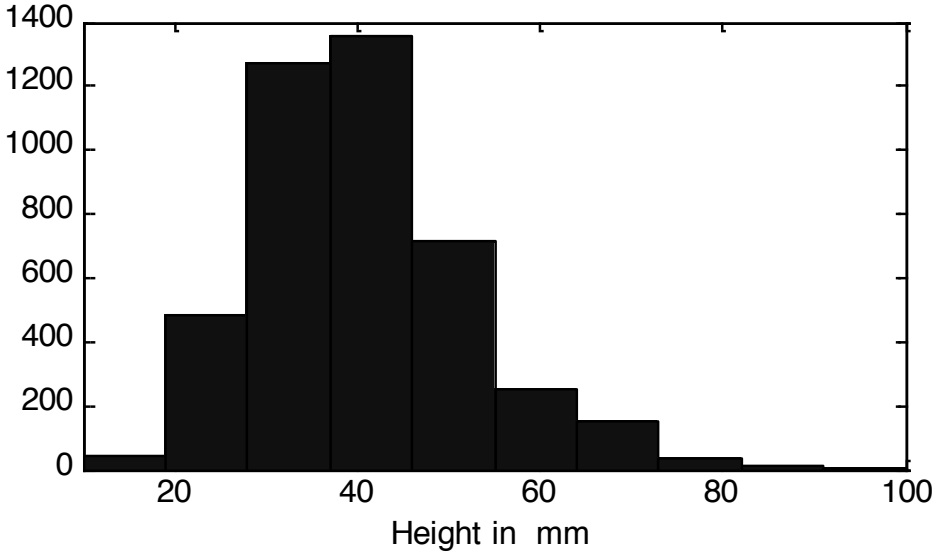
Variations entre individus, populations, espèces d'origine génétique ou environnementale

1.3 La mesure des sources de la variabilité



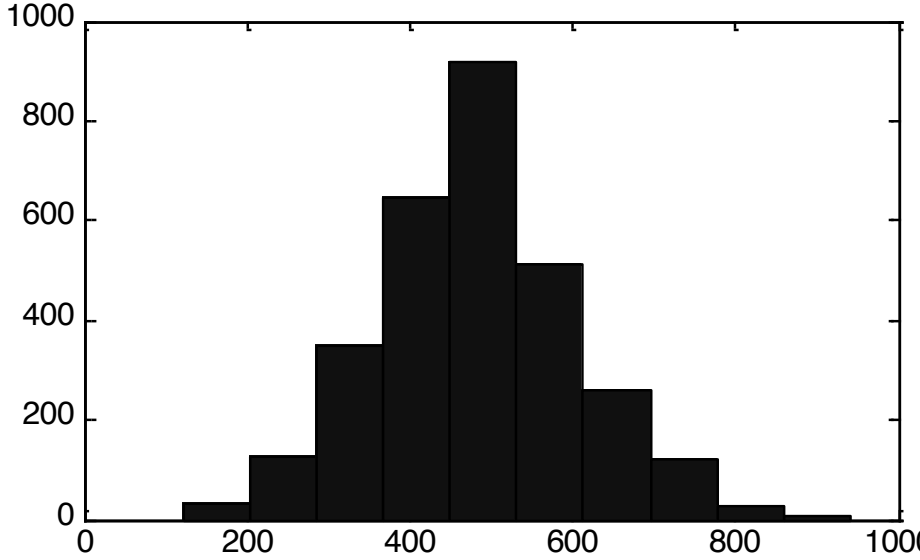
1.3 La mesure des sources de la variabilité

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



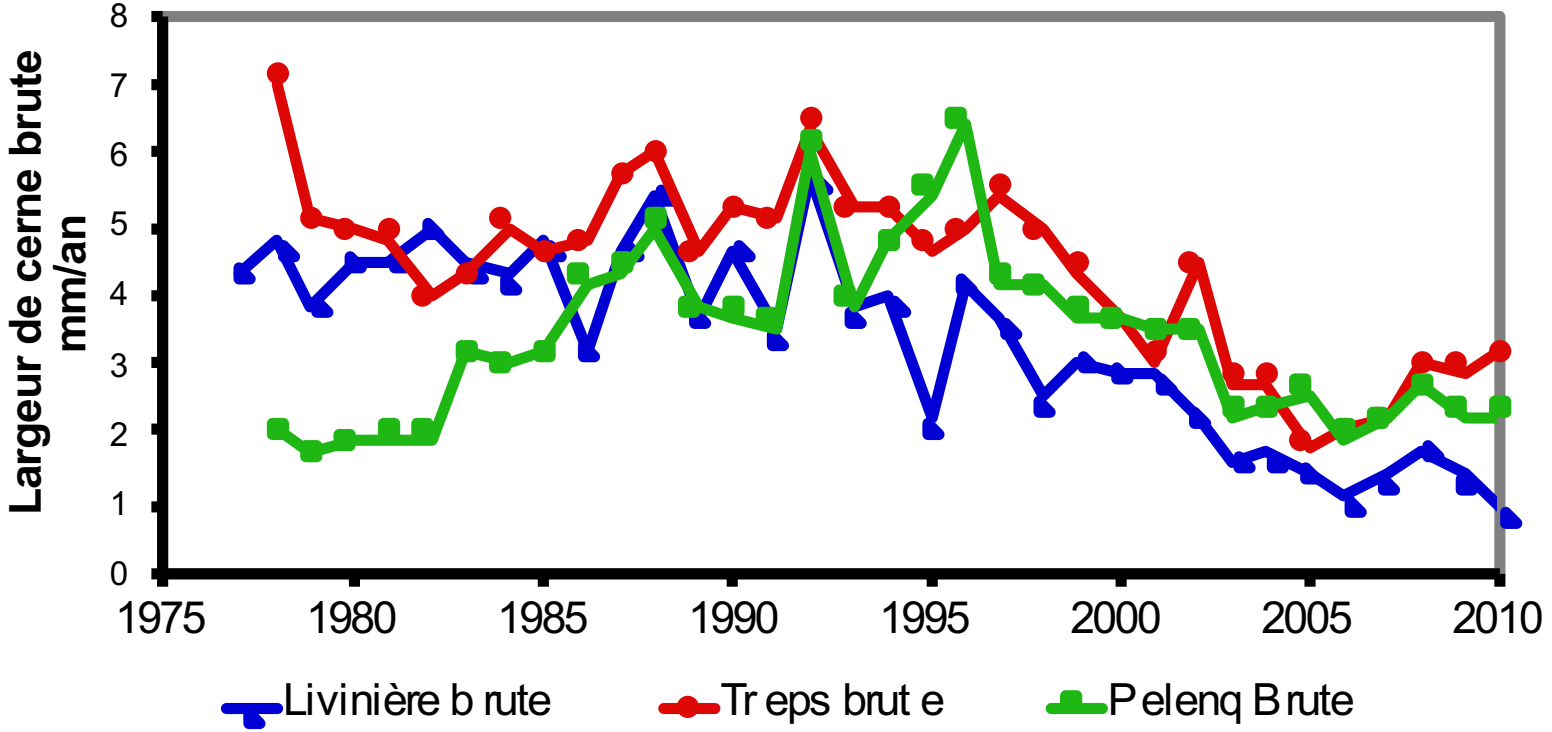
Cela va de 1 m à 9m

1.3 La mesure des sources de la variabilité

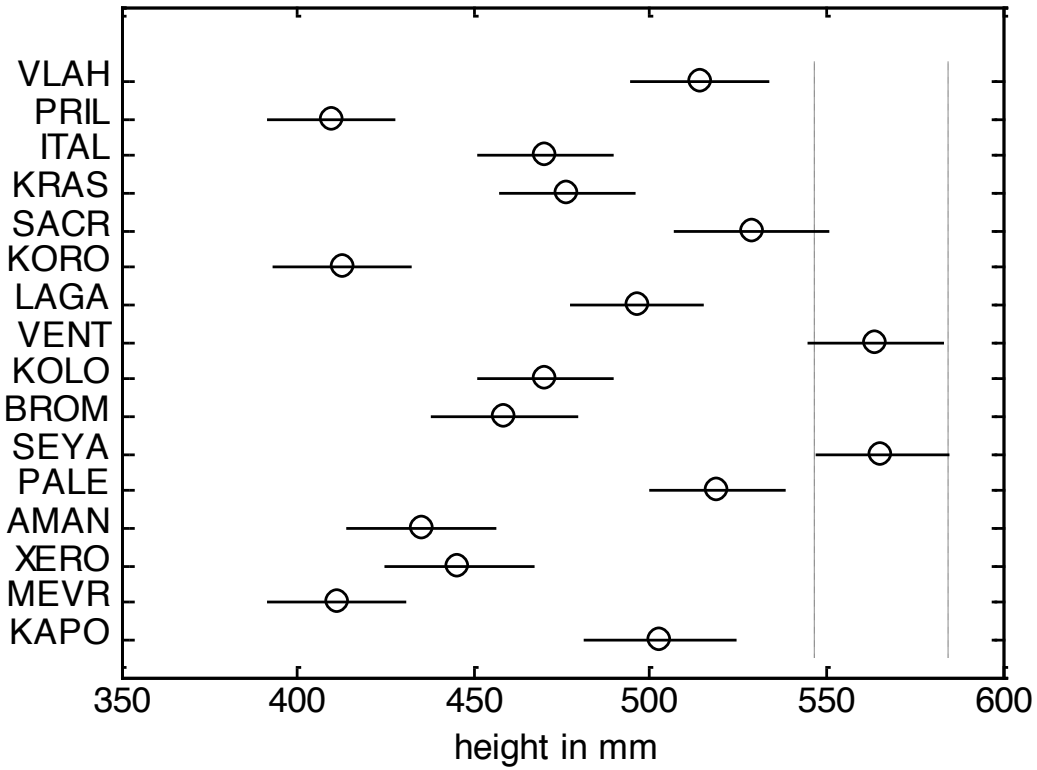
Facteurs	Accroissement entre 1991 et 2010	Mortalité en 2010
Bloc dans dispositif	0.07	0.06
Dispositif	0.15	0.02
Provenance	0.02	0.009
Arbres	0.76	0.90

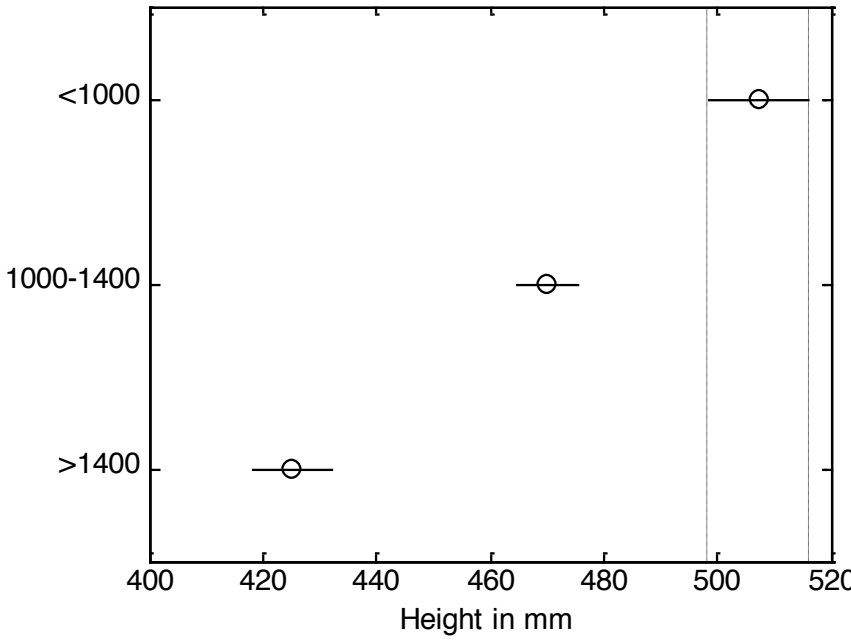
Résultats sur l'inter-comparaison Abies cephalonica: Treps, Livinière, Pelenc

Effet arbre: génétique et microenvironnement



1.3 La mesure des sources de la variabilité





Effet altitude de la provenance

Les provenances de basses altitudes ont eu une meilleur croissance juvénile en hauteur en plantation comparative

1.3 La mesure des sources de la variabilité

Cas du débourrement du Hêtre: plantations comparatives de différentes provenances

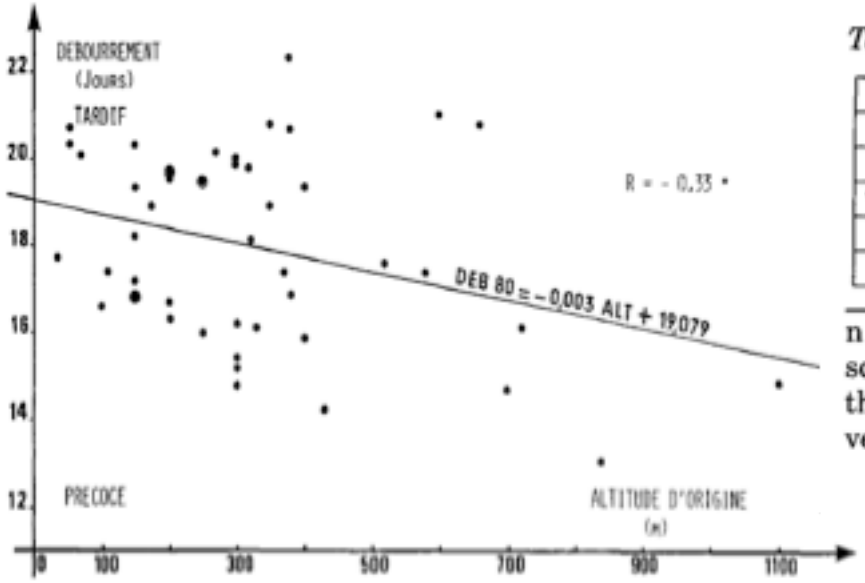


Table 1. – Correlations.

	BB-Scoring*	TempSum 0°C	Longitude	Latitude	Elevation
BB-Day*	–0.91***	0.91***	–0.45***	0.30***	–0.32***
BB-Scoring			0.44***	–0.19*	0.30***
TempSum 0°C			–0.43***	0.32***	–0.36***
Longitude				–0.08	0.15
Latitude					–0.72***

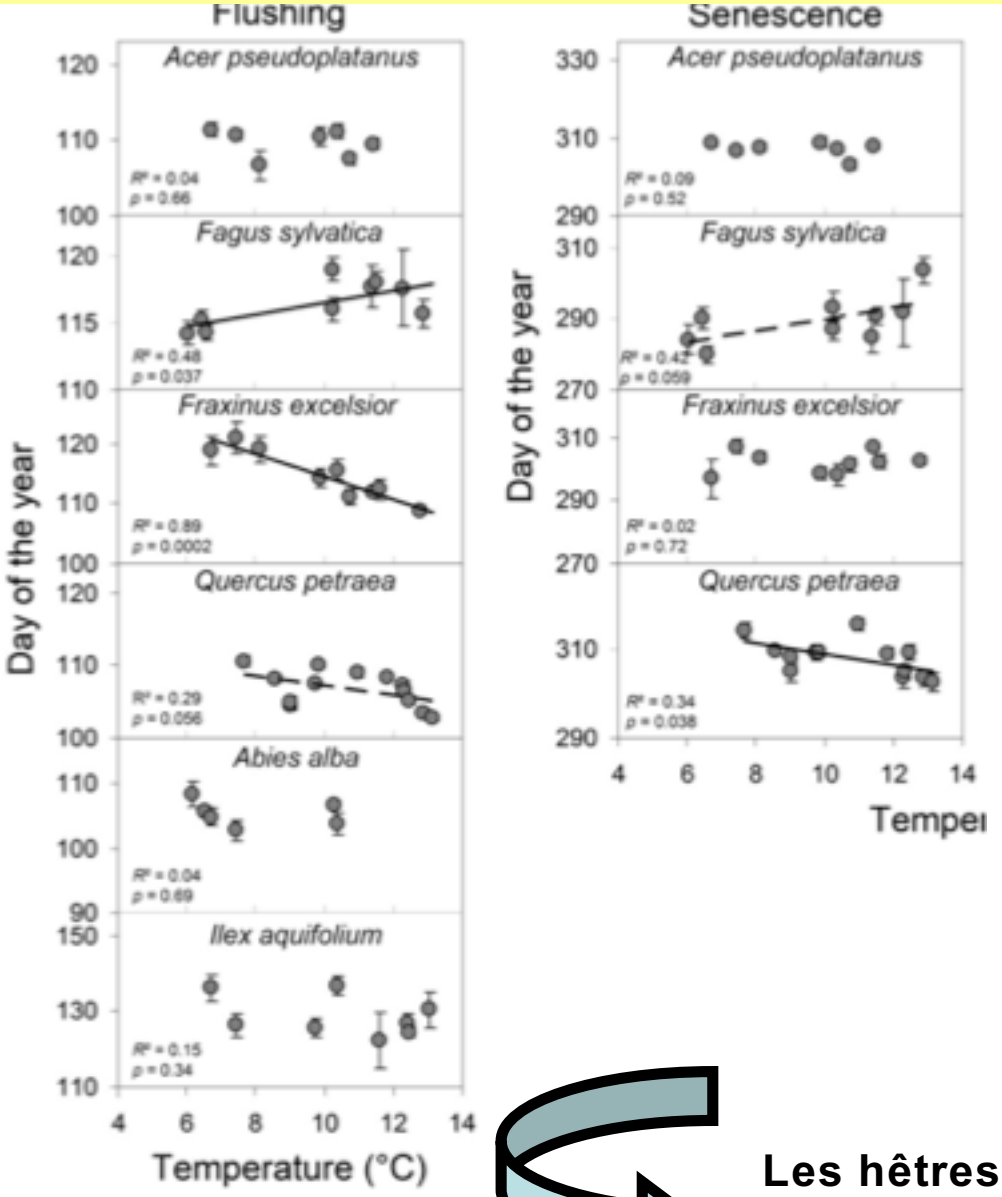
n = 158, *) $p < 0.05$, ***) $p < 0.001$; BB-scoring = according to the 5-step-scale, BB-day = the day when a plant has reached bud-burst (score 3 of the 5-step-scale) [1]) the relationship of BB-Day and BB-Scoring is inverse, a low BB-Day is related to a high BB-Score and vice versa.

Wuelish 1995

E. TEISSIER DU CROS & B. THIEBAUT 1988

Les provenances de haute altitude, de l'est et du nord ont eu un débourrement plus précoce en jardin commun

1.3 La mesure des sources de la variabilité

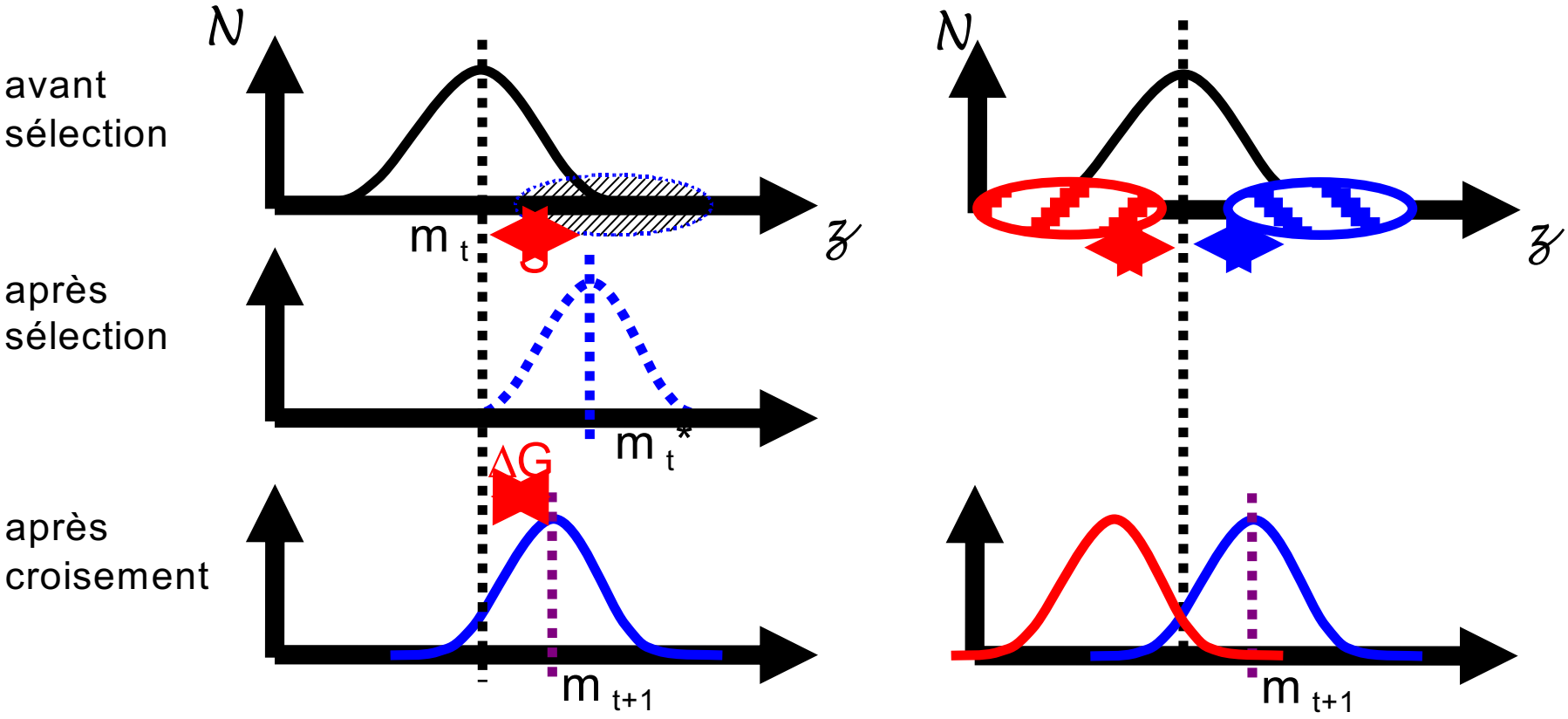


Cas du débourrement de populations provenant d'altitudes différentes

Vitasse et al., 2009

Les hêtres de haute altitude ont débourré plus tôt

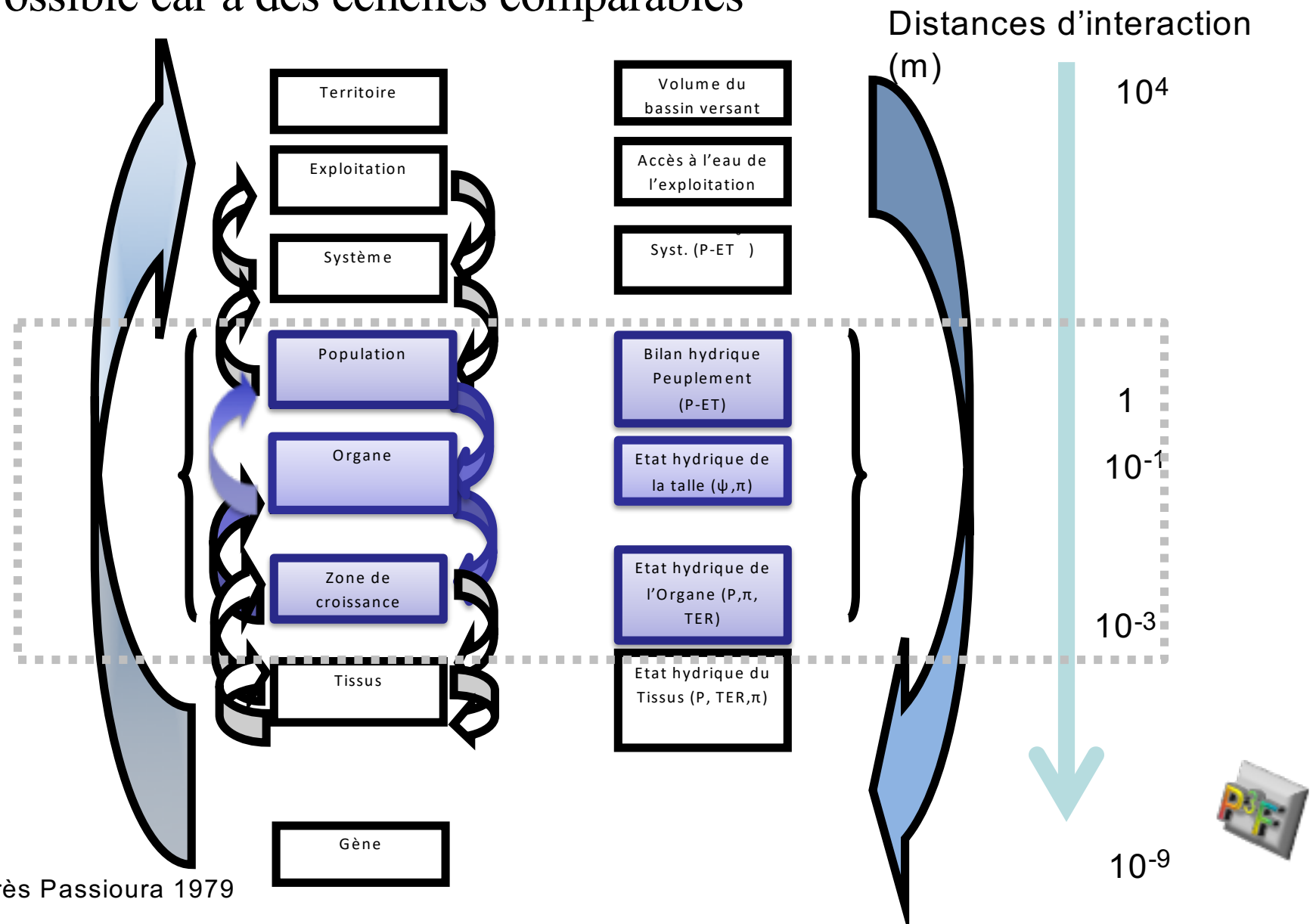
1.4 La sélection: un processus populationnel



