



# DISTIMACC

**D**iversité, **S**tabilité 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  
29 mars 2016



# DISTIMACC



CNRS Montpellier – CEFE

*Xavier Morin*

*Marion Jourdan*

*Stephan Hättenschwiler*

*Sylvain Coq*

*Johanne Nahmani*

*Isabelle Chuine*



ONF – R&D PACA et Rhône-Alpes

Catherine Riond

Philippe Dreyfus

Jean Ladier



IRSTEA Grenoble – EMGR

*Thomas Cordonnier*

*Thomas Bourdier*

*Thomas Bourdier*

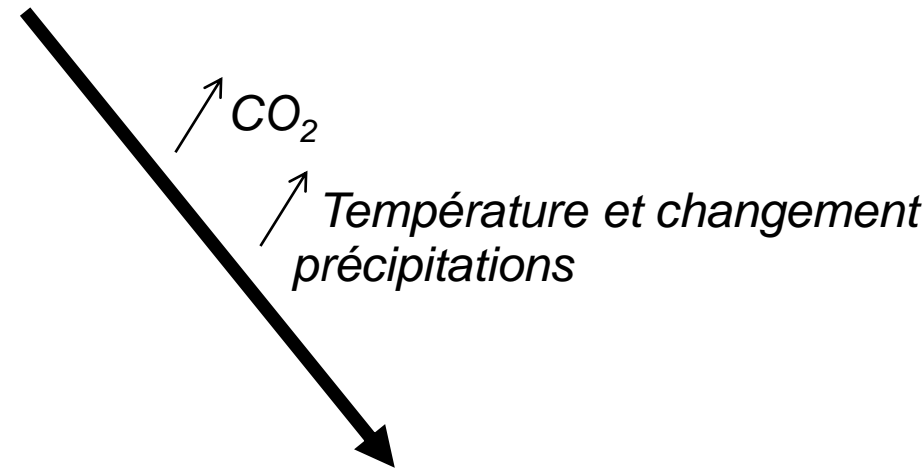
*Georges Kunstler*



AMAP – INRA/CIRAD Montpellier

François de Coligny

## Changements Globaux

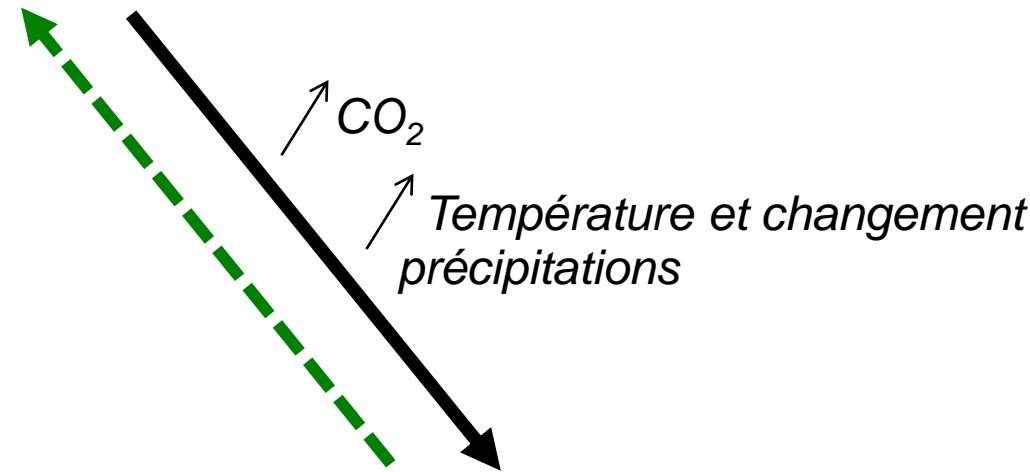


Fonctionnement des  
Ecosystèmes





## Changements Globaux



Fonctionnement des  
Ecosystèmes



## Changements Globaux

Réponse des écosystèmes forestiers  
au changement climatique ?

Quelles essences favoriser ?  
Gestion adaptée au CC ?

↑ CO<sub>2</sub>  
↑ Température et changement  
précipitations

Fonctionnement des  
Ecosystèmes



Composition des  
communautés

Diversité



Fonctionnement des  
Ecosystèmes



Effet de la diversité sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers ?

Gestion des peuplements mélangés ?

