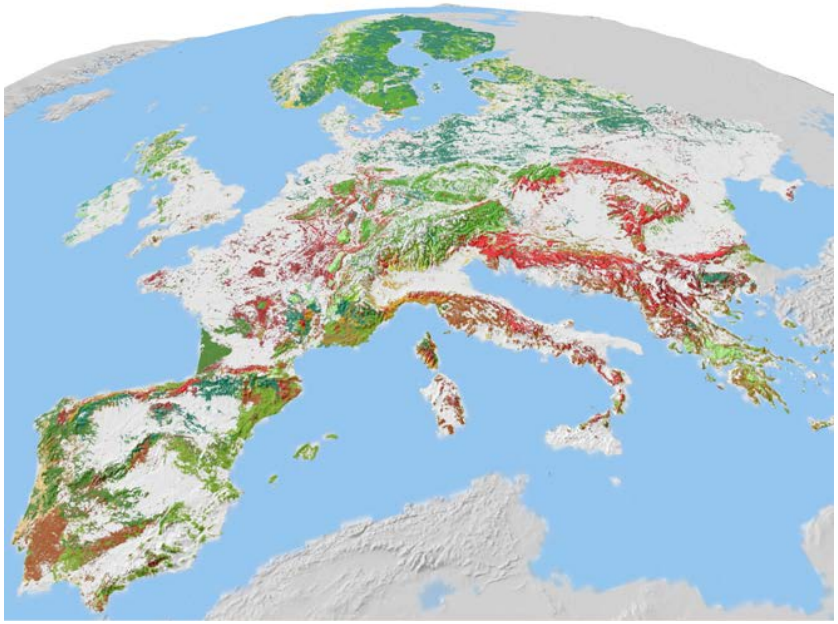
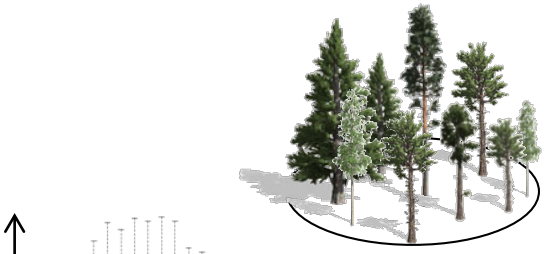
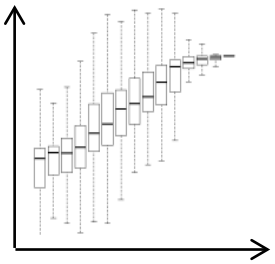
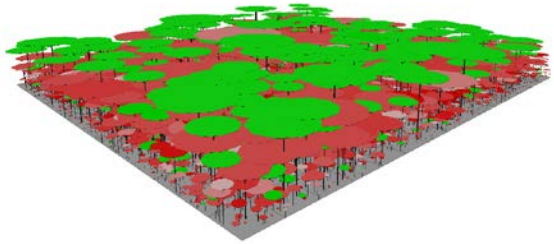
ForCEEPS : un modèle de dynamique forestière pour étudier l'effet de la diversité sur les processus écosystémiques







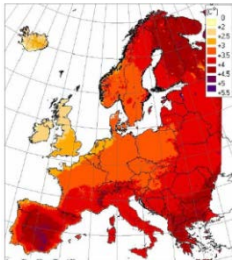


Xavier Morin

CEFE – CNRS Montpellier

Journées CAQSIS – Gembloux 8 avril 2014

Impacts des changements globaux sur les forêts



Changements Globaux

Regional

Répartition des espèces

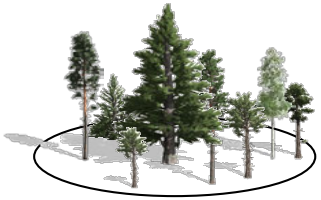
Extinctions

Colonisations

Local

Composition des communautés

Fonctionnement des Ecosystèmes



↗ CO_2

↗ *Temperature et changement precipitations*

→ *Photosynthèse et respiration*

Impacts des changements globaux sur les forêts

Changements Globaux

Regional

Répartition des espèces

Extinctions

Colonisations

$\nearrow CO_2$

$\nearrow$ *Temperature et changement precipitations*

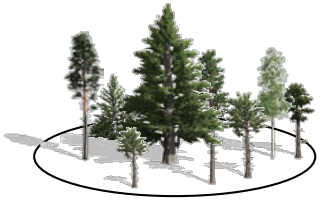
Photosynthèse et respiration

Local

Composition des communautés

Richnesse spécifique
Diversité fonctionnelle

Fonctionnement des Ecosystèmes



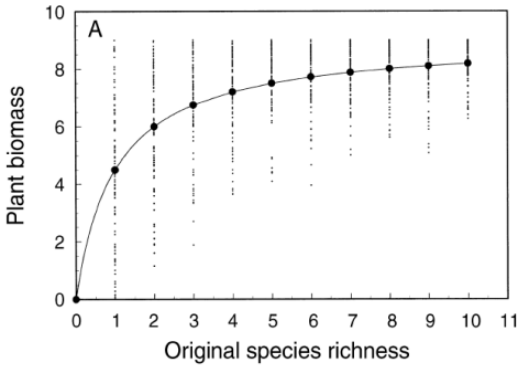
Productivité

La relation diversité-productivité

Biodiversité → **F**onctionnement des Ecosystèmes

La relation diversité-productivité

Travaux théoriques

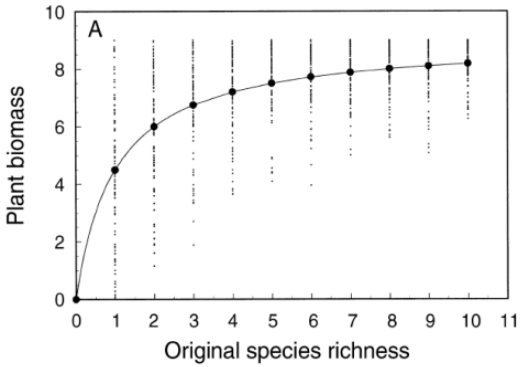


Tilman *et al.* 1997
Loreau 1998

Biodiversité → **F**onctionnement des Ecosystèmes

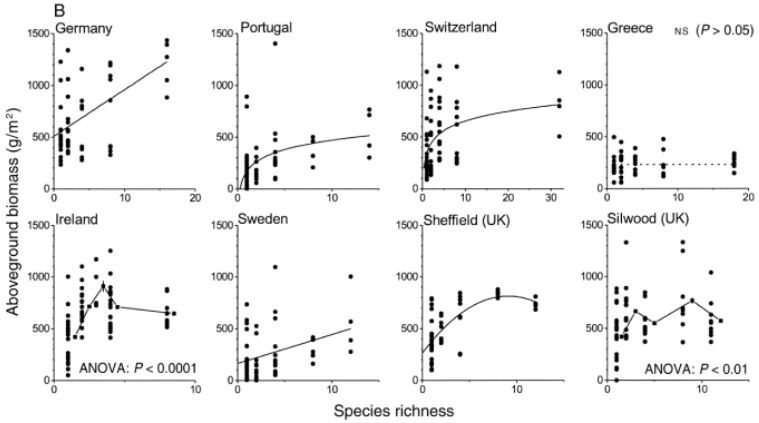
La relation diversité-productivité

Travaux théoriques



Tilman *et al.* 1997
Loreau 1998

Expérimentations

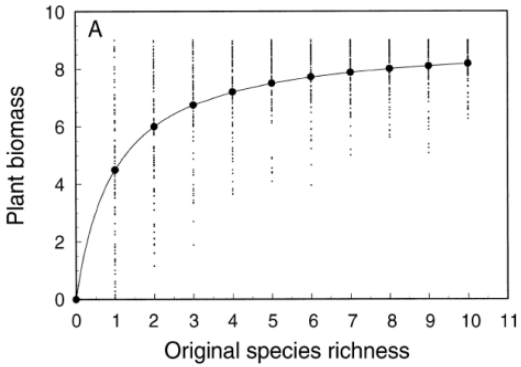


Hector *et al.* 1999
Cardinale et al. 2012

Biodiversité → **F**onctionnement des Ecosystèmes

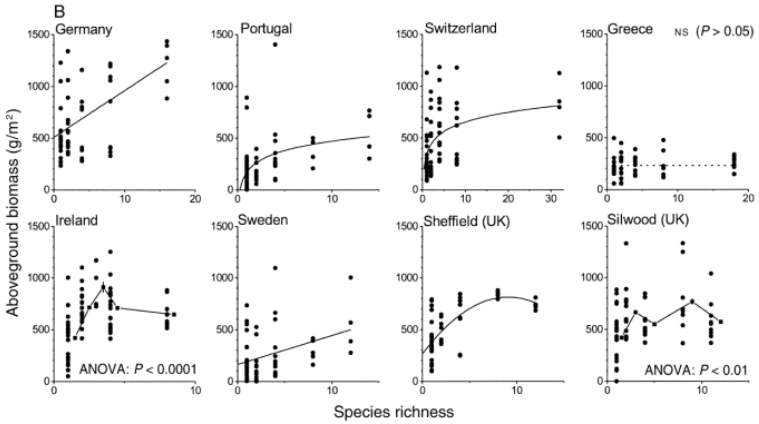
La relation diversité-productivité *en forêt*

Travaux théoriques



Tilman *et al.* 1997
Loreau 1998

Expérimentations

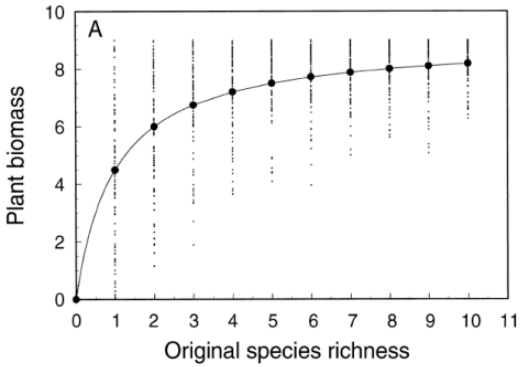


Biodiversité → **F**onctionnement des Ecosystèmes

Hector *et al.* 1999
Cardinale et al. 2012

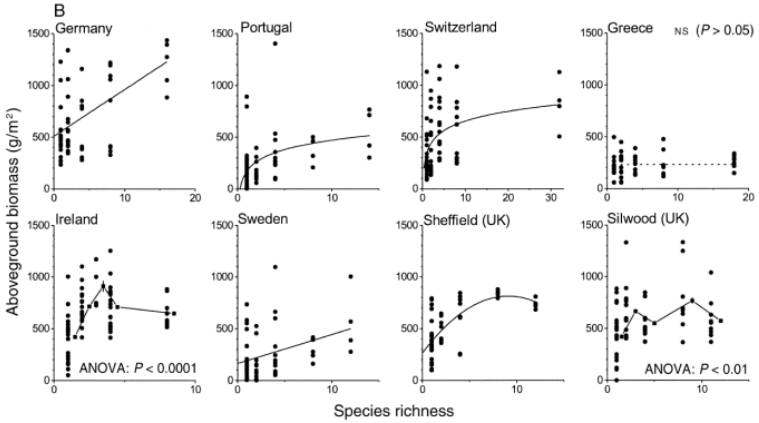
La relation diversité-productivité *en forêt*

Travaux théoriques



Tilman *et al.* 1997
Loreau 1998

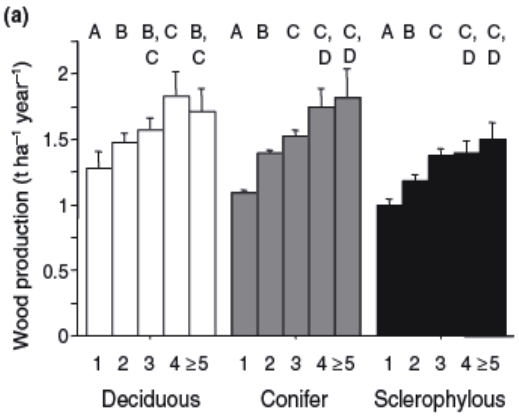
Expérimentations



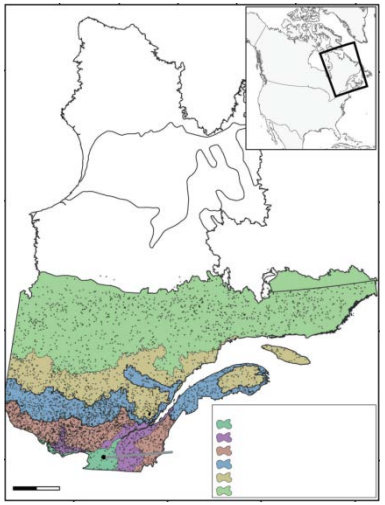
Hector *et al.* 1999
Cardinale et al. 2012