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

1.5 Pourquoi coupler physiologie, dynamique et génétique?

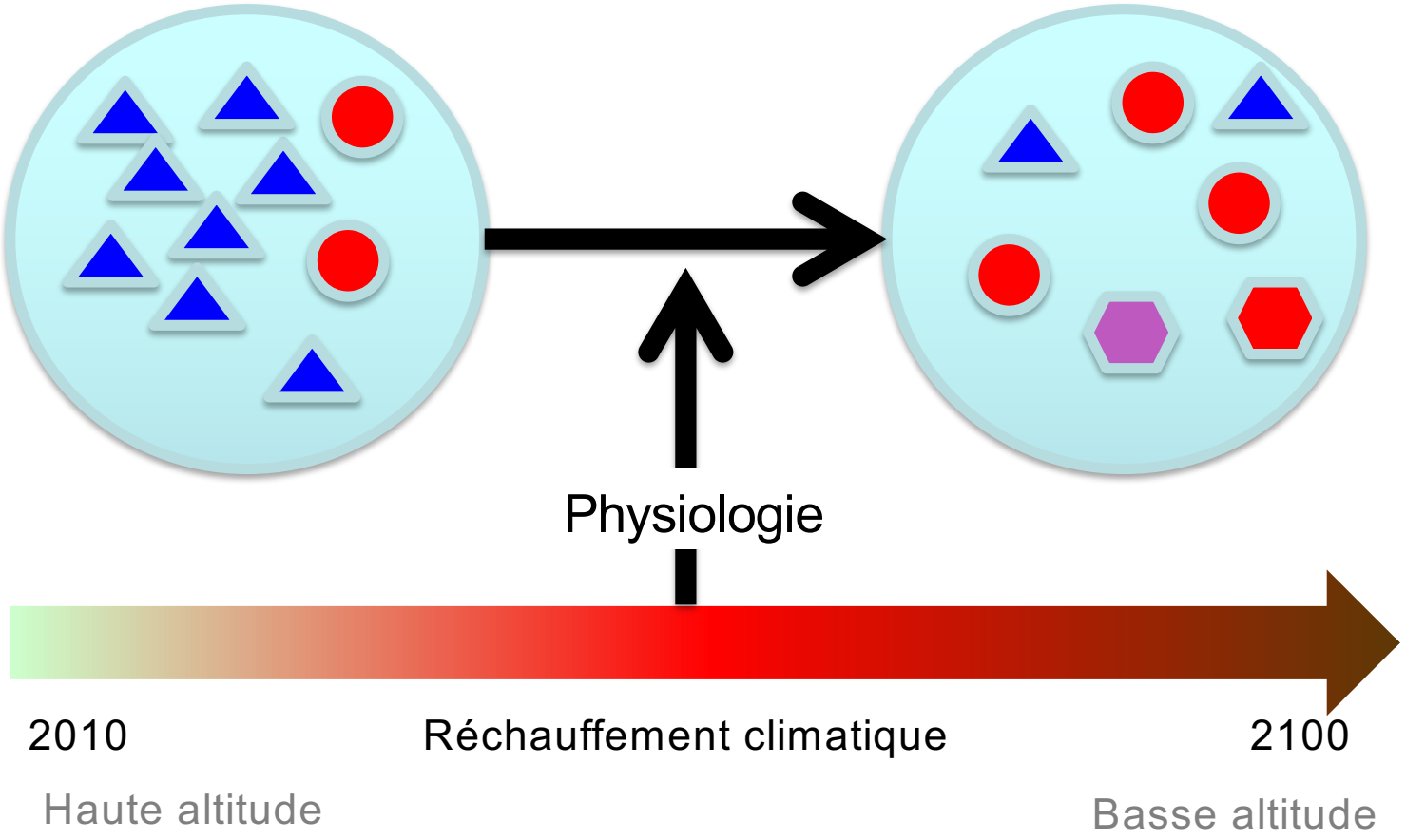
Possible car à des échelles comparables



D'après Passioura 1979

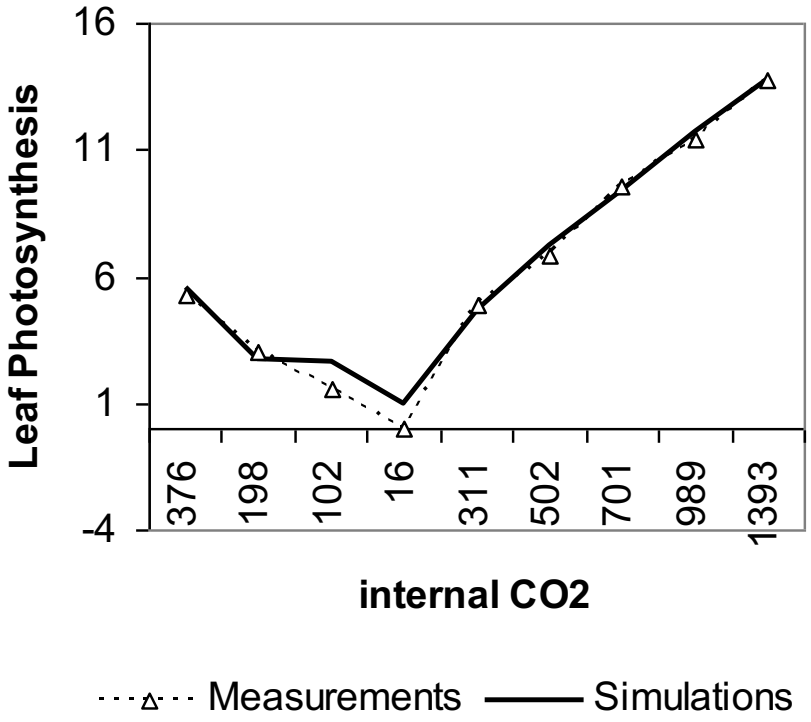
1.5 Pourquoi coupler physiologie, dynamique et génétique?

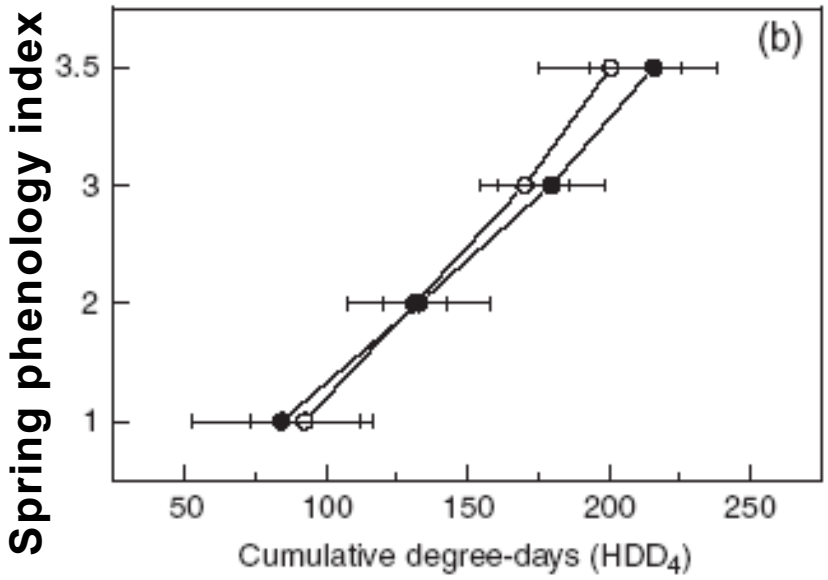
1. Le point de vue évolutif



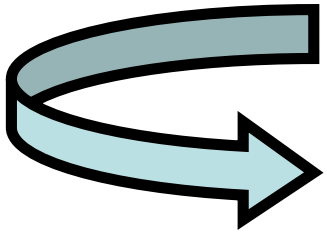
1.5 Pourquoi coupler physiologie, dynamique et génétique?

Plasticité phénotypique: variation d'un phénotype en réponse à un environnement à génotype constant





Richardson et al., 2006

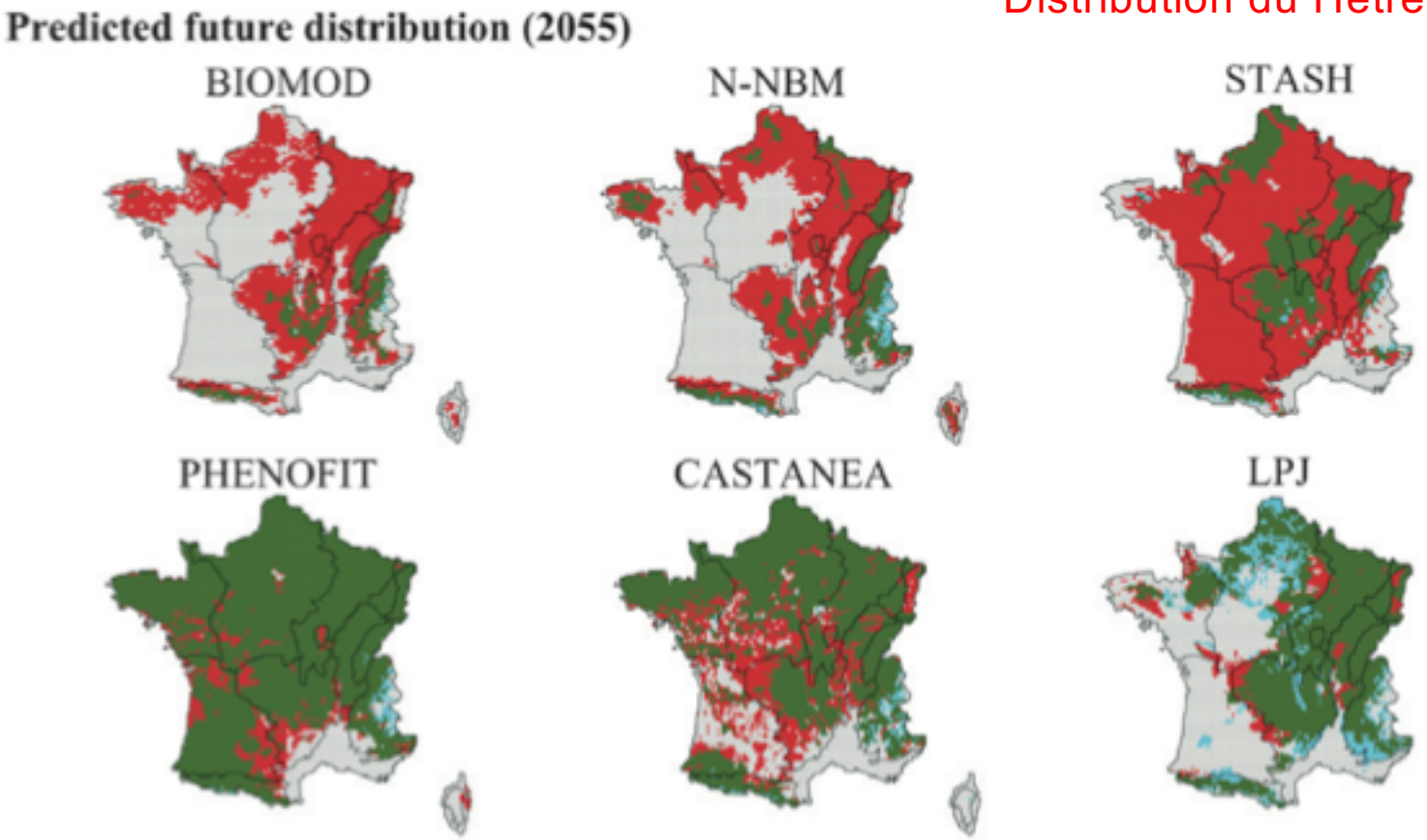


L'écophysiologie et la mesure de la plasticité phénotypique

1.5 Pourquoi coupler physiologie, dynamique et génétique?

2. Le point de vue de l'écologie fonctionnelle

Distribution du Hêtre prédit en 2055

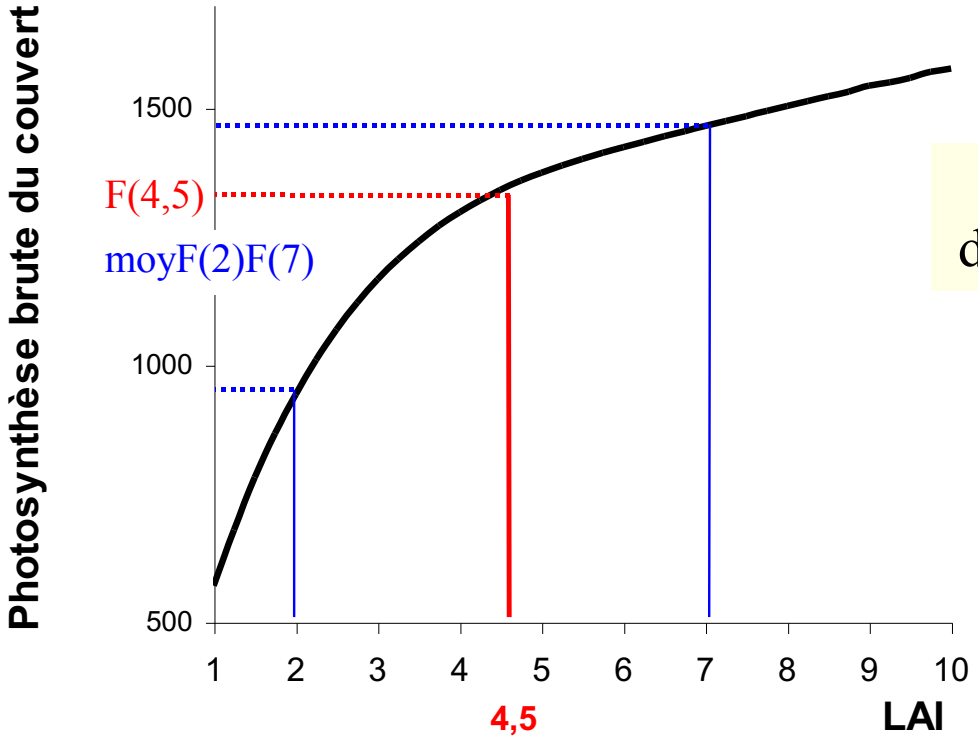


Cheaib et al., (2012)

1. Prise en compte de la capacité de migration
2. Evolution génétique des populations

1.5 Pourquoi coupler physiologie, dynamique et génétique?

Non linéarité des processus

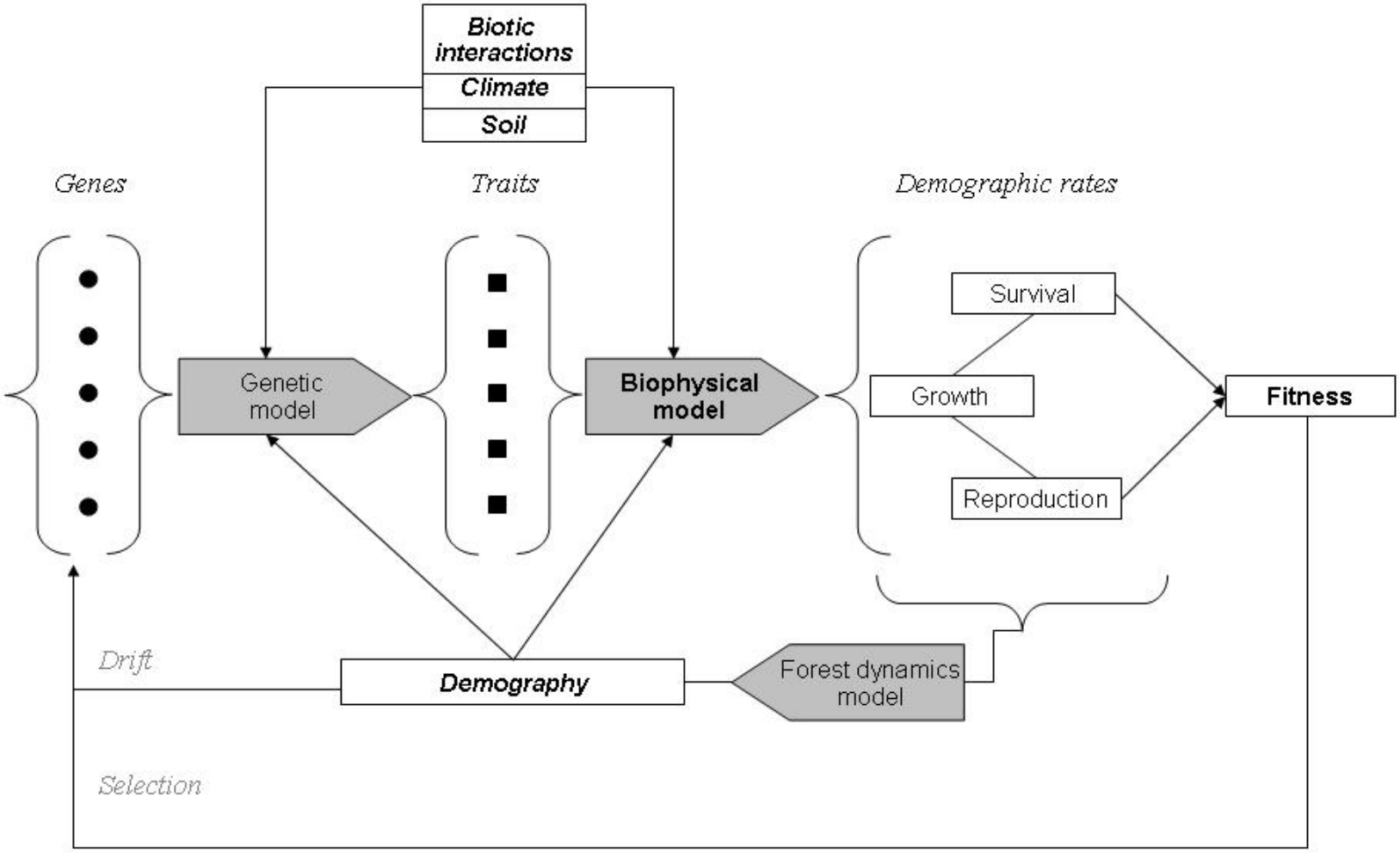


Importance de la prise en compte des différentes sources de variabilité

1.5 Pourquoi coupler physiologie, dynamique et génétique?

- Un pont entre l'écologie des communautés et l'écophysiologie.
- Applicable potentiellement à tout peuplement végétal fonctionnement sur des pas de temps plus long que la vie des individus (e.g. Forêts, prairies permanentes).
- Approfondit les connaissances dans l'écophysiologie de base (e.g. rôle de l'eau dans la morphogenèse, intégration des stress abiotiques).
- Modèle d'interaction génétique/ écophysiologie pour aborder les questions d'interaction génétique X environnement.

2.1 Comment coupler écophysiologie et démogénétiques



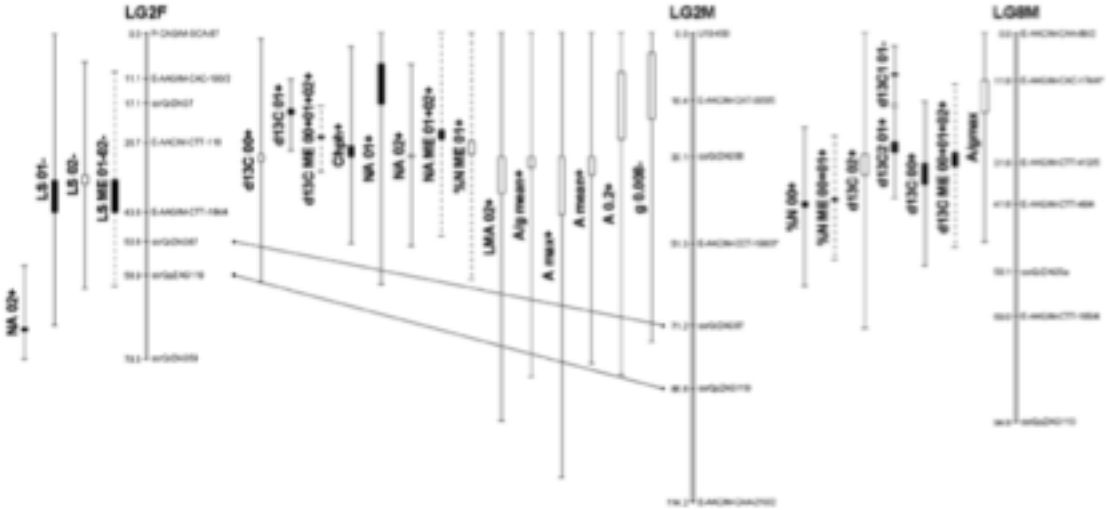
Oddou-Muratorio & Davi

Des gènes aux traits: génétique quantitative

Table 4 Clonal mean repeatability (R) and narrow sense heritability (h^2) calculated from the estimated variance components

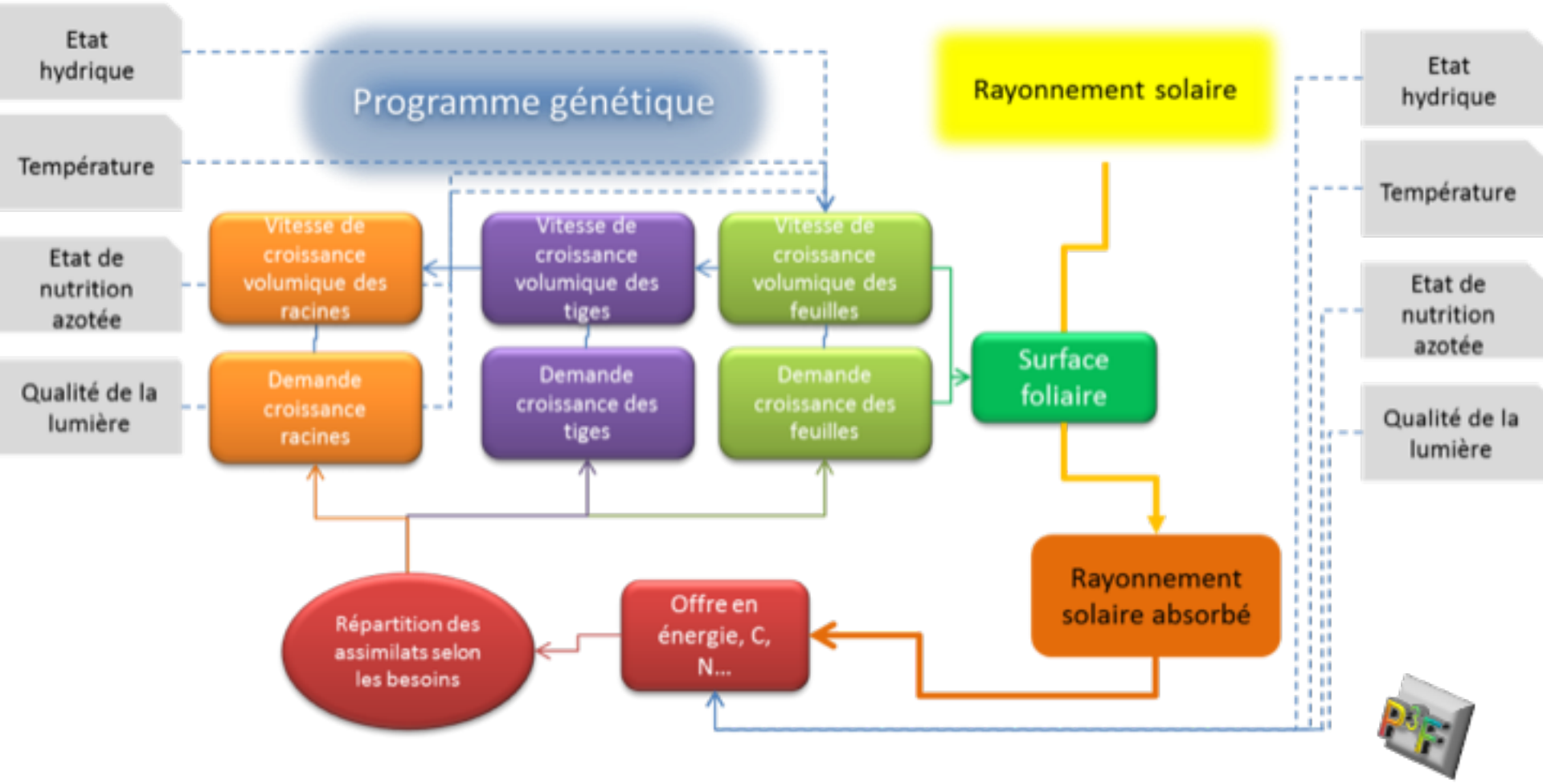
Trait	Year	n_0	R	h^2_0
$\delta^{13}C$	2000	5.70	0.774	0.545
$\delta^{13}C$	2002	5.02	0.879	0.743
%N	2000	5.70	0.529	0.283
%N	2002	5.02	0.493	0.279
LMA_{ln}	2002	5.05	0.732	0.519
NA_{ln}	2002	5.01	0.716	0.502
LM_{ln}	2002	5.05	0.462	0.254
LS_{ln}	2002	5.20	0.653	0.419

