Appel à Proposition de recherche 2013

DISTIMACC

DIversite, **ST**abilité et fonctionnement des écosystèmes forestiers : quelle **I**ngenierie et quels **M**élanges pour l'**A**daptation au **C**hangement **C**limatique, de la Provence aux Alpes du Nord

Xavier Morin

cnrs

Centre d'Ecologie Fonctionnelle & Evolutive

5 juin 2014

Liberté • Égalité • Fraternité
République Française
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

ECOFOR
ECOSYSTEMES FORESTIERS

Liberté • Égalité • Fraternité
République Française
MINISTÈRE DE L'ALIMENTATION DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE

Présentation du consortium

- CNRS Montpellier – CEFE
  - *Xavier Morin*
  - *Isabelle Chuine*
  - *Sylvain Coq*
  - *Stephan Hättenschwiler*
  - *Johanne Nahmani*

- IRSTEA Grenoble – EMGR
  - *Thomas Cordonnier*
  - *Thomas Bourdier*
  - *Georges Kunstler*

- ONF – R&D PACA et Rhône-Alpes
  - Catherine Riond
  - Philippe Dreyfus
  - Jean Ladier

- AMAP – INRA/CIRAD Montpellier
  - François de Coligny

Présentation du consortium

- CNRS Montpellier – CEFE
  - *Xavier Morin*
  - *Isabelle Chuine*
  - *Sylvain Coq*
  - *Stephan Hättenschwiler*
  - *Johanne Nahmani*
- IRSTEA Grenoble – EMGR
  - *Thomas Cordonnier*
  - *Thomas Bourdier*
  - *Georges Kunstler*
- ONF – R&D PACA et Rhône-Alpes
  - Catherine Riond
  - Philippe Dreyfus
  - Jean Ladier
- AMAP – INRA/CIRAD Montpellier
  - François de Coligny

- *Stabilité croissance*
- *Stabilité régénération*
- *Stabilité décomposition*
- *Modélisation*
- *Ingénierie*

Présentation du consortium

- CNRS Montpellier – CEFE
  - *Xavier Morin*
  - *Isabelle Chuine*
  - *Sylvain Coq*
  - *Stephan Hättenschwiler*
  - *Johanne Nahmani*
- IRSTEA Grenoble – EMGR
  - *Thomas Cordonnier*
  - *Thomas Bourdier*
  - *Georges Kunstler*
- ONF – R&D PACA et Rhône-Alpes
  - Catherine Riond
  - Philippe Dreyfus
  - Jean Ladier
- AMAP – INRA/CIRAD Montpellier
  - François de Coligny

- *Stabilité croissance*
- *Stabilité régénération*
- *Stabilité décomposition*
- *Modélisation*
- *Ingénierie*

Impacts des changements globaux sur les forêts

Changements Globaux

Regional

Répartition des espèces

Extinctions

Colonisations

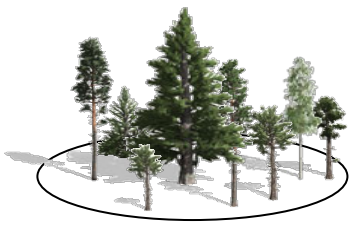
Local

Composition des communautés

$\nearrow CO_2$

$\nearrow$ *Température et changement précipitations*

Fonctionnement des Ecosystèmes



Impacts des changements globaux sur les forêts

Changements Globaux

Regional

Répartition des espèces

Extinctions

Colonisations

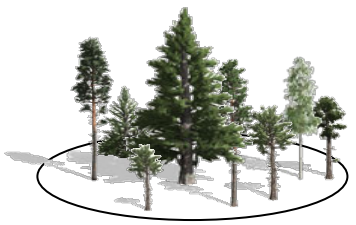
↑ CO_2

↑ *Température et changement précipitations*

Local

Composition des communautés

Fonctionnement des Ecosystèmes



Impacts des changements globaux sur les forêts

Changements Globaux

Regional

Répartition des espèces

Extinctions

Colonisations

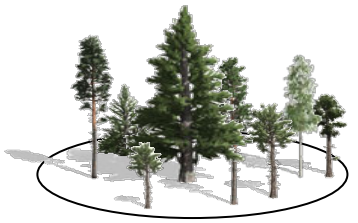
$\nearrow CO_2$

$\nearrow$ *Température et changement précipitations*

Local

Composition des communautés

Fonctionnement des Ecosystèmes



Impacts des changements globaux sur les forêts

Changements Globaux

Regional

Répartition des espèces

Extinctions

Colonisations

$\nearrow CO_2$

$\nearrow$ *Température et changement précipitations*

Local

Composition des communautés

Fonctionnement des Ecosystèmes

Stabilité ??

Un enjeu important pour le gestionnaire

Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

Théorie

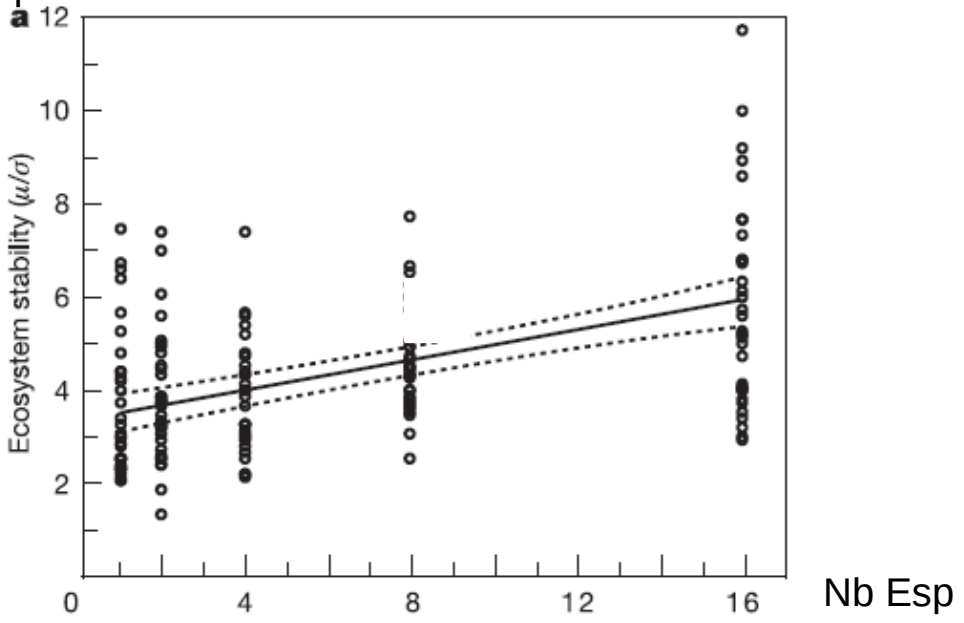
Lehman & Tilman (2000)
Yachi & Loreau (1999)

Expérimentations

Ives & Carpenter (2007)
Tilman et al. (2006)

En moyenne, un effet stabilisant de la diversité

Stabilité temporelle
de la productivité



Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

Théorie

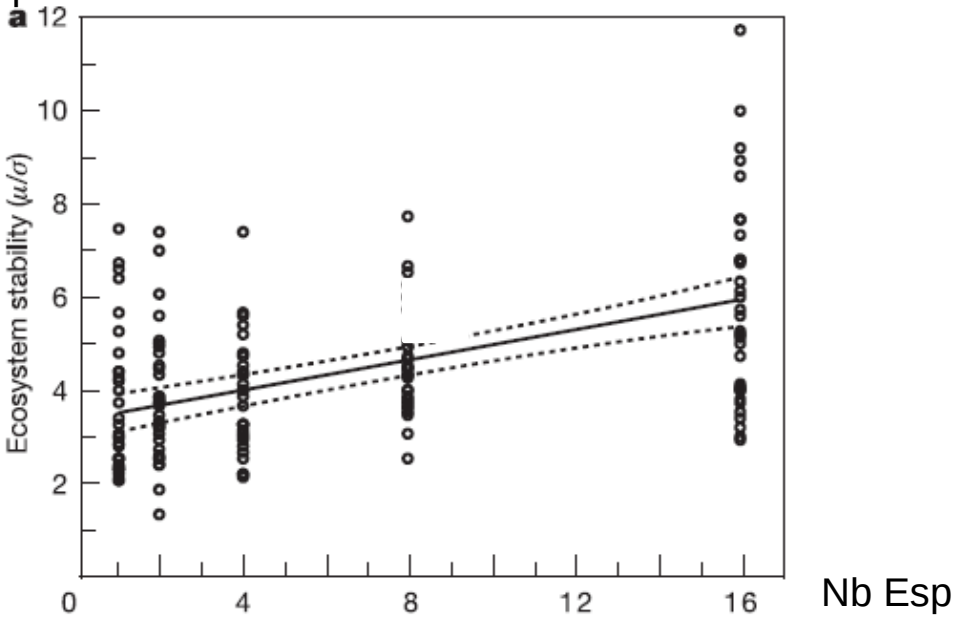
Lehman & Tilman (2000)
Yachi & Loreau (1999)

Expérimentations

Ives & Carpenter (2007)
Tilman et al. (2006)

En moyenne, un effet stabilisant de la diversité

Stabilité temporelle
de la productivité



Valide pour les écosystèmes naturels ?
En forêt ?
Mécanismes ?

Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

Résilience *vs.* Résistance

Capacité d'un écosystème forestier à maintenir sa structure et ses propriétés après une perturbation ou un stress

Vitesse de récupération après une perturbation ou un stress

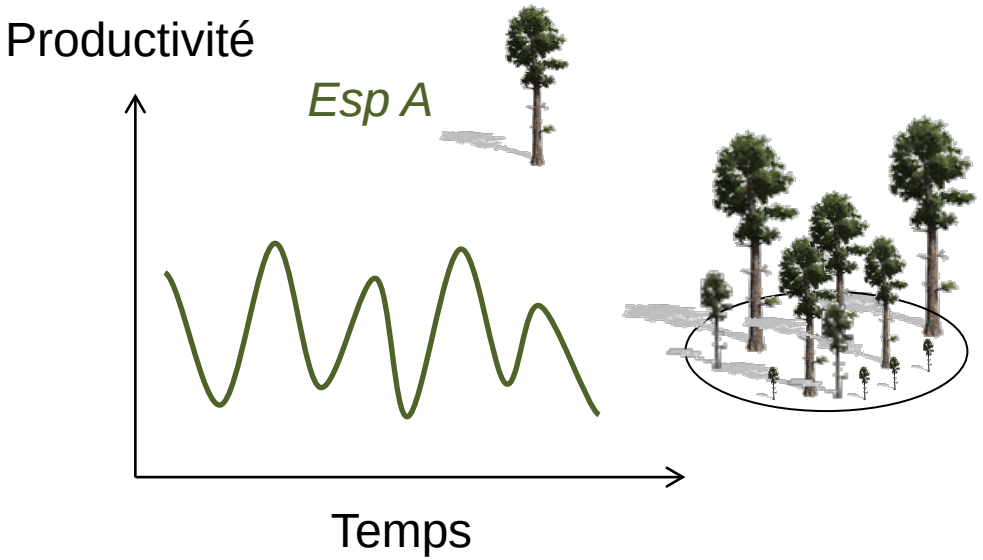
Test de l'hypothèse d'assurance écologique

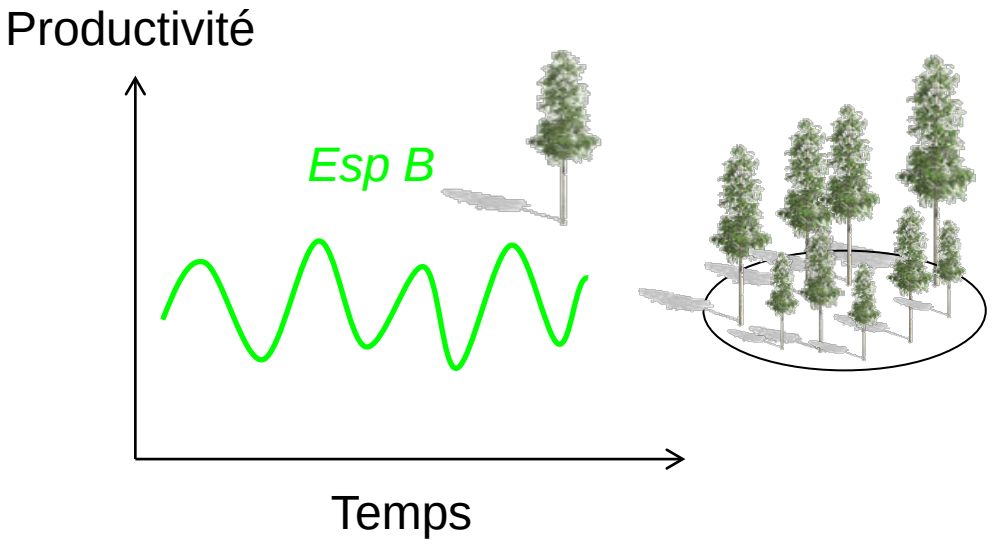
(Yachi & Loreau 1999)

Les espèces se compensent les unes les autres du fait de leurs réponses différentes aux conditions de milieu

Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

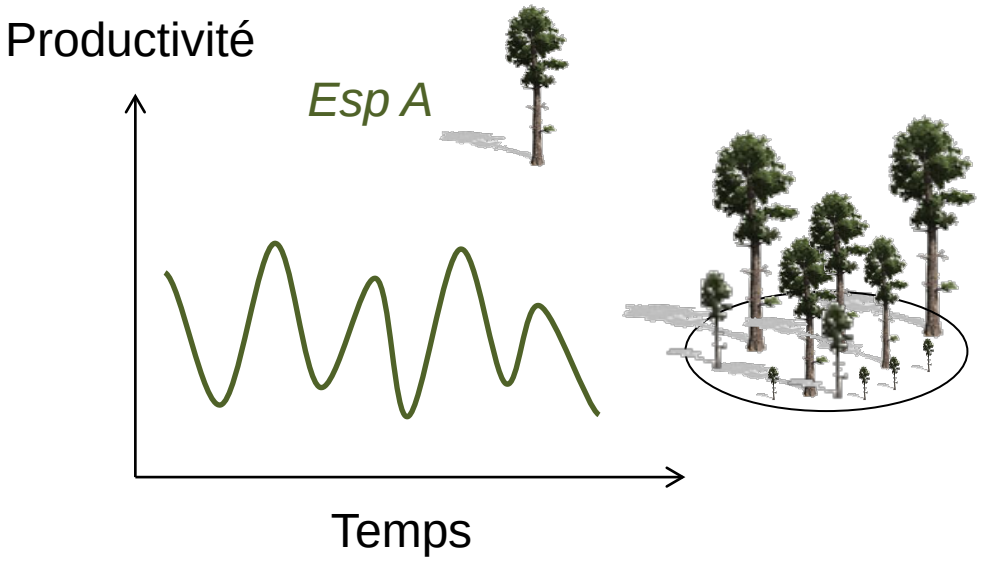
Test de l'hypothèse d'assurance écologique