Biodiversité → **F**onctionnement des Ecosystèmes

Observations

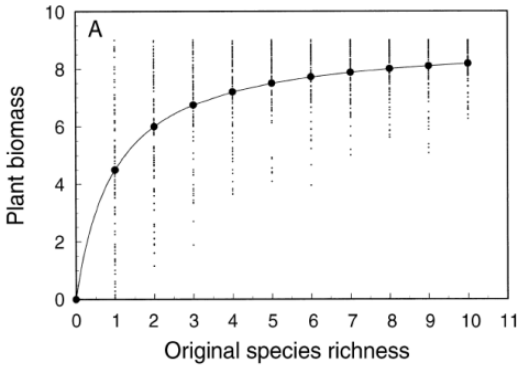


Vila *et al.* 2007
Paquette & Messier 2011
Vila *et al.* 2013



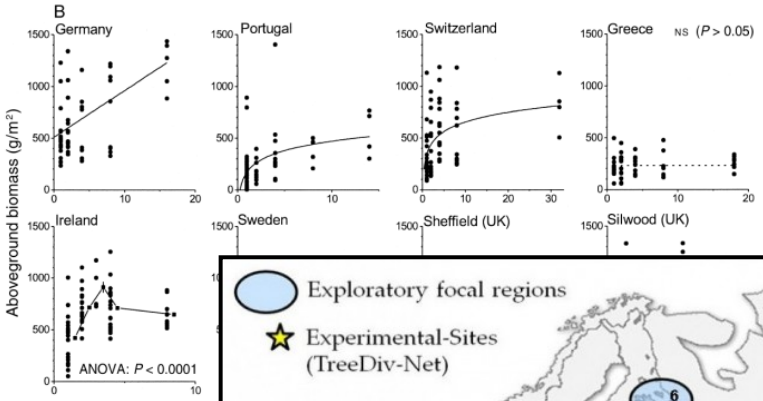
La relation diversité-productivité *en forêt*

Travaux théoriques

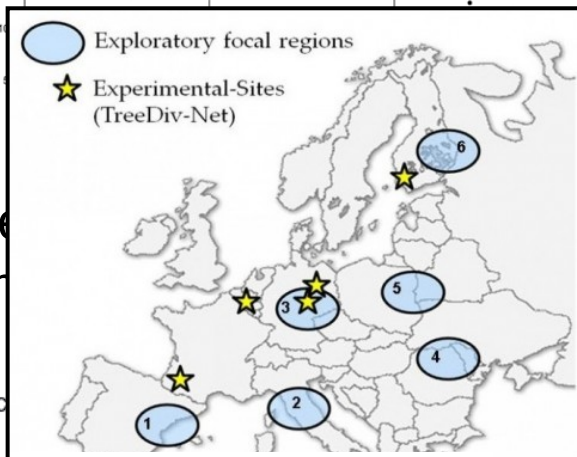


Tilman *et al.* 1997
Loreau 1998

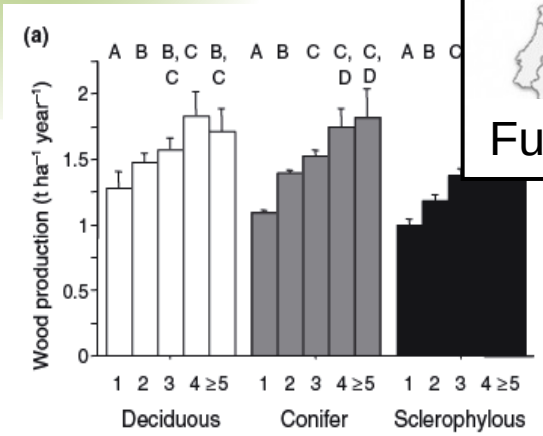
Expérimentations



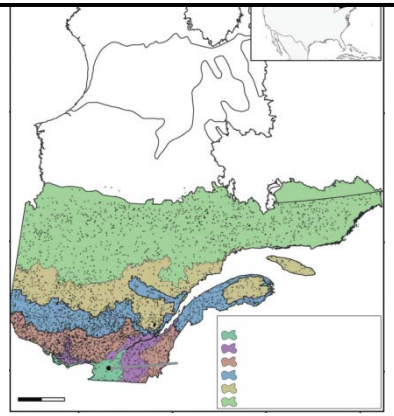
Biodiversité → **F**onctionneme
Ecosystèr



FunDIV EU

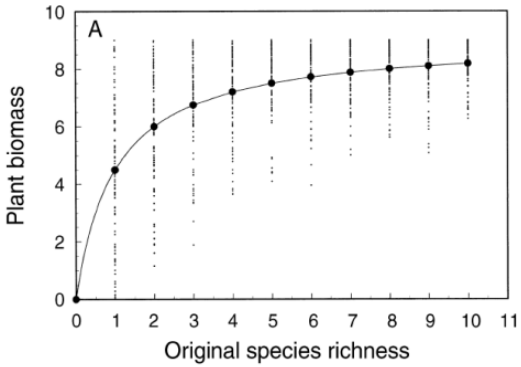


Vila *et al.* 2007
Paquette & Messier 2011
Vila *et al.* 2013



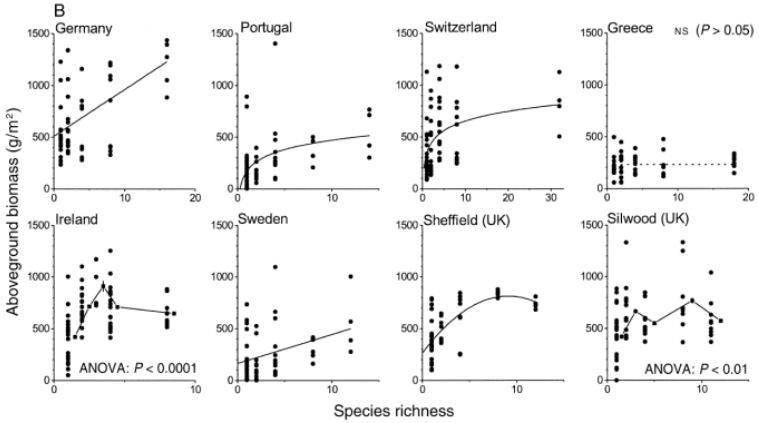
La relation diversité-productivité *en forêt*

Travaux théoriques



Tilman *et al.* 1997
Loreau 1998

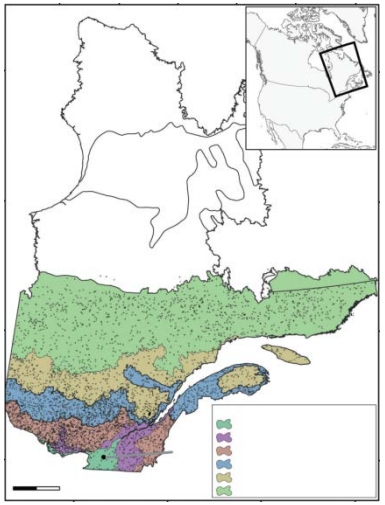
Expérimentations



Hector *et al.* 1999
Cardinale et al. 2012

Biodiversité → **F**onctionnement des Ecosystèmes

Observations



Modèle de dynamique forestière

- outil indépendant
- espèces “réelles” :
  paramètres = dérivés de mesures sur les traits
- long-terme = richesse spécifique réalisée
- grand nombre de combinaisons d’espèces

Le modèle ForCLIM

- Un modèle de trouée (*gap models*) classique = successions cycliques sur de petites parcelles

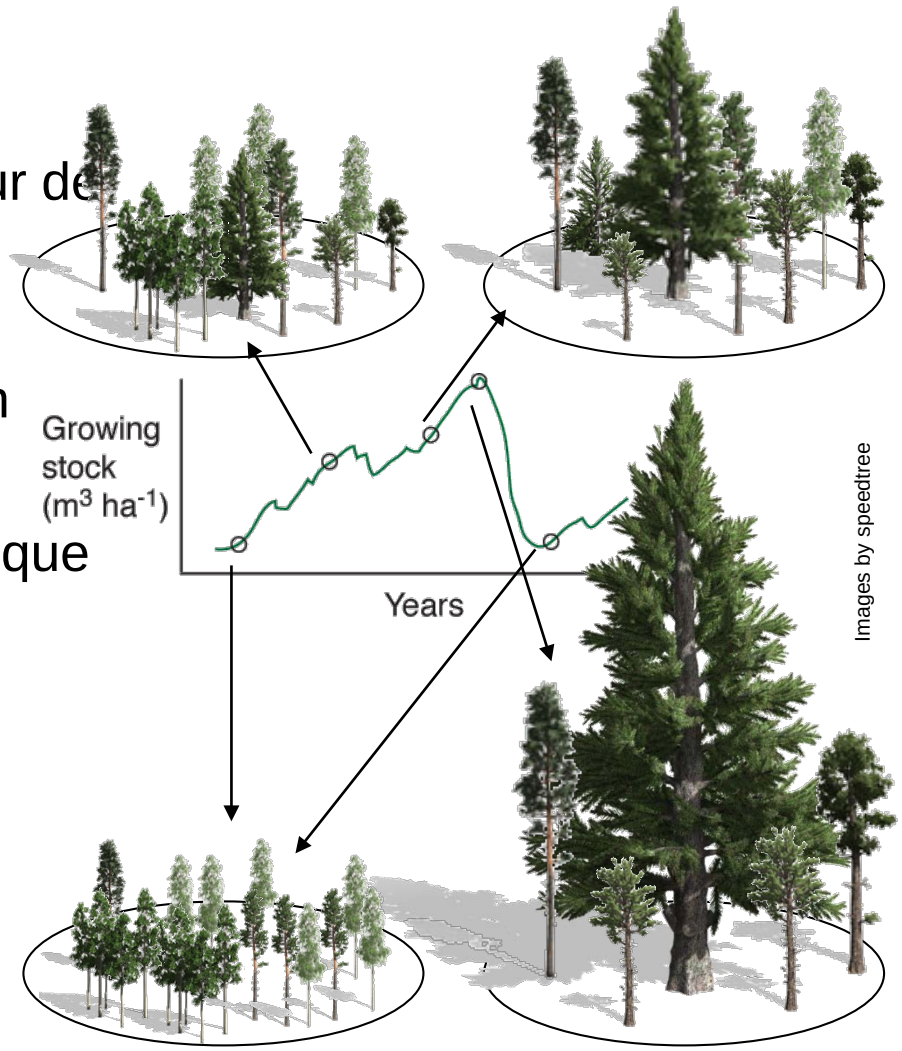
- Théories par A.S. Watt, H.A. Gleason

- Description quantitative de la dynamique de populations d'arbres

  Etablissement / Croissance / Mortalité

- Facteurs limitants

  Lumière */ Climat / Azote du sol*

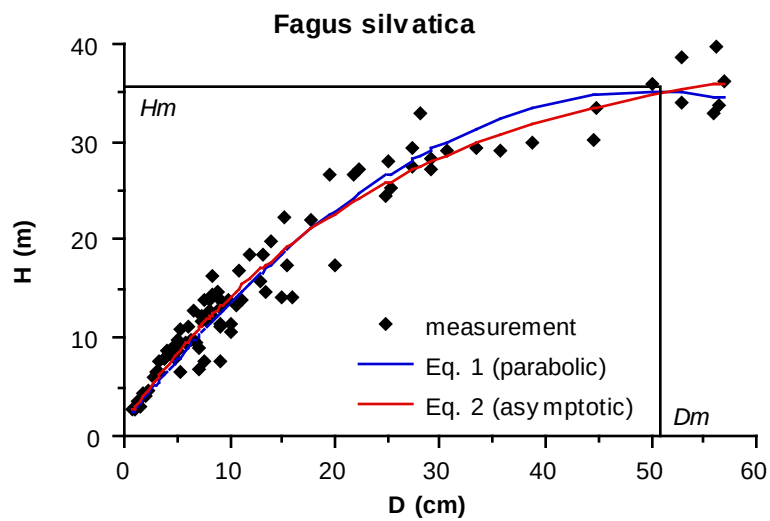


Principes du modèle

- Volume change of a tree:

$$dV/dt = r \cdot L - m \cdot V$$

Photosynthesis Respiration



- allometric relationships:

$V = f_1(H,D)$

$L = f_2(D)$

$H = f_3(D)$

- from which follows:

$$\frac{\mathbf{dD}}{\mathbf{dt}} = g \cdot \mathbf{D} \cdot \left(1 - \frac{\mathbf{H}}{H_{max}}\right) \cdot \frac{1}{\mathbf{b(D)}} \cdot f(\mathbf{e})$$

cf. Moore (1989)