For h^2_0, dominance variance was assumed to be zero, for $h^2_{1/2}$, dominance variance is half of the additive variance; n_o correspond
mean number of cuttings per clone



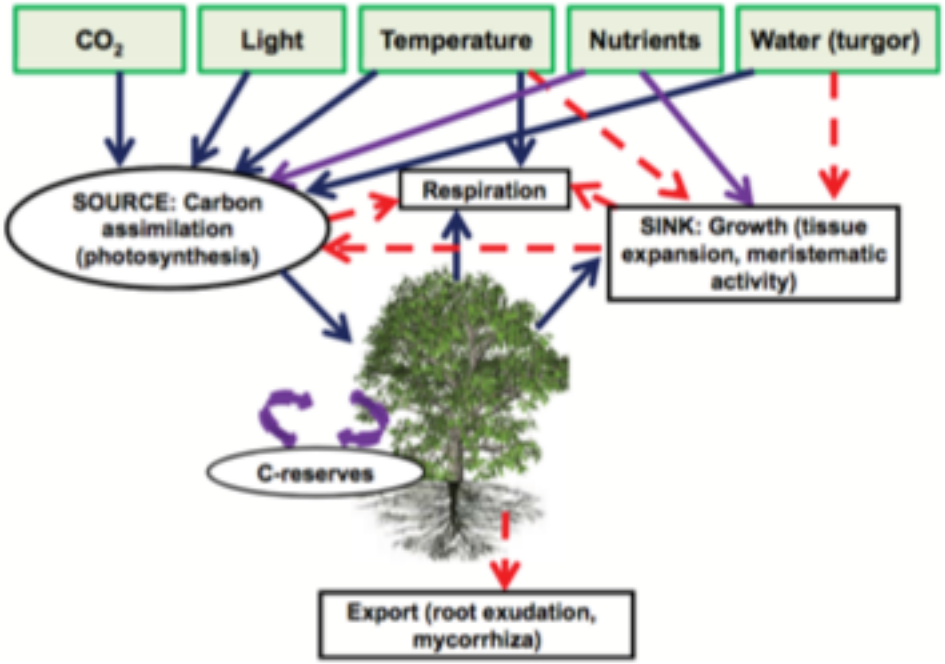
Brendel et al., 2007

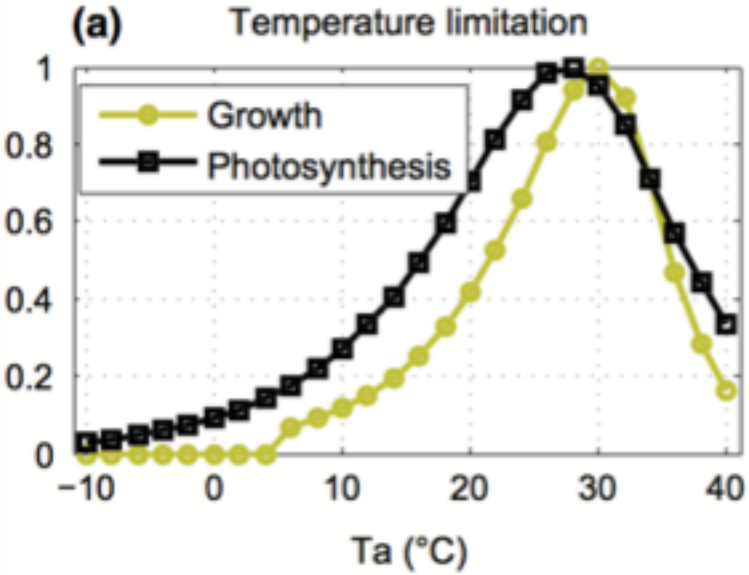
Des traits à la croissance: un cadre conceptuel solide

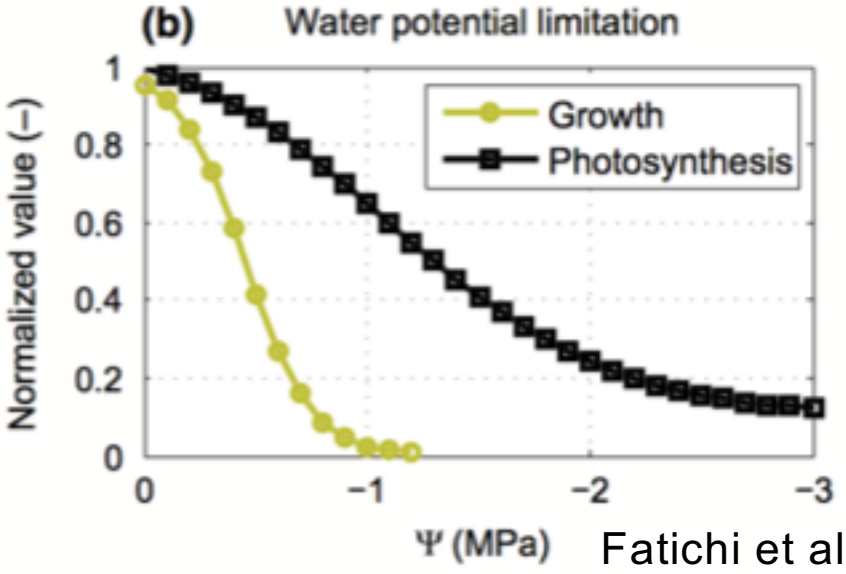


2.1 Comment coupler écophysiologie et démogénétiques

Des traits à la croissance

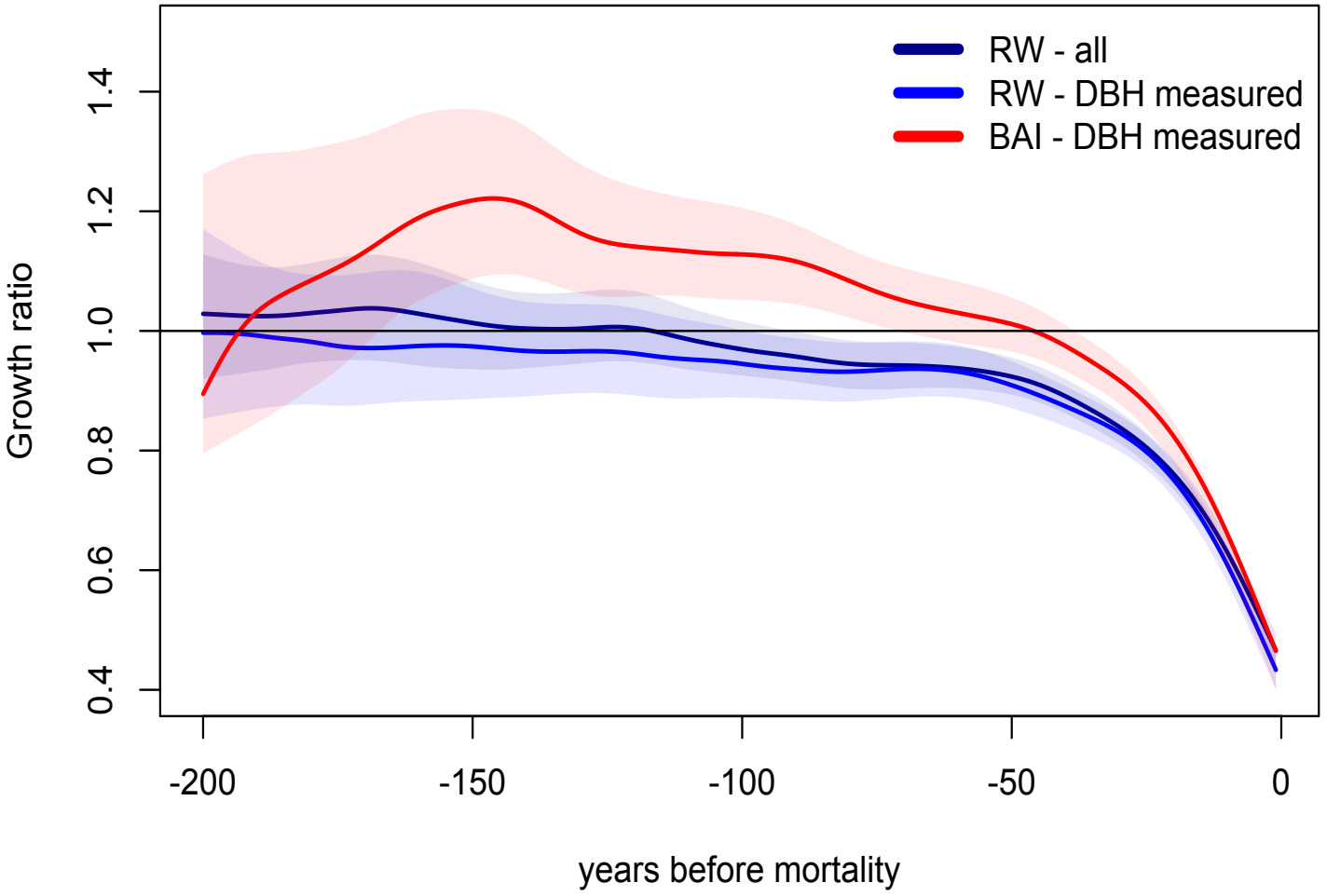






Fatichi et al. 2014

De la croissance à la valeur sélective: reproduction et survie

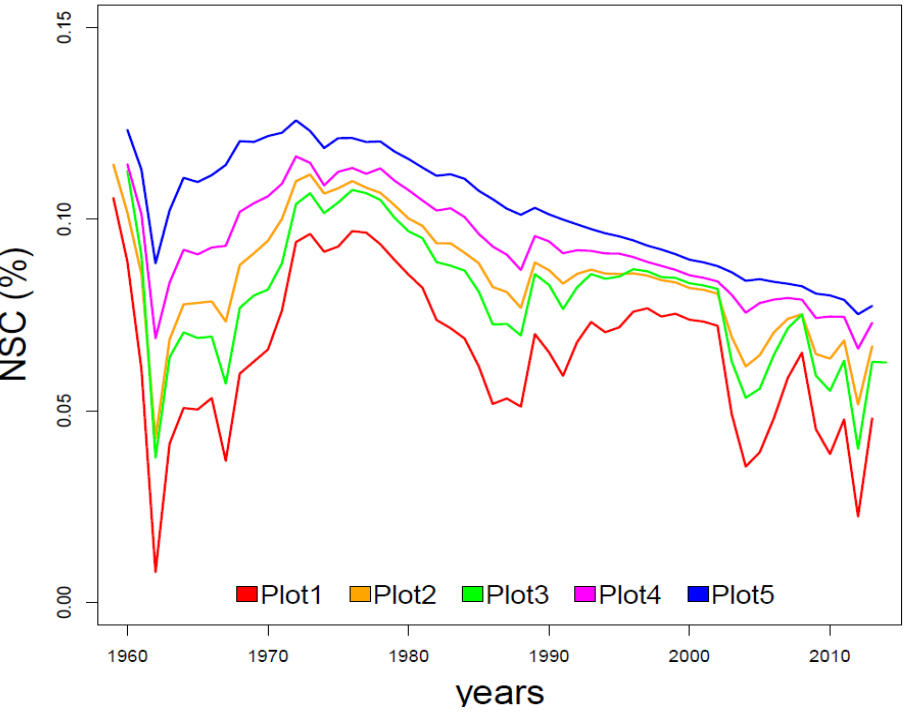


Cailleret et al. 2017

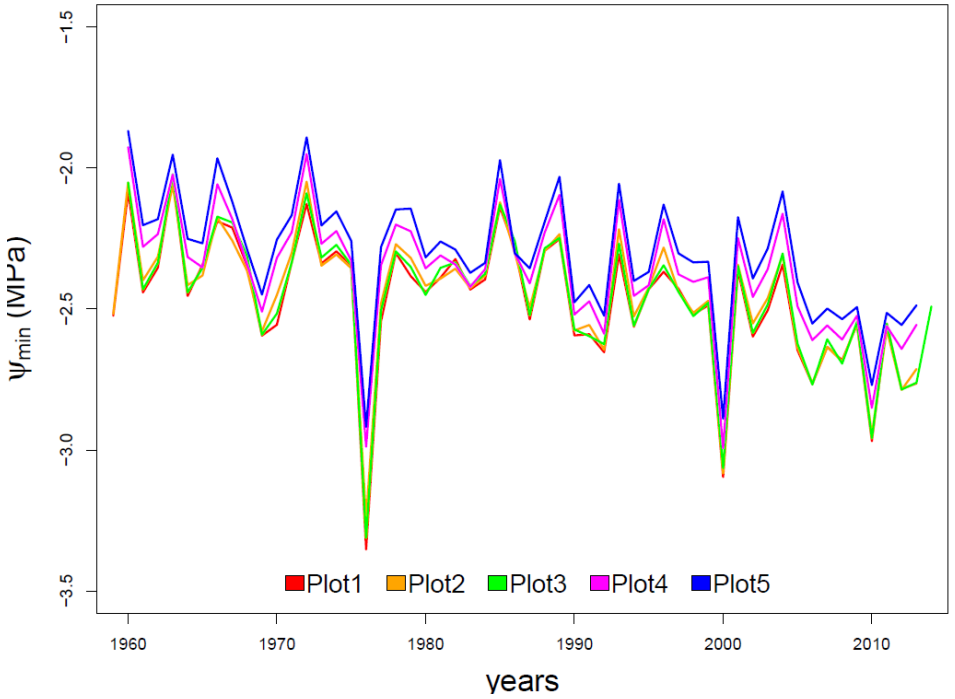
2.1 Comment coupler écophysiologie et démogénétiques

De la croissance à la valeur sélective: reproduction et survie

Non-Structural Carbohydrate (NSC) concentration



Leaf water potential



Davi & Cailleret 2017



2.2 Avantages et limites des modèles de simulation

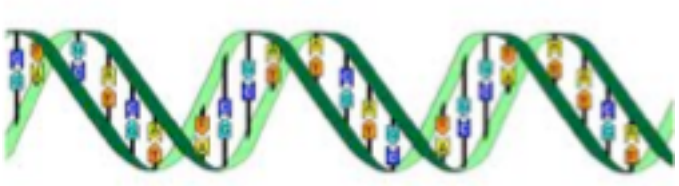
« Un modèle est une abstraction qui simplifie le système réel étudié en ignorant de nombreuses caractéristiques du système réel étudié, pour se focaliser sur les aspects qui intéressent le modélisateur et qui définisse la problématique du modèle ».

- Outil théorique
- Outil méthodologique
- Outil synthétique
- Outil prédictif
- Outil diagnostique
- Outil pour la gestion

2.2 Avantages et limites des modèles de simulation

Recherche fondamentale dont les barrières disciplinaires sautent

Données « haut débit »



Accroissement des capacités de calcul

Pression sociétale: transfert entre recherche fondamentale et recherche appliquée: **comprendre pour prédire**



2.2 Avantages et limites des modèles de simulation

Les modèles de simulation permettent:

1. De connecter des champs disciplinaires variées (e.g modèles climatiques)
2. D'absorber une importante quantité de données (e.g satellite, images diverses, génomes)
3. De prédire l'évolution des systèmes et d'être des outils d'aide à la décision et à la gestion adaptative

Posent questions épistémiques:

- Réalité et pluralité des modèles
- Référence des entités théoriques
- Place des modèle .vs. théorie .vs. observations et l'expérimentation

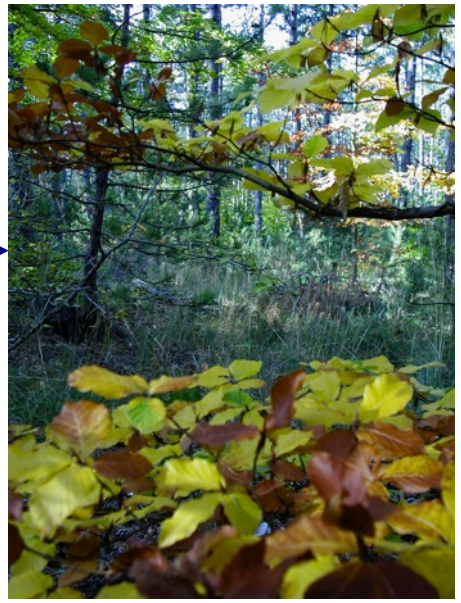
2.2 Avantages et limites des modèles de simulation

Prédire **l'évolution** d'un écosystème, d'une population ou des flux de matière pour aider à la gestion

question



réalité



Modèles théoriques **Modèles « de simulation »**

2.2 Avantages et limites des modèles de simulation

Tradition phénoménologique

Tradition mécaniste

Σ Relations purement statistiques

Précisions

Robustesse

Σ Relations physiques et physiologiques



Environnement / sites stables
Moins de paramètres
Grand nombre de données

Environnement changeant
Beaucoup de paramètres
Moins de données



2.2 Avantages et limites des modèles de simulation

Les modèles en écologie

Modèles empiriques: proximité aux faits

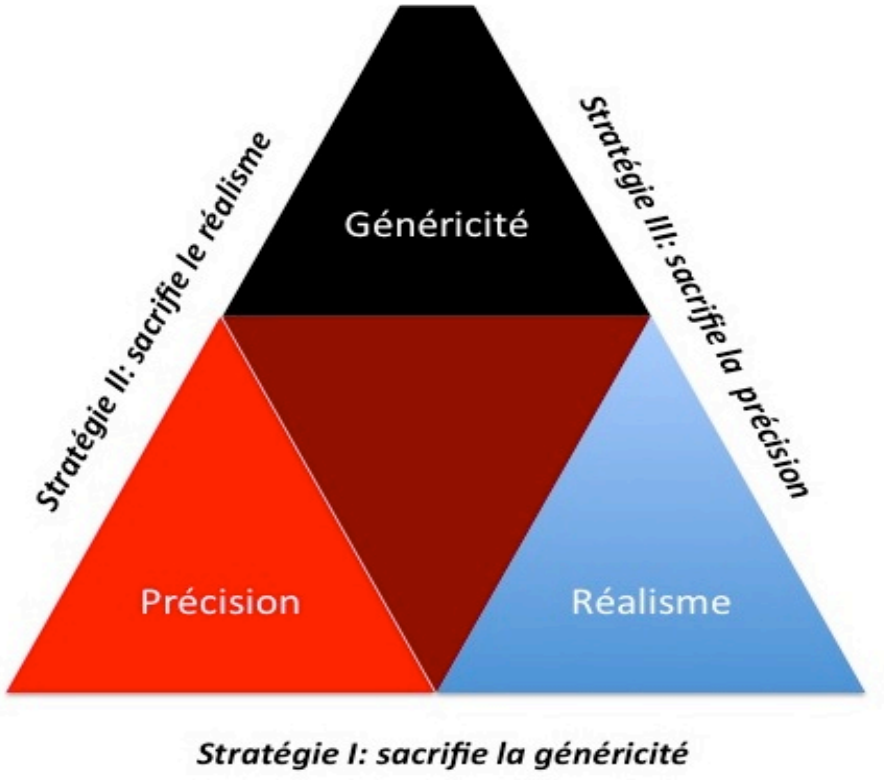
Modèles théoriques: proximité aux théories

Modèles de simulations: médiateur entre les deux.