Composition des  
communautés

Diversité

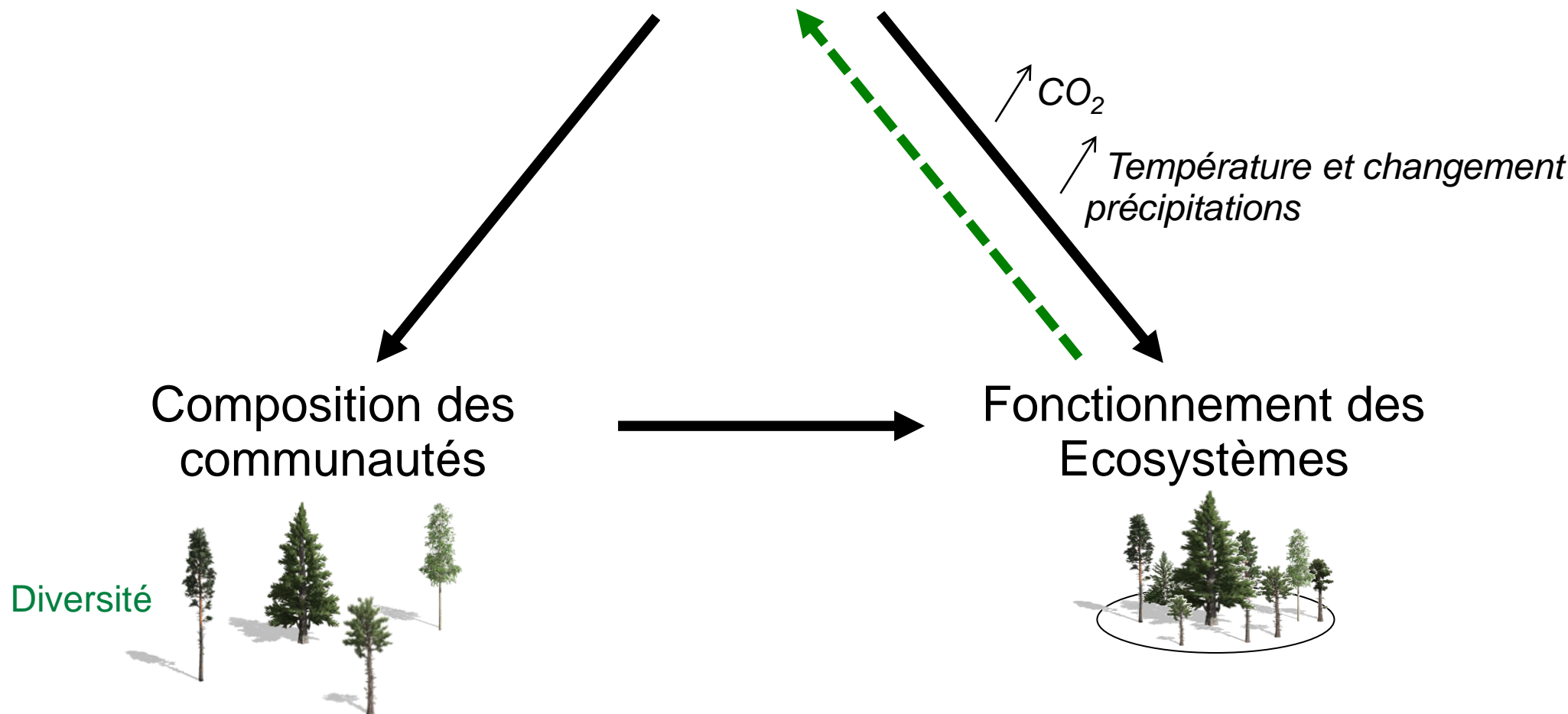


Fonctionnement des  
Ecosystèmes



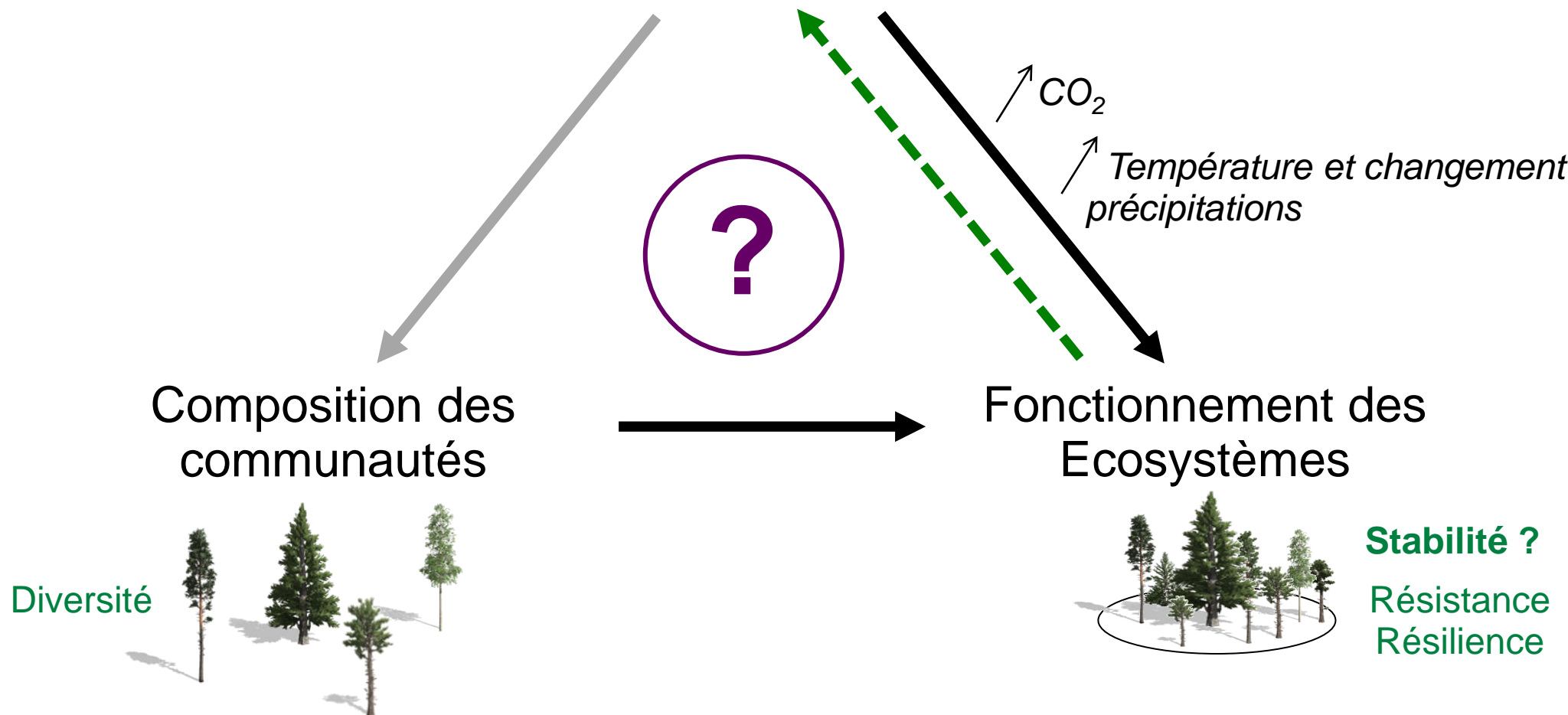


## Changements Globaux





## Changements Globaux



## Changements Globaux

Rôle de la diversité dans la stabilité  
des écosystèmes en réponse  
au changement climatique

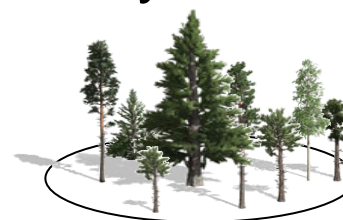
Gestion des peuplements mélangés ?

Composition des  
communautés

Diversité



Fonctionnement des  
Ecosystèmes



Stabilité ?  
Résistance  
Résilience

↑ CO<sub>2</sub>

↑ Température et changement  
précipitations

APR BGF 2013

## Enjeux scientifiques

Les peuplements plus diversifiés sont-ils plus résistants, plus résilients, plus stables en réponse au changement climatique ?

Comment les facteurs climatiques influent sur la stabilité des peuplements forestiers ?

Sensibilité de la régénération à la diversité et au climat ?

## Enjeux de politique publique

Comment gérer les peuplements afin de maintenir leur fonctionnement tout en conservant leur diversité ?

Les peuplements mélangés permettent-ils de mieux assurer la régénération naturelle des peuplements ?



## Enjeux scientifiques

Les peuplements plus diversifiés sont-ils plus résistants, plus résilients, plus stables en réponse au changement climatique ?

Comment les facteurs climatiques influent sur la stabilité des peuplements forestiers ?

Sensibilité de la régénération à la diversité et au climat ?

## Enjeux de politique publique

Comment gérer les peuplements afin de maintenir leur fonctionnement tout en conservant leur diversité ?

Les peuplements mélangés permettent-ils de mieux assurer la régénération naturelle des peuplements ?

## Résilience et Résistance

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

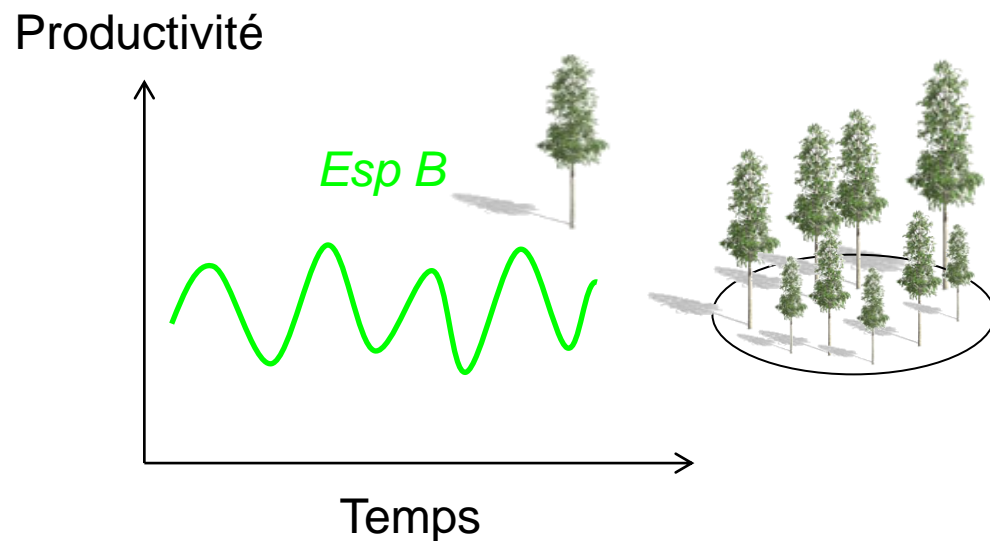
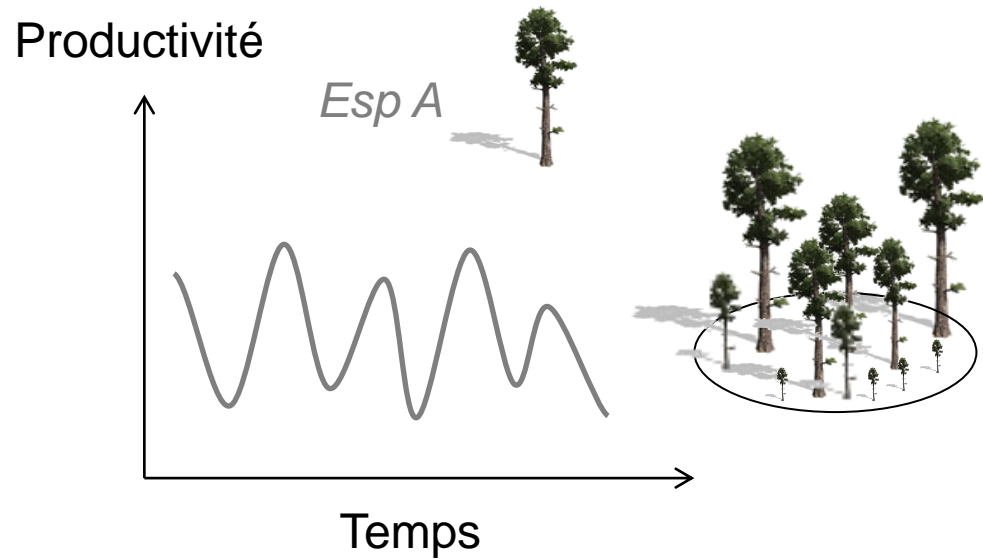
Vitesse de récupération après une perturbation ou un stress