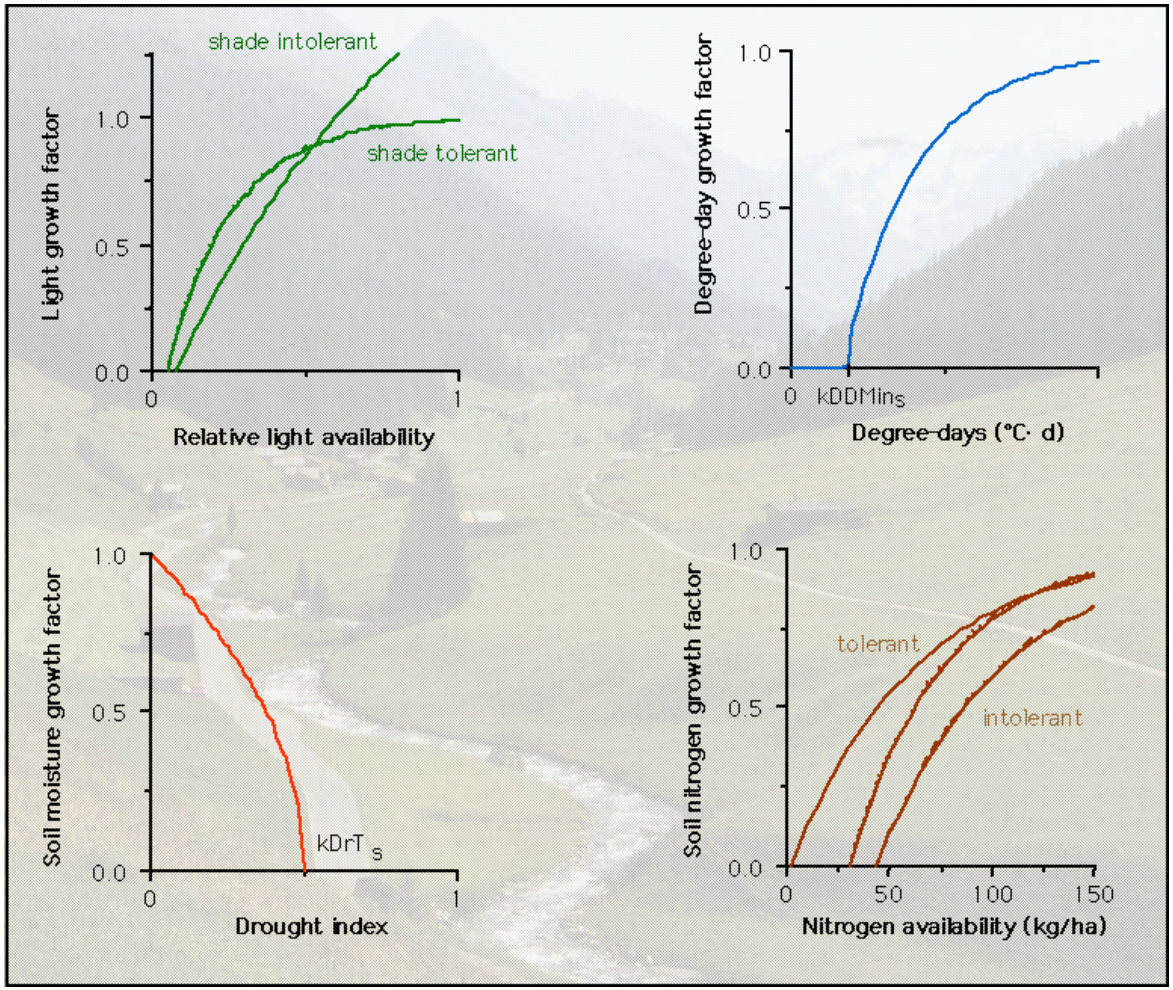
Principes du modèle

- f(e) = ?

- Facteurs:
  - **lumière**
  - température
  - stress hydrique
  - azote

- Etablissement
  (même facteurs
  + abroutissement)

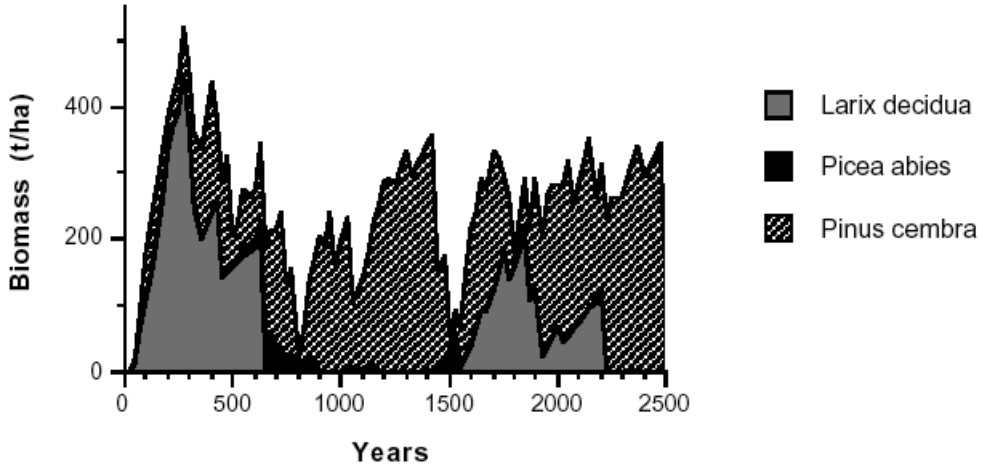
- Mortalité
  - Age-dépendante
  - Stress-dépendante
  - Perturbations



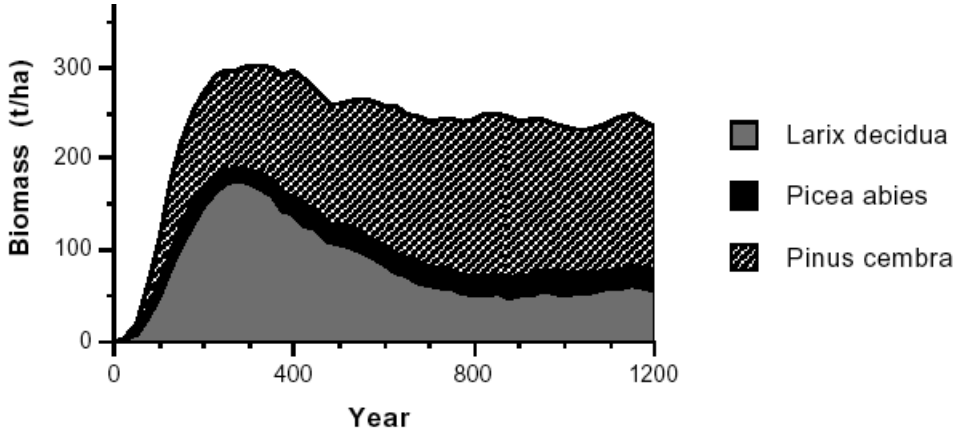
Principes du modèle

- Site Cleuson VS, 2120 m a.s.l., larch-Stone pine forests

- At the level of a single patch:



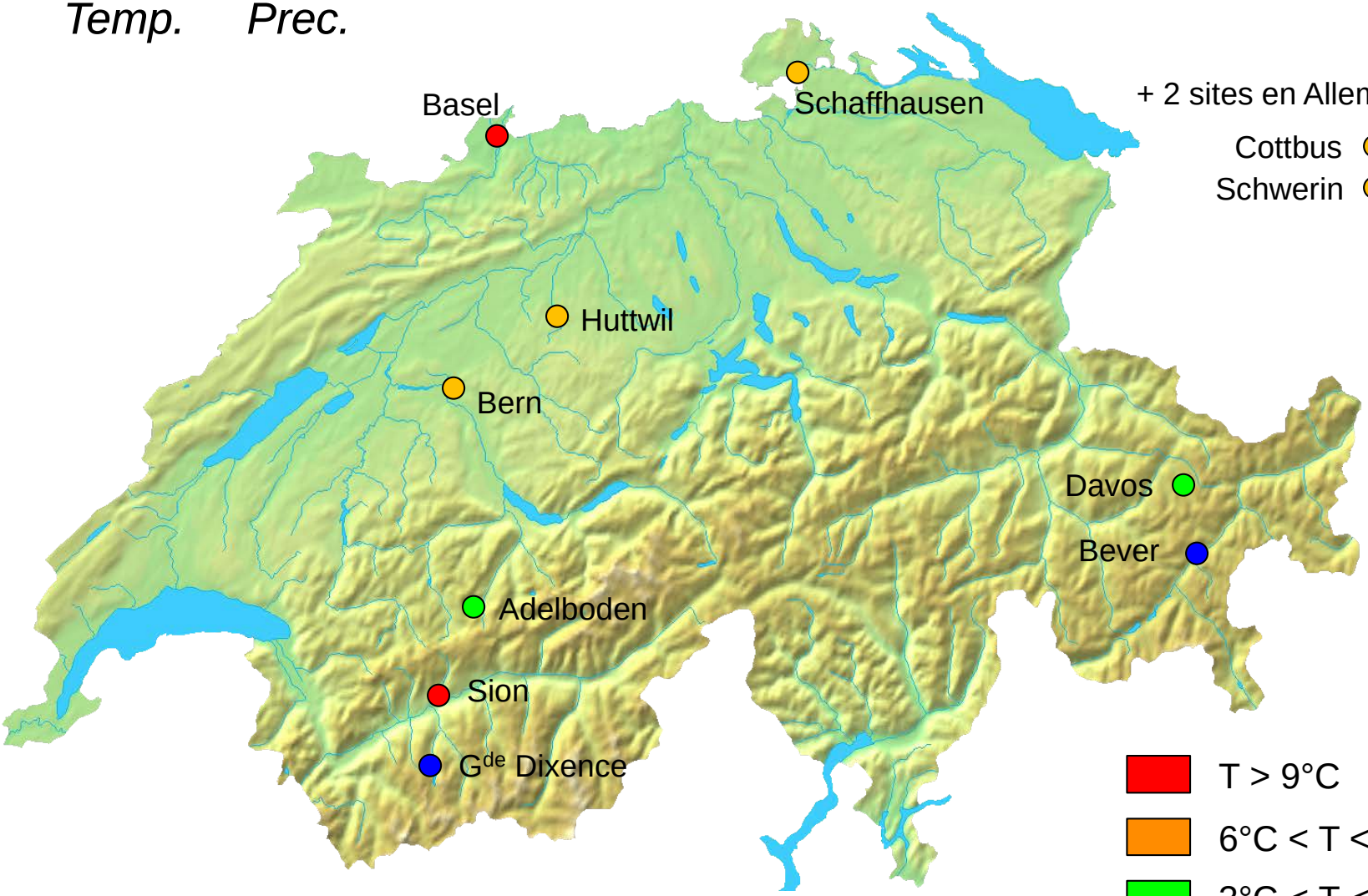
- Averaged across 200 patches (≈16 ha):



ForCLIM a été validé sur 11 sites

11 sites = gradient climatique

Temp. *Prec.*



+ 2 sites en Allemagne

Cottbus

Schwerin

T > 9°C

6°C < T < 9°C

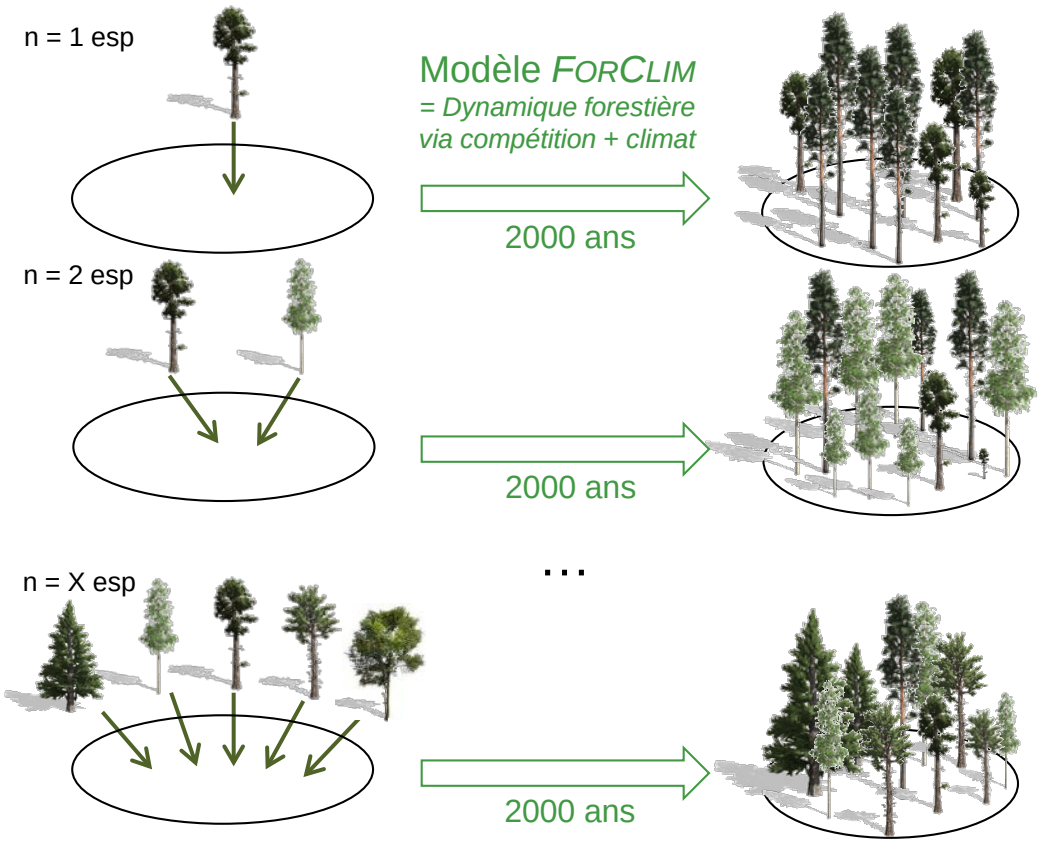
3°C < T < 6°C

T < 3°C

Chq site >13000 combinaisons testées ➡ ~ 150,000 simulations au total

Relation *Diversité – Productivité* dans les écosystèmes forestiers ?