Reprinted from AMERICAN SCIENTIST, Vol. 54, No. 4, December 1966

THE STRATEGY OF MODEL BUILDING IN POPULATION BIOLOGY

By RICHARD LEVINS



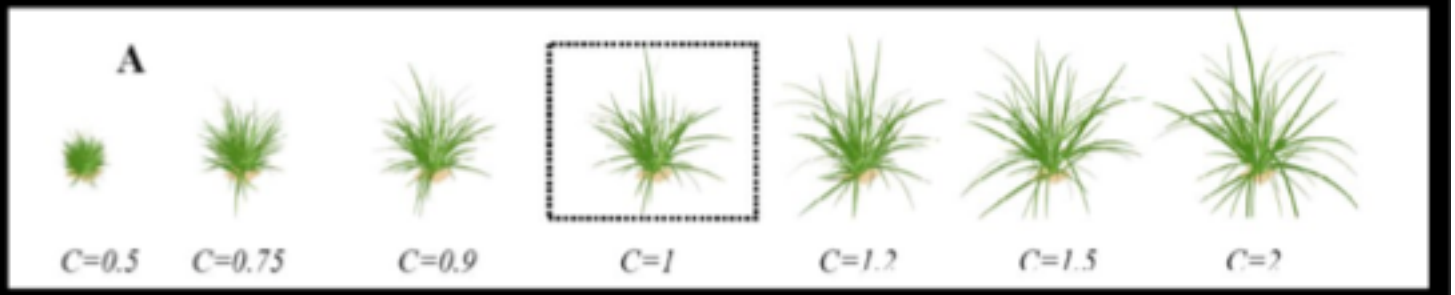
Davi (2012)

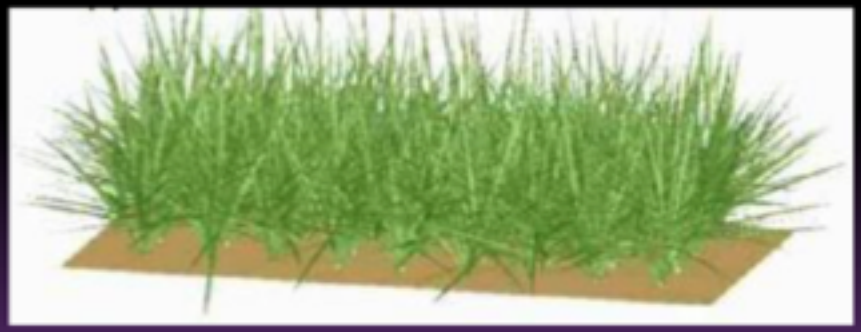
Triangle de Levins: la logique du sacrifice

2.3 Ecophysiologie des populations en prairie

Modèle morphogénèse au sein d'une population

Modèle Morphogenèse

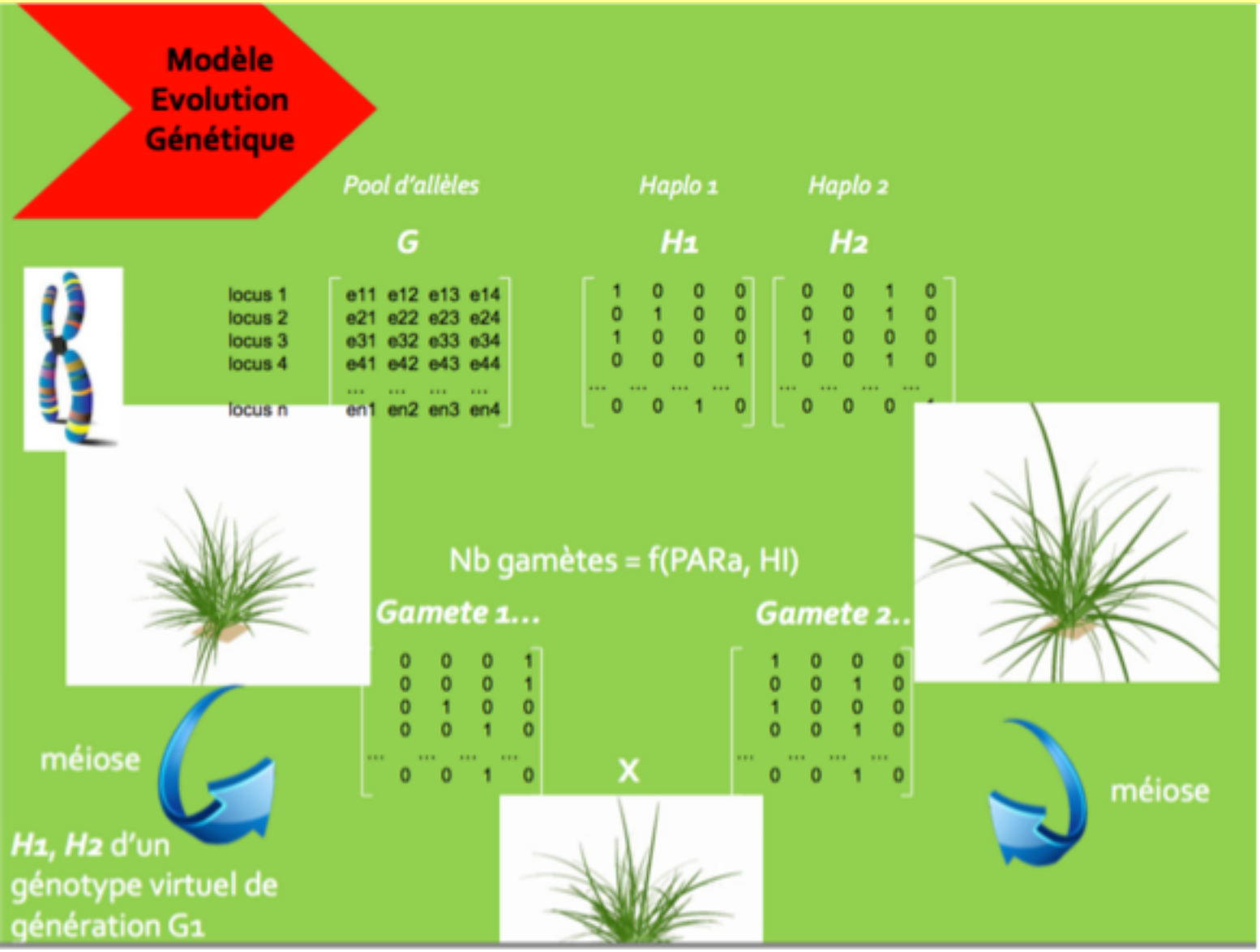




Compétition pour la lumière (couplage avec modèle de rayonnement)

I. Litrico, D. Combes, Ph. Barre, A.J. Escobar-Gutiérrez, G. Louarn L. Sanchez

2.3 Ecophysiologie des populations en prairie



I. Litrico, D. Combes, Ph. Barre, A.J. Escobar-Gutiérrez, G. Louarn L. Sanchez

2.3 Ecophysiologie des populations en prairie

Evolution de la structuration génétique

Sim

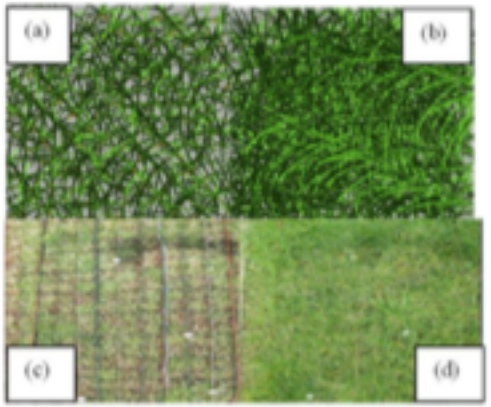


Fig. 3. Illustrations de la population de plantes virtuelles (et (b)) comparée au couvert réel ((c) et (d)). Deux traitements de coupe ont été considérés : fréquente ((a) et (c)) et peu fréquente ((b) et (d)).

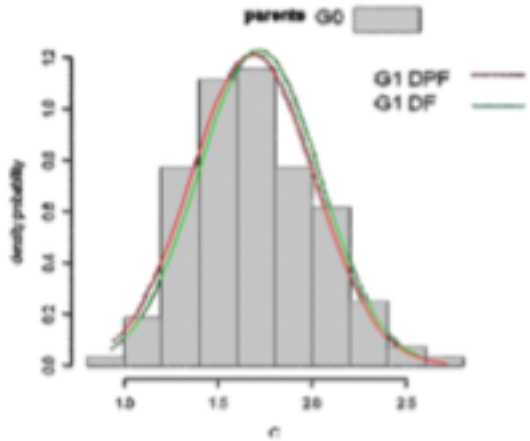
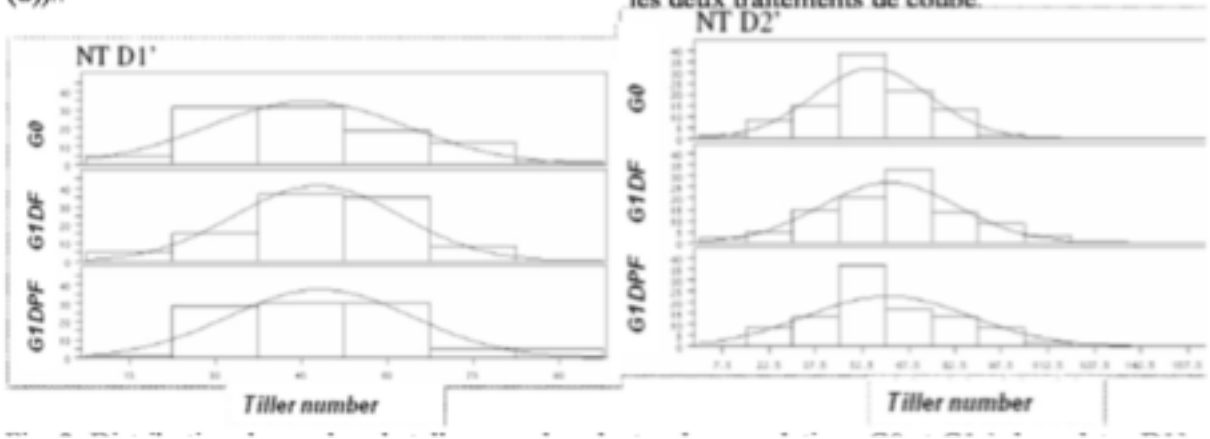


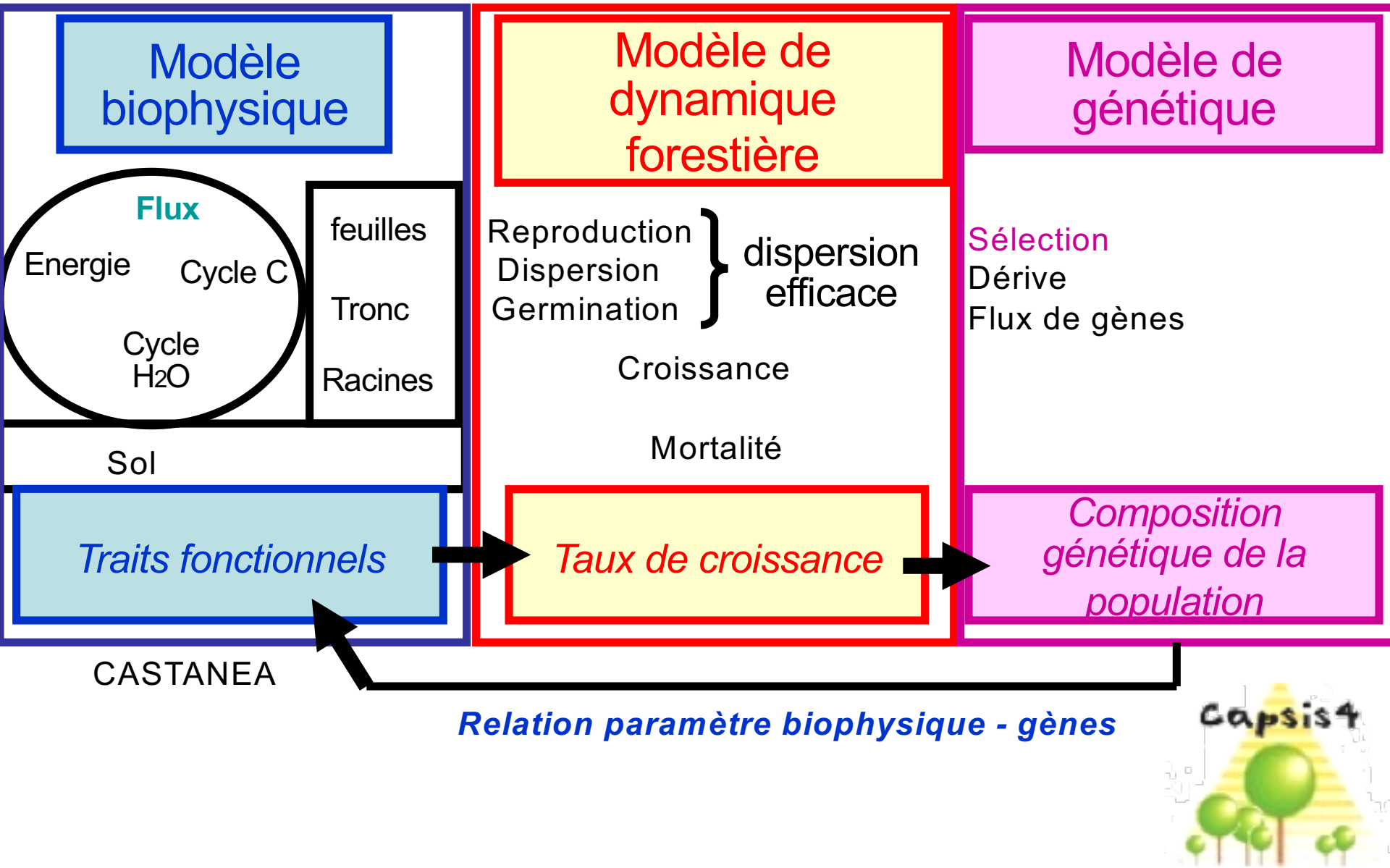
Fig. 4. Evolution du paramètre C du modèle L-Grass permettent de simuler le phénotype, pour la population de plantes de la génération G1 comparée celle de la génération G0 pour les deux traitements de coupe.

Expé



I. Litrico, D. Combes, Ph. Barre, A.J. Escobar-Gutiérrez, G. Louarn L. Sanchez

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: le modèle PDG

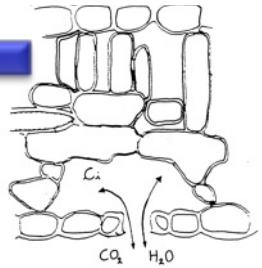


Modèle PDG

Capsis4

CASTANEA

Dufrêne et al. 2005



ADULTES

Fecundity = f(reserves)

Ovules

Pollen

Growth/ mortality

ADULTES

Date de débourrement EUE

Dispersion du pollen

Système de reproduction

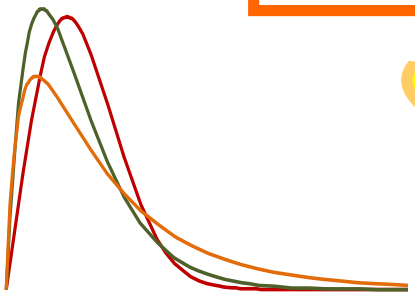
Mortalité densité dépendance

Graines

GENETICS

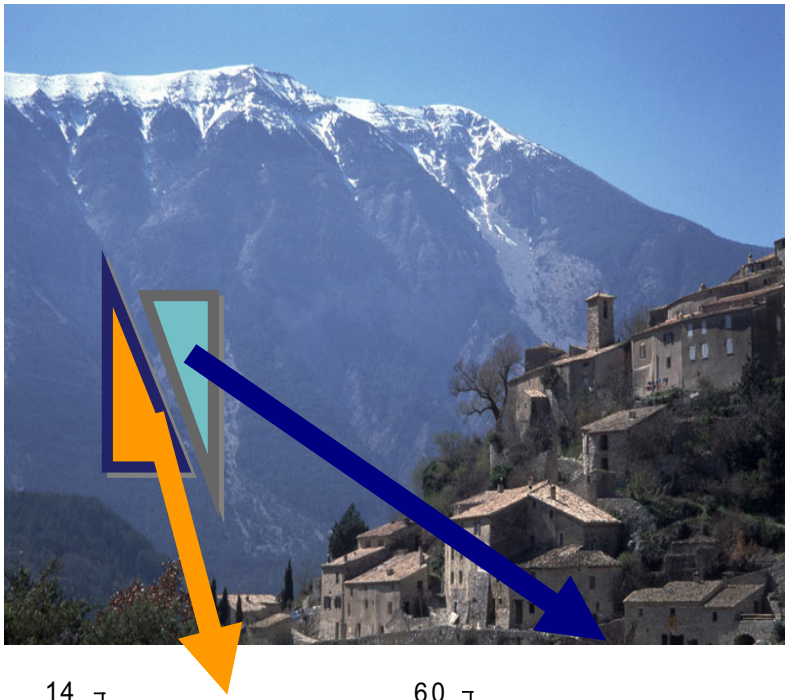
Taux de graines vides, taux de germination, survie

Semins

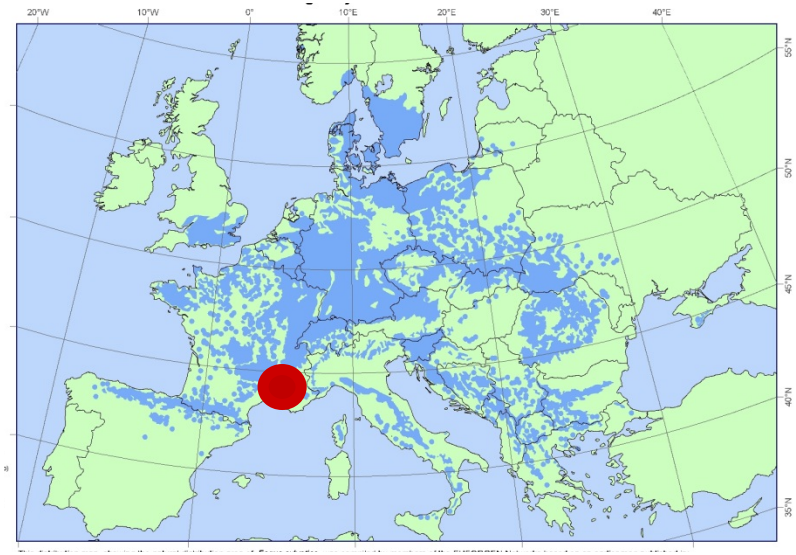


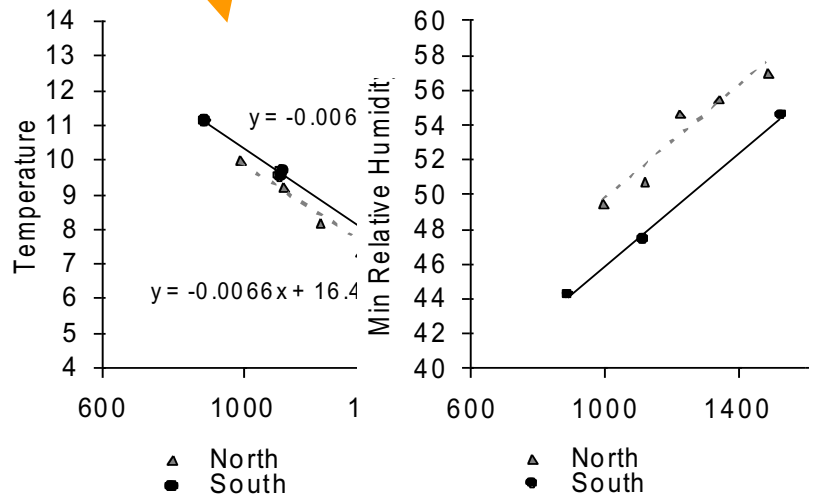
Dispersion des graines

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: le cas d'étude









Date de débourrement (TBB)

Early trees (TBB)

saison de croissance

gel tardif

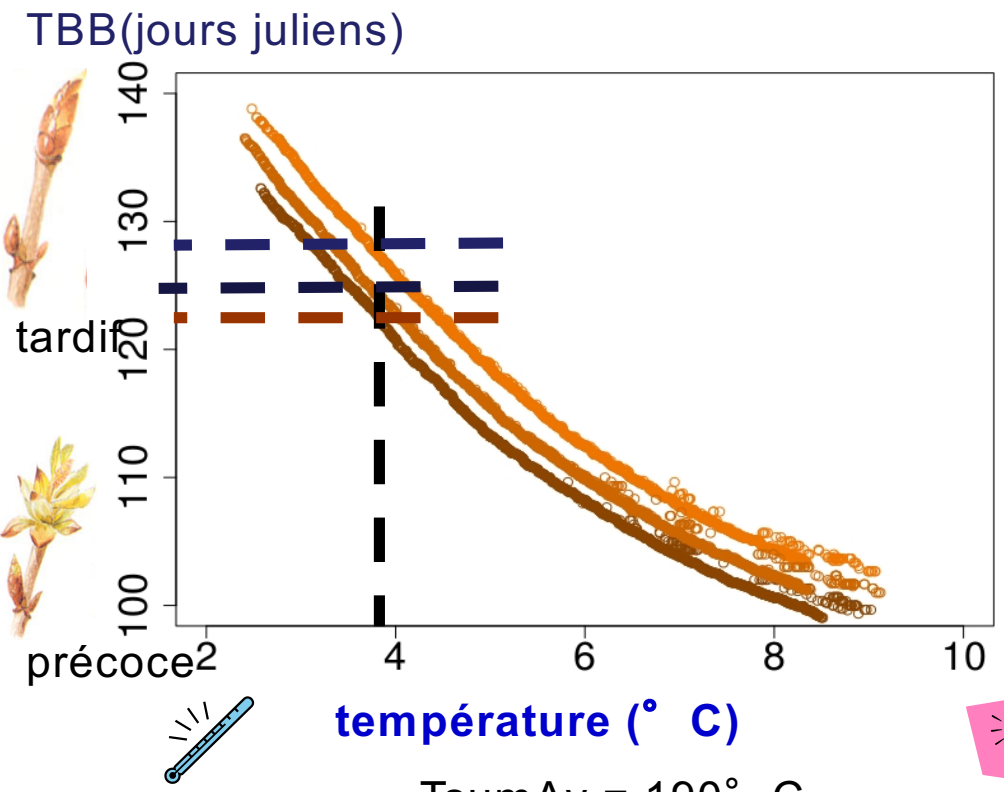


Efficience d'utilisation de l'eau (EUE)

EUE => conservation des ressources

EUE => acquisition des ressources

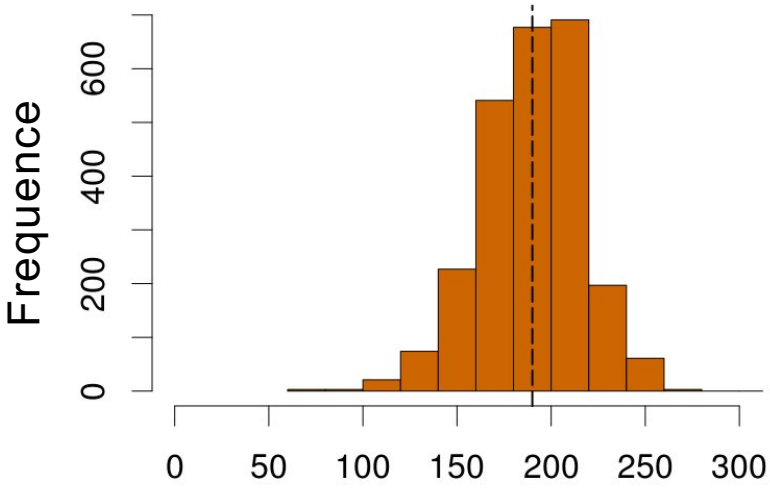
2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: génétique



Differentes **somme des températures requis pour débourrer**

Tsum= 210
Tsum= 190
Tsum= 170

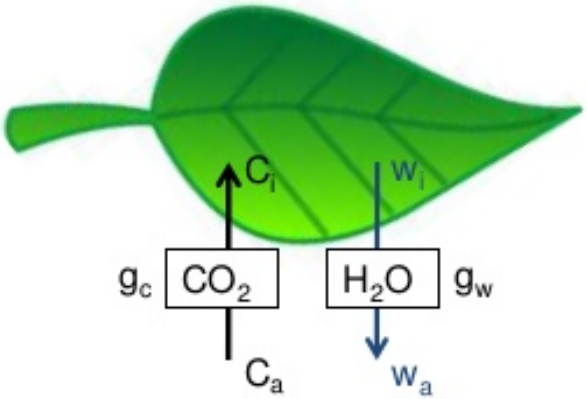
TBB= f(T + Tsum)



The parameter Tsum of the biophysical model is genetically based and variable

- 10 gènes non liés, 2 allèles /gene (=10 SNPs)
- Effet de chaque gène suit une distribution gaussiène

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: génétique



$$g_w = g_0 + g_1 \frac{A \times RH}{c_b}$$

$$WUE_i = \frac{A}{g_w}$$

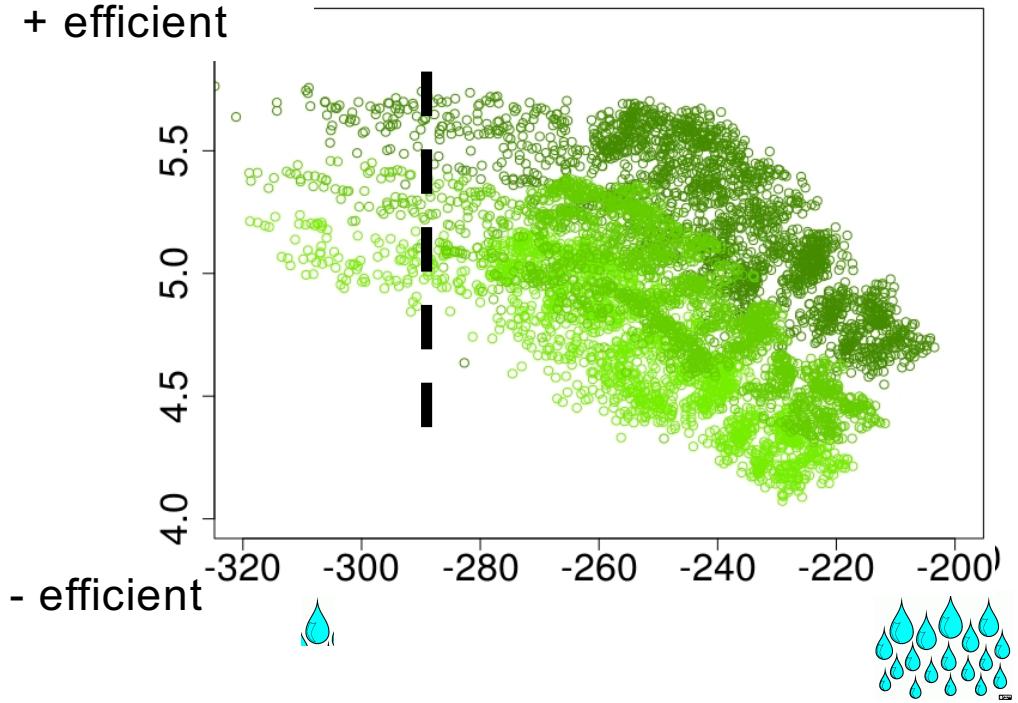
$$\frac{A}{g_w - g_0} = \frac{C_b}{g_1 \times RH}$$

EUE_i si $g_w >> g_0$

Efficience d'utilisation de l'eau (gc.mm^1)

EUE= f(Stress hydrique +g_1)