## Test de l'hypothèse d'assurance écologique

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

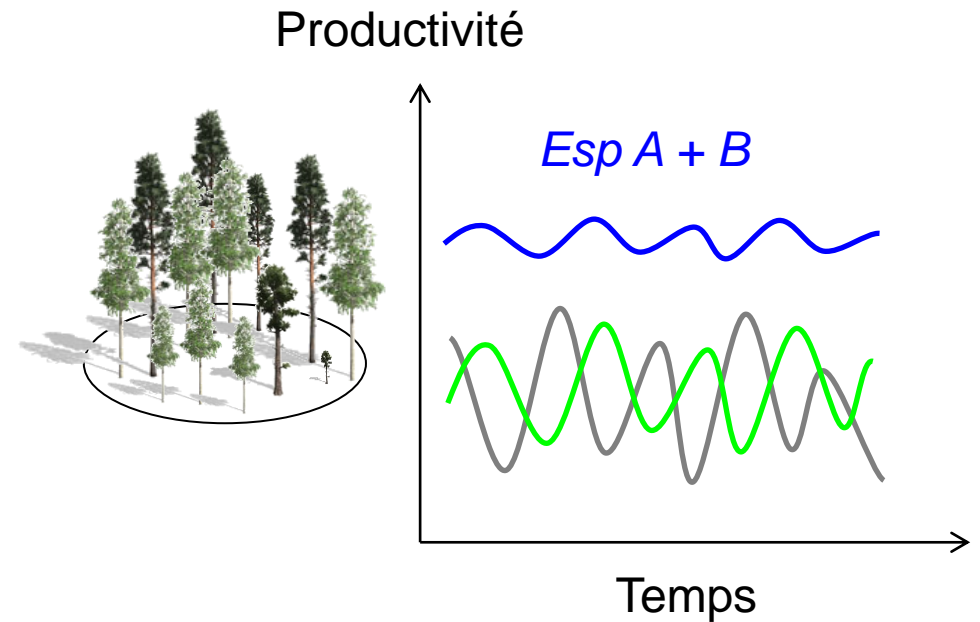


## Test de l'hypothèse d'assurance écologique



*Très peu d'études en forêt,  
surtout à large échelle*

*Avantage par rapport aux études sur  
les prairies*



*Dynamique compensatoire*

⇒ Réponse aux fluctuations environnementales  
= Plus stable, plus résistant, plus résilient

## Enjeux scientifiques

Les peuplements plus diversifiés sont-ils plus résistants, plus résilients, plus stables en réponse au changement climatique ?

Comment les facteurs climatiques influent sur la stabilité des peuplements forestiers ?

Sensibilité de la régénération à la diversité et au climat ?

## Enjeux de politique publique

Comment gérer les peuplements afin de maintenir leur fonctionnement tout en conservant leur diversité ?

Les peuplements mélangés permettent-ils de mieux assurer la régénération naturelle des peuplements ?