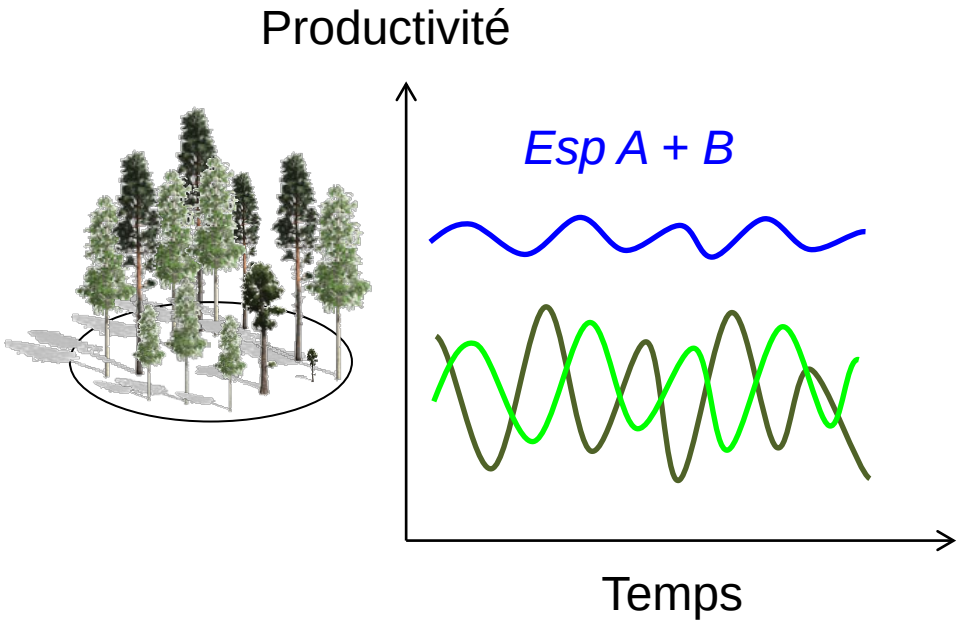


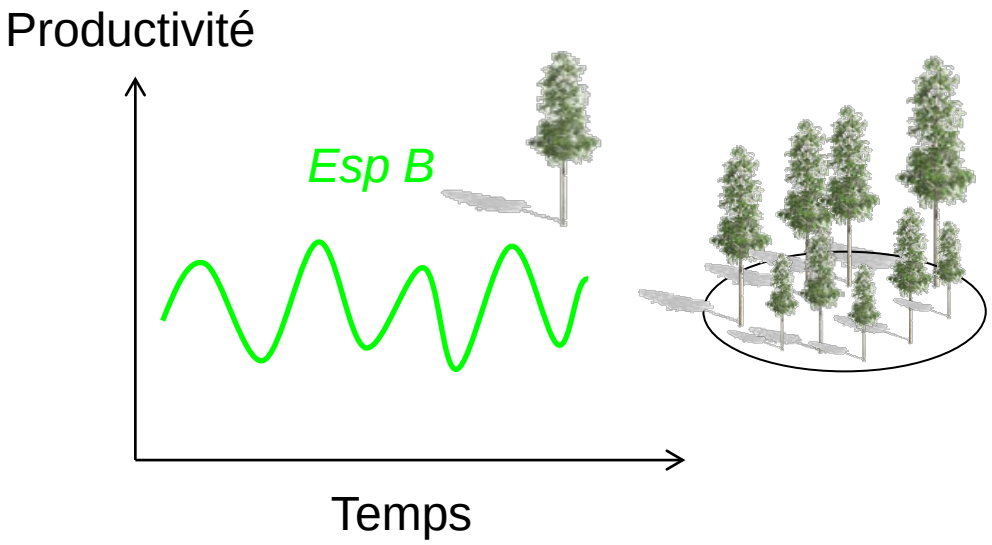


Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

Test de l'hypothèse d'assurance écologique







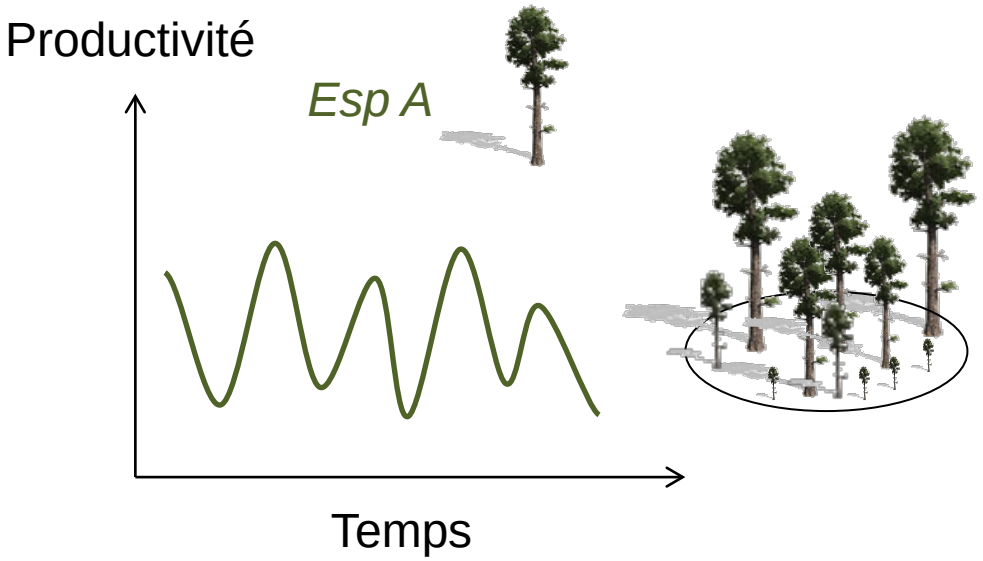
Dynamique compensatoire

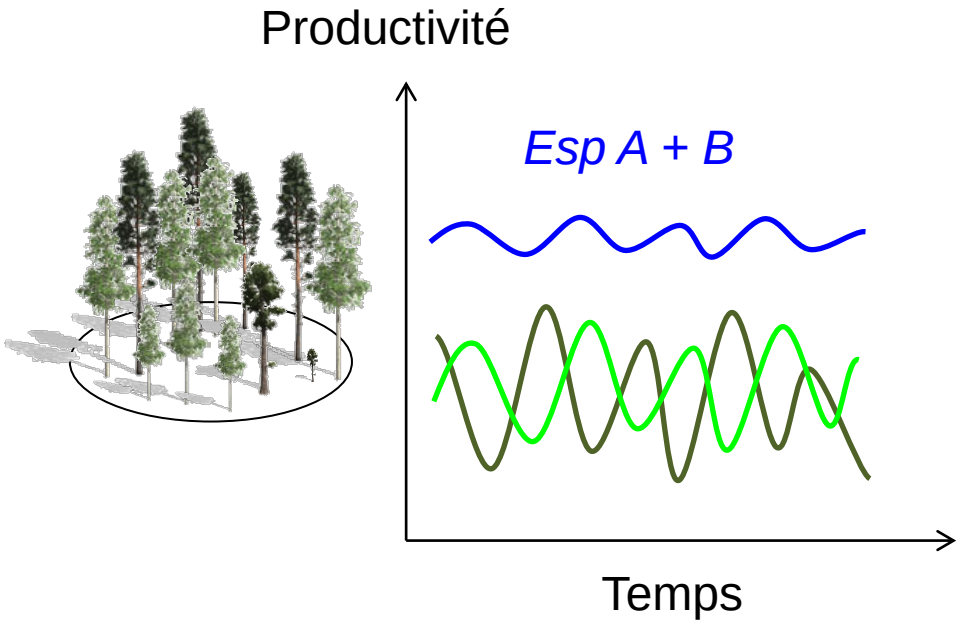
réponse aux fluctuations environnementales

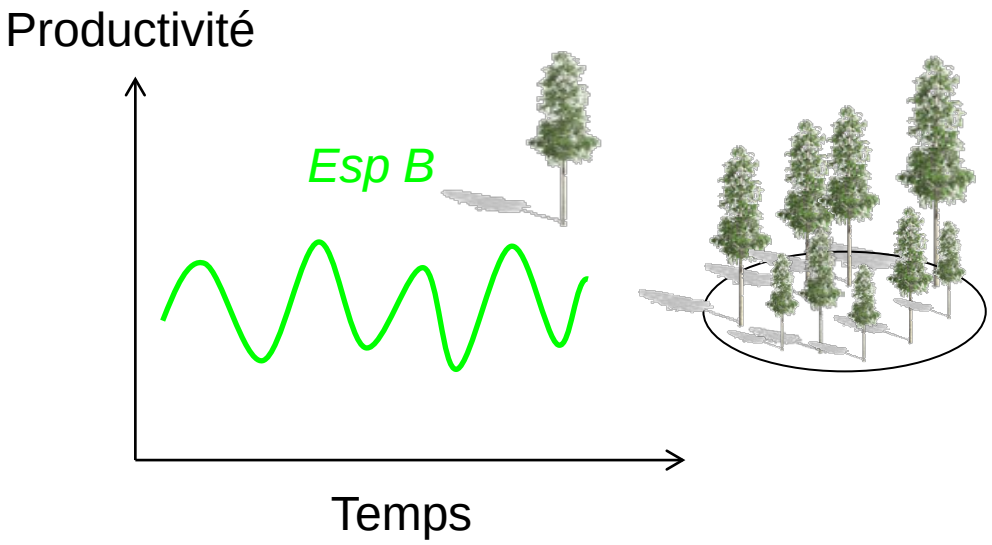
Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

Test de l'hypothèse d'assurance écologique

= très peu d'études en forêt surtout à large échelle







Dynamique compensatoire

réponse aux fluctuations environnementales

Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

Résilience *vs.* Résistance

Capacité d'un écosystème forestier à maintenir sa structure et ses propriétés après une perturbation ou un stress

Vitesse de récupération après une perturbation ou un stress

Test de l'hypothèse d'assurance écologique

= très peu d'études en forêt surtout à large échelle

Test sur plusieurs processus écosystémiques

Croissance ***Régénération*** ***Décomposition***

Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

Résilience *vs.* Résistance

Capacité d'un écosystème forestier à maintenir sa structure et ses propriétés après une perturbation ou un stress

Vitesse de récupération après une perturbation ou un stress

Test de l'hypothèse d'assurance écologique

= très peu d'études en forêt
surtout à large échelle

Test sur plusieurs processus écosystémiques

Croissance Régénération Décomposition

Nécessité d'un transfert intégré vers la gestion

Forêts Méditerrano-alpines = région où se trouvent de nombreux types forestiers identifiés comme sensibles au changement climatique

Hêtre Sapin Ch. pubescent Epicéa + Pin sylvestre

Biodiversité

Changement climatique

Environnement

Climat - Sol

Stabilité

Résilience

Résistance

Biodiversité

Changement climatique

Environnement

Climat - Sol

Croissance

Décomposition des litières

Composition et Structure de la Régénération

Stabilité

Résilience

Résistance

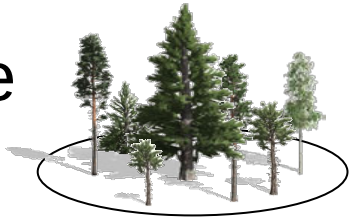
Biodiversité

Changement climatique

Environnement

Climat - Sol

Composition et Structure du peuplement



Croissance

Décomposition des litières

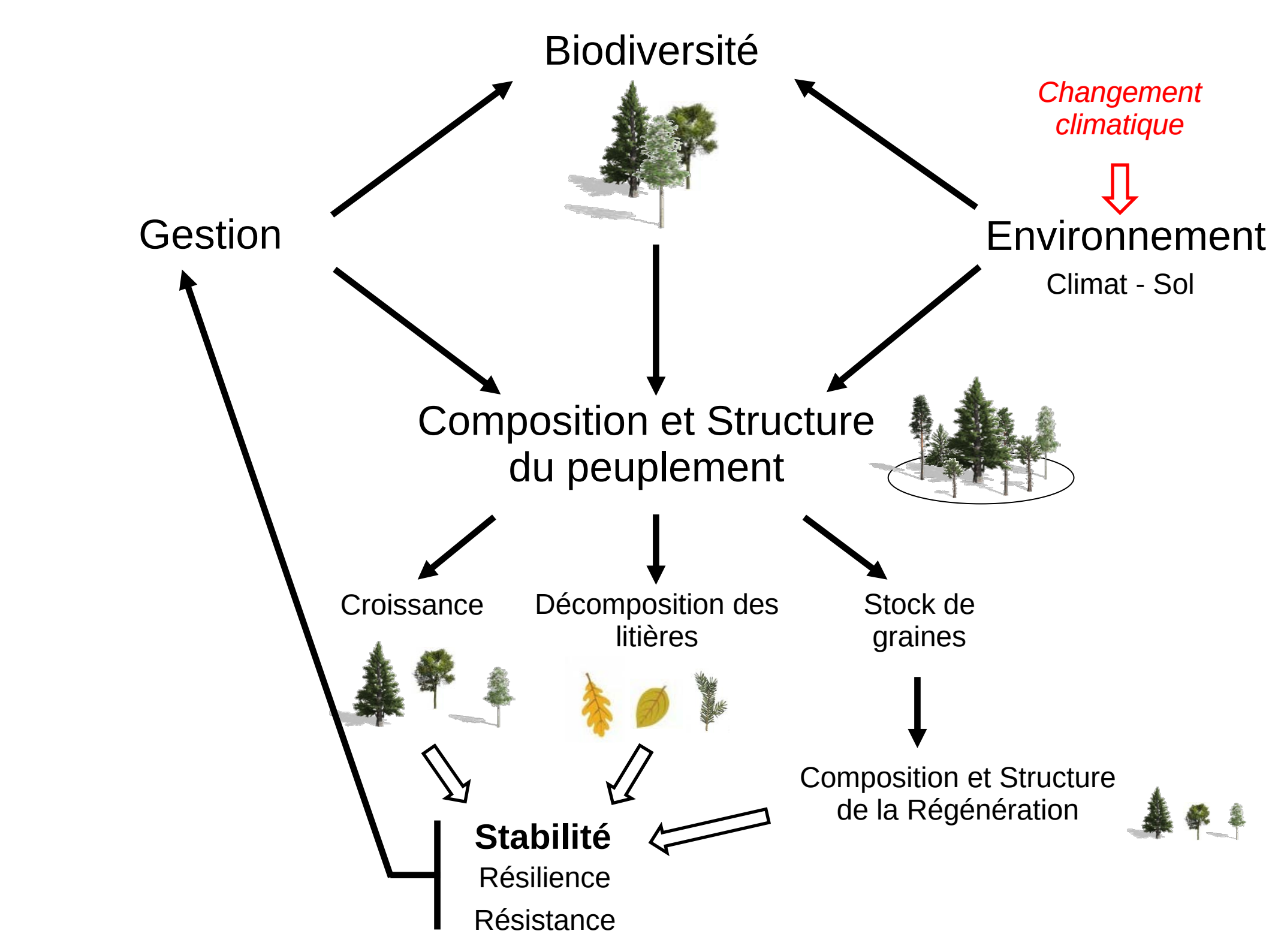
Stock de graines

Composition et Structure de la Régénération

Stabilité

Résilience

Résistance


Biodiversité
Changement climatique
Gestion
Environnement
Climat - Sol
Composition et Structure du peuplement
Croissance
Décomposition des litières
Stock de graines
Composition et Structure de la Régénération
Stabilité
Résilience
Résistance