+ efficient



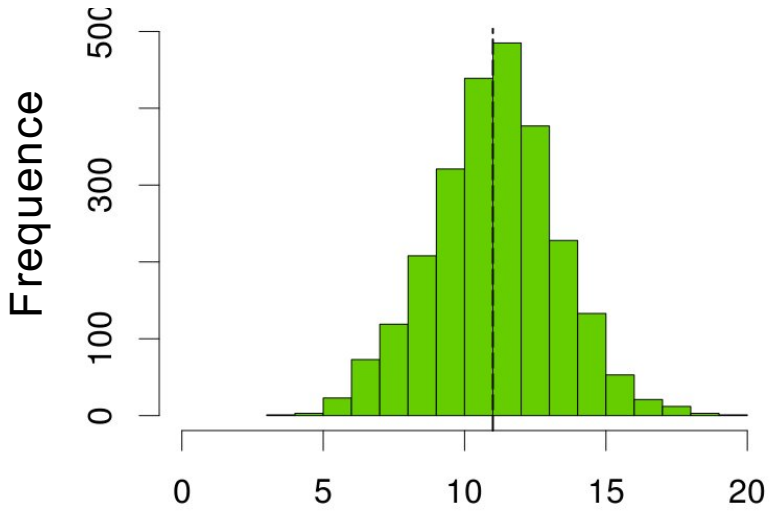
- efficient

Stress hydrique (Mpa)

$g_1 = 9$
$g_1 = 11$
$g_1 = 13$

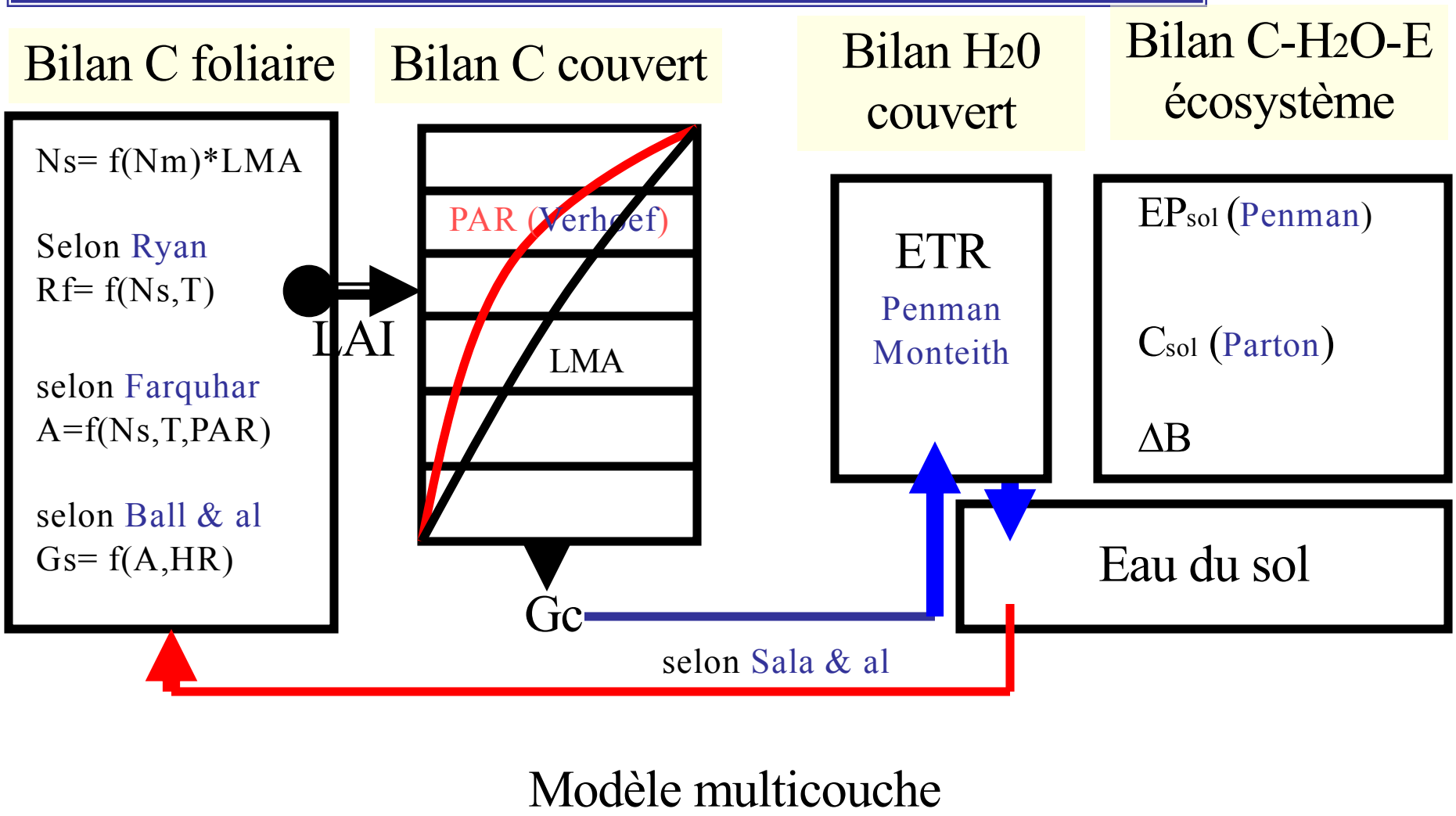
Le paramètre g_1 du modèle biophysique est génétiquement déterminé et variable variable :

g_{1Av}= 11



2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: le modèle de fonctionnement

CASTANEA (**Dufrêne et al., 2005**)

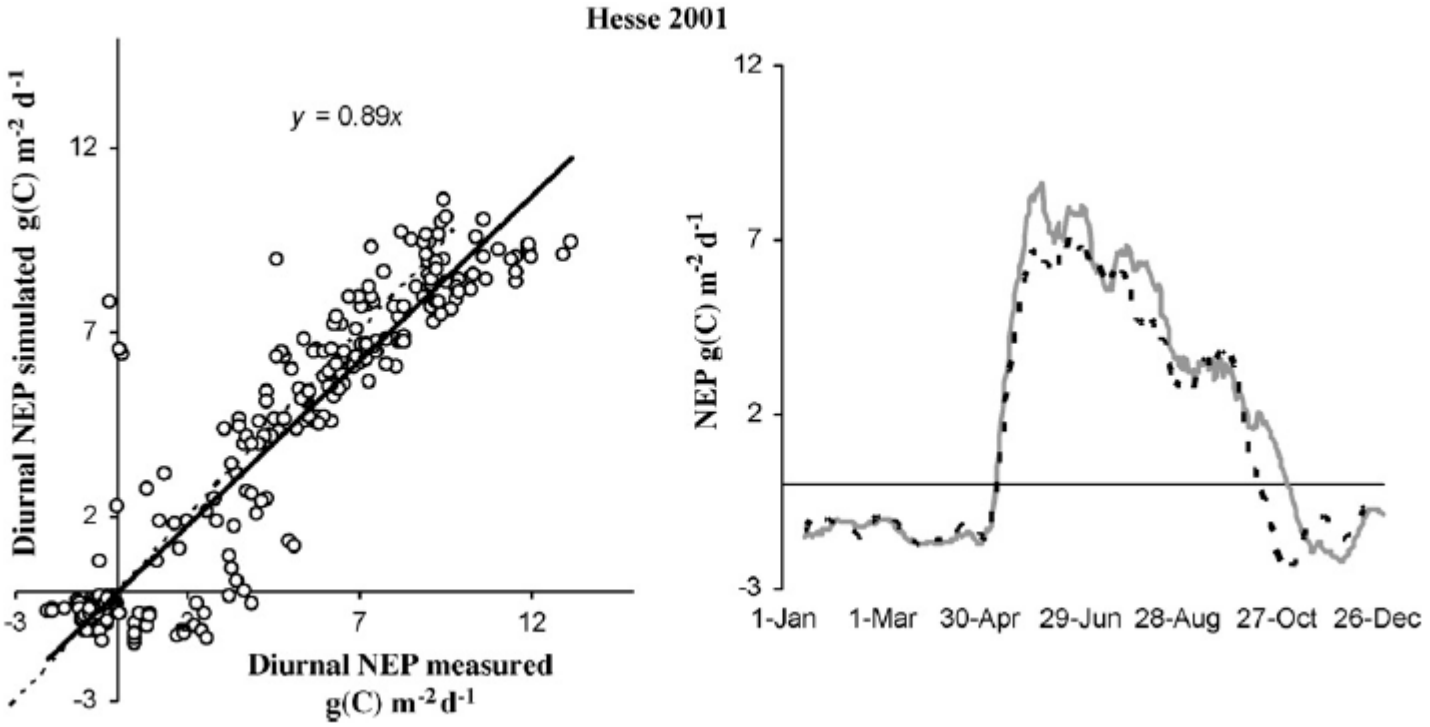


Modèle multicouche

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: paramétrisation & validation

Paramétrisation du modèle

- Paramètres physiques ou physiologiques mesurées
- Calibration avec données indépendantes des données de validation



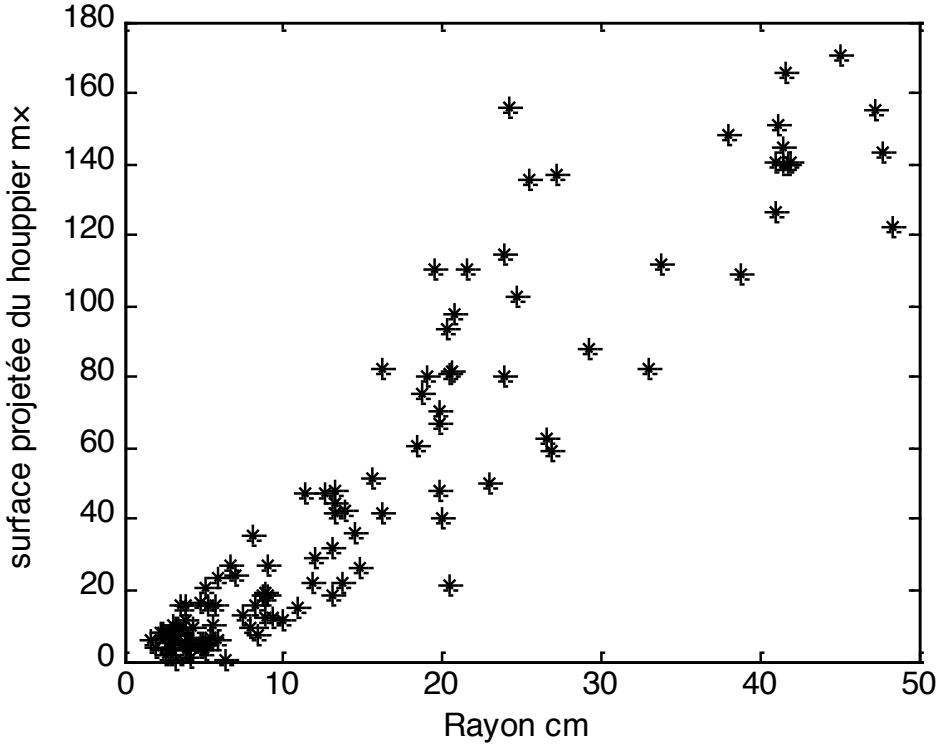
Davi et al., 2006

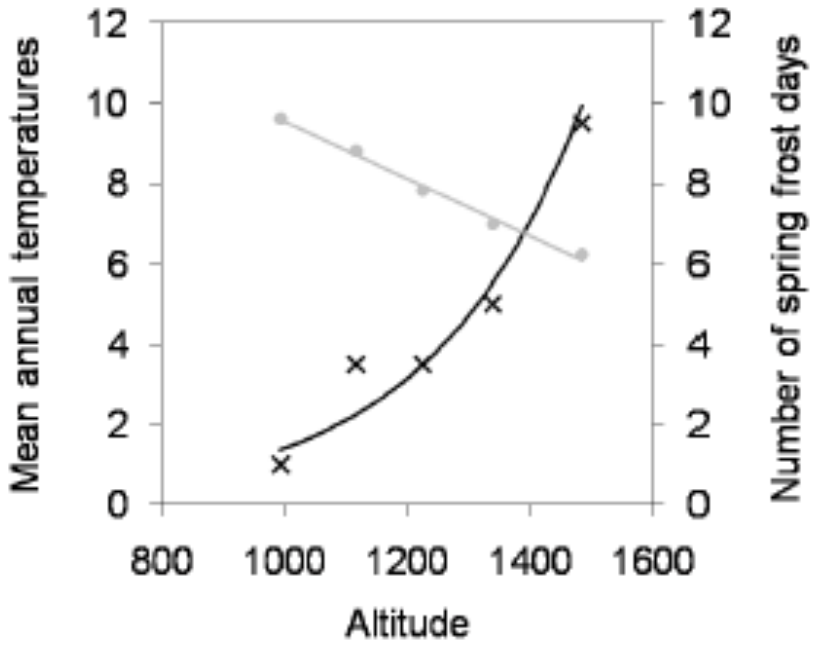
calibration / validation

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: adaptation

Adaptation pour l'approche PDG (physio-démo-génétique)

- Passer à un modèle « arbre centré » dont la surface de cellule= projection de houppier
- Relation diamètre –projection de Houppier - LAI
- Chaque arbre est soumis à un climat en fonction de l'altitude
- Effet gel tardif (lors du débourrement sur le LAI)
- Modèle de reproduction en fonction du taux de réserves

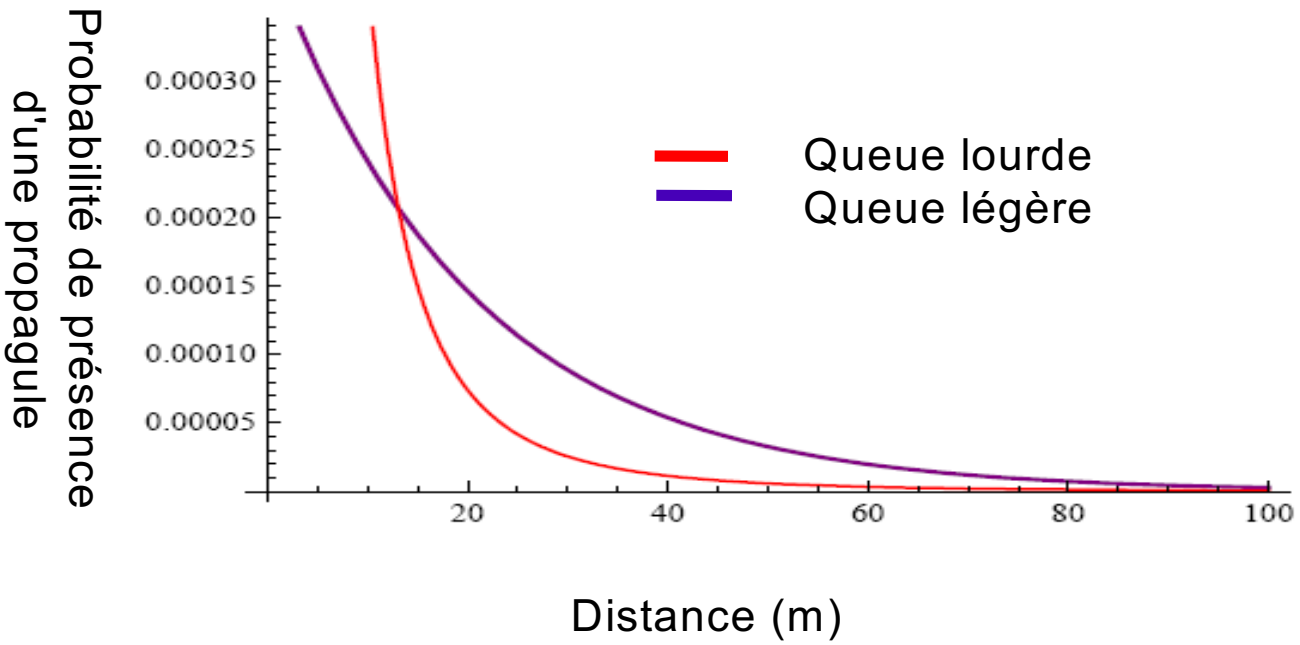




Cailleret & Davi 2010

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: le modèle de dynamique

Densité de probabilité de la position finale de la propagule émise (pollen ou graine) relativement à la position de l'adulte dont elle est issue.



Famille des exponentielles puissance

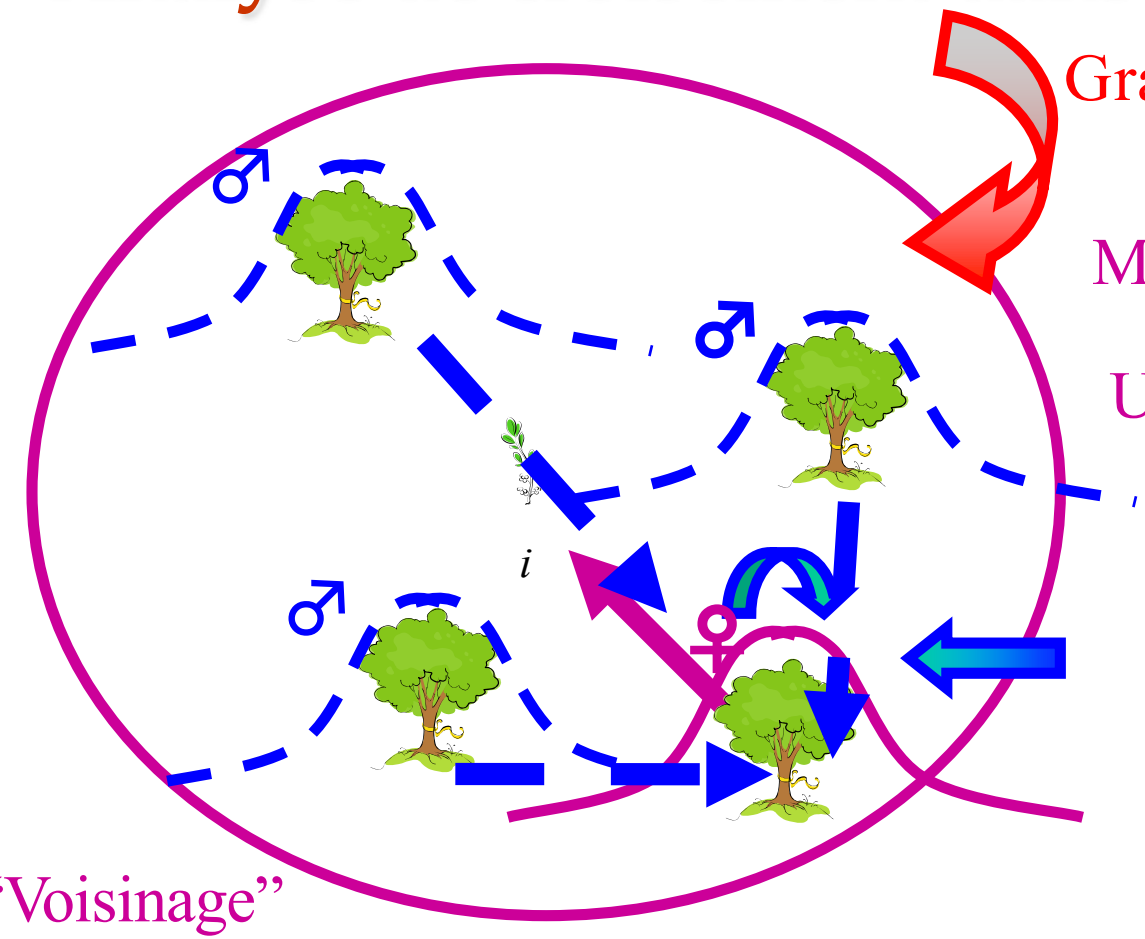
$$p(a,b;x,y) = \frac{b}{2\pi a^2\,\Gamma(2/b)} \exp\left(-\left(\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{a}\right)^b\right)$$

b = paramètre de forme

a = paramètre d'échelle, proportionnel à D, distance moyenne de dispersion

Aurore Bontemps 2010

Analyse de croisement dans le voisinage



Graines migrantes (m_s)

Mère locale (1-m_s)

Une mère donnée j (π_{sij})

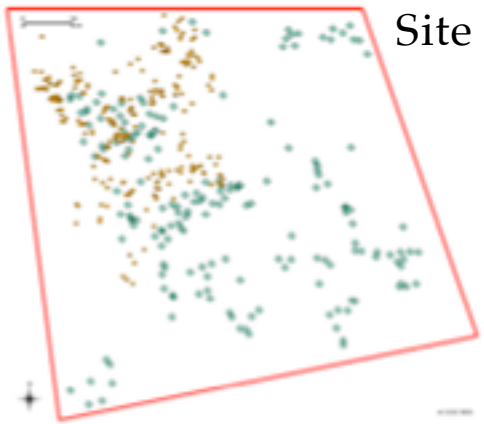
- Autofécondation (s)
- Pollen migrant (m_p)
- Pollinisée par un male local *k* (π_{pjk})

"Voisinage"

⇨ **Estimation des fonctions de dispersion et de tous les paramètres** à partir des données de génotypes et coordonnées spatiales des semis, sachant les génotypes et coordonnées des adultes

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: le modèle de dynamique

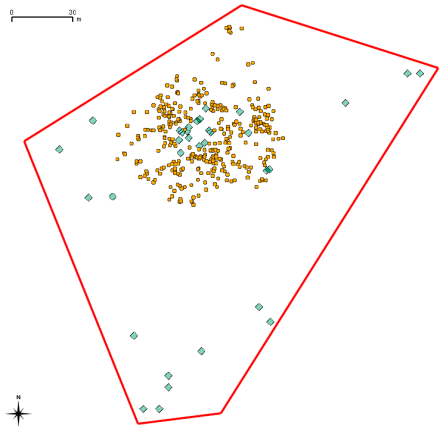
Sites d'étude: Localisé sur le Mont Ventoux



Site 1

4 ha
194 adultes

257 semis
1100m alt



Site 2

1.5 ha
46 Adultes

357 semis
1500m alt

Deux cohortes de semis

Critère: diamètre au collet.

-de 4 ans, les « jeunes »

4 ans et +, les « vieux »

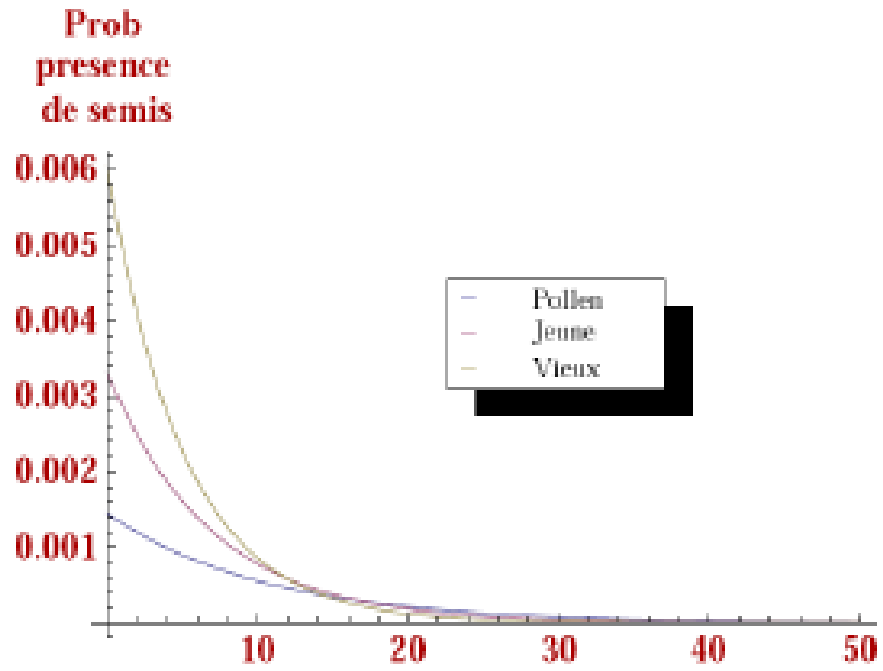
Deux sites avec des conditions environnementales différentes.