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

**Hêtre** Sapin Ch. pubescent Epicéa + Pin sylvestre ??

Gestion

Biodiversité



*Changement  
climatique*

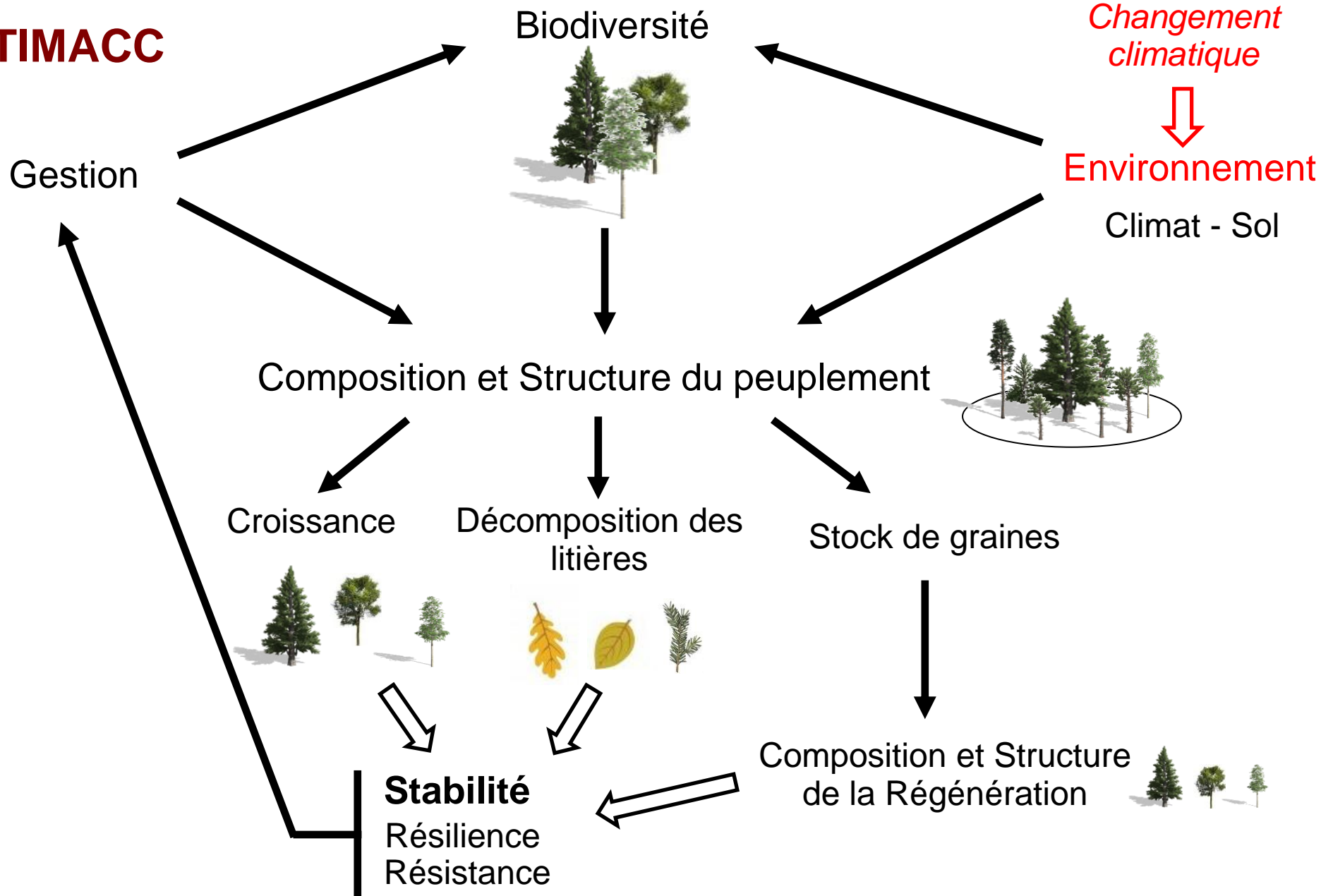


**Environnement**

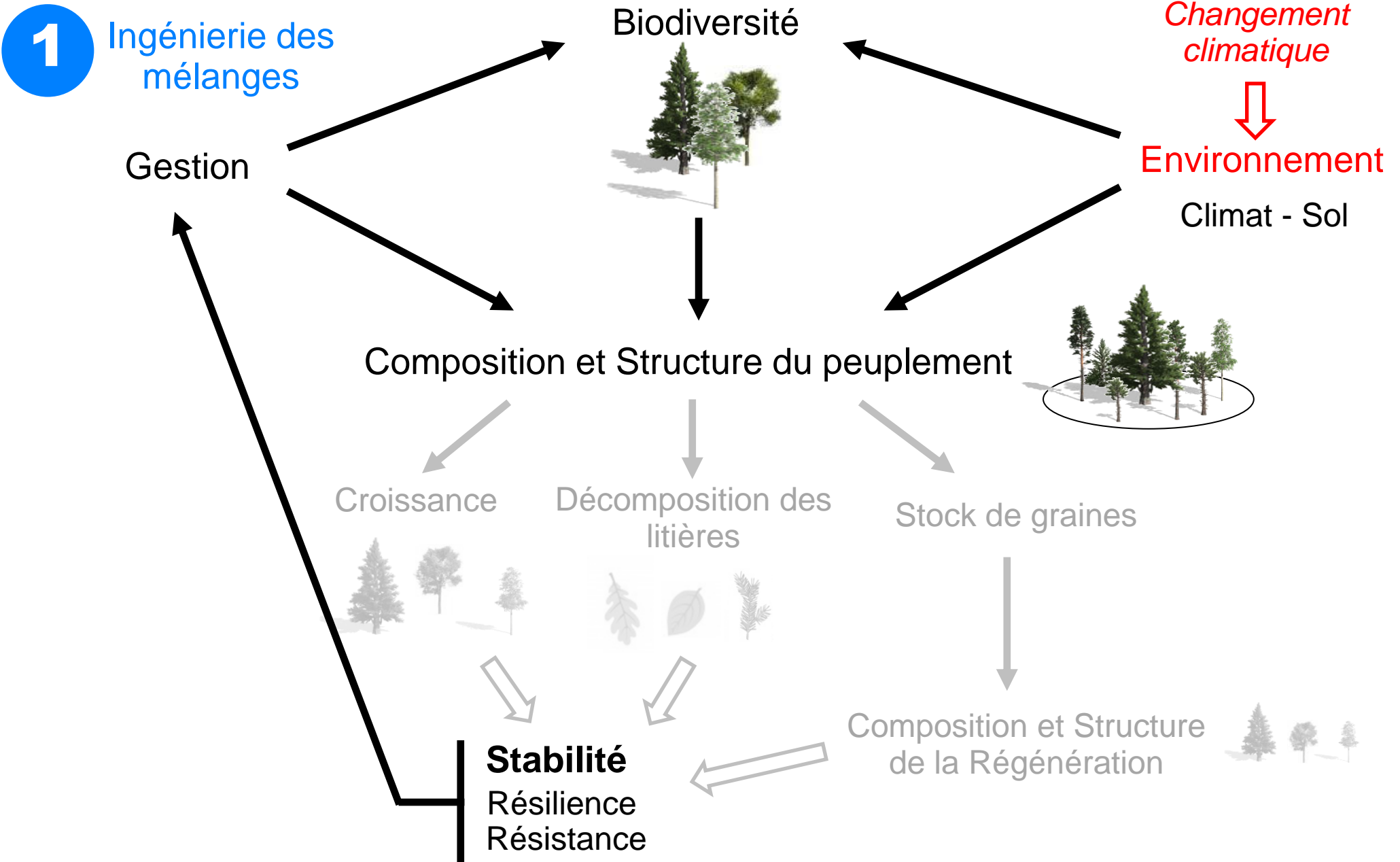
**Stabilité**  
Résilience  
Résistance

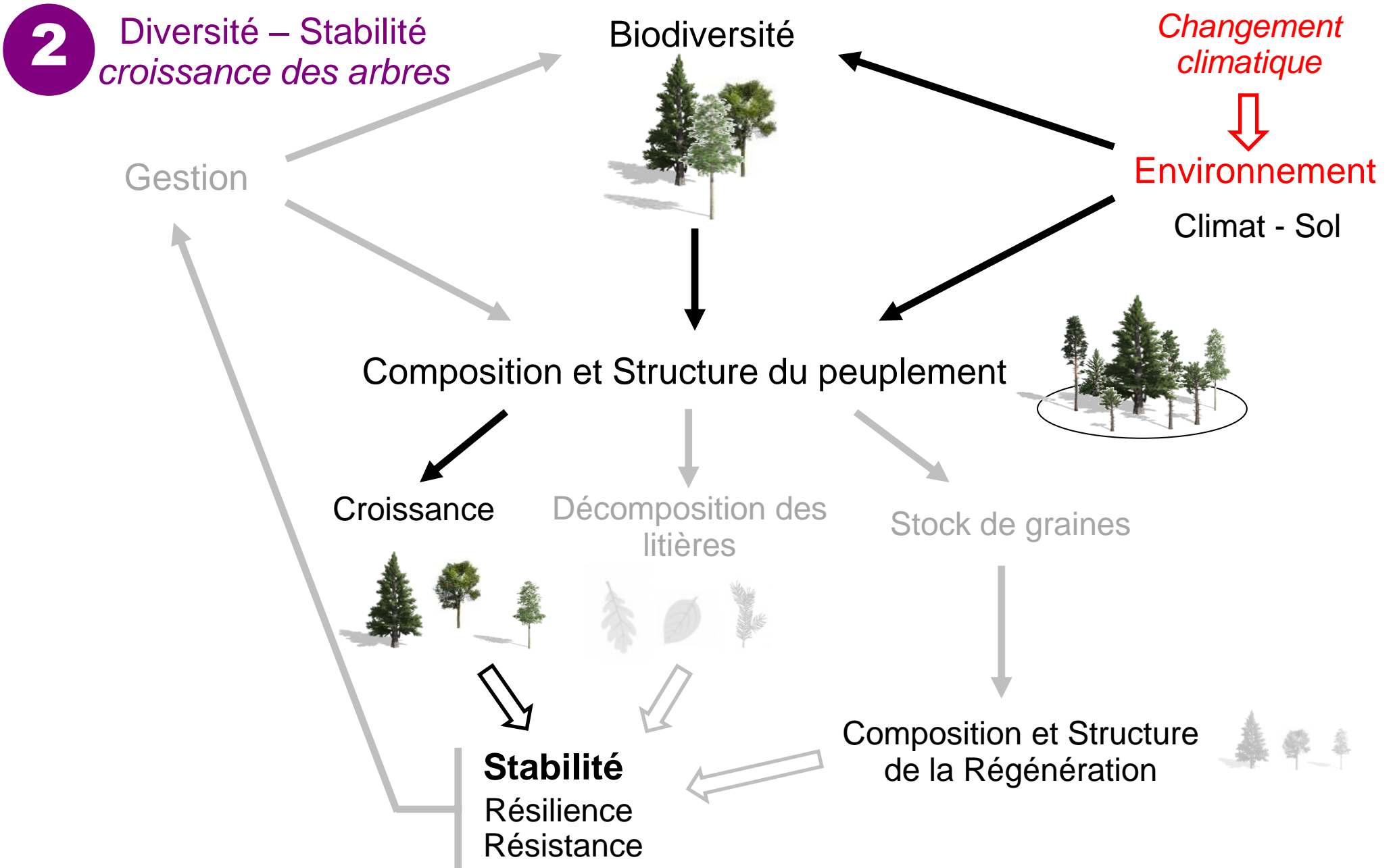


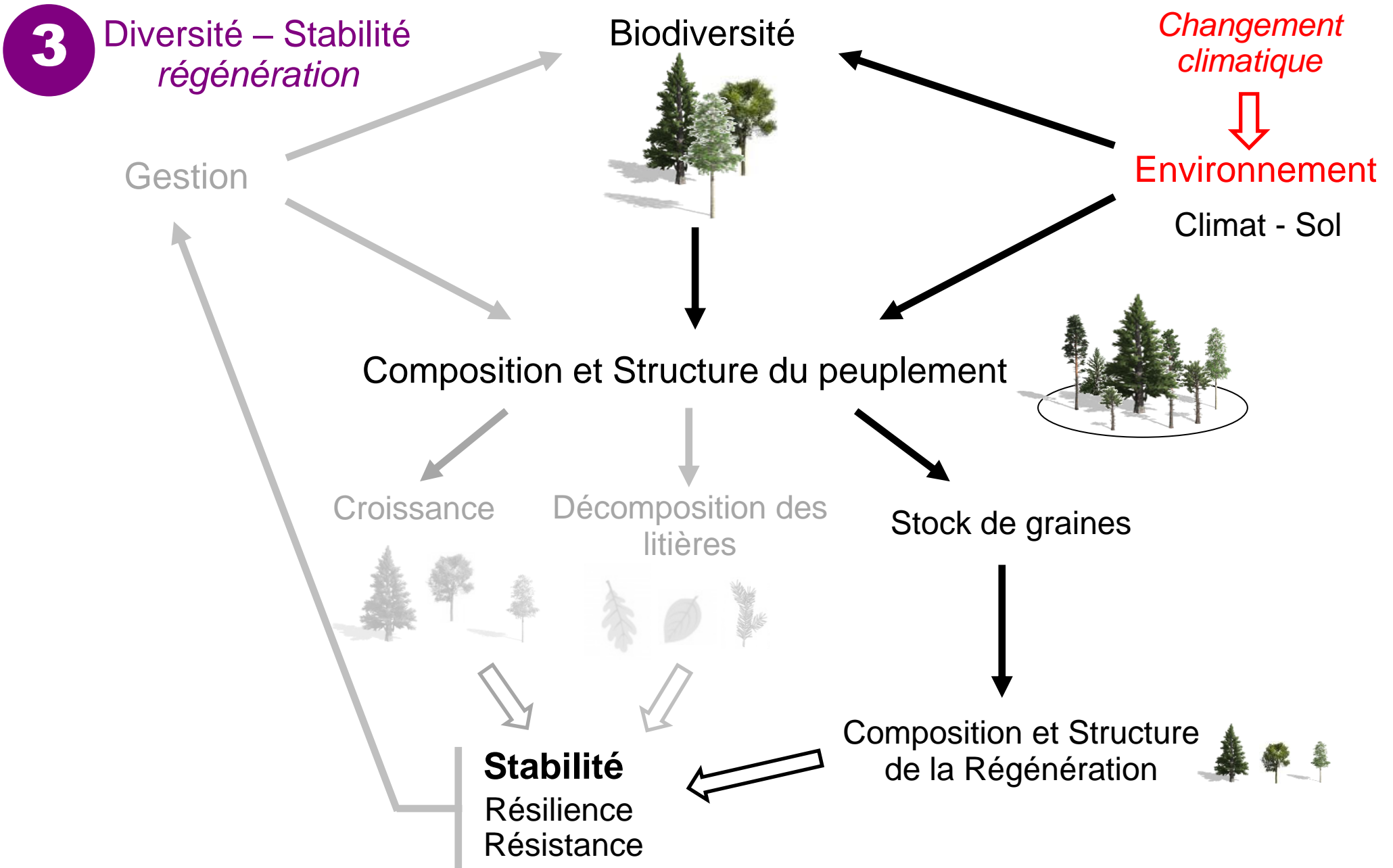