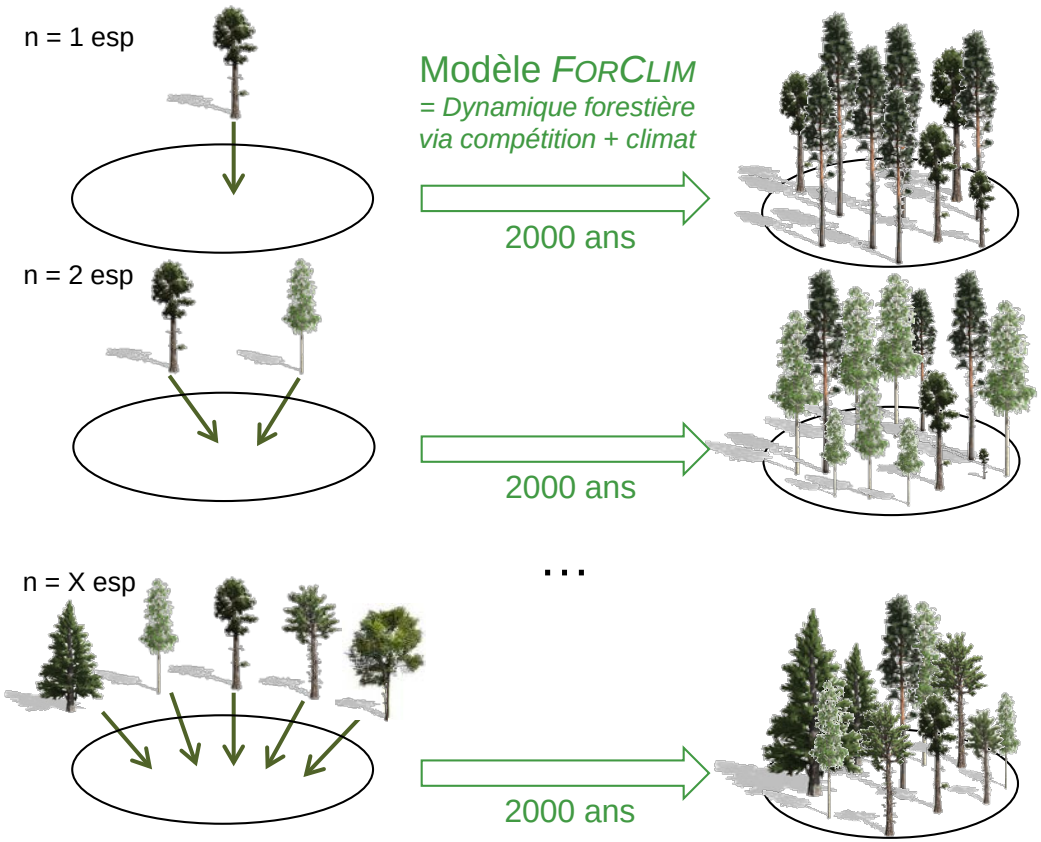
⇨ Expériences virtuelles par modélisation

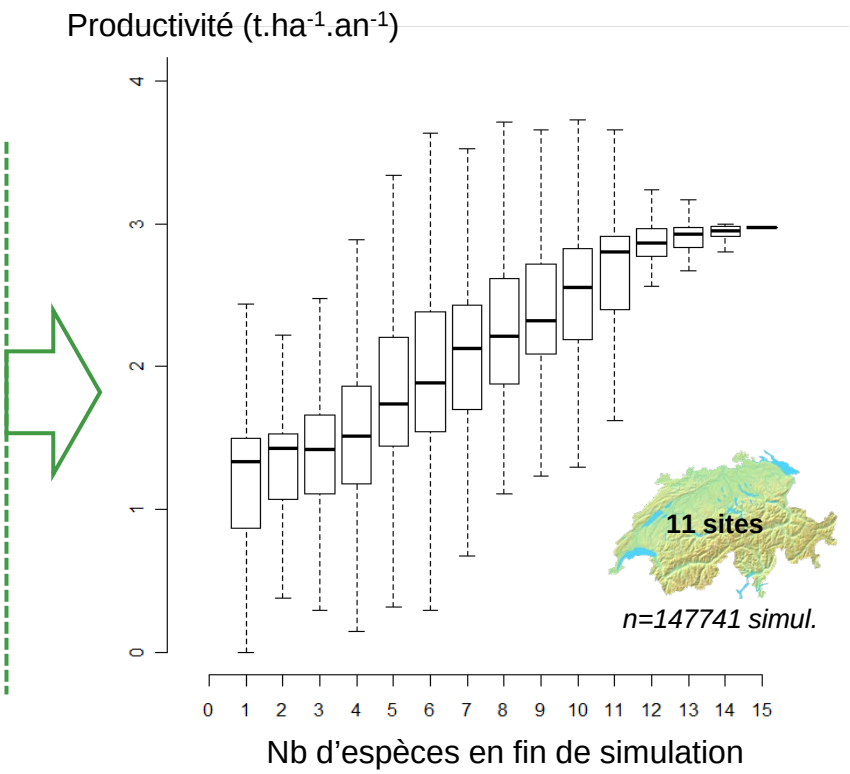


n=147741 simul.

Relation *Diversité – Productivité* dans les écosystèmes forestiers ?

⇨ Expériences virtuelles par modélisation

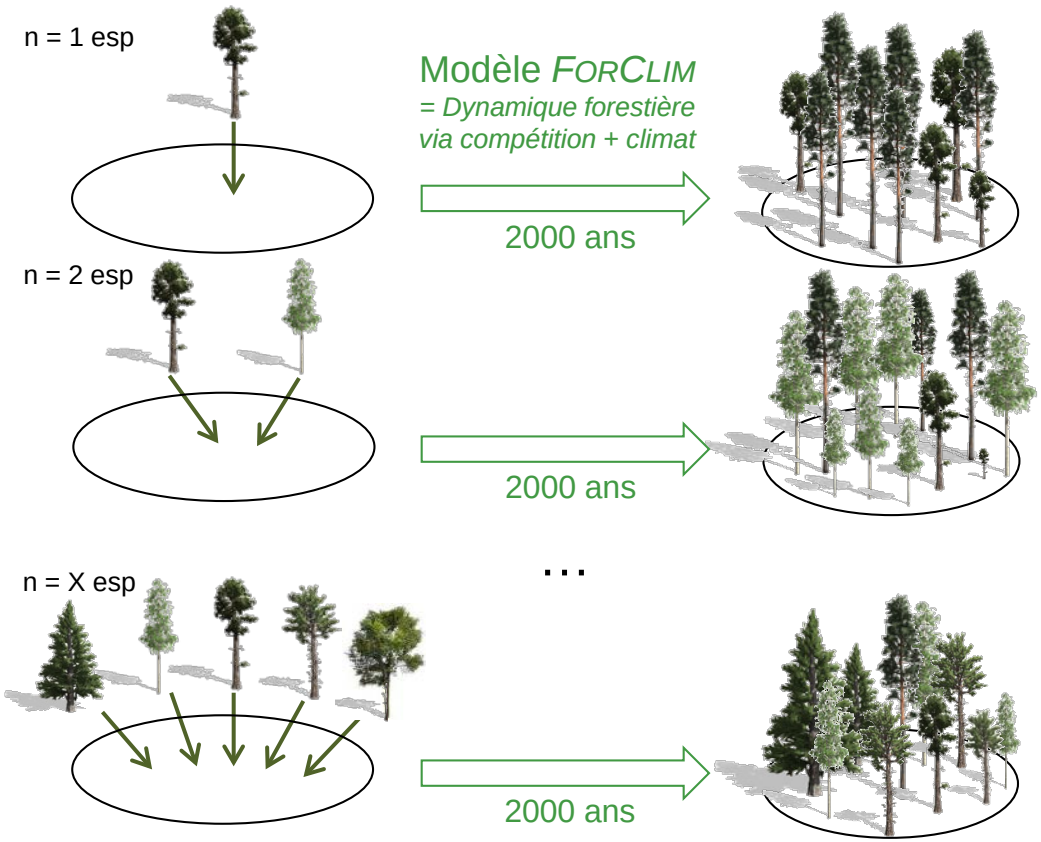


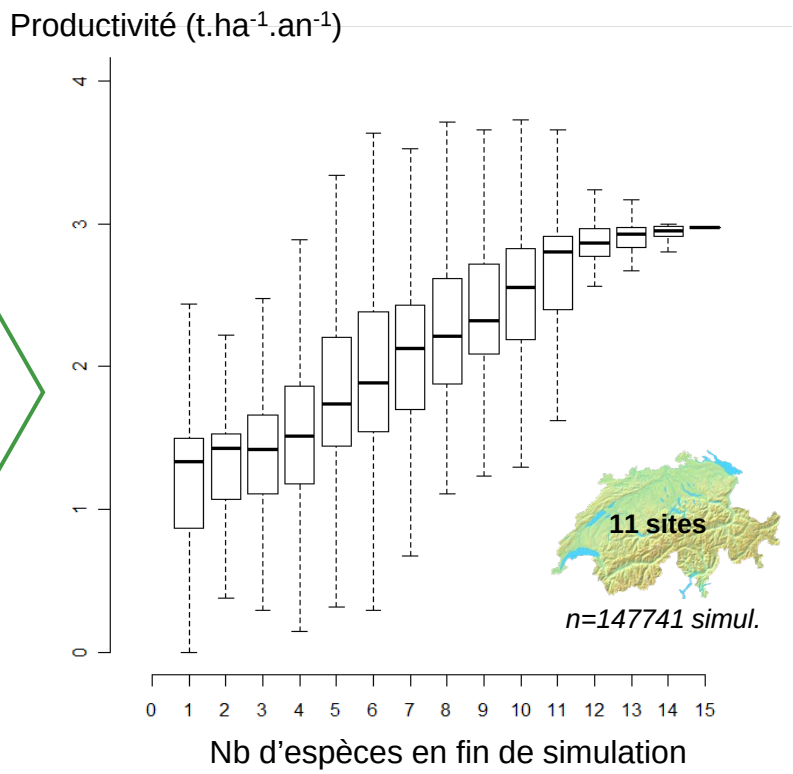


Morin et al. *Ecol. Lett.* 2011

Relation *Diversité – Productivité* dans les écosystèmes forestiers ?

⇨ Expériences virtuelles par modélisation





Les forêts mélangées sont plus productives que les monocultures
+ Mise en évidence d'une complémentarité de niche entre espèces

Approche prometteuse…

Morin et al. *Ecol. Lett.* 2011

Evolution de cette approche

Ecologie des communautés

Fonctionnement des écosystèmes

Evolution de cette approche

Ecologie des communautés

Fonctionnement des écosystèmes

1

Un outil pour étudier le déterminisme de composition des communautés et lien vers fonctionnement des écosystèmes

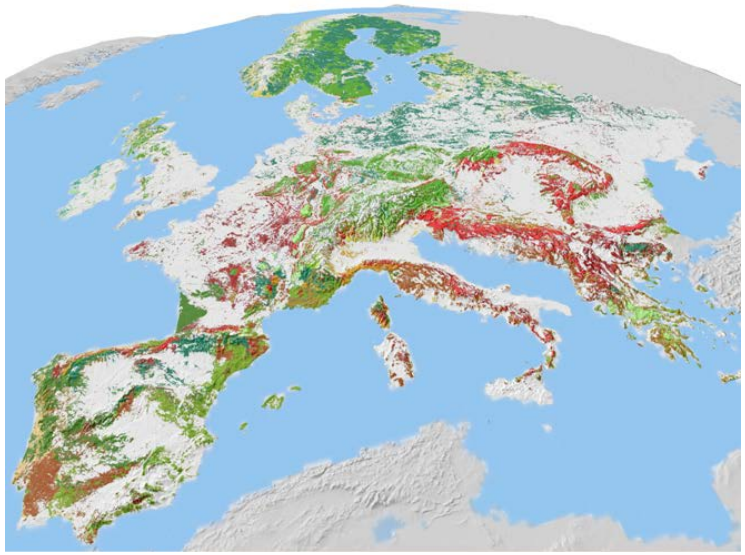
Evolution de cette approche…

Ecologie des communautés

Fonctionnement des écosystèmes

1

Un outil pour étudier le déterminisme de composition des communautés et lien vers fonctionnement des écosystèmes



2

Calibration pour d'autres zones biogeographiques :

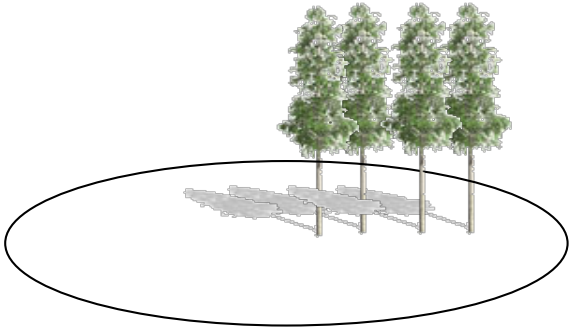
- Ecosys. Forest. Boréaux
- Ecosys. Forest. Méditerranéens

Vers un modèle valide pour les écosystèmes forestiers européens ?