11 microsatellites

Probabilité d'exclusion

Un parent = 0.98

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: le modèle de dynamique



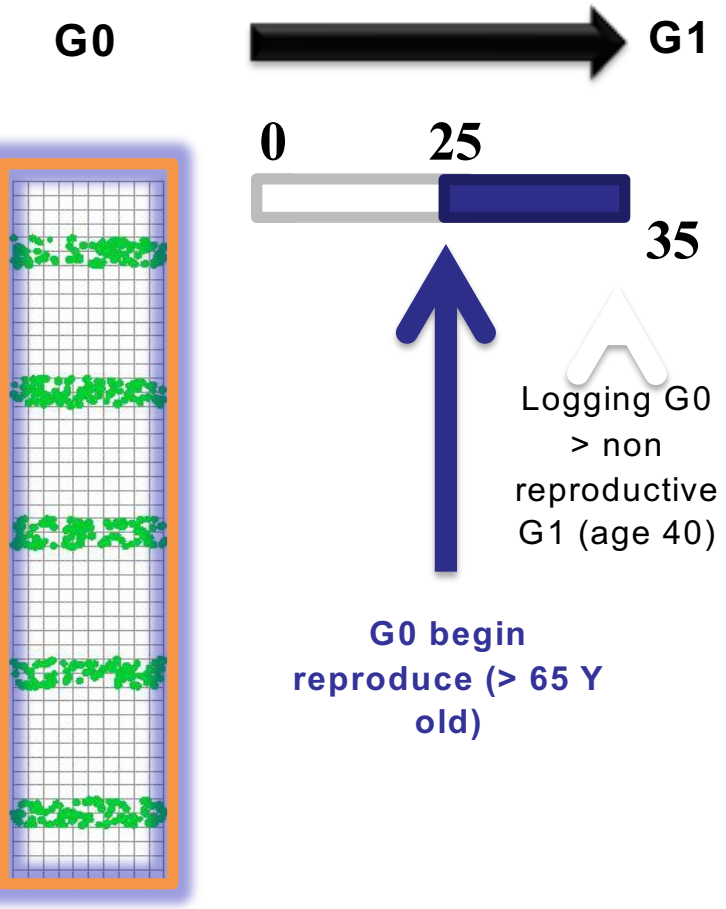
Noyau de dispersion, site 2

	Pollen	Graines	
		Jeune	Vieux
Dist moy	18 m	12 m	7 m
b	1	1	1
Migration	62%	23%	73%

Valeur des paramètres de dispersion, site 2

- Distance de dispersion faible
- Queue de dispersion lourde sur le site 1
- Forte valeur de migration, en particulier pour le pollen
- Différence de dispersion entre les cohortes

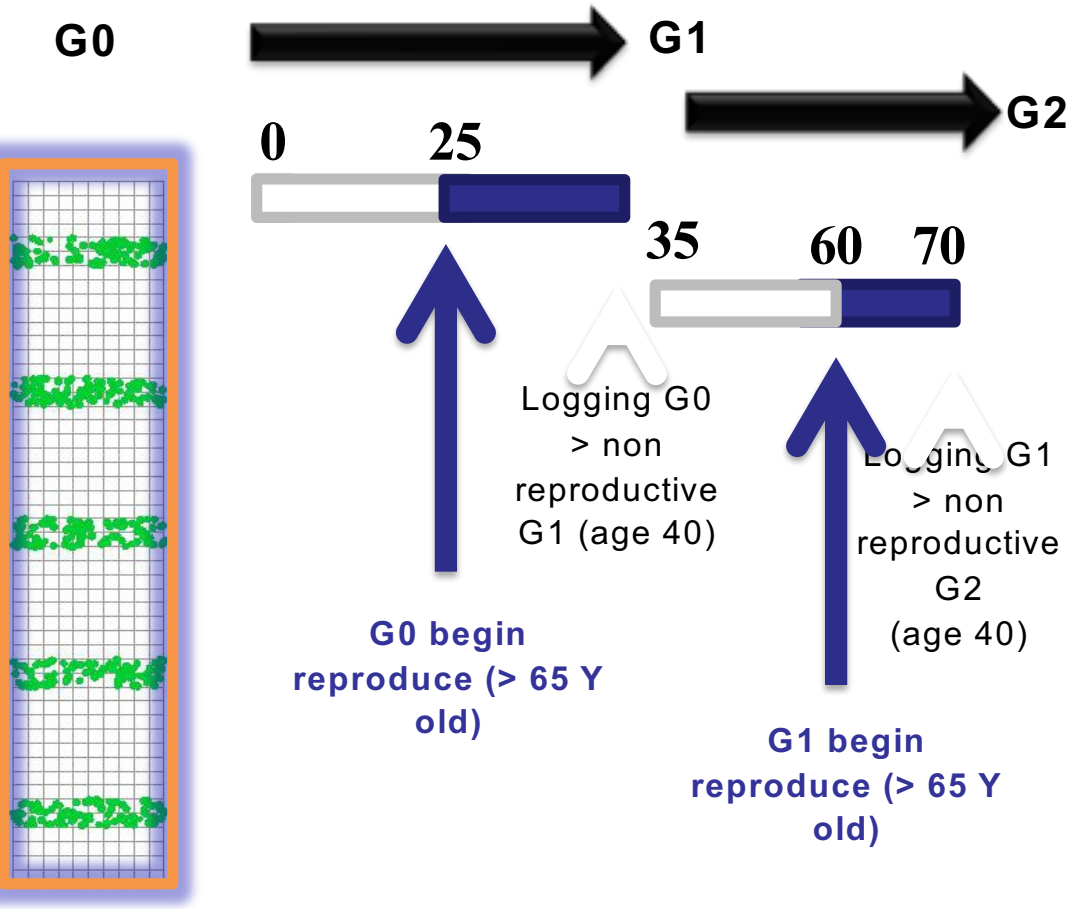
2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: simulation Δ TBB



Plan de simulation: générations non chevauchantes

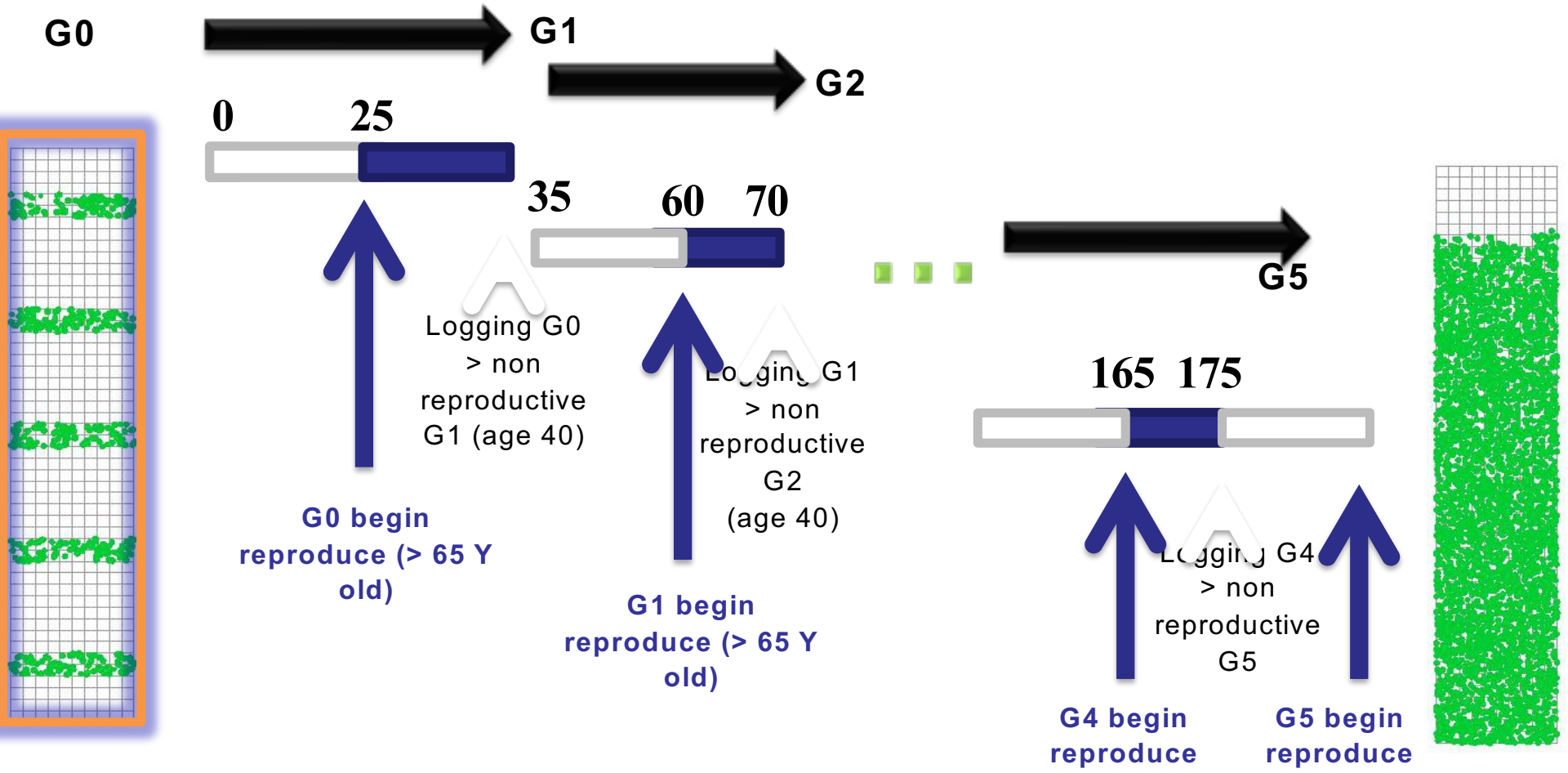
Oddou & Muratorio 2014

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: simulation Δ TBB



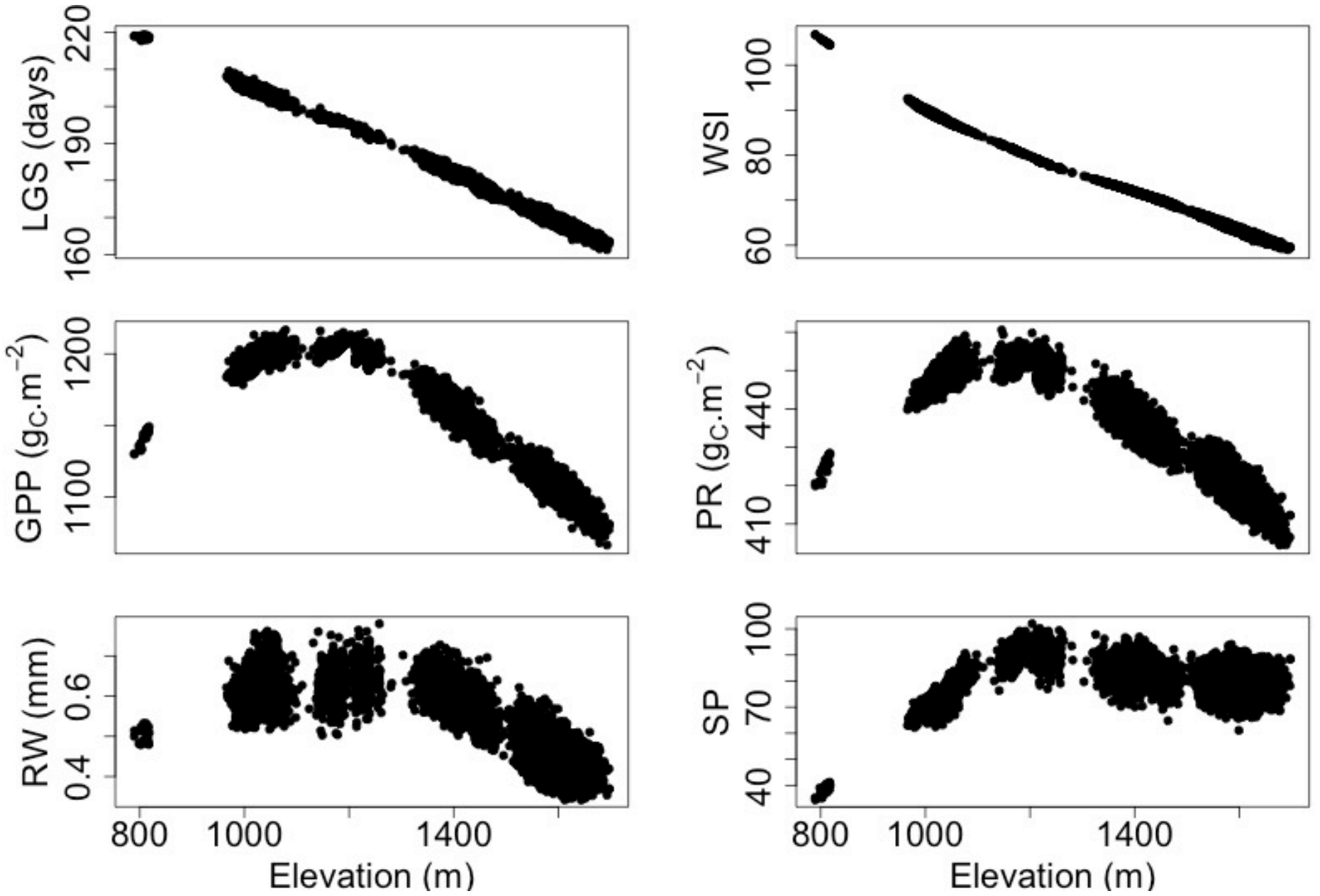
Plan de simulation: générations non chevauchantes

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: simulation Δ TBB

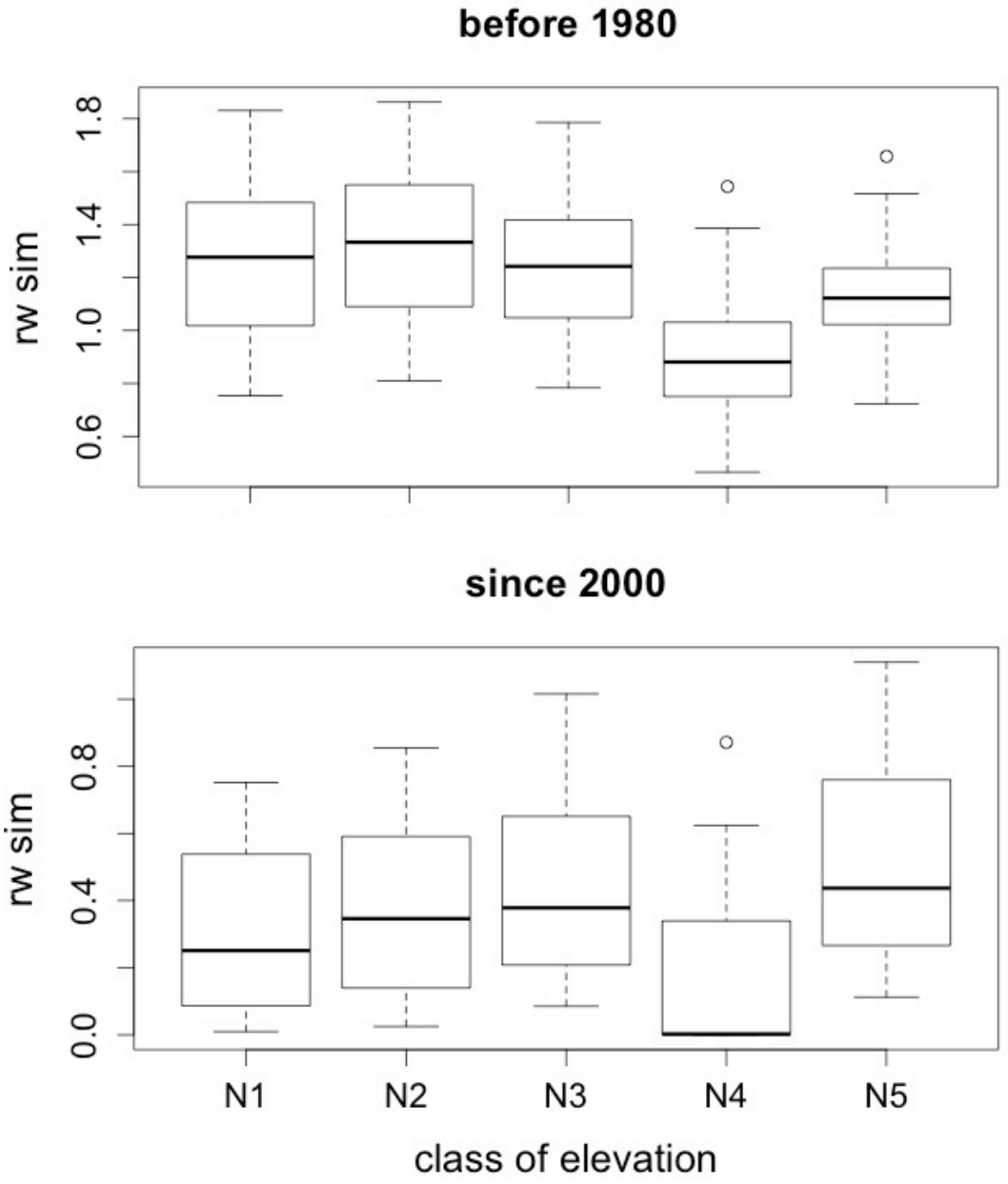


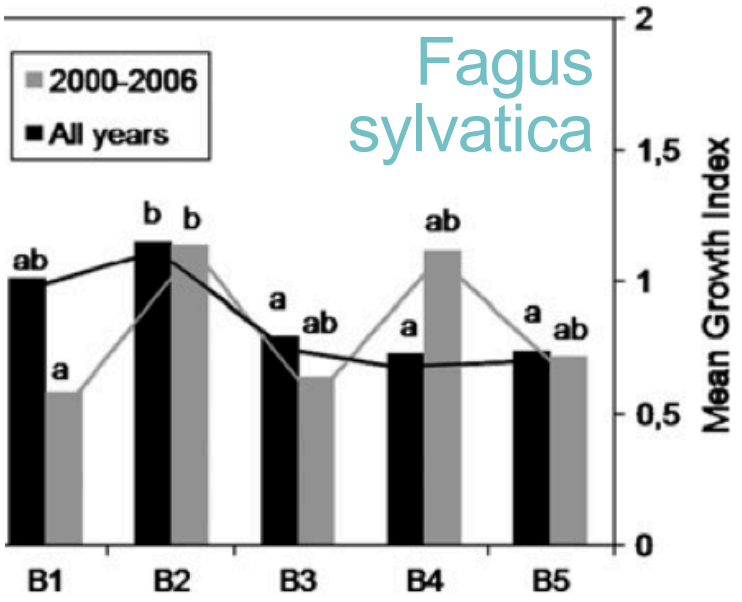
Plan de simulation: générations non chevauchantes

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: simulation Δ TBB



2.4 Ecophysiologie des populations en forêt



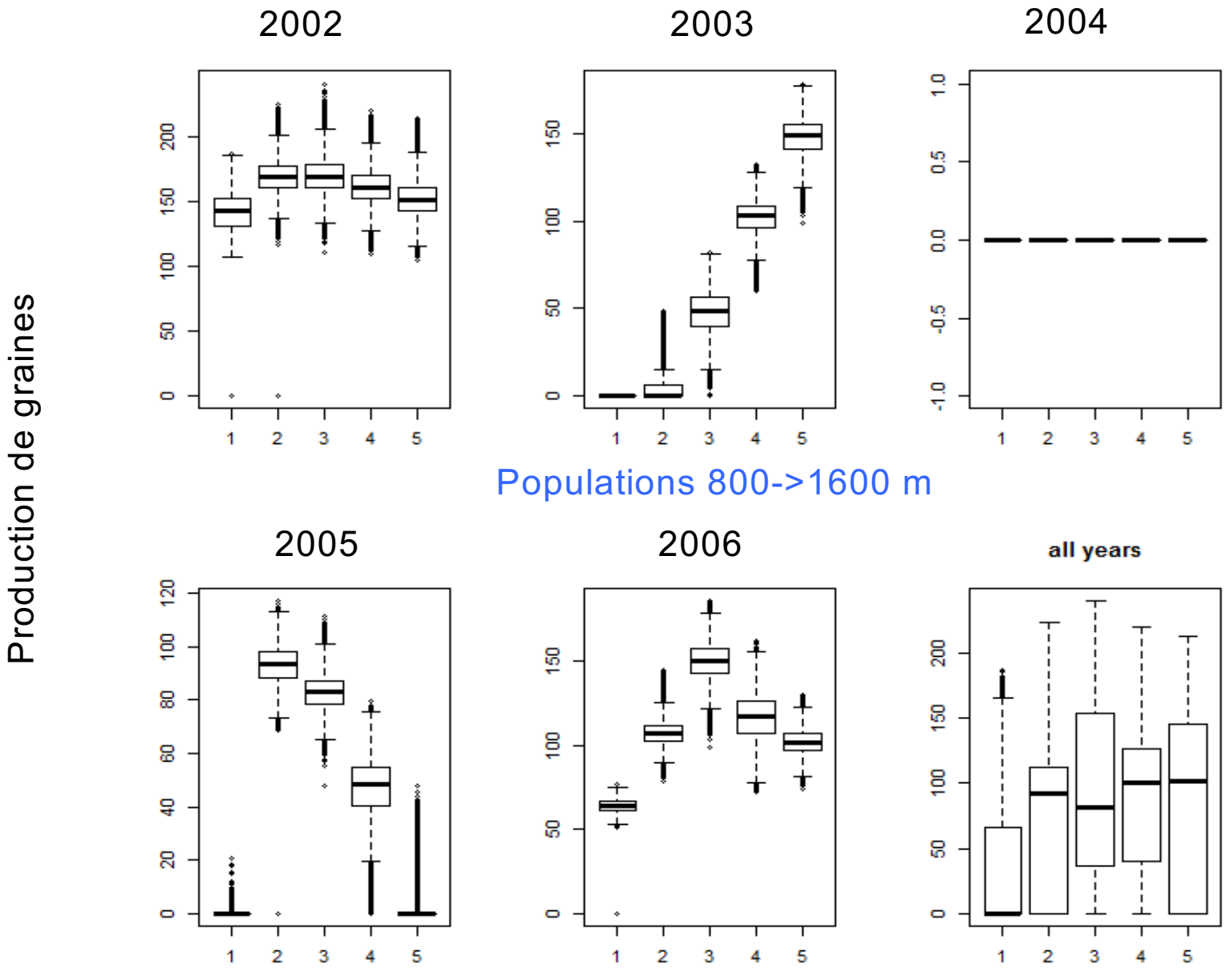


Cailleret & Davi 2011

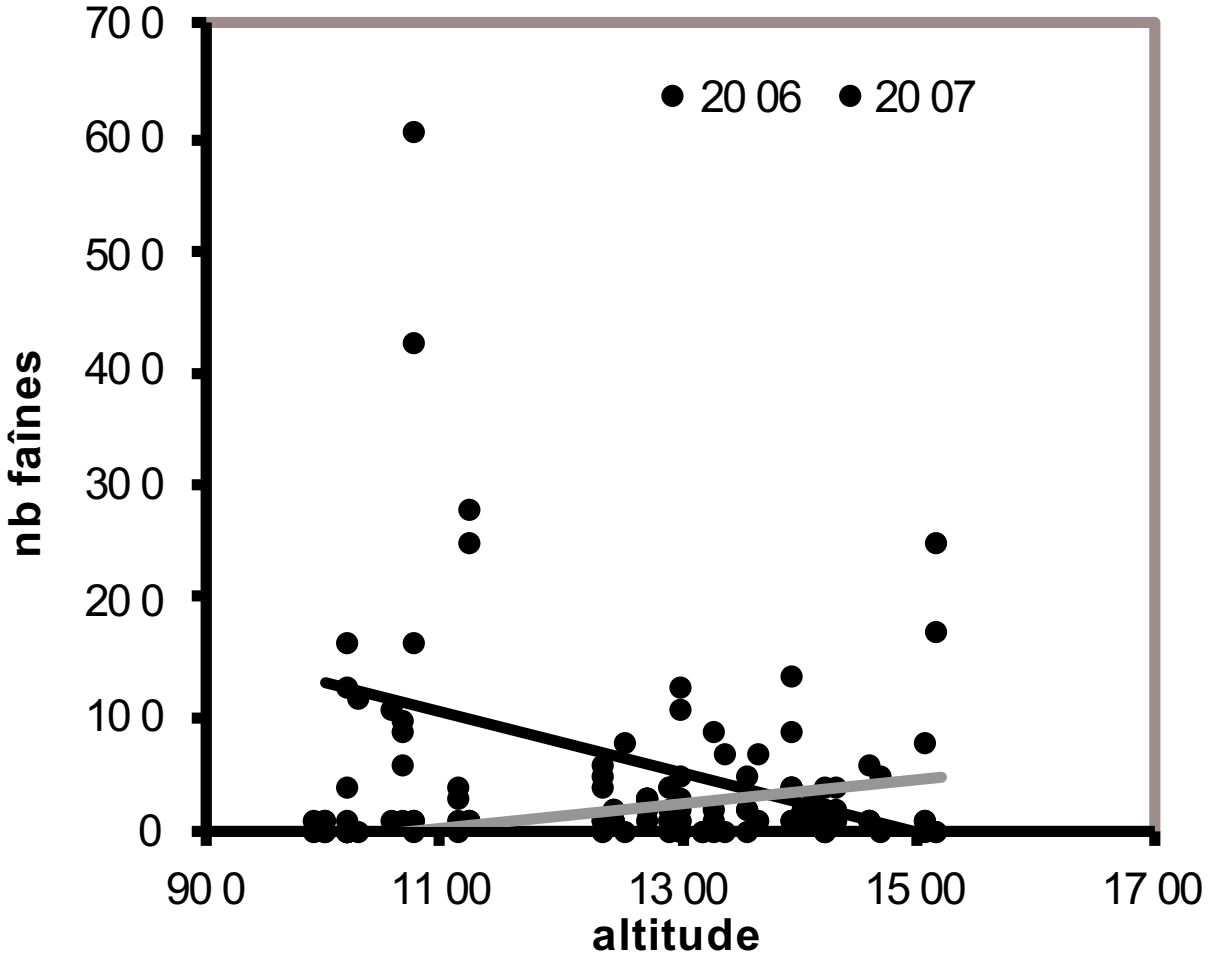
Shift dans les optimums de de croissance est partiellement reproduit