## DISTIMACC



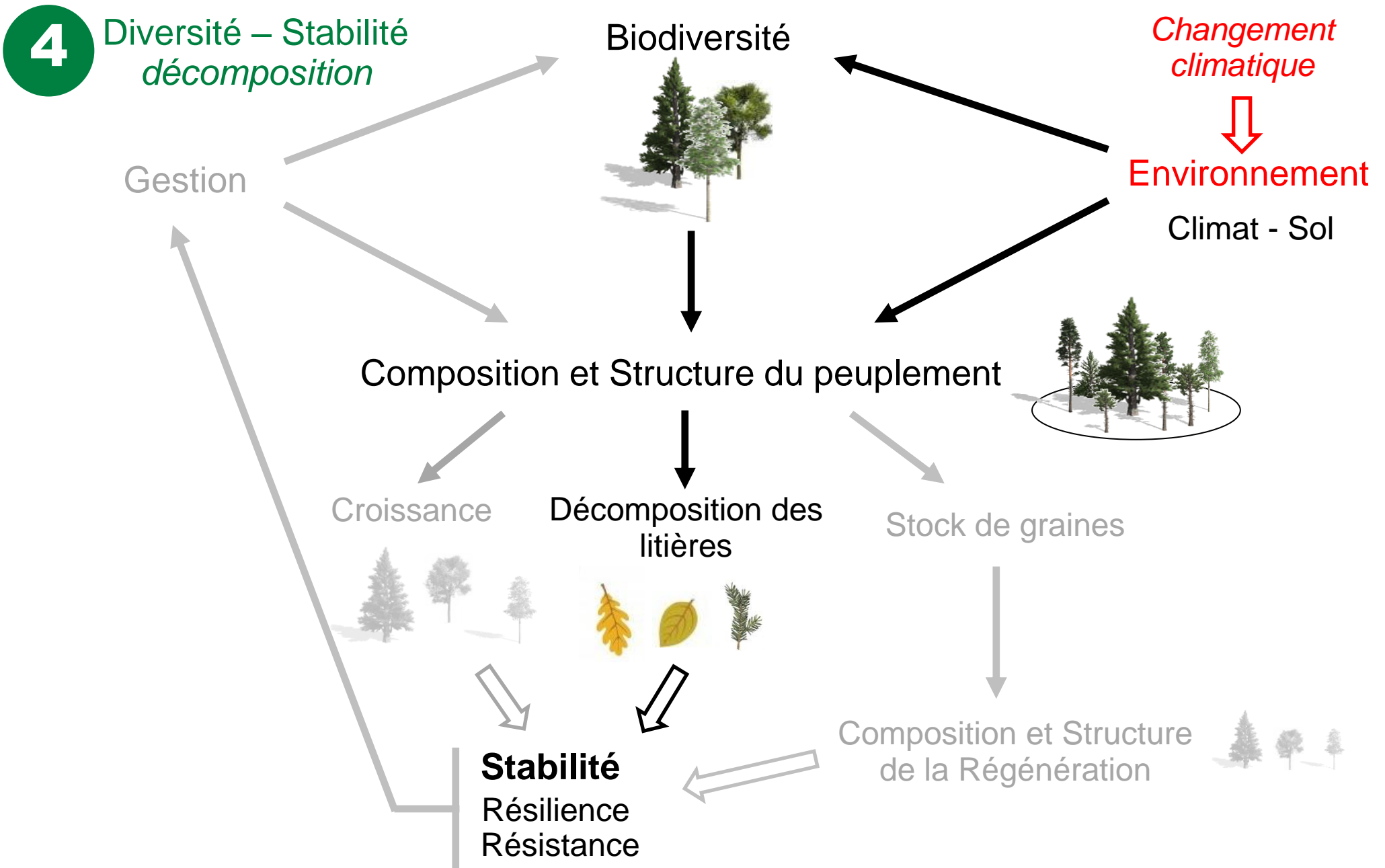




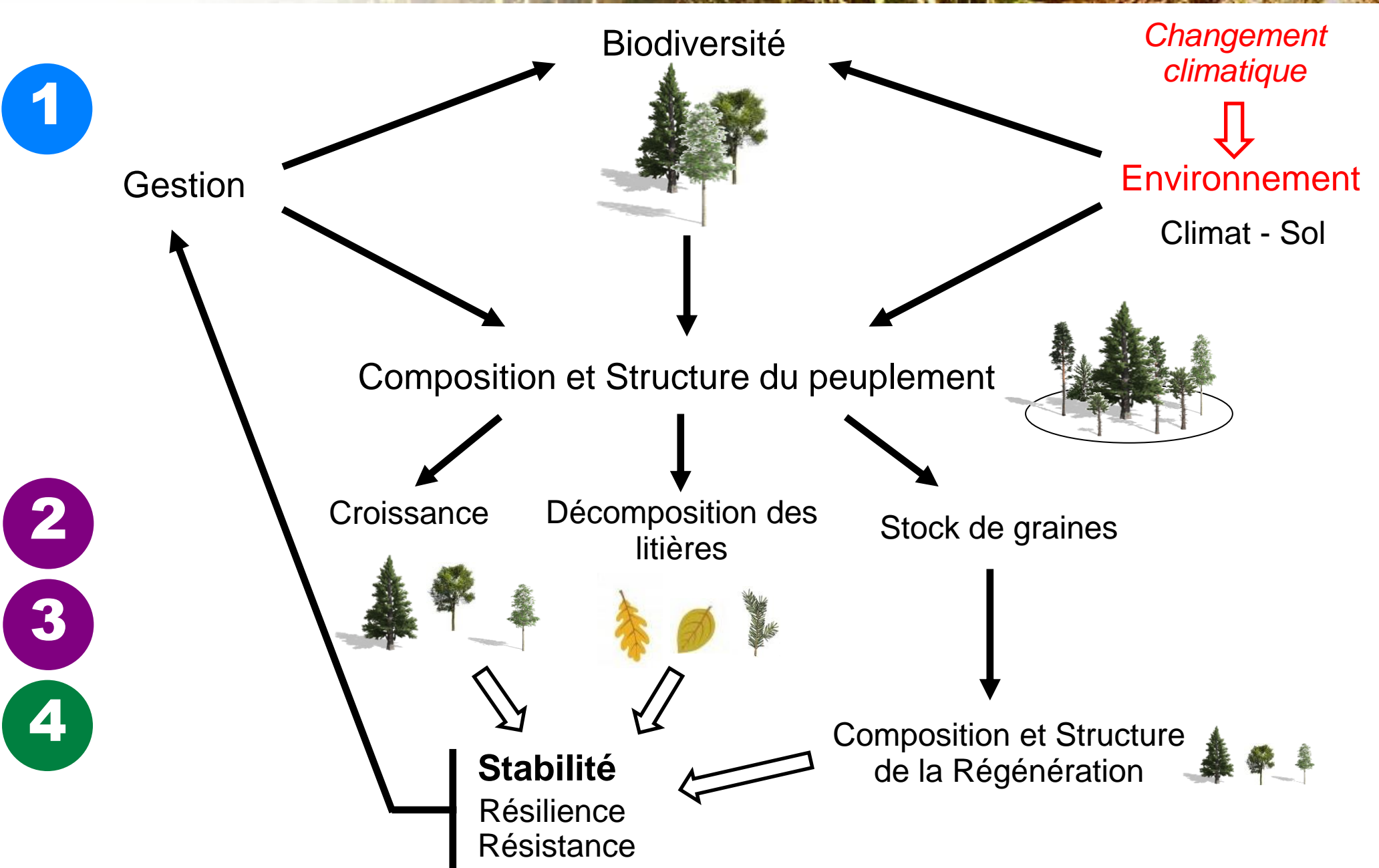


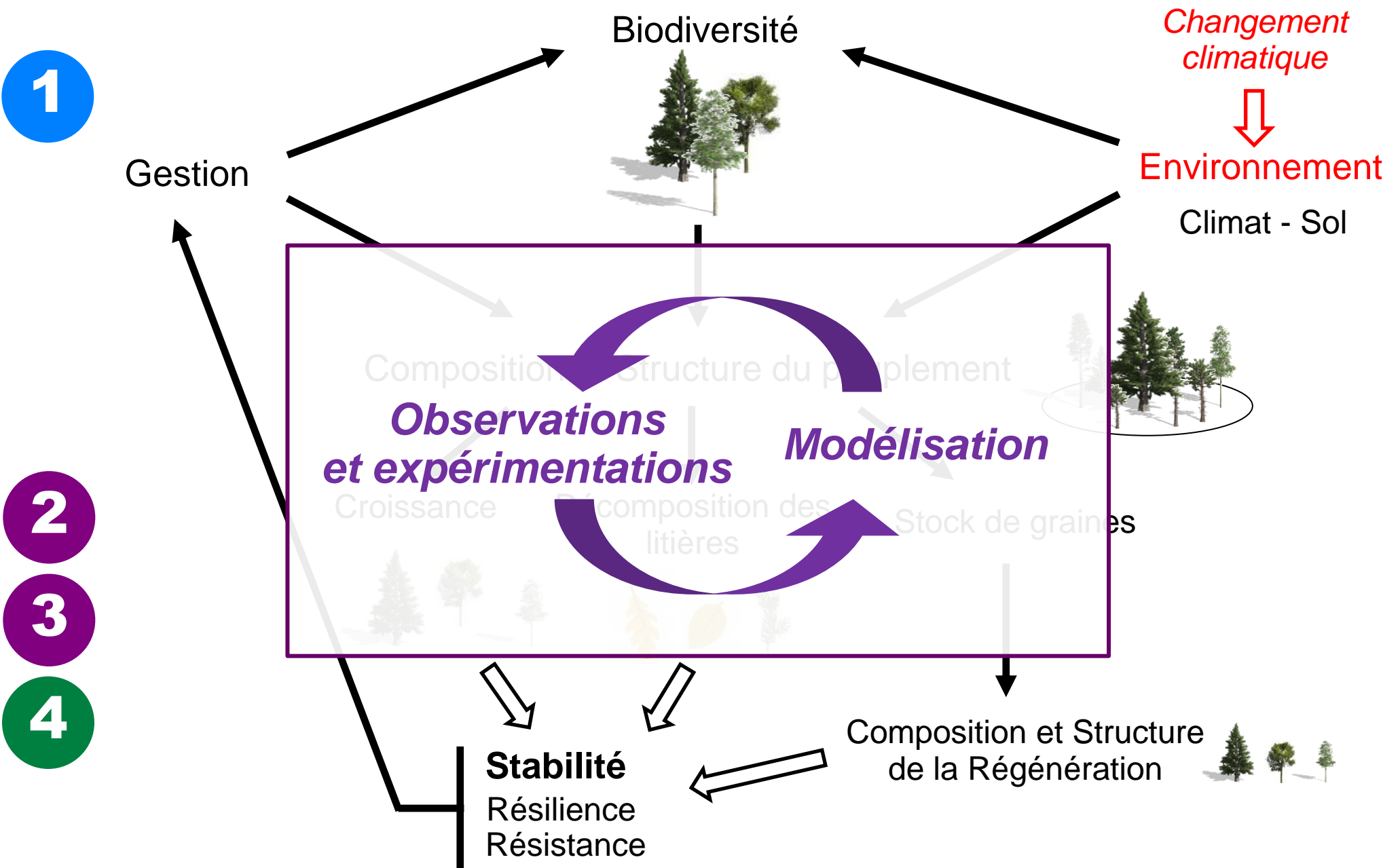












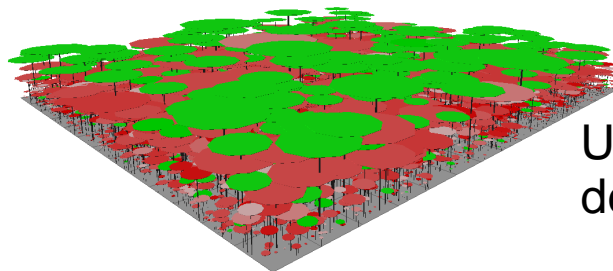
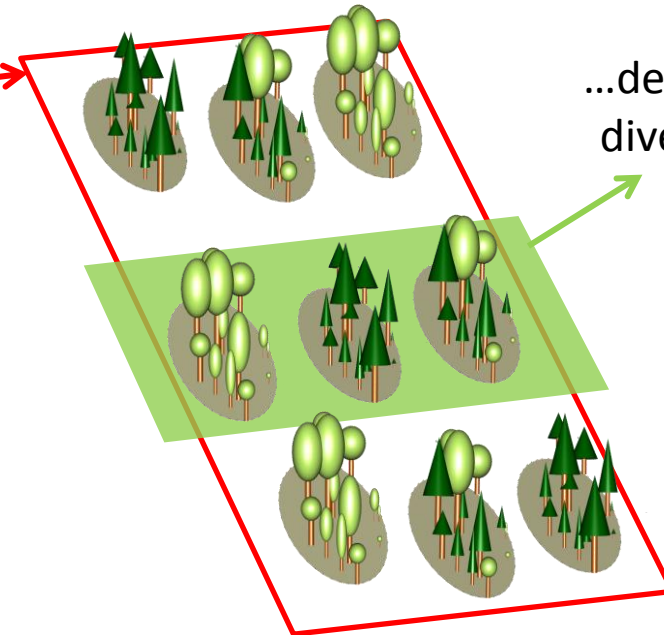


## Observations et expérimentations

Un gradient latitudinal...  
*Effet climat à large échelle*

...de gradients altitudinaux...  
*Effet climat à l'échelle locale*

...de placettes de  
diversité variée