1 Ingénierie des mélanges

Biodiversité

Changement climatique

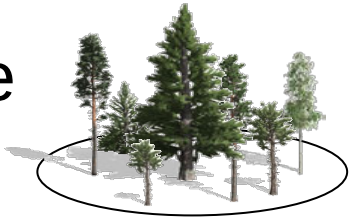
⇩

Gestion

Environnement

Climat - Sol

Composition et Structure du peuplement



Croissance

Décomposition des litières

Stock de graines

Composition et Structure de la Régénération

Stabilité

Résilience

Résistance

1 Ingénierie des mélanges

Synthèse bibliographique
Modélisation
Transfert

Assurer le **lien** entre questions scientifiques et éléments utiles pour la gestion en :

- **ciblant les mélanges** d'intérêt étudiés au cours du projet,
- testant le **comportement** de différents mélanges (simulations) en particulier en réponse à différentes conditions climatiques,
- favorisant le **transfert** vers la gestion.

= Démarche d'ingénierie forestière intégrant chercheurs et gestionnaires

(i) une synthèse bibliographique sur les mélanges d'intérêt, leur promotion et leur conduite

(ii) un travail de simulation de modalités de gestion de ces mélanges selon différents gradients (altitude, latitude), et selon certains scénarios d'évolution climatique

⇨ Mise au point de scénarios sylvicoles candidats, pour les différentes situations écologiques d'intérêt.

2

Diversité – Stabilité
croissance des arbres

Biodiversité

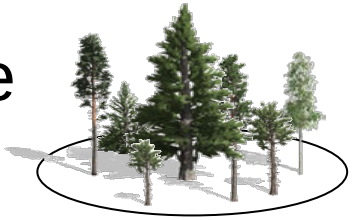
Changement climatique

Environnement

Climat - Sol

Gestion

Composition et Structure du peuplement



Croissance

Décomposition des litières

Stock de graines

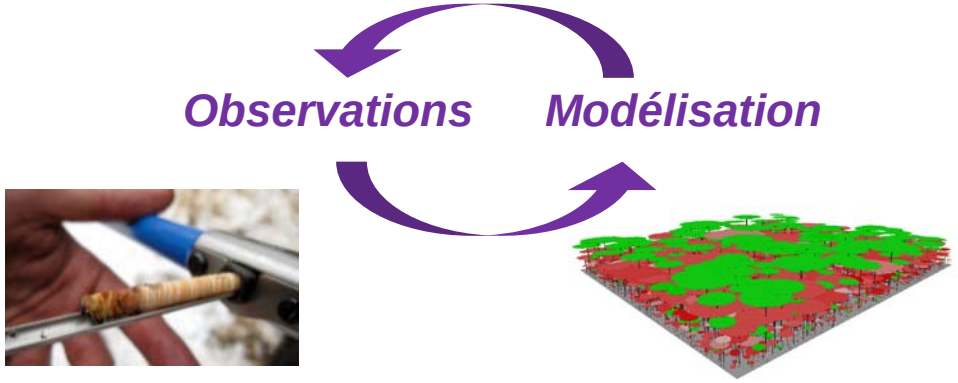
Composition et Structure de la Régénération

Stabilité

Résilience

Résistance

2 Diversité – Stabilité
croissance des arbres



Test de l'effet des **mélanges** et de la diversité des ligneux sur la **production** des peuplements

et sa **stabilité** au cours du temps, en fonction du **climat**

- La stabilité des peuplements augmente avec la diversité (intra- et inter-spécifique)

- Effet lié à la structuration en taille des peuplements (hétérogénéité des hauteurs)

- Effet mélange plus fort en conditions plus stressantes (plus froides et/ou plus sèches)

… du fait que la diversité fonctionnelle intra-spécifique diminue avec l'altitude et/ou la latitude.

3

Diversité – Stabilité
régénération

Biodiversité

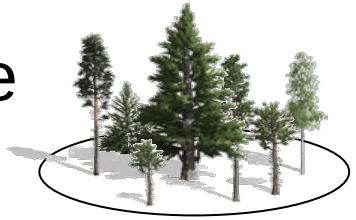
Changement climatique

Environnement

Climat - Sol

Gestion

Composition et Structure du peuplement



Croissance

Décomposition des litières

Stock de graines

Composition et Structure de la Régénération

Stabilité

Résilience

Résistance

3

Diversité – Stabilité
régénération

Observations ***Modélisation***

Réponse du succès de **régénération** des arbres à la **diversité** des espèces de couvert et aux **conditions environnementales**

- La régénération dépend de la diversité des ligneux et de la structure du peuplement

- La présence d'un sous-étage favorise la régénération en conditions climatiques plus stressantes mais est limitant en conditions plus optimales

- Après un stress, la régénération est plus importante dans les peuplements plus diversifiés

4

Diversité – Stabilité *décomposition*

Biodiversité

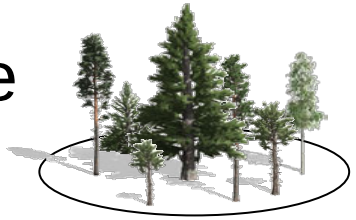
Changement climatique

Environnement

Climat - Sol

Gestion

Composition et Structure du peuplement



Croissance

Décomposition des litières

Stock de graines

Composition et Structure de la Régénération

Stabilité

Résilience

Résistance

4

Diversité – Stabilité
décomposition

Expérimentation

Résilience de la **décomposition** des litières
en fonction la **diversité** des espèces de couvert

et des **conditions environnementales**

- Une plus grande diversité des ligneux accélère la décomposition des litières

- Cet effet est lié à la diversité des plantes sur le site et à leurs effets sur les cd. environ., et de la diversité des litières elle-même

- La résistance et la résilience de la décomposition sont plus importantes avec une plus grande diversité

2 outils principaux : le dispositif BioProFor et le modèle ForCEEPS

2 outils principaux : le dispositif BioProFor et le modèle ForCEEPS

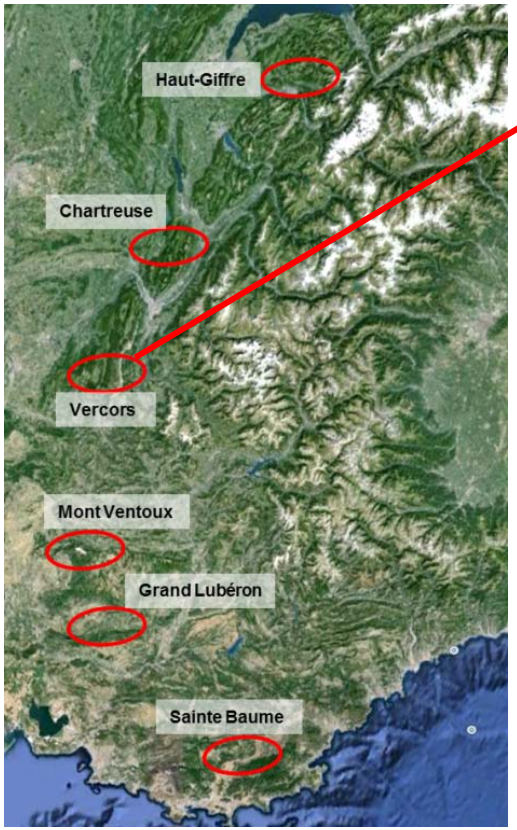
BioProFor = un gradient environnemental pour étudier l'impact du climat sur la diversité et le fonctionnement des écosystèmes