… mais avec quelques verrous

ForClim

Cohorte-centré



… mais avec quelques verrous

ForClim

Cohorte-centré

Espèce-centré

… mais avec quelques verrous

ForClim

Cohorte-centré

Espèce-centré

Compétition pour la lumière

Régénération « simpliste »

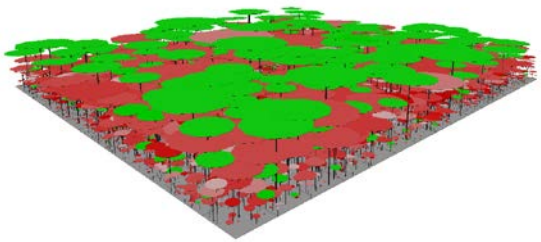
ForCEEPS

= FORest Community Ecology and Ecosystem ProcesseS

ForCEEPS

= *FORest Community Ecology and Ecosystem ProcesseS*

ForClim ⇨ **ForCEEPS**



Cohorte-centré	→	*Individu-centré*
Espèce-centré	→	Génotype-centré = *var. intrasp.*
Compétition pour la lumière	→	Compétition pour la lumière + *Compétition pour l'eau*
Régénération « simpliste »	→	*Plus intégrée* + Tests avec des données de terrain

Etapes du développement de ForCEEPS

Morin, de Coligny, Bugmann

1- Retranscription de ForClim **Automne 2012 – Hiver 2013**

Etapes du développement de ForCEEPS

Morin, de Coligny, Bugmann

1- Retranscription de ForClim **Automne 2012 – Hiver 2013**

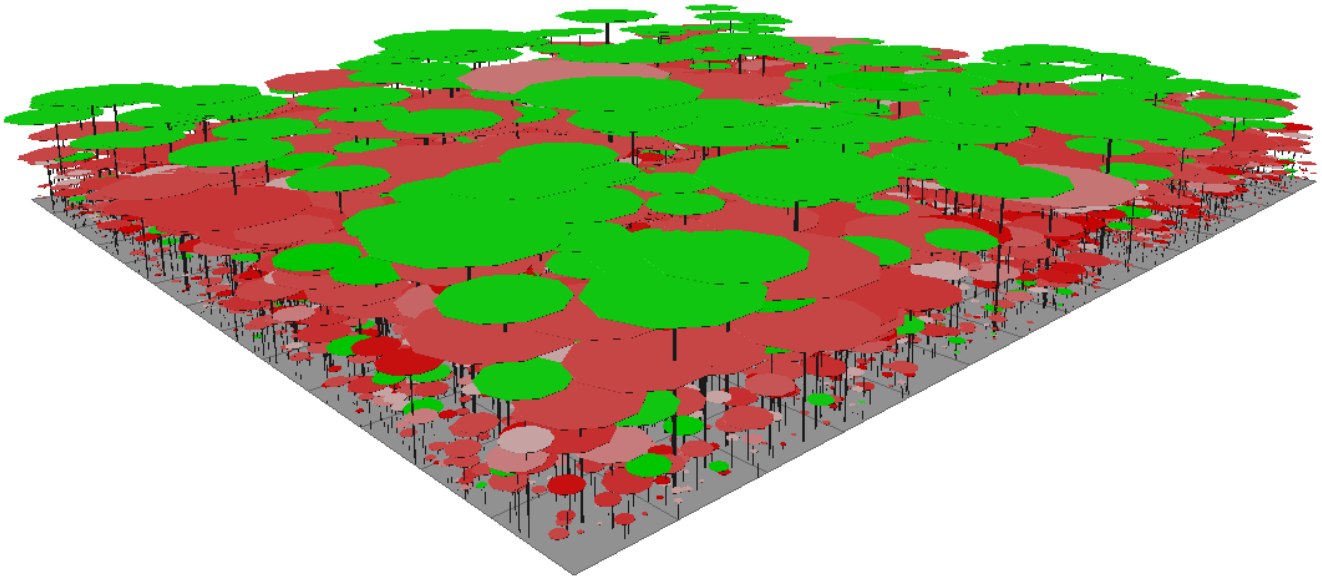
2- Validation sur les 11 sites de ForClim **Printemps 2014**

Etapes du développement de ForCEEPS

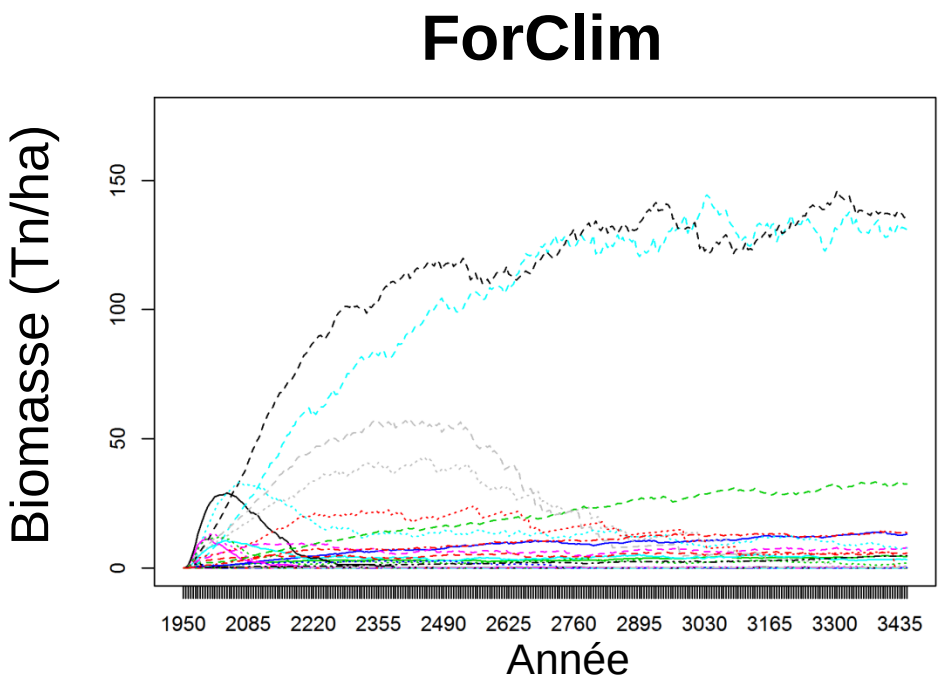
Morin, de Coligny, Bugmann

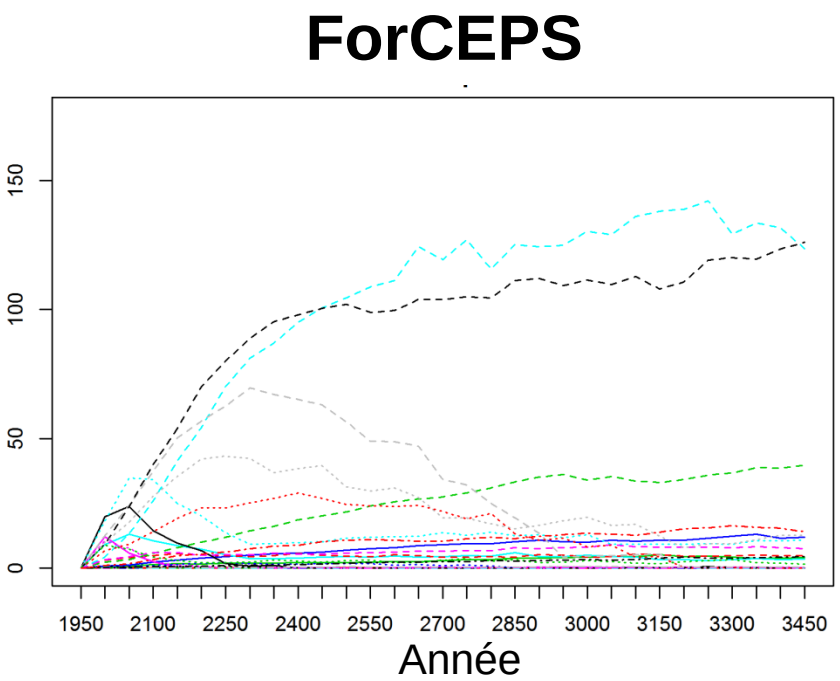
1- Retranscription de ForClim **Automne 2012 – Hiver 2013**

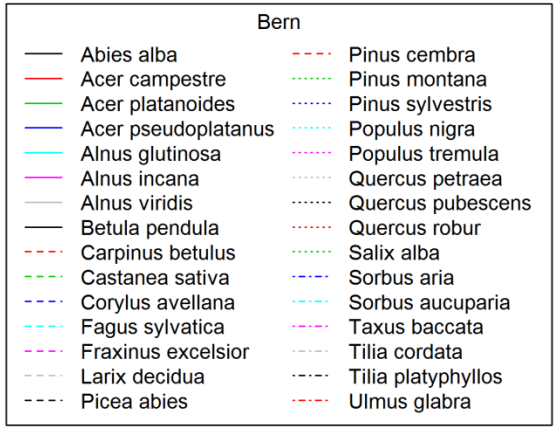
2- Validation sur les 11 sites de ForClim **Printemps 2014**



Validation ForCEPS







Site de Berne
(100 patches, 1500 années)

OK pour 10 sites sur 11

Etapes du développement de ForCEEPS

Morin, de Coligny, Bugmann

1- Retranscription de ForClim **Automne 2012 – Hiver 2013**

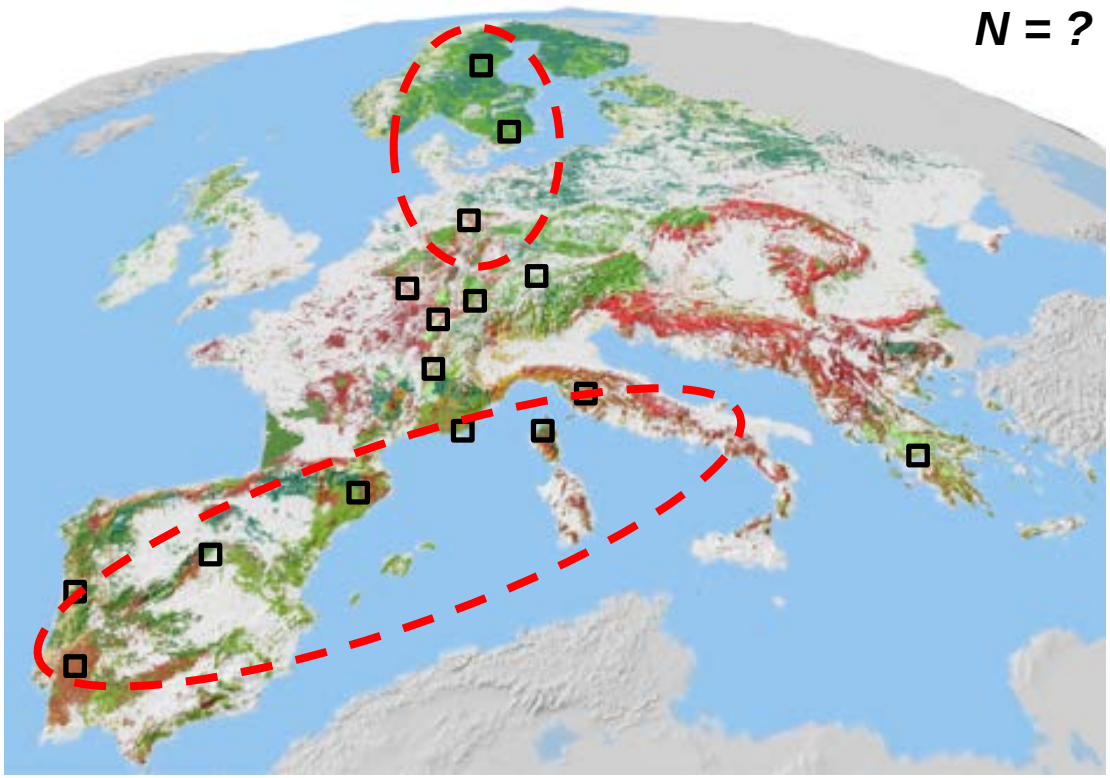
2- Validation sur les 11 sites de ForClim **Printemps 2014**

3- Validation (+ Calibration ?) sur de nouveaux sites

4- Incorporation de la variabilité intra-spécifique

Été 2014

Validation sur de nouveaux sites



Inventaires nationaux…

Validation sur de nouveaux sites

ANR

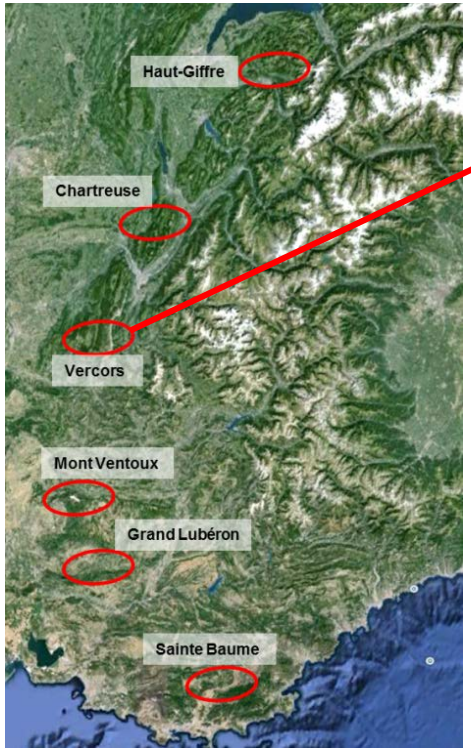
BIOPROFOR (2012-2014)

Coord. par **X. Morin**

Impact des changements globaux sur la biodiversité et la productivité des forêts alpines et méditerranéennes