## Modélisation

Utiliser un modèle de dynamique forestière pour étudier l'effet de la diversité et du climat sur les processus écosystémiques

# Principaux résultats obtenus

Thèse Marion Jourdan

Débutée en Octobre 2015 co-financée Distimacc et ADEME

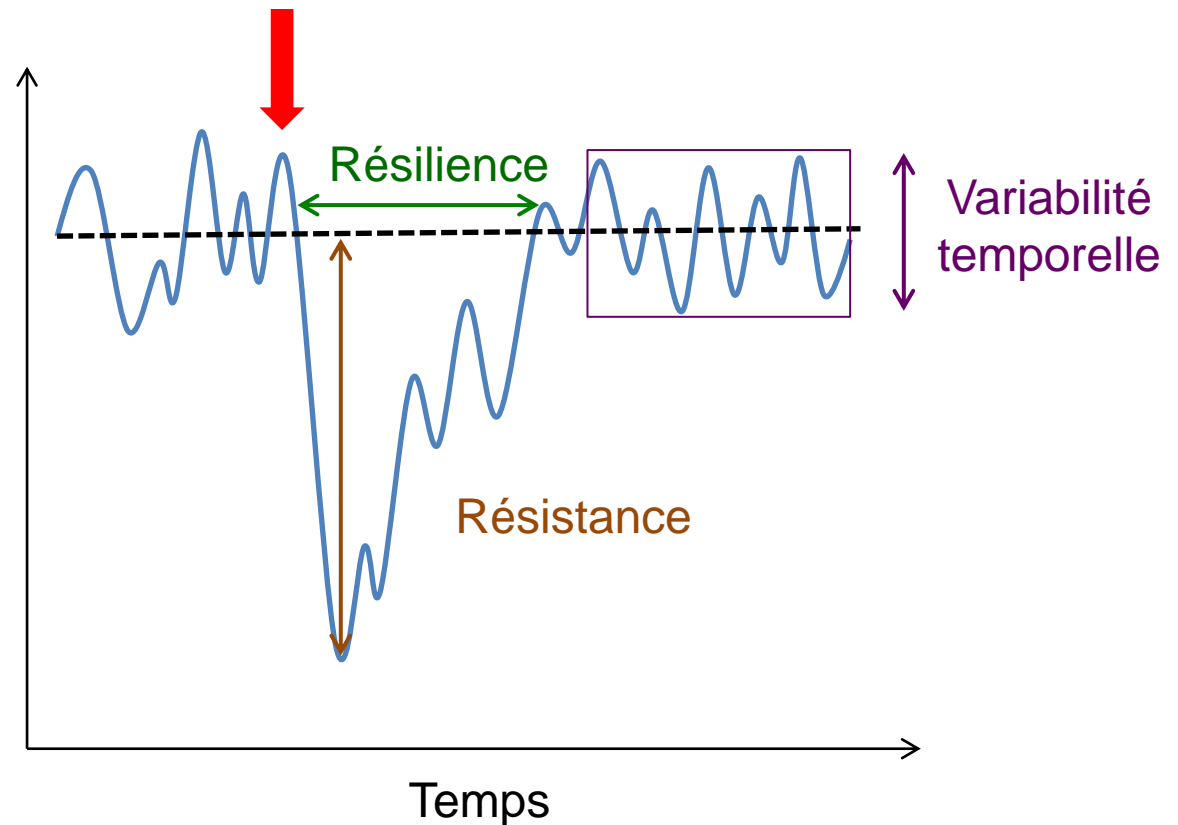


Thèse Marion Jourdan

Débutée en Octobre 2015 co-financée Distimacc et ADEME