ANR 2012-2014

+ Placettes Irstea

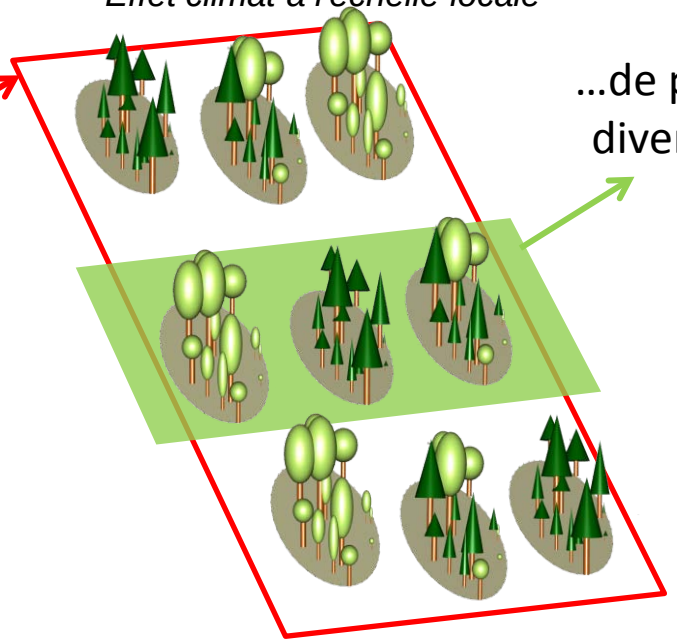
Un gradient latitudinal…

Effet climat à large échelle



…de gradients altitudinaux…

Effet climat à l'échelle locale



…de placettes de diversité variée

Inventaires et biométrie

Arbres Arbustes Régénération

Mesures de traits fonctionnels et d'histoire de vie

Age Densité du bois Traits foliaires Phénologie LAI

Instrumentation

2 outils principaux : le dispositif BioProFor et le modèle ForCEEPS

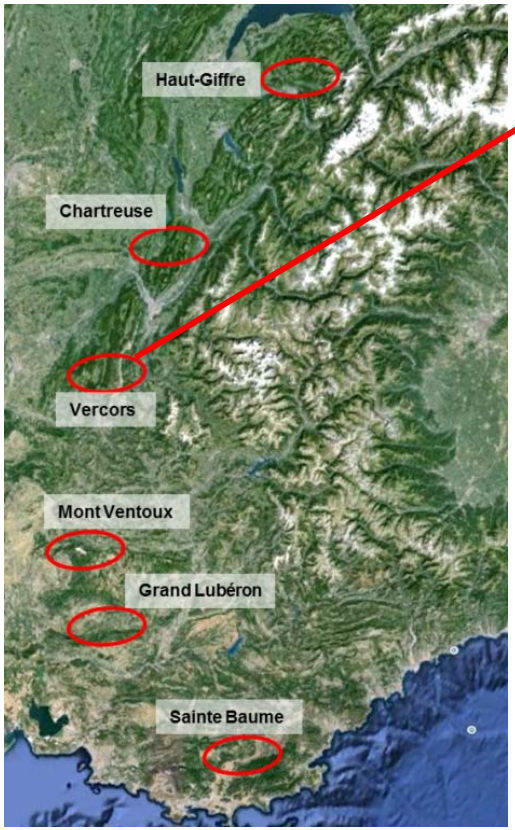
BioProFor = un gradient environnemental pour étudier l'impact du climat sur la diversité et le fonctionnement des écosystèmes

ANR 2012-2014

+ Placettes Irstea

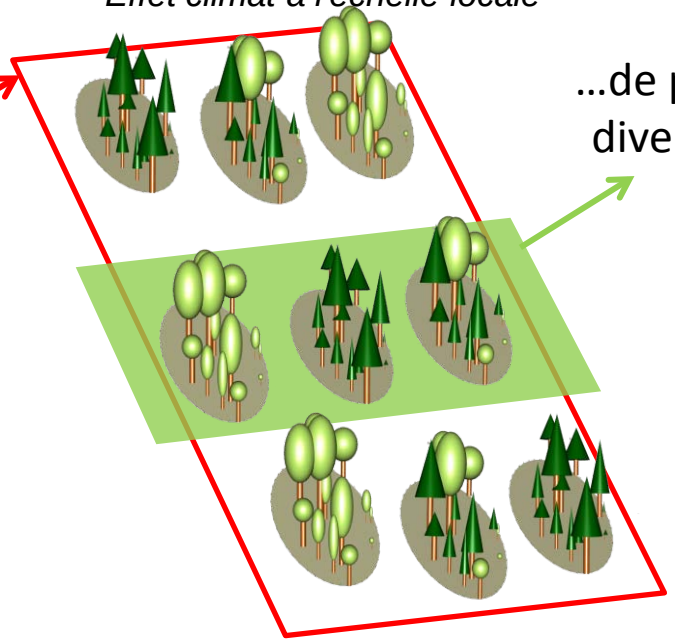
Un gradient latitudinal…

Effet climat à large échelle



…de gradients altitudinaux…

Effet climat à l'échelle locale



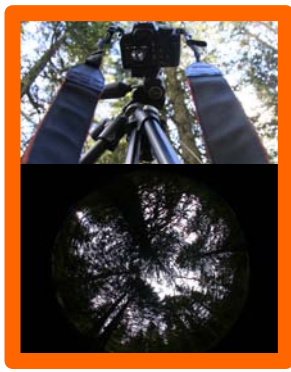
…de placettes de diversité variée

Inventaires et biométrie

Arbres Arbustes Régénération

Mesures de traits fonctionnels et d'histoire de vie

Age Densité du bois Traits foliaires Phénologie LAI



Instrumentation

2 outils principaux : le dispositif BioProFor et le modèle ForCEEPS

ForCEEPS *FORest Community Ecology and Ecosystem ProcesseS*

(Morin, de Coligny, Fahse & Bugmann)

= un modèle de dynamique forestière pour étudier l'effet de la diversité sur les proc. écosyst.

2 outils principaux : le dispositif BioProFor et le modèle ForCEEPS

ForCEEPS *FORest Community Ecology and Ecosystem ProcesseS*

(Morin, de Coligny, Fahse & Bugmann)

= un modèle de dynamique forestière pour étudier l'effet de la diversité sur les proc. écosyst.

- Inspiré de ForClim (ETH Zürich)

- Un modèle de trouée classique

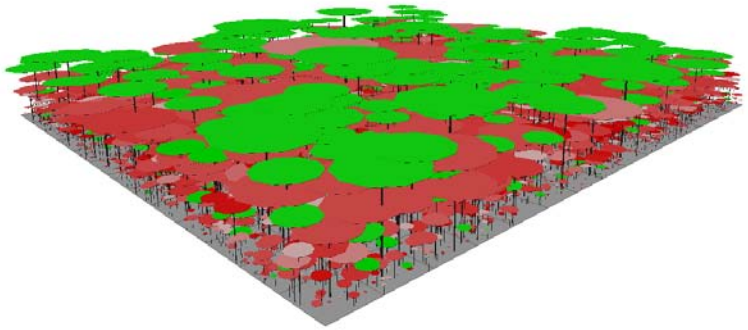
= *successions cycliques sur de petites parcelles*

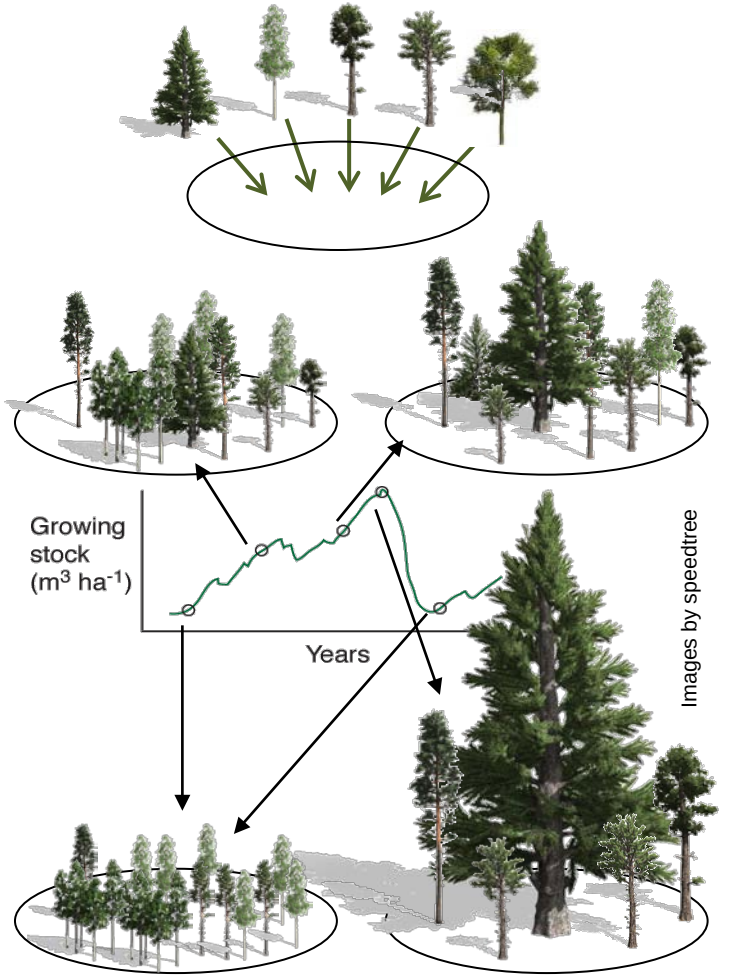
- Description quantitative de la dynamique de populations d'arbres

= *Etablissement / Croissance / Mortalité*

- Facteurs limitants

Lumière */ Climat / Azote du sol*





2 outils principaux : le dispositif BioProFor et le modèle ForCEEPS

ForCEEPS *FORest Community Ecology and Ecosystem ProcesseS*

(Morin, de Coligny, Fahse & Bugmann)

= un modèle de dynamique forestière pour étudier l'effet de la diversité sur les proc. écosyst.

- Inspiré de ForClim (ETH Zürich)

- Un modèle de trouée classique

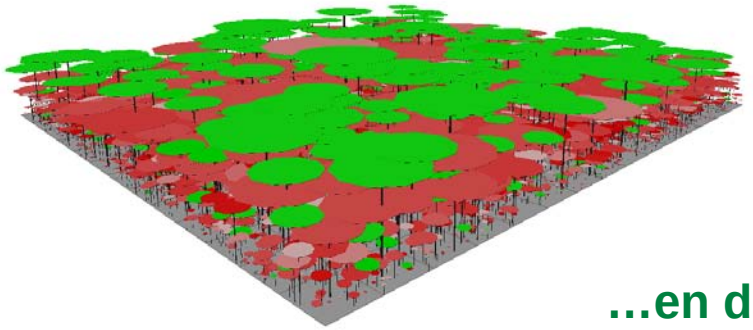
= *successions cycliques sur de petites parcelles*