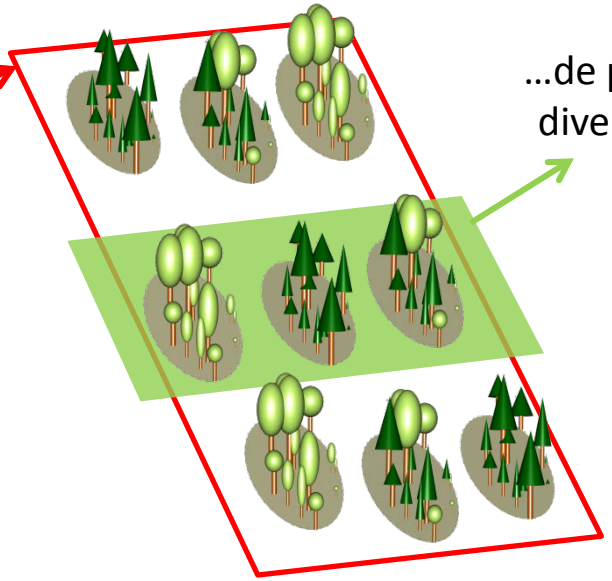
Un gradient latitudinal…

Effet climat à large échelle



…de gradients altitudinaux…

Effet climat à l'échelle locale



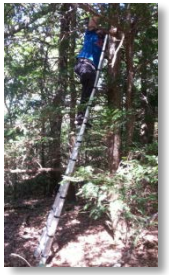
…de placettes de diversité variée

Inventaires et biométrie

Arbres arbustes herbacées

Mesures de traits fonctionnels et d'histoire de vie

Age Densité du bois Traits foliaires Phénologie



Instrumentation

Office National des Forêts

Partenariat

Etapes du développement de ForCEEPS

Morin, de Coligny, Bugmann

1- Retranscription de ForClim **Automne 2012 – Hiver 2013**

2- Validation sur les 11 sites de ForClim **Printemps 2014**

3- Validation (+ Calibration ?) sur de nouveaux sites

4- Incorporation de la variabilité intra-spécifique

Été 2014

- *Exercice théorique*
- *Contraintes de covariation entre paramètres*
- *Calibration sur différentes populations (= var inter pop)*
- *Gamme de variabilité intrasp. d'après données de terrain (= var intra pop)*

Etapes du développement de ForCEEPS

Morin, de Coligny, Bugmann

1- Retranscription de ForClim **Automne 2012 – Hiver 2013**

2- Validation sur les 11 sites de ForClim **Printemps 2014**

3- Validation (+ Calibration ?) sur de nouveaux sites

4- Incorporation de la variabilité intra-spécifique

Été 2014

5- Module de compétition pour l'eau => Ecosystèmes méditerranéens

6- Amélioration de la régénération

Questions ciblées

Quels sont les principaux filtres déterminant la composition des communautés forestières, de l'échelle régionale à l'échelle locale ?

= *couplage modèle de répartition d'espèces et de ForCEEPS*

Comment les variabilités inter- et intra-spécifiques affectent-elles la composition des communautés d'un point de vue théorique ?

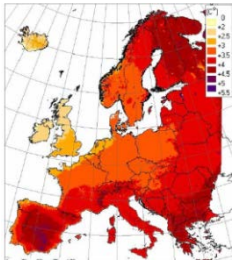
Quelle est la distribution de la variabilité intraspécifique dans les communautés forestières Alpines et Méditerranéennes ?

Quelle est l'effet relatif de la richesse spécifique et de la variabilité intrspécifique sur la productivité ? Et comment cette part relative varie selon les conditions climatiques ?

Sur quelles caractéristiques de l'écosystème repose l'effet positif dela diversité sur le productivité ?

Quels écosystèmes forestiers vont être les plus sensibles au changement climatique ?

Impacts des changements globaux sur les forêts



Changements Globaux

Approche intégrative

Regional

Phenofit

Répartition des espèces

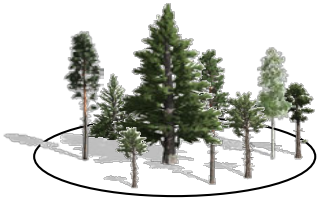
Local

ForCEEPS

Composition des communautés

ForCEEPS

Fonctionnement des Ecosystèmes



Remerciements

François de Coligny

Harald Bugmann
Lorenz Fahse

Raul Garcia-Valdes
Mickaël Chauvet
Philippe Dreyfus

Claire de Mazancourt
Hervé Jactel
Georges Kunstler
Michel Loreau
Jurgis Sapijanskas
Niklaus Zimmermann

ANR
BIOPROFOR (2012-2014)

EC21 EUROPEAN CONSERVATION FOR THE 21ST CENTURY

biodiversa

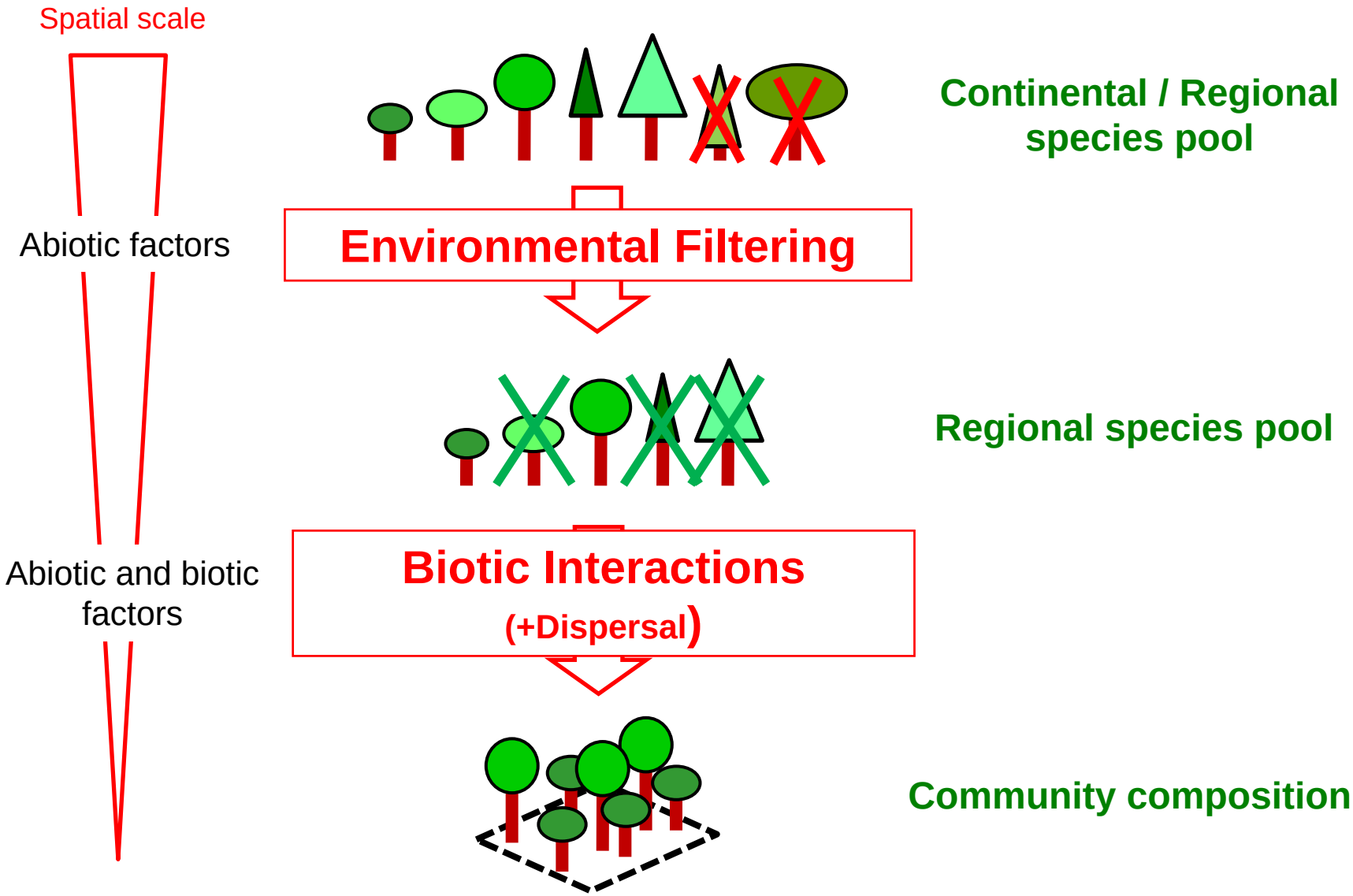
BACCARA

Community ecology & functional ecology questions

= Insights from gap-models

On-going and future directions…

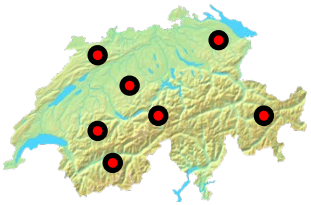
Community ecology & functional ecology questions
= Insights from gap-models



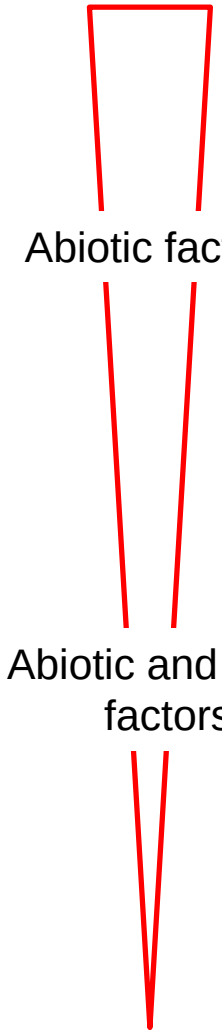
On-going and future directions…

Community ecology & functional ecology questions

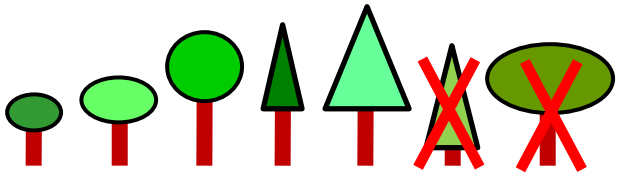
= Insights from gap-models



Spatial scale

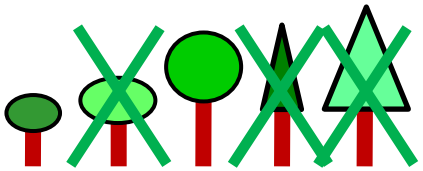


Abiotic factors



Environmental Filtering

= Functional clustering

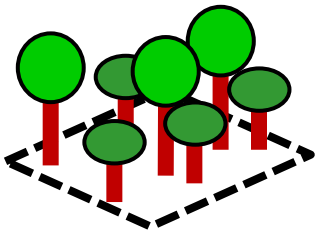


Abiotic and biotic factors

Biotic Interactions

(+Dispersal)

= Functional overdispersion



Evidence for niche differentiation

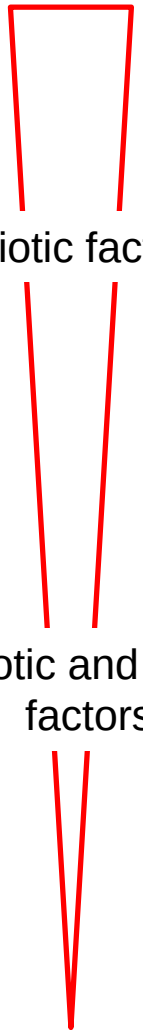
But evidence for convergence in stressful sites

Chauvet & Morin, in prep.

On-going and future directions…

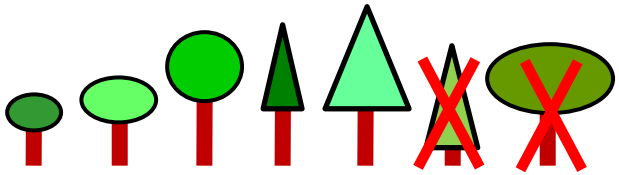
Community ecology & functional ecology questions
= Insights from gap-models

Spatial scale

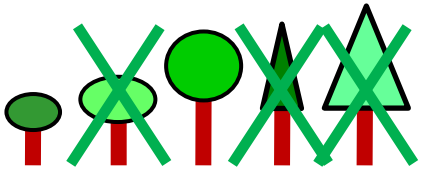


Abiotic factors

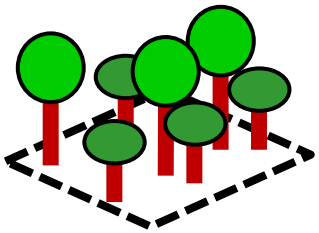
Abiotic and biotic factors

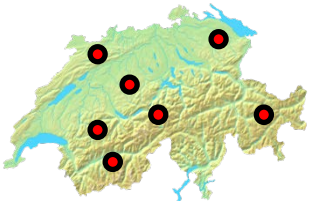


Environmental Filtering



Biotic Interactions
(+Dispersal)





= Functional clustering

What mechanisms?