## Tache 2 : effet de la diversité et du climat sur la productivité

Analyse dendrochronologique de 2000 carottes : Identification des années caractéristiques/stressantes



## Tache 2 : effet de la structure du peuplement sur la productivité

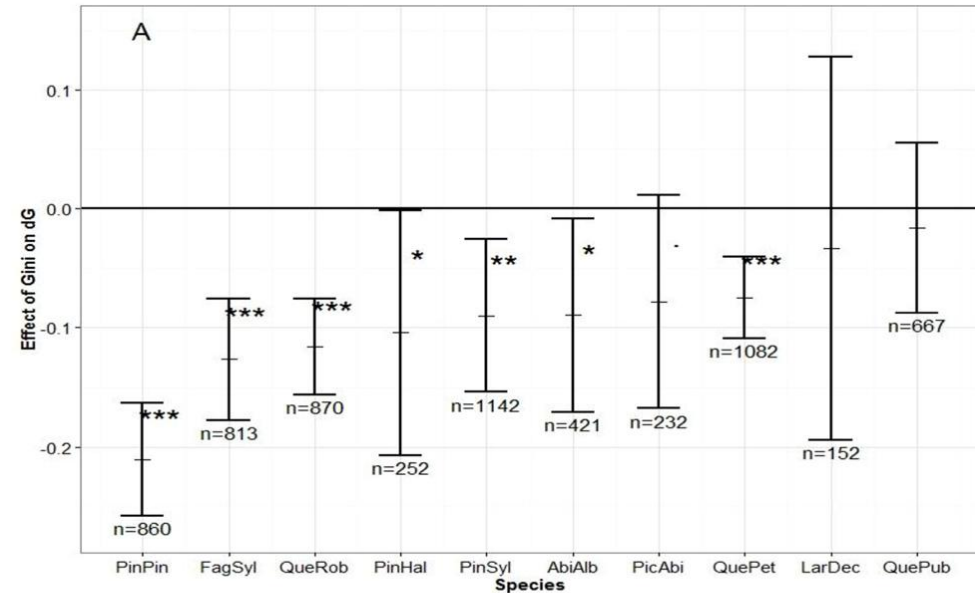
RESEARCH ARTICLE

### Tree Size Inequality Reduces Forest Productivity: An Analysis Combining Inventory Data for Ten European Species and a Light Competition Model