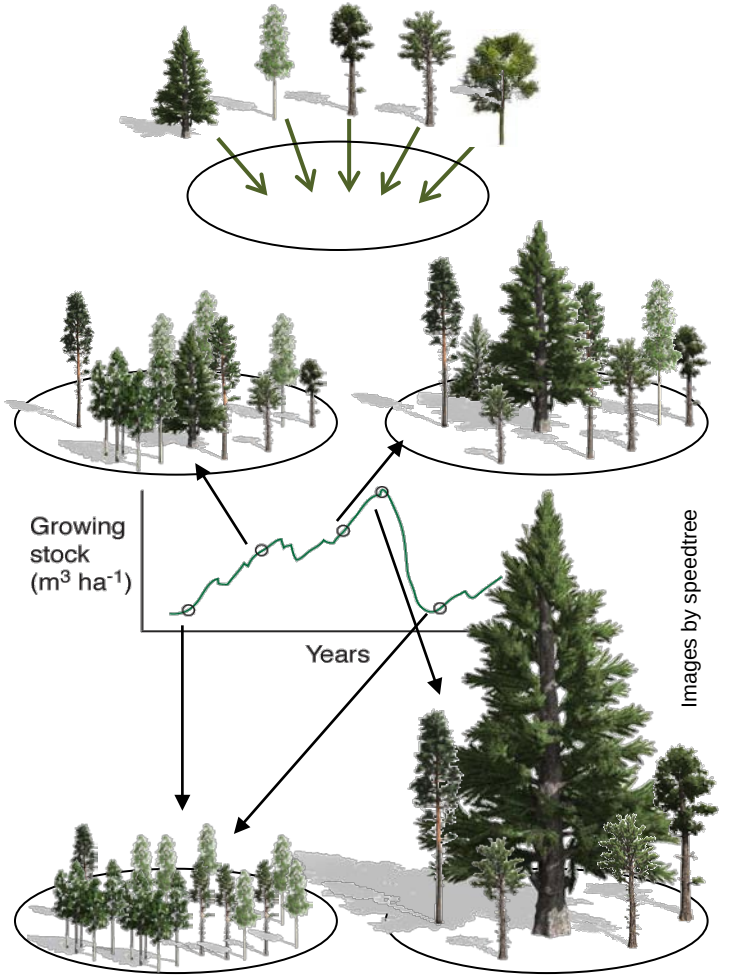
- Description quantitative de la dynamique de populations d'arbres

= *Etablissement / Croissance / Mortalité*

- Facteurs limitants

Lumière */ Climat / Azote du sol*





…en développement (1ère version disponible depuis avril)

Appel à Proposition de recherche 2013

Merci !

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

ECOFOR
ECOSYSTEMES FORESTIERS

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'ALIMENTATION DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE

Moments-clés

En début de projet :
-Workshop de lancement du projet
-Identification des mélanges d’intérêt

Changement climatique

Environnement

Climat - Sol

Expérimentation *Modélisation*

Biodiversité

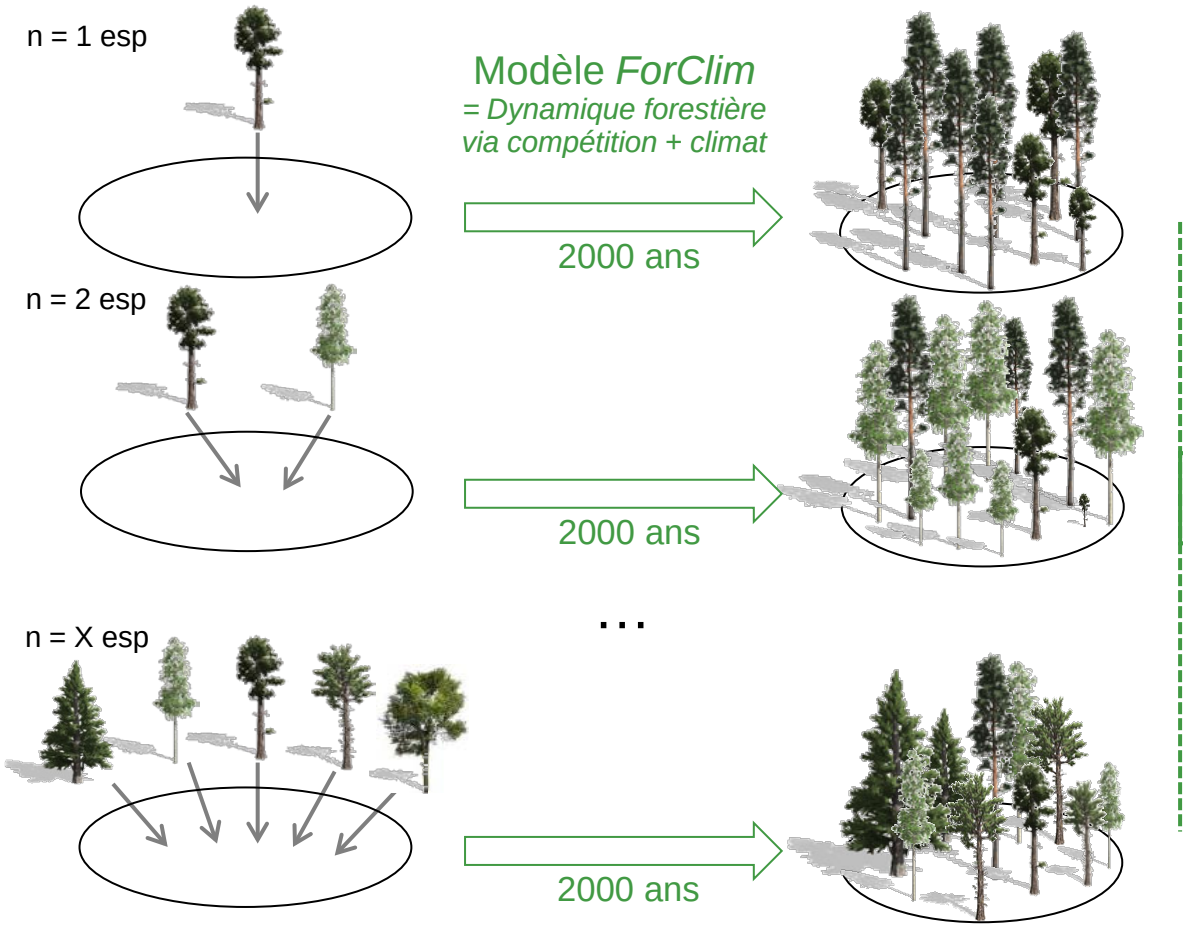
Répartition des espèces
Composition des communautés

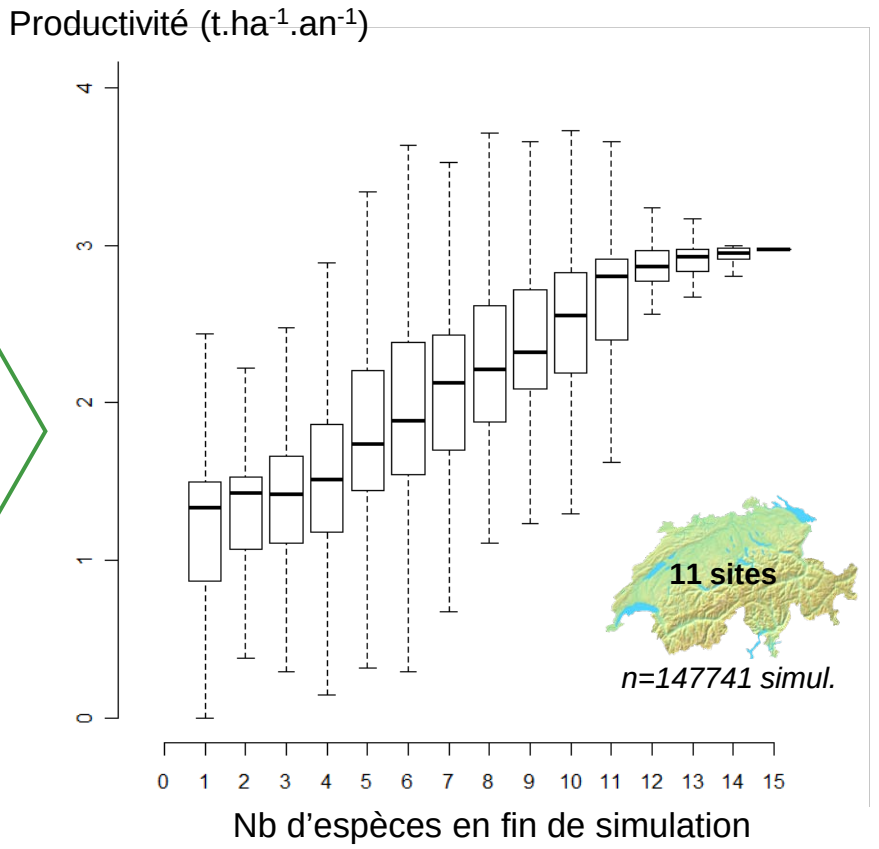
Fonctionnement et Résilience des Écosystèmes