DBH initial= 10cm
RU= 56 mm

2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: simulation Δ TBB

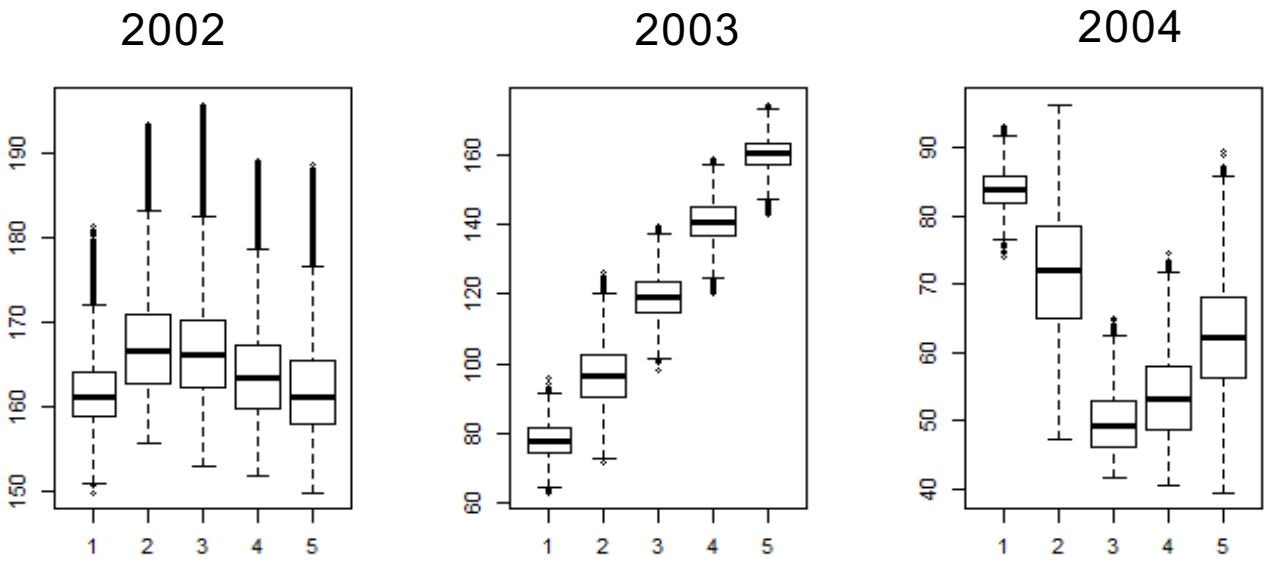


2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: simulation Δ TBB

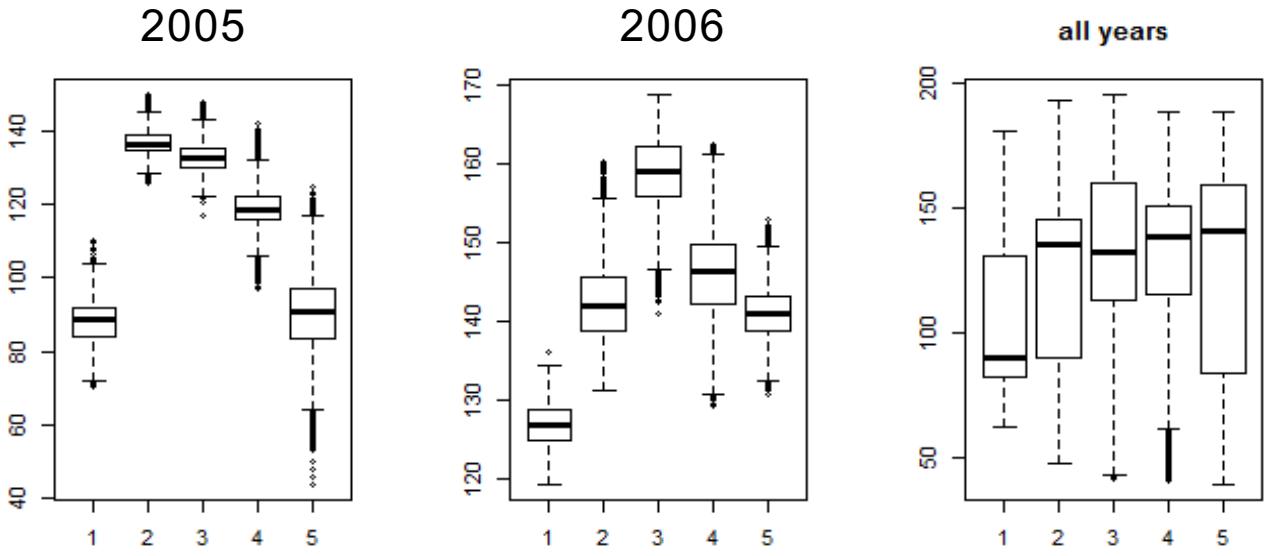


2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: simulation Δ TBB

Réserves carbonés à la fin de l'année



Populations 800->1600 m

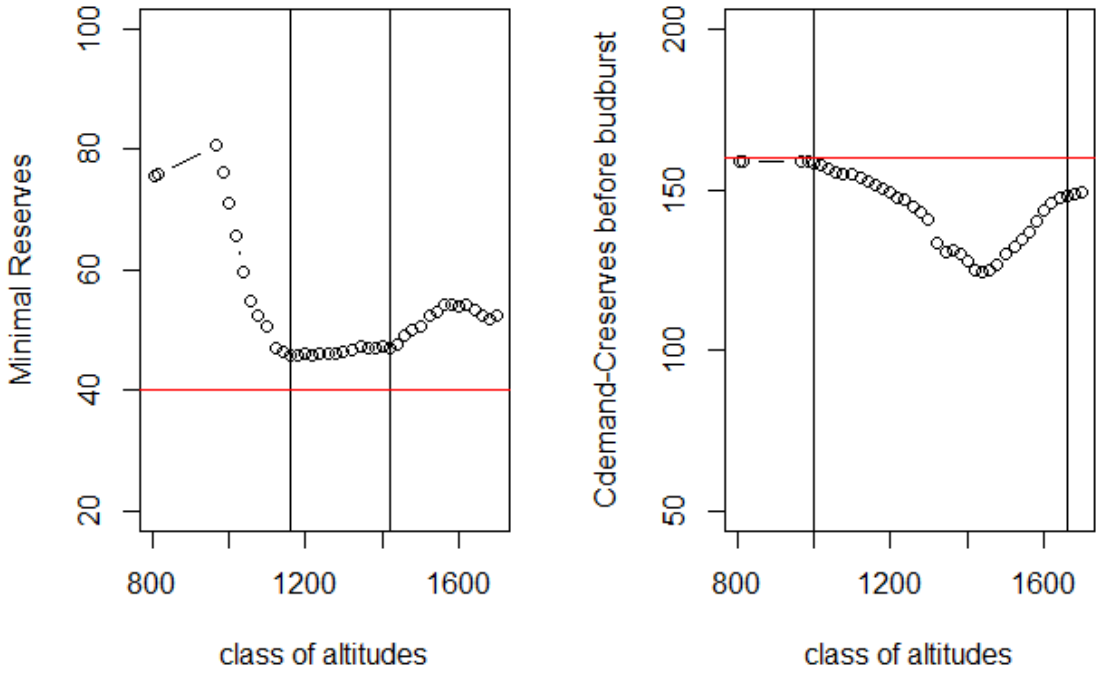


Populations 800->1600 m

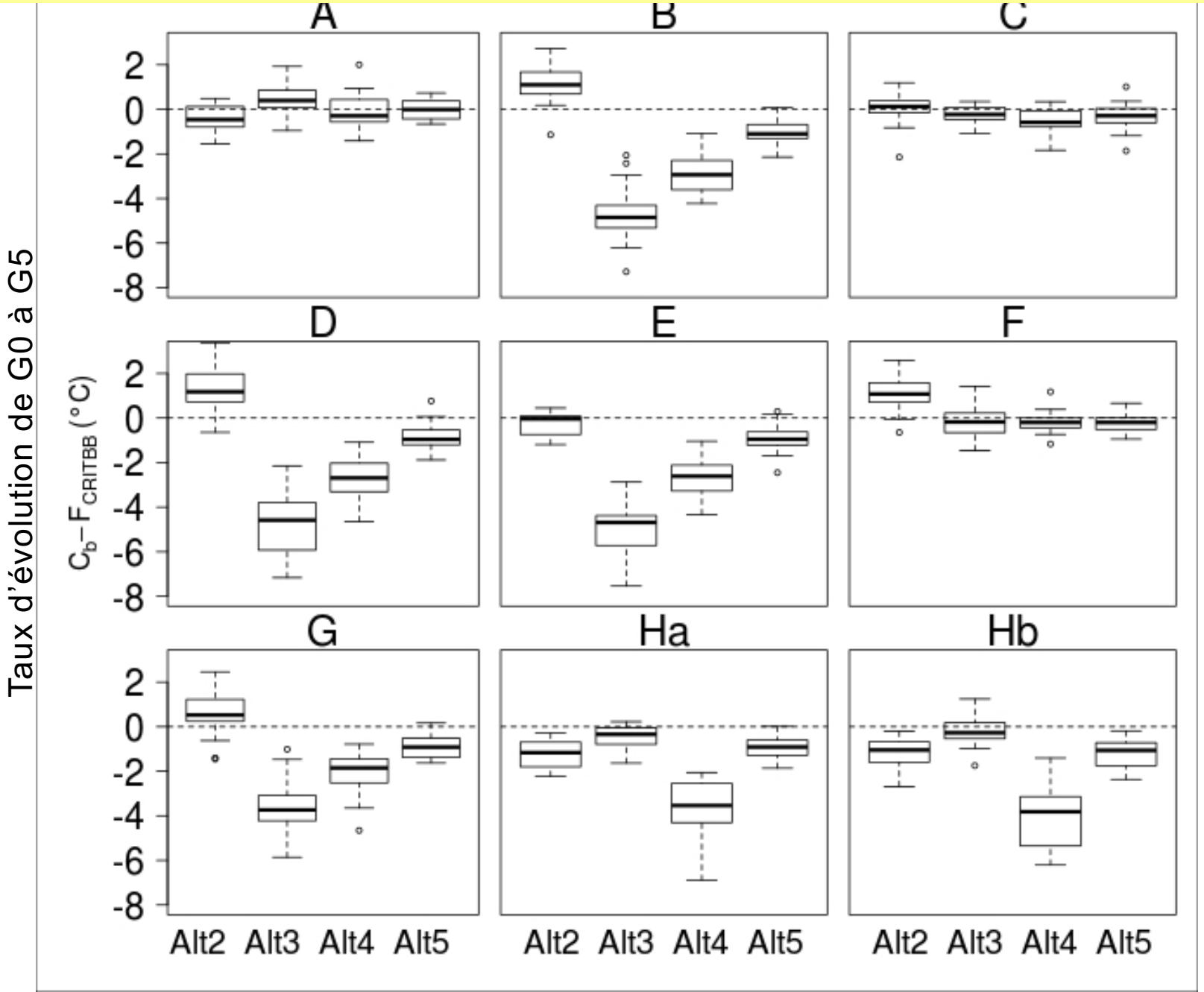
2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: simulation Δ TBB

Différents scénarios

A: sans évolution $h^2=0$
B: avec évolution
C: mortalité identique
D: reproduction identique
E: mortalité réserve hiver
F: mortalité réserve débourrement



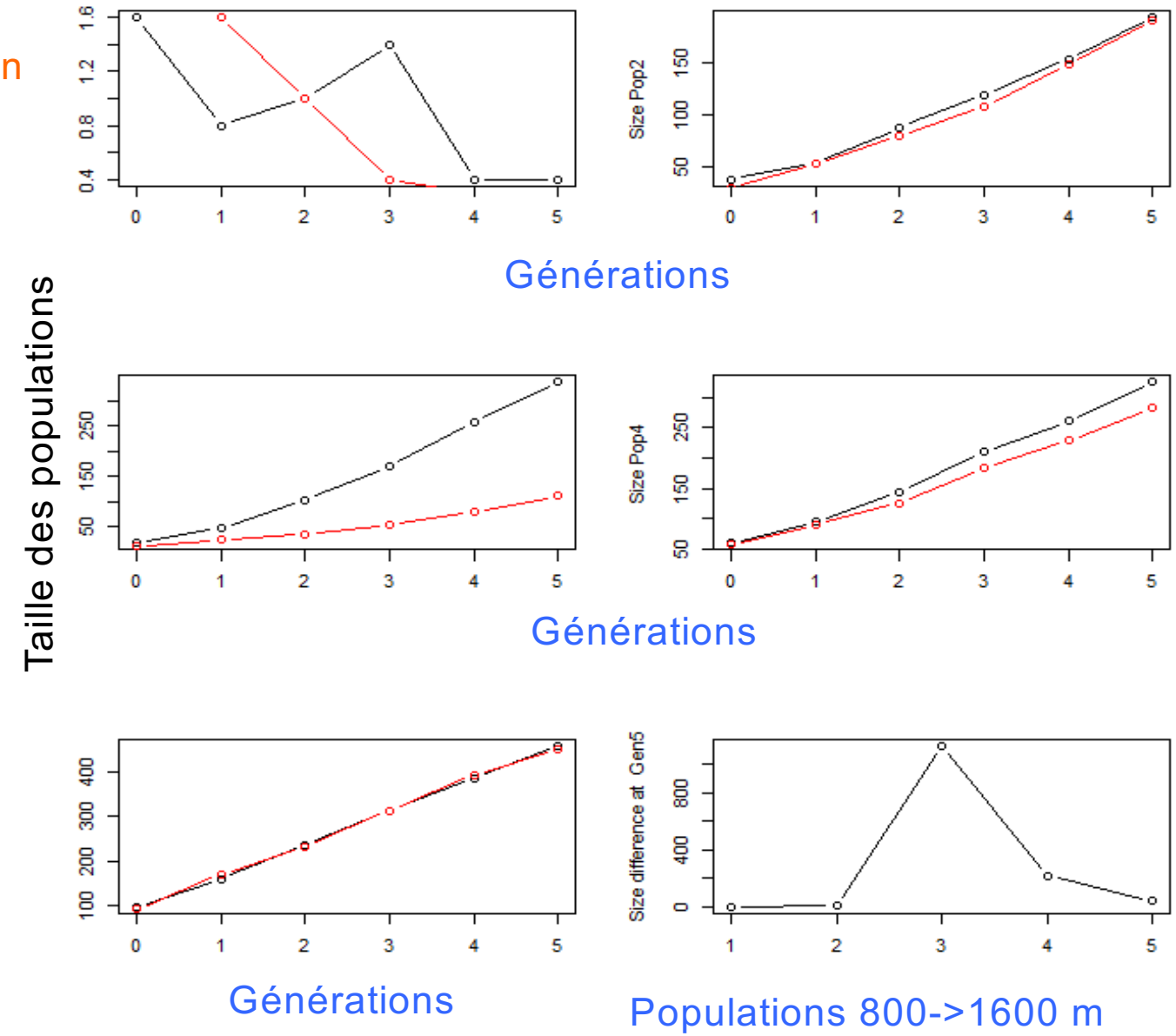
2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: simulation Δ TBB



2.4 Ecophysiologie des populations en forêt: simulation Δ TBB

Rouge : sans adaptation

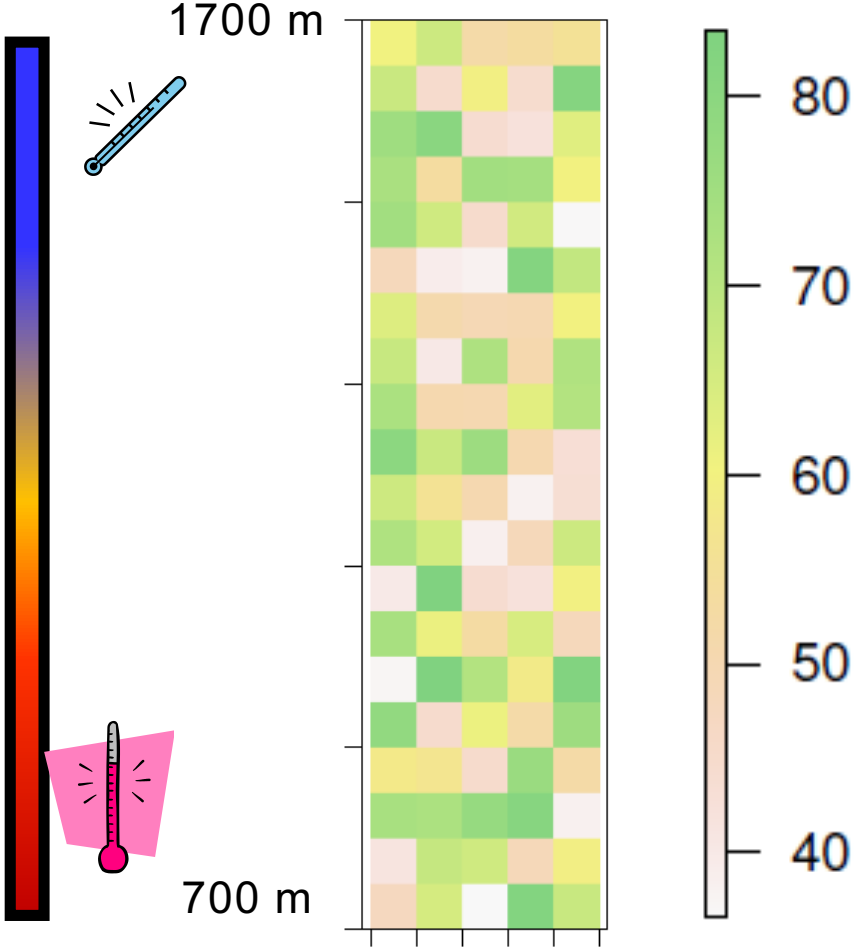
Noir : avec adaptation



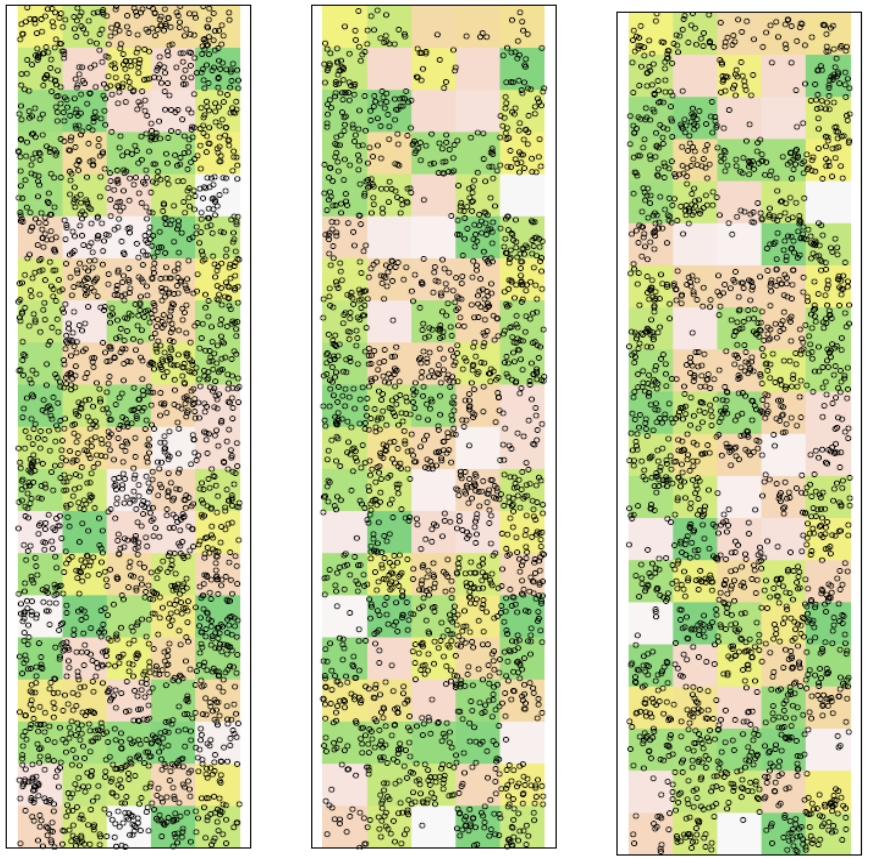
2.4 Simulation PDG avec Δ TBB & Δ EUE / Δ RU & Climat

Plan de simulation

Climat et RU des sols



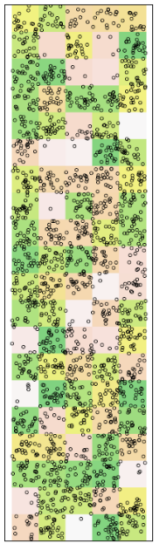
5 générations sous climat actuel



2.4 Simulation PDG avec Δ TBB & Δ EUE / Δ RU & Climat

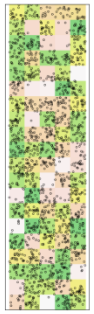
	g1 variable WUE =f(E,G)	g1 fixed WUE =f(E)
Tsum variable TBB =f(E,G)	Scenario A	Scenario B
Tsum fixed TBB =f(E)	Scenario C	Scenario D

G5
Scenario X



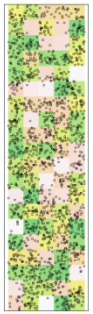


“climat historique”
1960-1989 repeated



G10, Scenario X

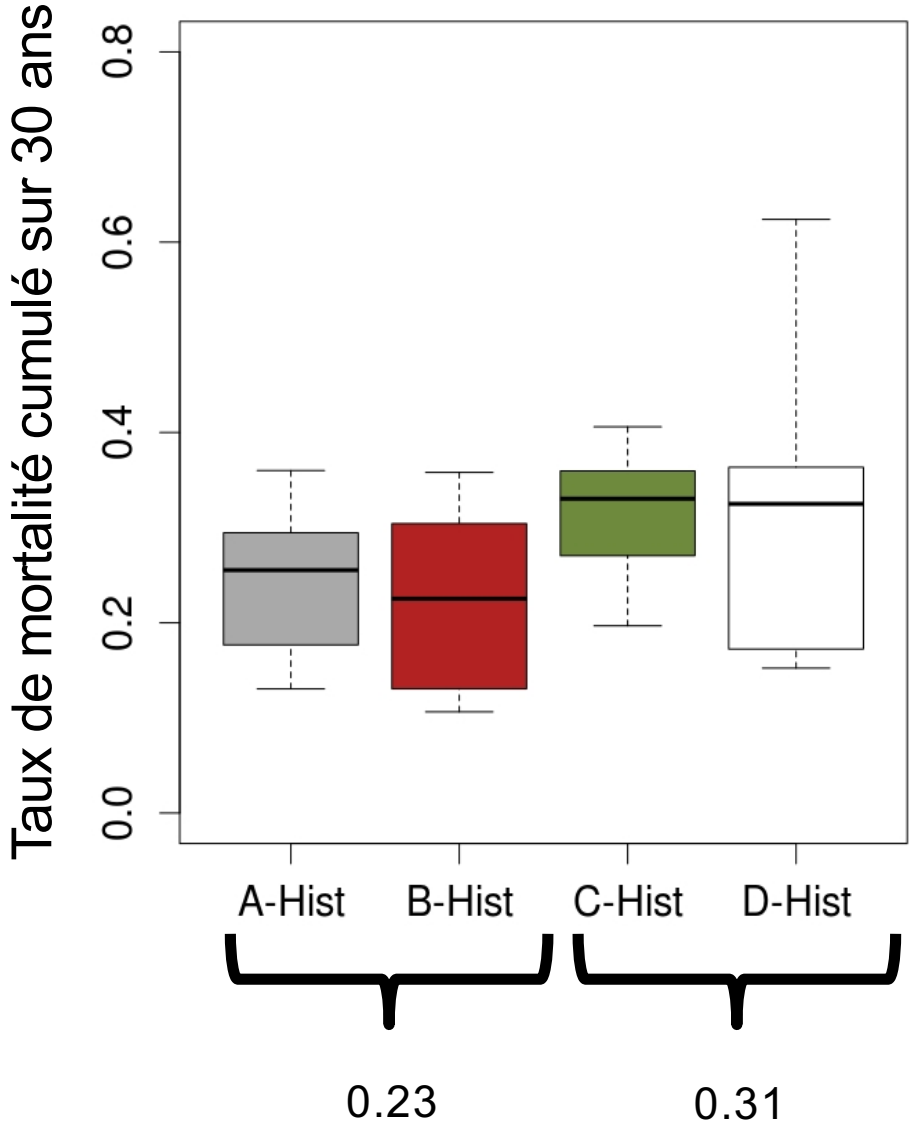
“climat” changeant
1960 to 2089
Scenario A1B