= Functional overdispersion

Evidence for niche differentiation

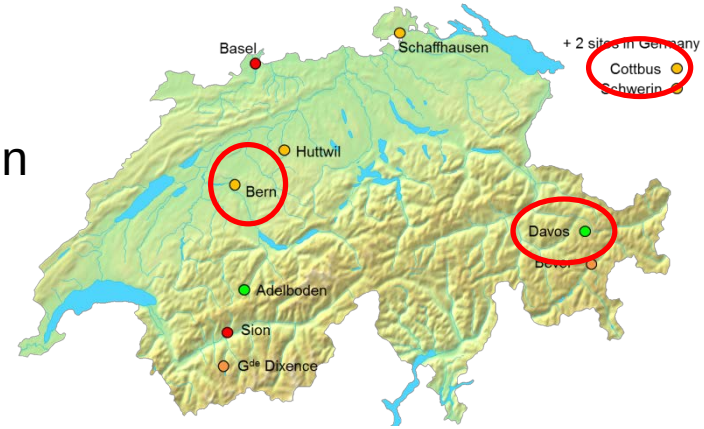
But evidence for convergence in stressful sites

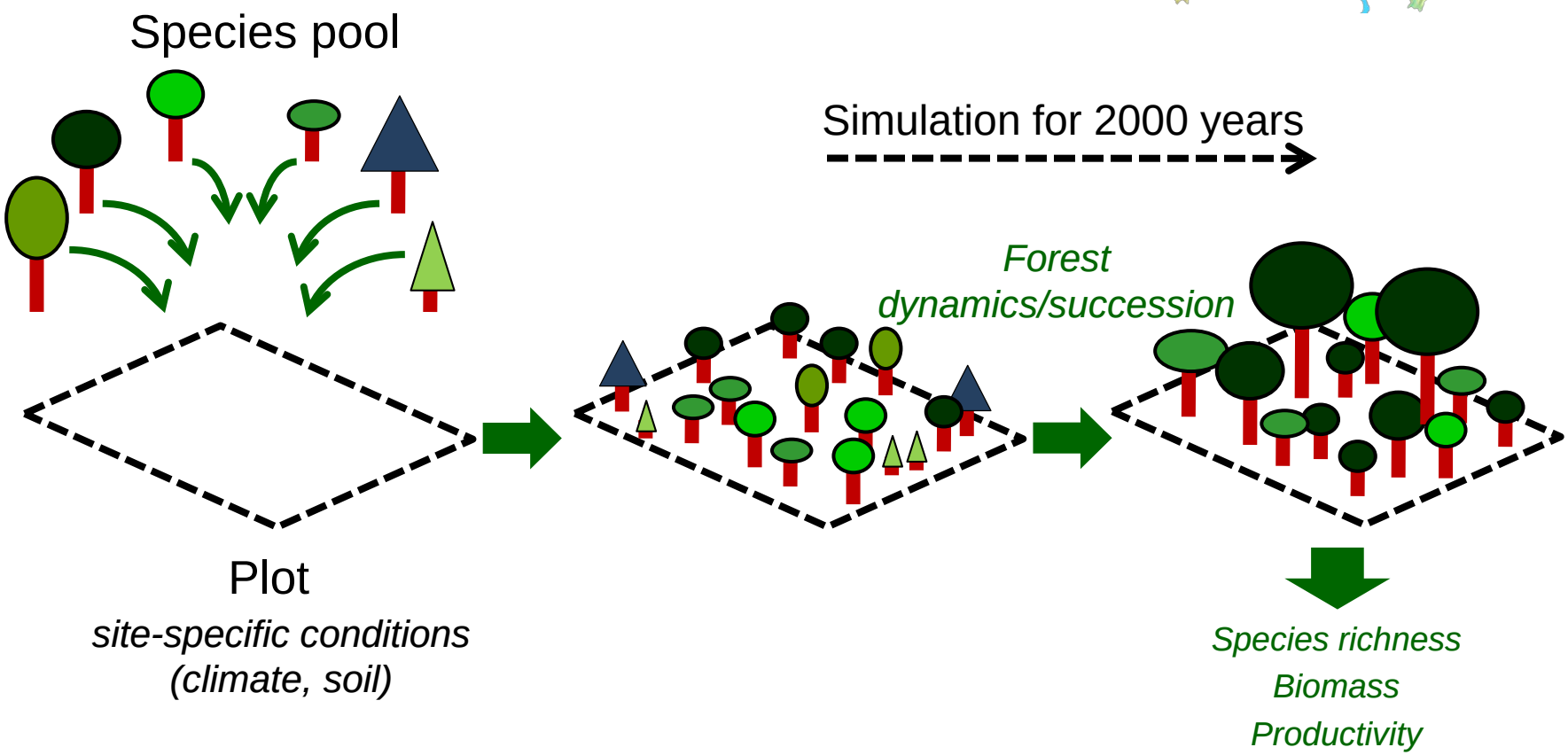
Chauvet & Morin, in prep.

Changing the species pool: Succession experiments

ForCEPS

- Simulations in 3 sites
- Species out of the pool depending on their vulnerability to climate change



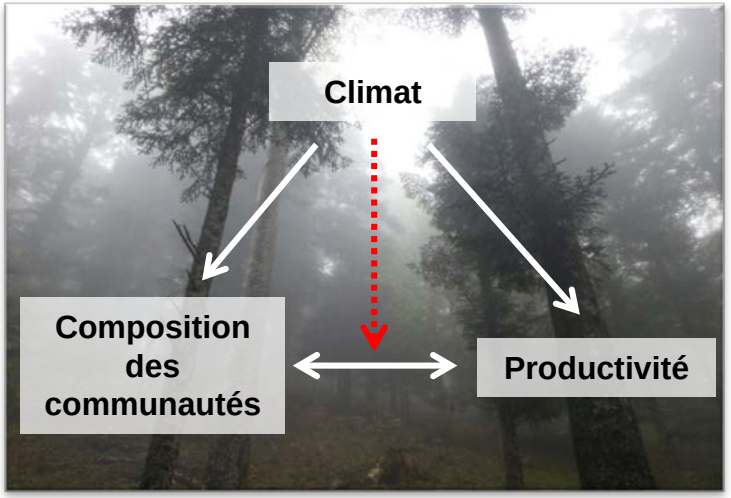


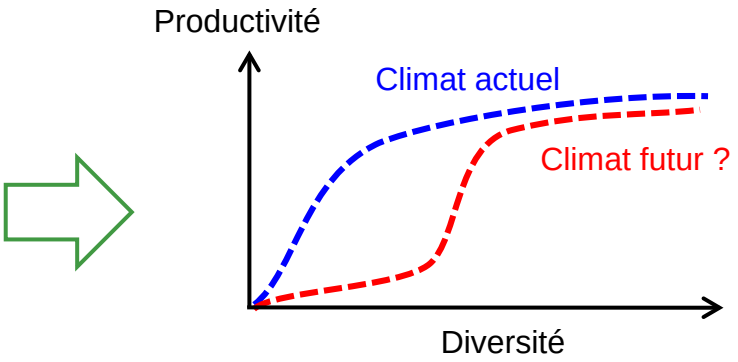
EC21

EUROPEAN CONSERVATION
FOR THE 21st CENTURY

Thème 2 Impact des changements planétaires

Impact des changements globaux sur la biodiversité
et la productivité des forêts alpines et méditerranéennes





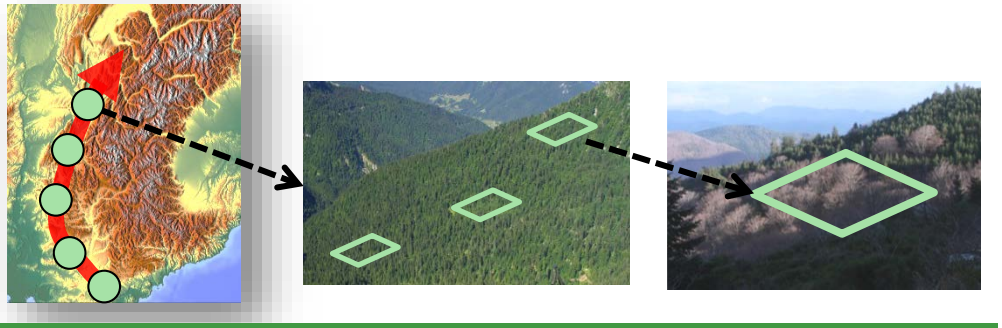
Hypothèse : Perte de diversité plus dommageable dans le futur pour les écosystèmes ?

Projet « BioProFor »

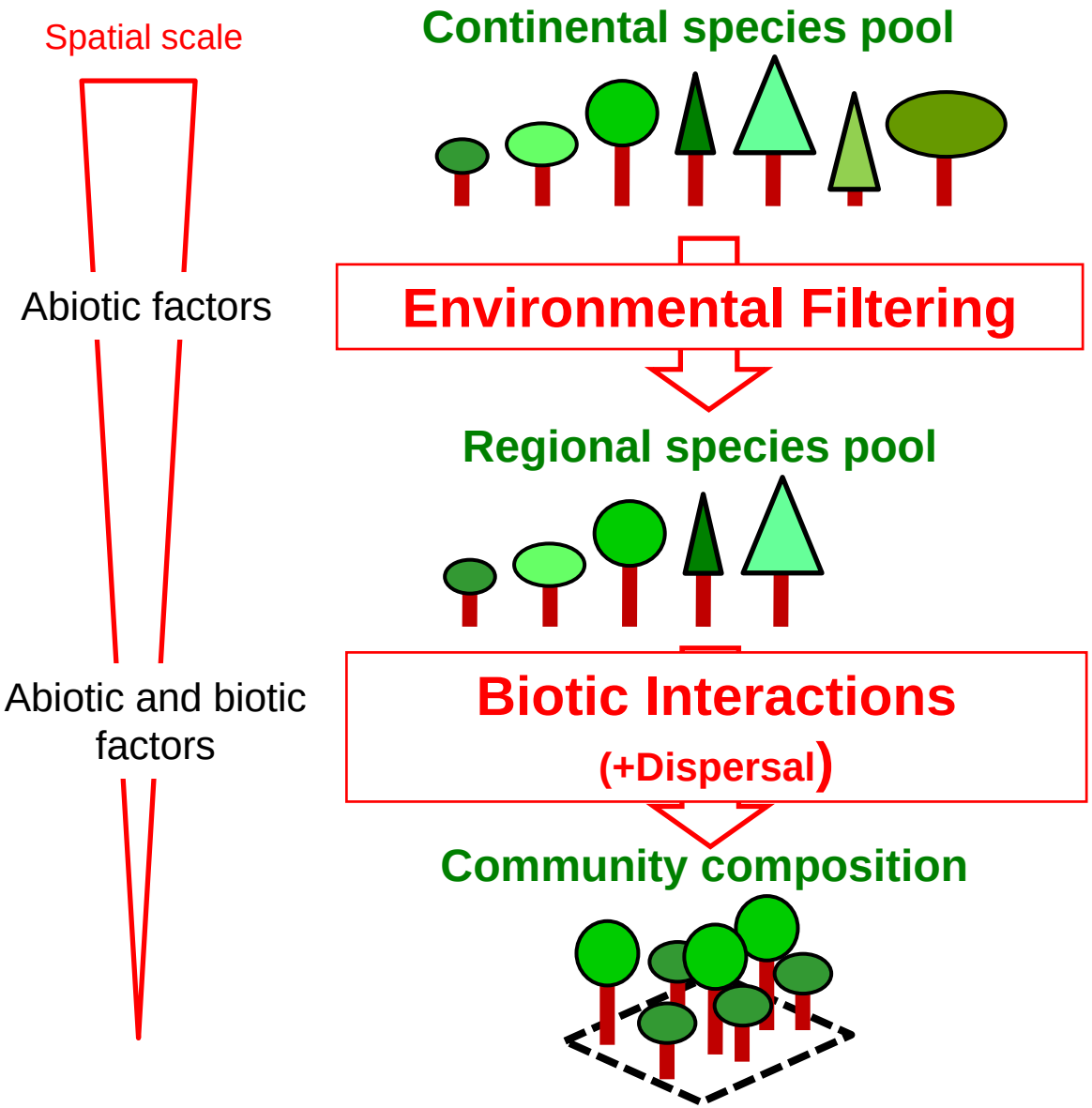
1.Modélisation = Modèle de dynamique forestière + données de RCMs

2.Validation expérimentale

= Gradient latitudinal
de gradients altitudinaux
de placettes de diversité variée

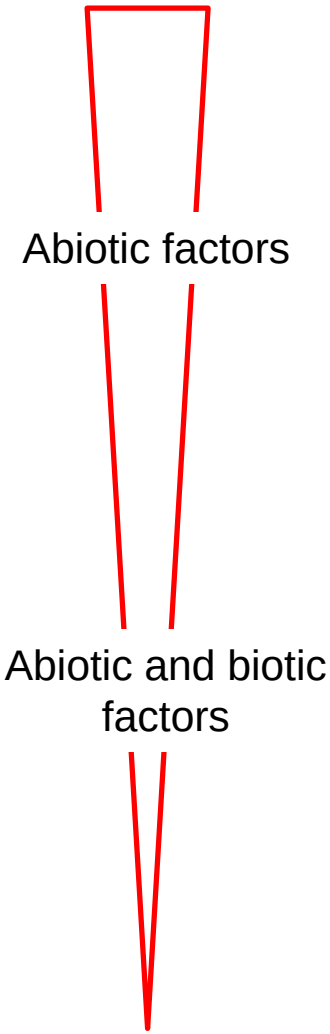


1 What promotes coexistence of species in woody sp communities?

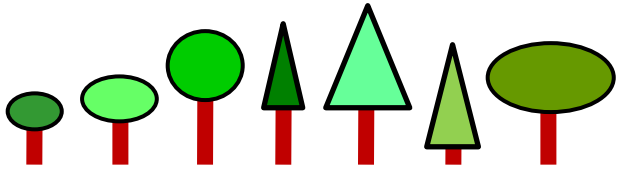


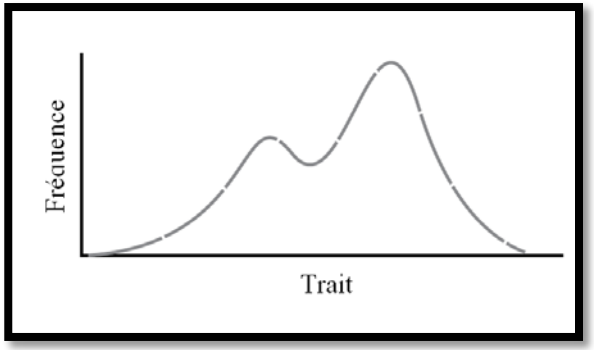
1 What promotes coexistence of species in woody sp communities?