Productivité

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…

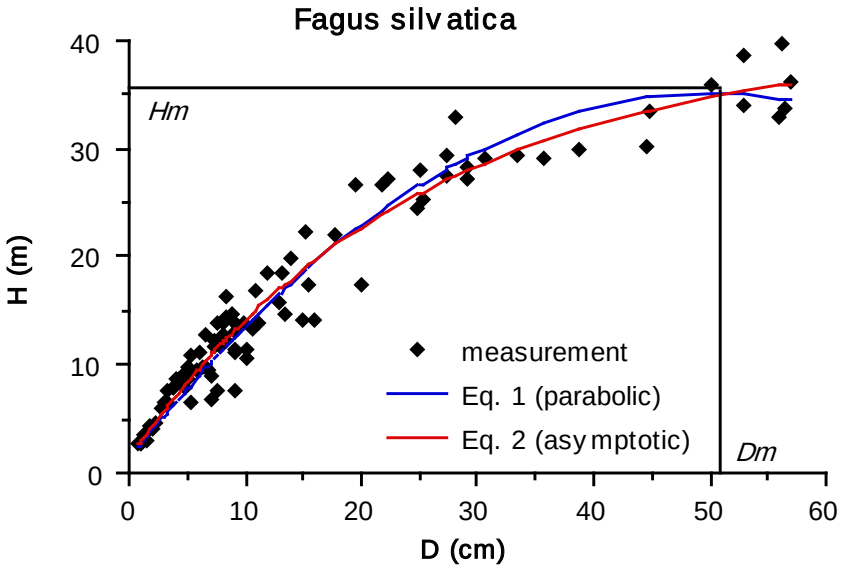
Morin et al. *Ecol. Lett.* 2011

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

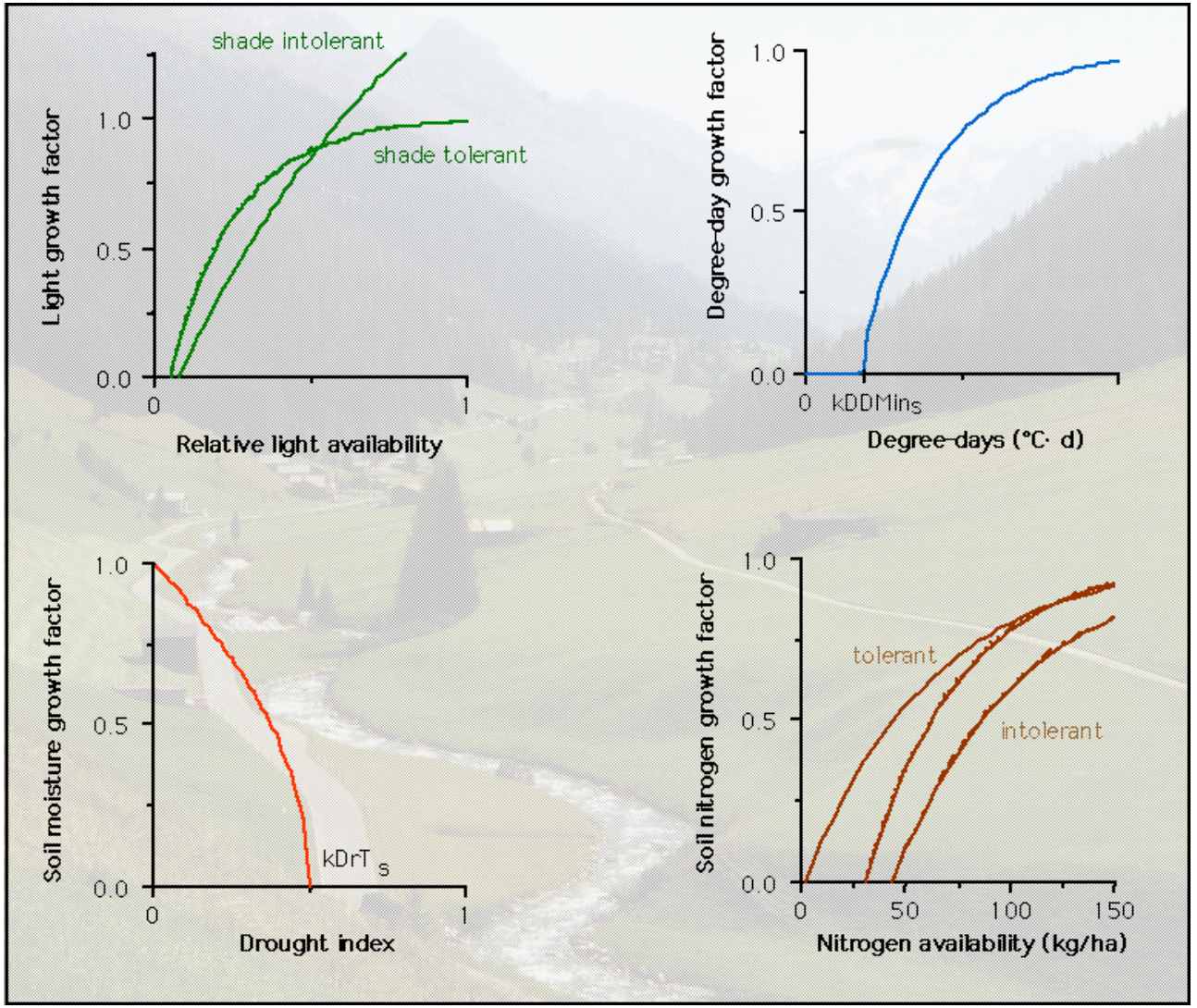
température

stress hydrique

azote

- Etablissement
  (même facteurs
  + abroutissement)

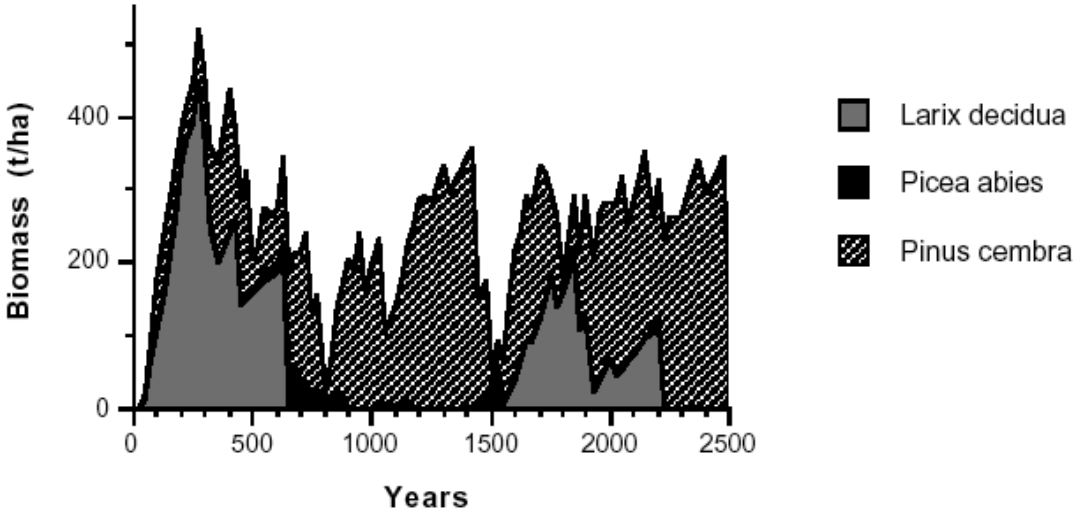
- Mortalité
  - Age-dépendante
  - Stress-dépendante
  - Perturbations



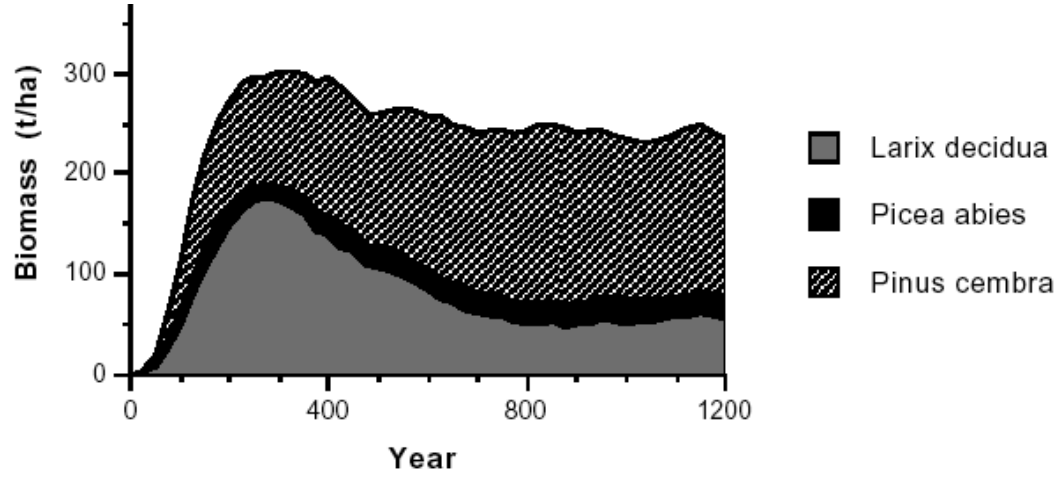
Principes du modèle

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):



3 Synthèse des mécanismes

3 mécanismes principaux pour expliquer l'effet de la diversité sur la stabilité

Complémentarité temporelle

⇨ Asynchronie de réponse des espèces aux fluctuations env.

Toujours stabilisant
…sur le long terme

⇨ Asynchronie de réponse des espèces à des perturbations

Moins général
…mais le principal facteur explicatif en cas de forte compétition interspécifique

Complémentarité fonctionnelle

⇨ Réduction de la force de la compétition

Overyielding effect $ST = \mu/\sigma$

= différences fonctionnelles entre espèces

Limites = autres interactions (trophiques ou non), hétérogénéité spatiale

Difficulté de séparer les effets ! => de Mazancourt et al. 2013 Ecol. Lett.

2 outils principaux : le dispositif BioProFor et le modèle ForCEEPS

ForCEEPS

(Morin, de Coligny, Fahse & Bugmann)

= un modèle de dynamique forestière pour étudier l'effet de la diversité sur les proc. écosyst.