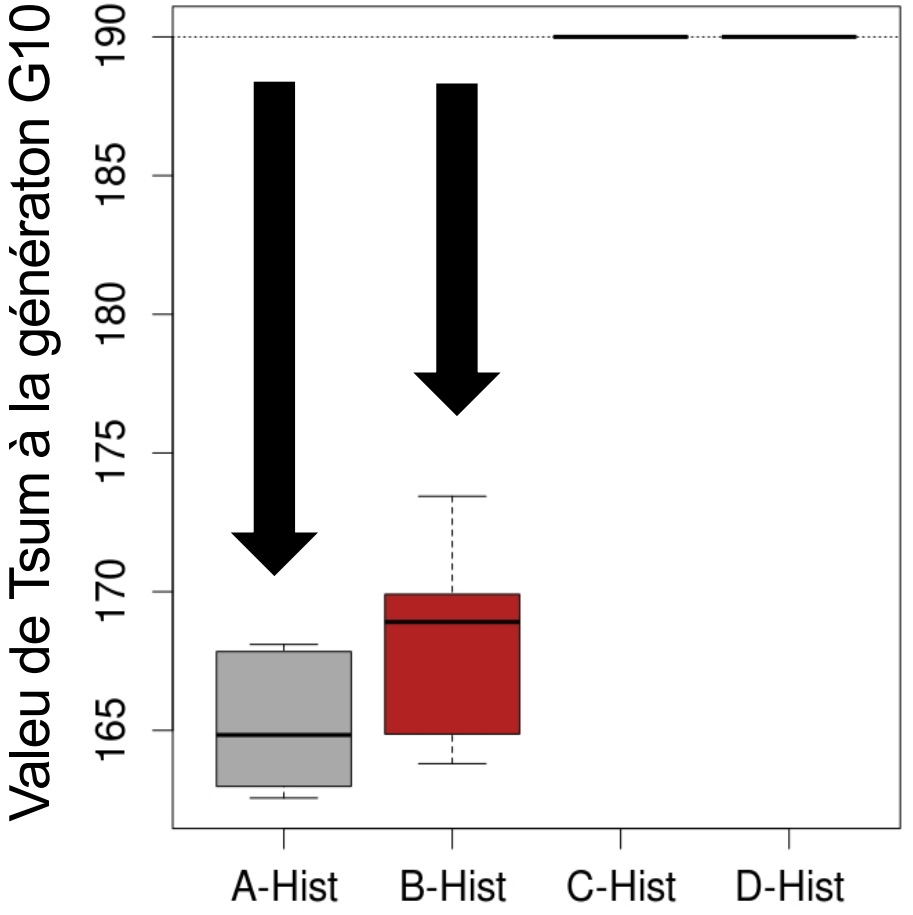


G10, Scenario X

2.4 Simulation PDG avec Δ TBB & Δ EUE / Δ RU & Climat

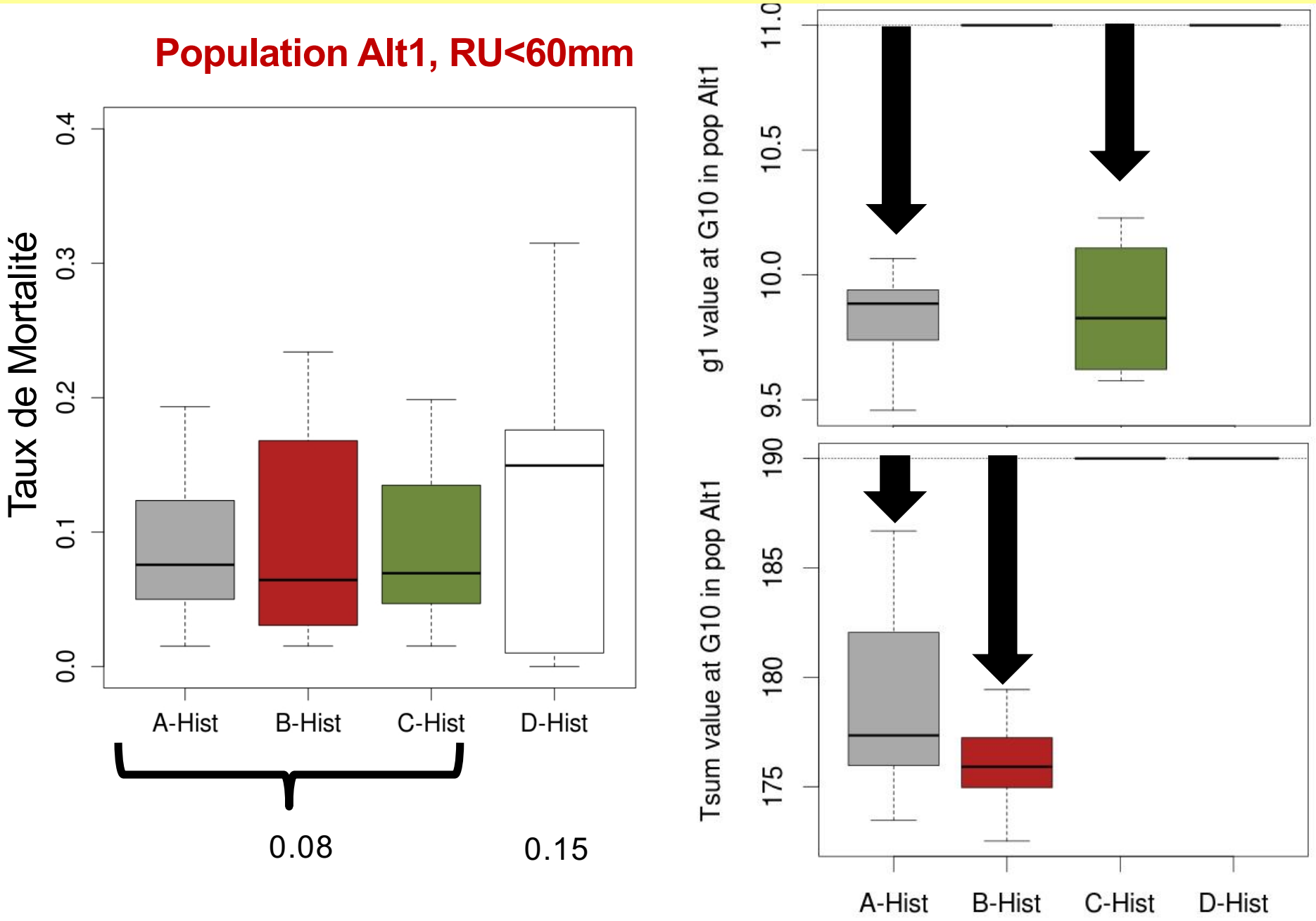
Population Alt5



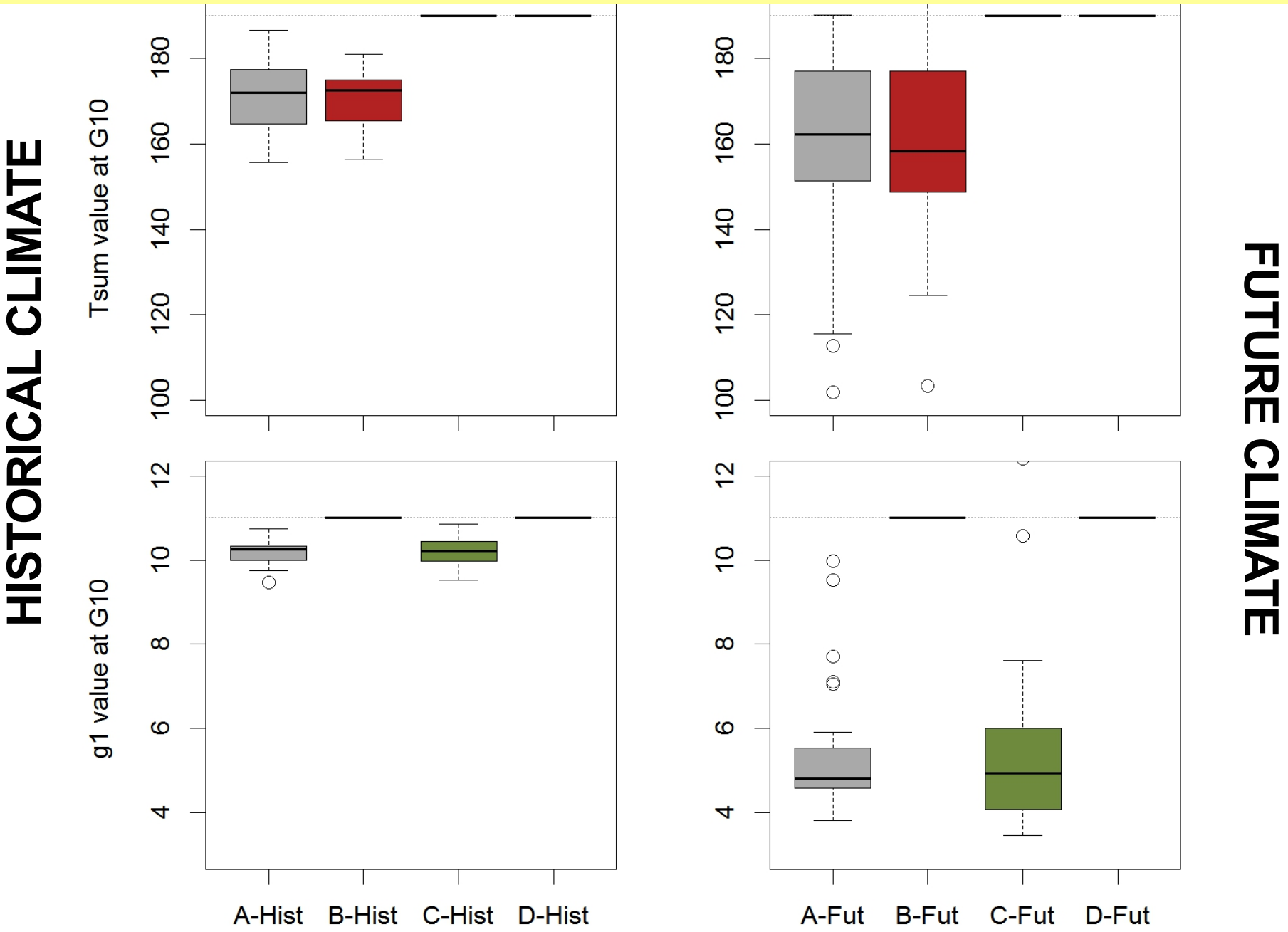


Tsum décroit > 20° C in 10 generations
Avance de TBB of ~4 jours

2.4 Simulation PDG avec Δ TBB & Δ EUE / Δ RU & Climat



2.4 Simulation PDG avec Δ TBB & Δ EUE / Δ RU & Climat



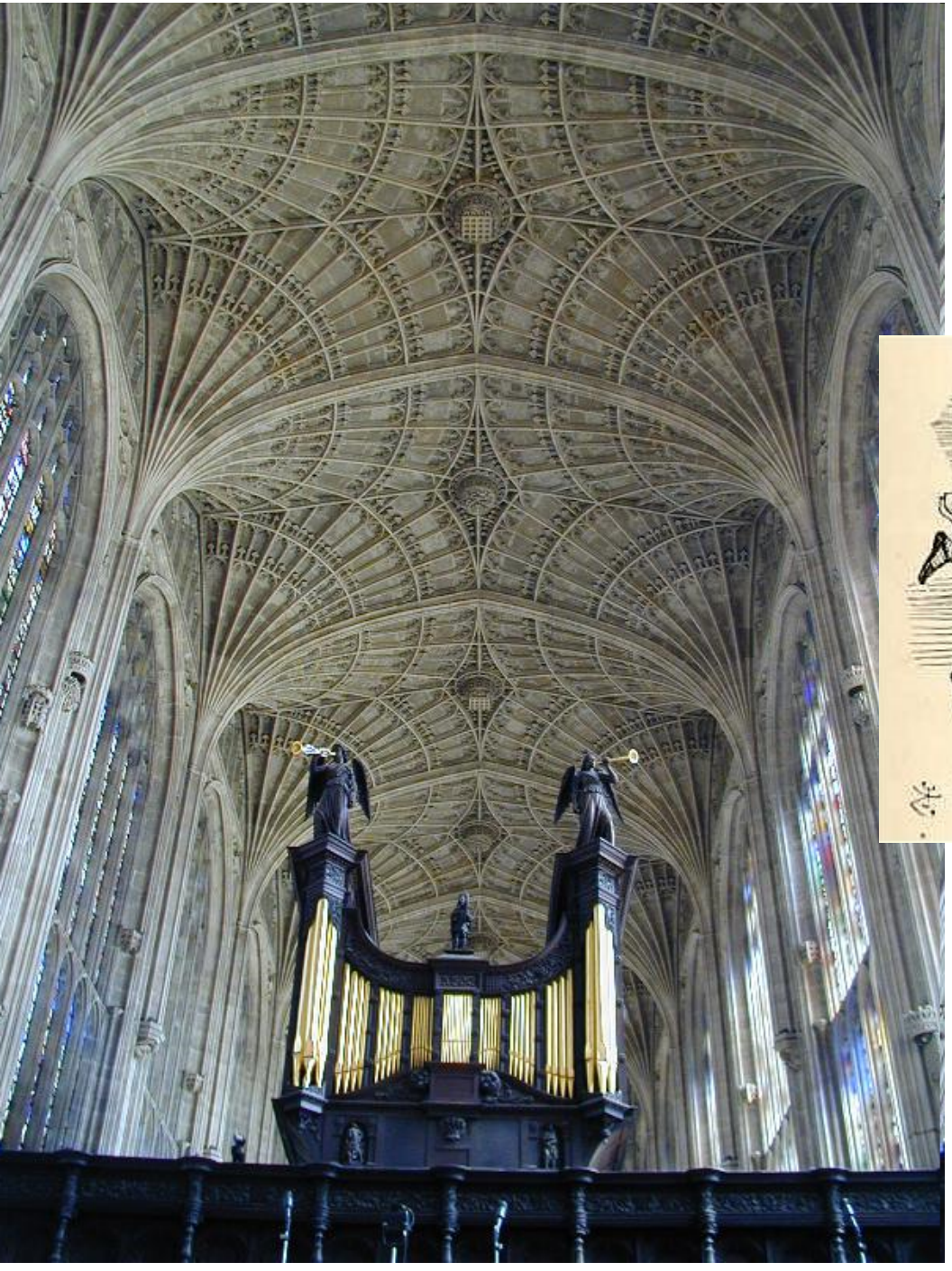
2.5 Conclusion & perspectives

1. **Rapidité de l'adaptation .vs. Contraintes de développement et de l'environnement**
   - Immense variabilité génétique (surtout pour les arbres)
   - Toutes les structures et les modes de réponse à l'environnement ne sont pas possibles: avant tout on a une sélection dans l'existant

Proc. R. Soc. Lond. B **205**, 581–598 (1979)
Printed in Great Britain

The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme

By S. J. Gould and R. C. Lewontin
Museum of Comparative Zoology, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138, *U.S.A.*





2.5 Conclusion & perspectives

2. **Importance de la variabilité inter-individuel**
   - Plasticité phénotypique
   - Diversité génétique

3. **Lien entre fitness – environnement - génome**

Chaque individu est caractérisée par un génome qui donne **une « niche individuelle »** fondamentale dans un environnement donné

Modèle PDG

Chaque individu est en interaction avec une communauté biotique qui donne une **« niche individuelle » réalisée donné**

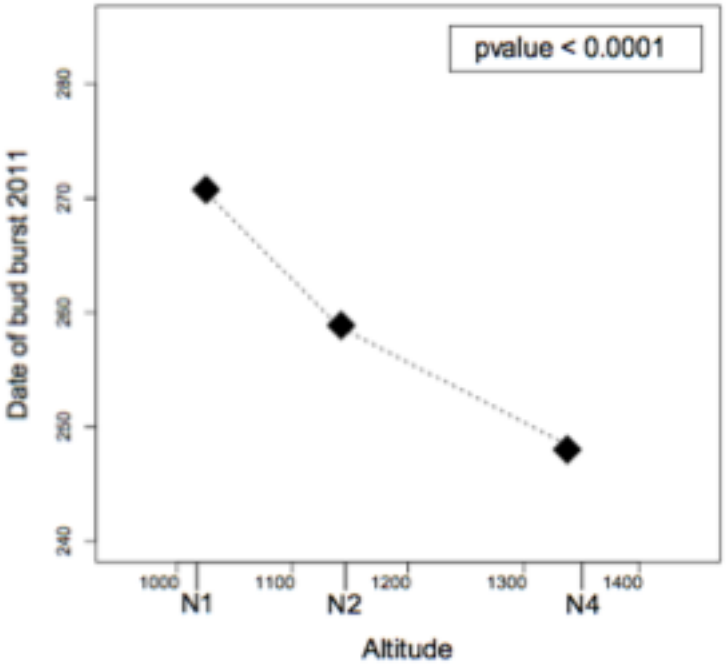
Aspect communauté: Limaces, scolytes, Geais

On ne peut pas tout représenter => cibler une question !!!

2.5 Conclusion & perspectives

4 Validation des simulations d'évolution

- Mesures et simulations d'héritablité (Thèse D'Aurore Bontemps et Julie Gaüzère)
- Mesures et simulations de gradients de sélection (Thèse d'Aurore Bontemps)
- Mesures et simulations d'adaptation locale (transplantation croisée, hêtre, sapins et Eperua, Thèse d'Anne Latreille)
- Simulation du passée évolutif des espèces





2.5 Conclusion & perspectives

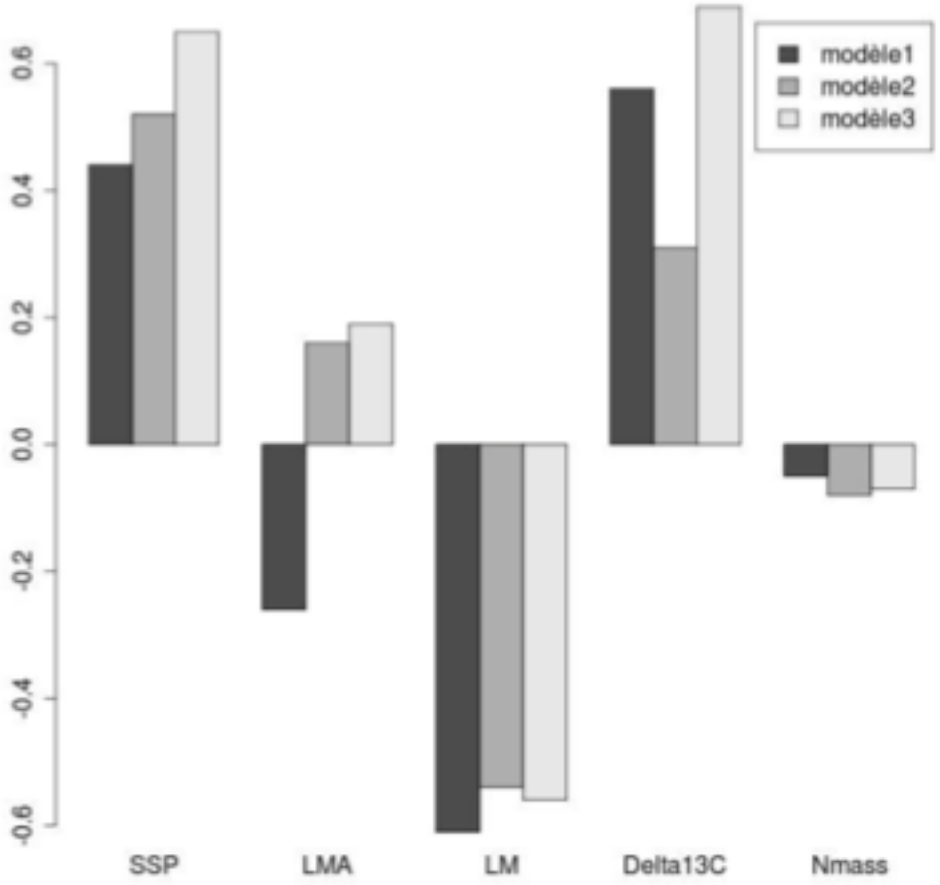
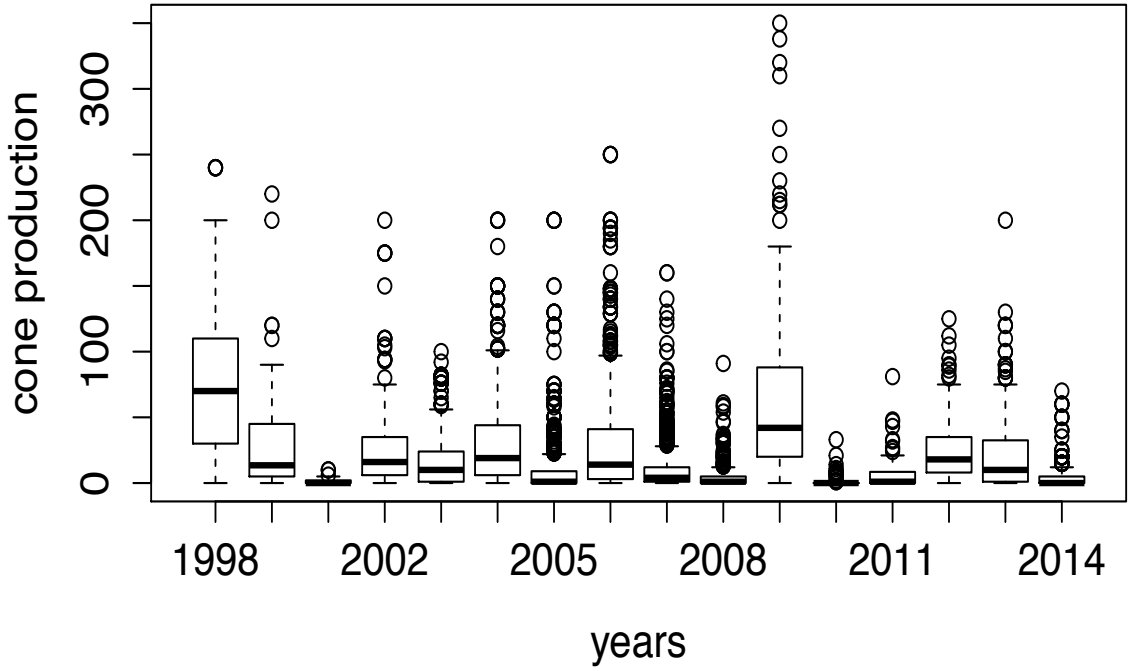


Figure 11 : Gradients de sélection standardisés directionnels pour les trois modèles (voir section « Modèles pour les gradients de sélection »)

2.5 Conclusion & perspectives

5 Travaux en cours

- Couplage avec un modèle d'architecture hydraulique (Collab N. Martin) et modélisation de la mortalité sur Hêtre (Thèse Katleen Petit)
- Modélisation de la reproduction (Thèse de Valentin Journe)
- Simulation de la compétition pour la lumière (PDGlight)
- Comparaison des gradients de sélection simulée avec CASTANEA et PHENOFIT



Davi et al. 2017

Quelques remerciements:

- A toute l'Unité Expérimentale (Norbert, Olivier, Frank) et l'équipe EFDC
- François de Coligny (chef CAPSIS)
- Christian (Bibliothèque Génétique) et Philippe (créateur de CASPIS)