Spatial scale



Continental species pool

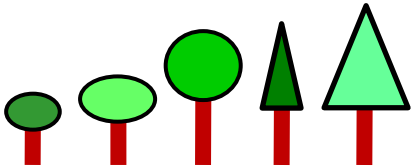


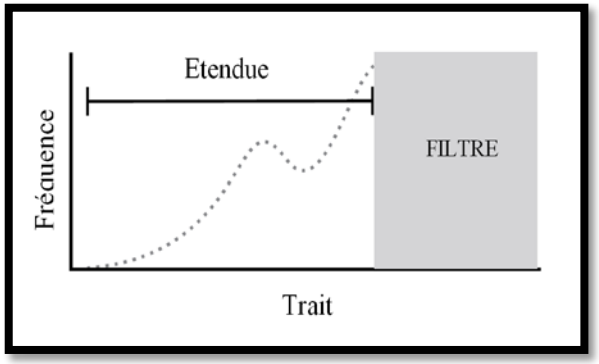


Kraft & Ackerly 2010

Environmental Filtering

Regional species pool

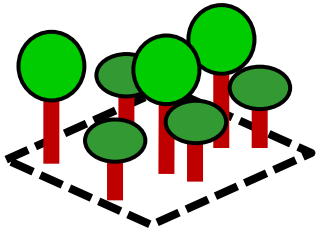




Biotic Interactions

(+Dispersal)

Community composition



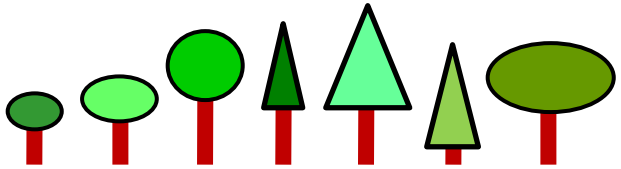
1 What promotes coexistence of species in woody sp communities?

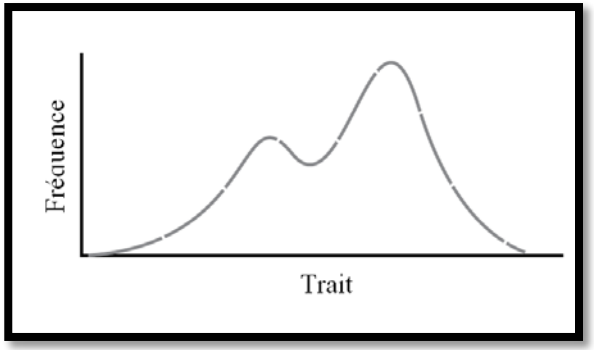
Spatial scale

Abiotic factors

Abiotic and biotic factors

Continental species pool

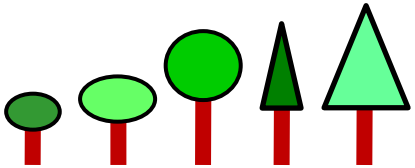


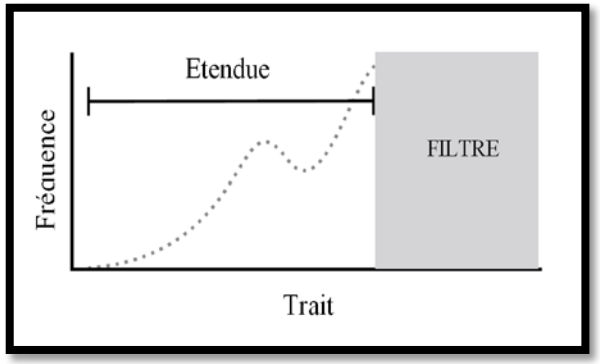


Kraft & Ackerly 2010

Environmental Filtering

Regional species pool

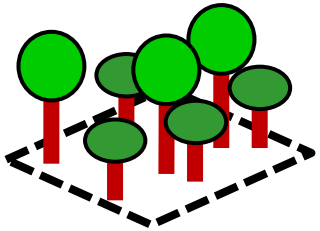


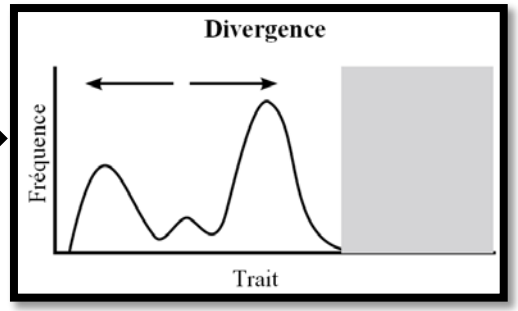


Biotic Interactions

(+Dispersal)

Community composition





Gause 1934
MacArthur & Levin 1967

Niche differenciation

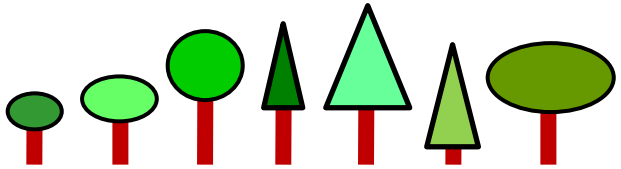
1 What promotes coexistence of species in woody sp communities?

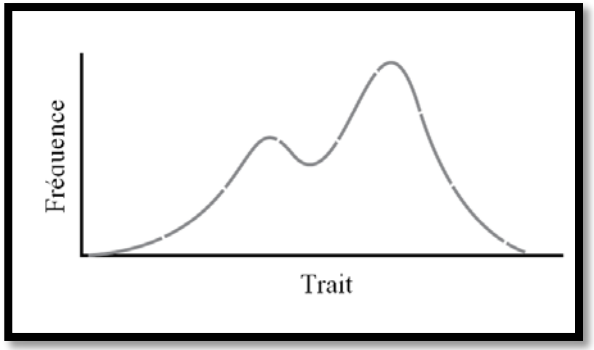
Spatial scale

Abiotic factors

Abiotic and biotic factors

Continental species pool

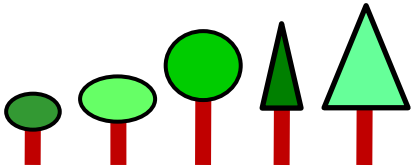


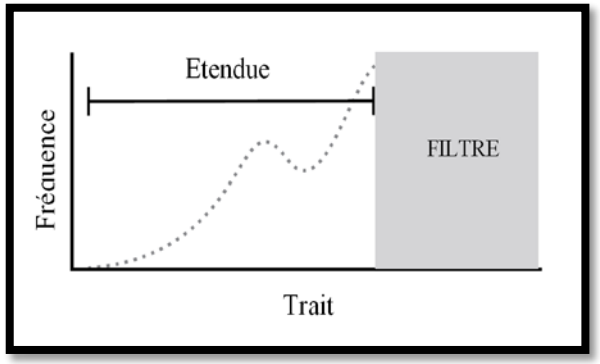


Kraft & Ackerly 2010

Environmental Filtering

Regional species pool

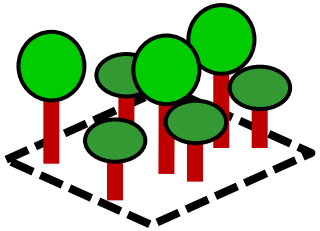




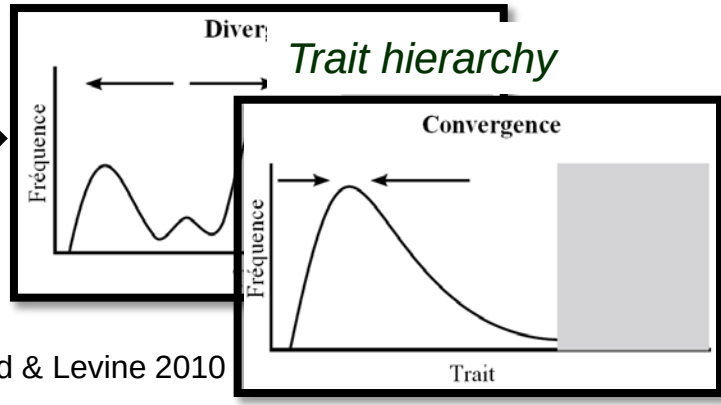
Biotic Interactions

(+Dispersal)

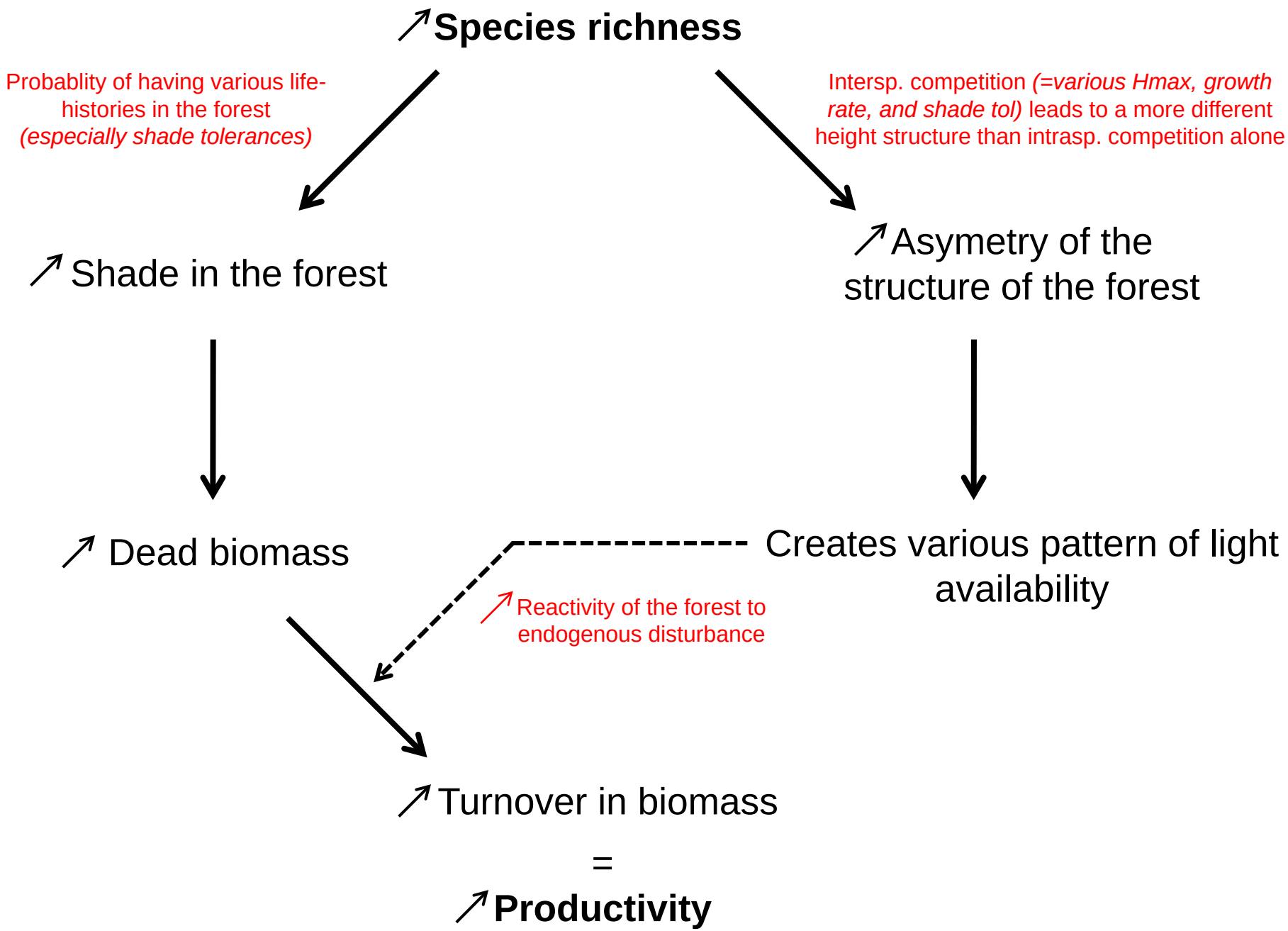
Community composition



Trait hierarchy



Mayfield & Levine 2010


↗Species richness
Probablity of having various life-histories in the forest (especially shade tolerances)
Intersp. competition (=various Hmax, growth rate, and shade tol) leads to a more different height structure than intrasp. competition alone
↗ Shade in the forest
↗Asymetry of the structure of the forest
↗ Dead biomass
Creates various pattern of light availability
↗Reactivity of the forest to endogenous disturbance
↗Turnover in biomass
=
↗Productivity