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

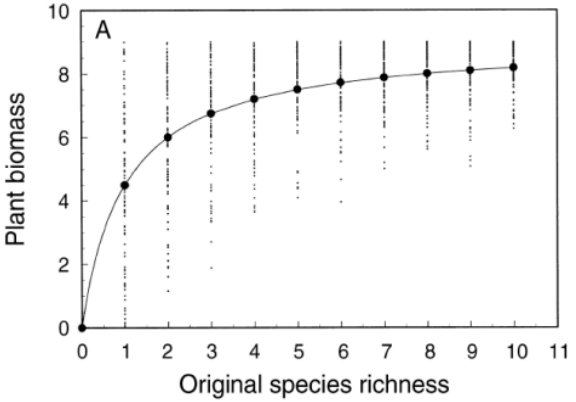
4- Incorporation de la variabilité intra-spécifique **Été 2014**

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

6- Amélioration de la régénération

La relation diversité-productivité

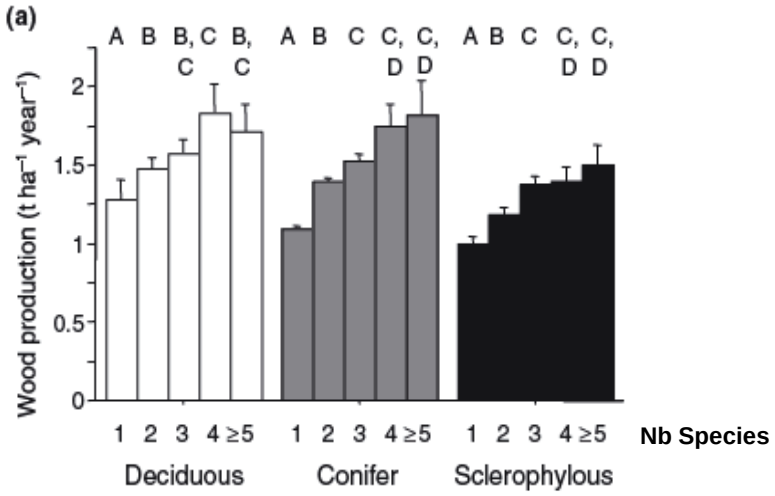
Travaux théoriques



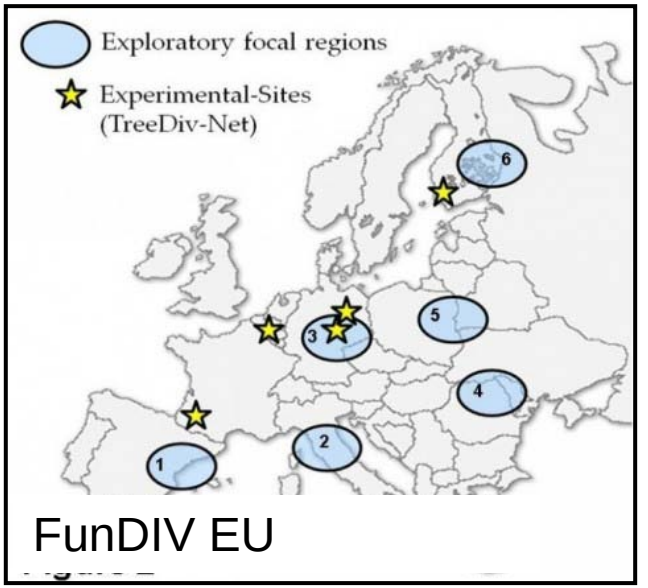
Tilman *et al.* 1997

Expérimentations

Biodiversité → **F**onctionnement des Ecosystèmes ✓



Observations



Vila *et al.* 2007

Micro station météo

Rayon total : 17.50 Mètres (1000 m^2)

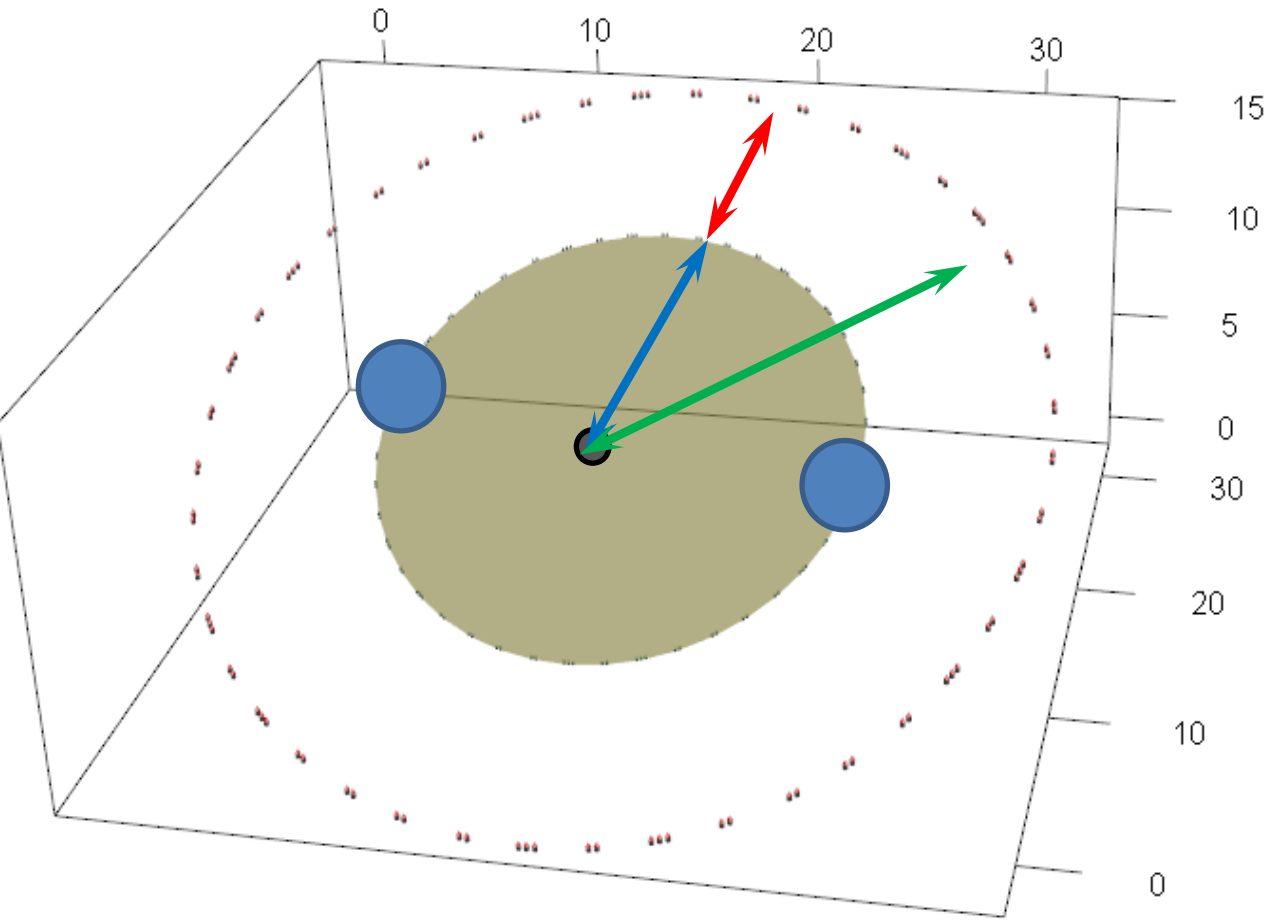
Rayon cœur: 10.00 Mètres

Rayon zone tampon : 7.50 Mètres

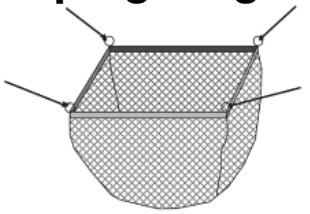
T° air/RH

Time Lapse Cam

Phénologie



2 piège a graines



2014?

Mesures :
-Hauteur/diamètre (zone totale) de tous les arbres
-Carottage (zone cœur) des arbres avec un diamètre > 7.5 cm
-Mesures sur les bas ligneux (densité, traits) => 2014

Titre

- Objectifs
- Résultats attendus ...

Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

Un débat qui fait long-feu…

Théorie ⟶ *Simple models of interspecific competition became less stable […] as the number of interacting species increased*

May (1972)

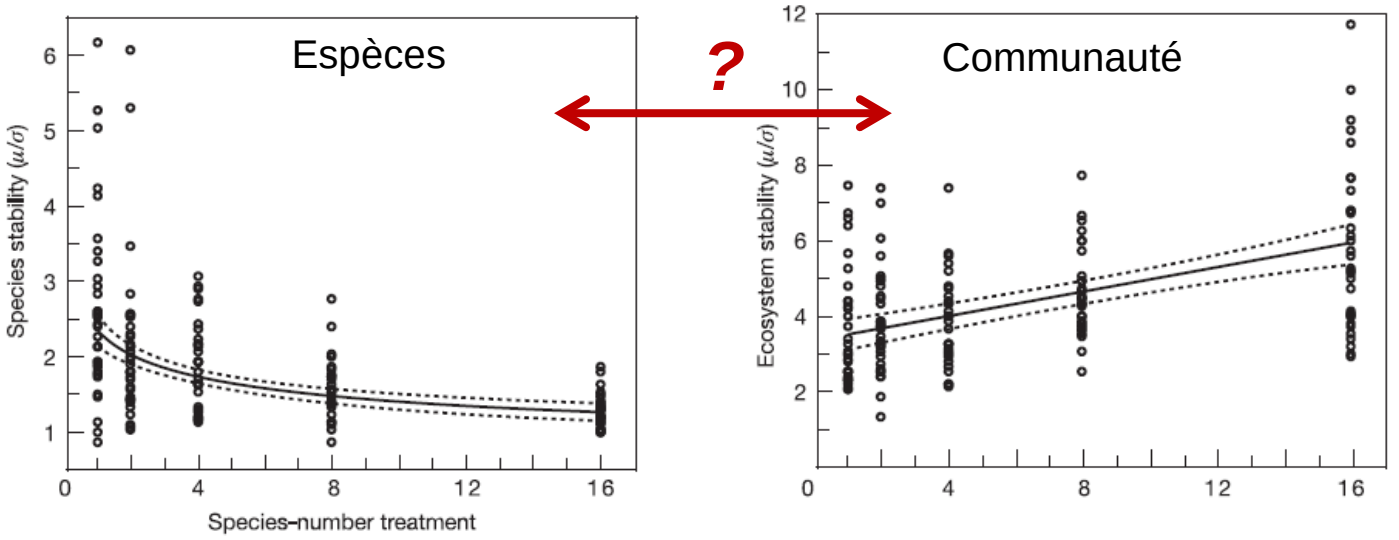
Plus de diversité et de complexité dans un écosystème mènent à plus d'instabilité

Expérimentations ⟶ En moyenne, un effet stabilisant de la diversité

Ives & Carpenter (2007)

…partiellement résolu

Mécanismes ?



Tilman et al. (2006)