Thèse Thomas Bourdier

Thomas Bourdier<sup>1,2\*</sup>, Thomas Cordonnier<sup>1,2</sup>, Georges Kunstler<sup>1,2</sup>, Christian Piedallu<sup>3</sup>, Guillaume Lagarrigues<sup>1,2</sup>, Benoit Courbaud<sup>1,2</sup>



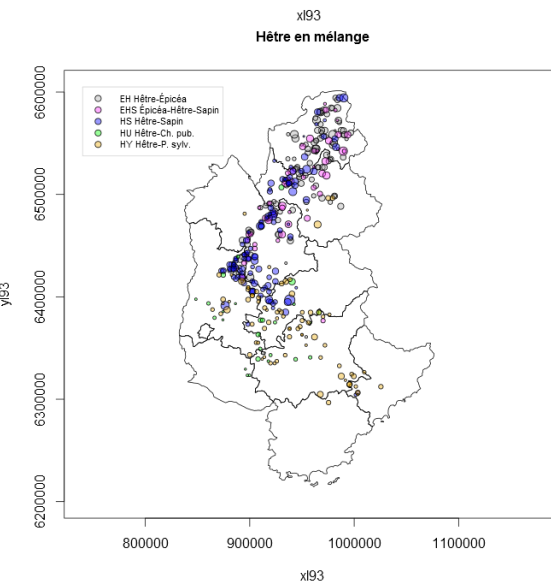
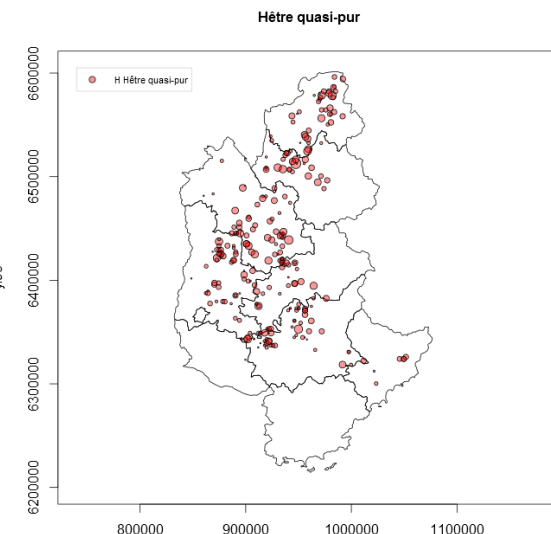
Effet négatif de l'inégalité des tailles sur la productivité

## Tache 1 : identification des mélanges d'intérêt

Tableau 2 : Types de composition en essences (en nombre de placettes par département, et au total) :  
(composition des placettes pour lesquelles les 5 espèces représentent au moins 75 % de la surface terrière totale)

Nb esp. parmi les 5, ≥ 15 % de G totale	composition ordreAlpha	04	05	06	26	38	73	74	83	84	Total	<- département	
0	autres	333	332	222	270	517	367	250	585	189	3065		
1	E	5	1	7	8	75	119	141			356	<i>Epicéa commun</i>	
1	H	49	30	6	59	52	24	44		1	265	<i>Hêtre</i>	
1	S	6	8	21	13	38	25	14			125	<i>Sapin pectiné</i>	
1	U	131	26	67	154	7	2		100	47	534	<i>Chêne pubescent</i>	
1	Y	306	159	200	176	48	13	1	55	25	983	<i>Pin sylvestre</i>	
												total quasi-pur	2263
2	EH	1			6	17	26	61			111		
2	ES	3		11	7	54	60	45			180		
2	EY	10		7	1	5	9	1			33		
2	HS		10	1	33	40	15	16			115		
2	HU	5	7		9		1			3	25		
2	HY	27	15	5	20	4	3		1		75		
2	SU			1	1						2		
2	SY	6	7	16	4	2			1		36		
2	UY	38	22	16	61				19	16	172		
												total 2 espèces	749
3	EHS	1			4	19	10	18			52		
3	EHY	1	1				4				6		
3	ESY	1	2				2				5		
3	HSY		1	1	1						3		
3	HUY	3	1		1						5		
4	EHSY					1					1		
												total 3(4) espèces	72
	Total	926	622	581	828	879	680	591	761	281	6149		3084

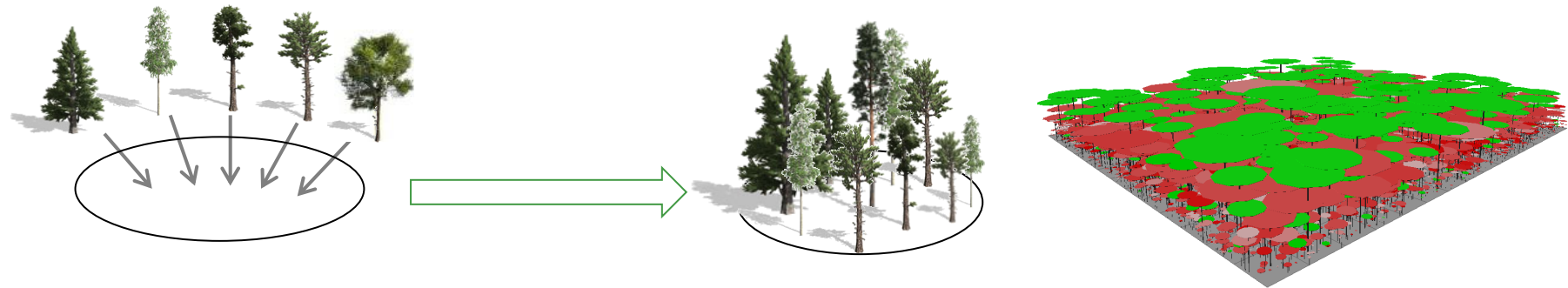
Forte représentativité des peuplements quasi-purs





## Tache 1-2-3 : Développement d'un outil de modélisation

**Modèle validé pour les forêts alpines, calibration pour les sites en cours**



Reproduire productivité, biomasse, régénération...  
= Tester l'hypothèse d'assurance écologique

## Suite des travaux...

### 1 Ingénierie des mélanges

Réalisation d'enquêtes auprès des gestionnaires de la zone d'étude au sujet des mélanges et de leur réaction aux années extrêmes

Simulations avec le modèle ForCEEPS pour tester la réaction de différents peuplements (purs et mélanges) à différentes conditions climatiques

### 2 Diversité – Stabilité *croissance des arbres*

Fin des analyses dendrochronologiques et test de l'hypothèse d'assurance écologique le long du gradient, et quantification du rôle du climat

Simulations avec le modèle ForCEEPS pour explorer les mécanismes sous-jacents, et réalisation de projections avec des données de scénarios climatiques

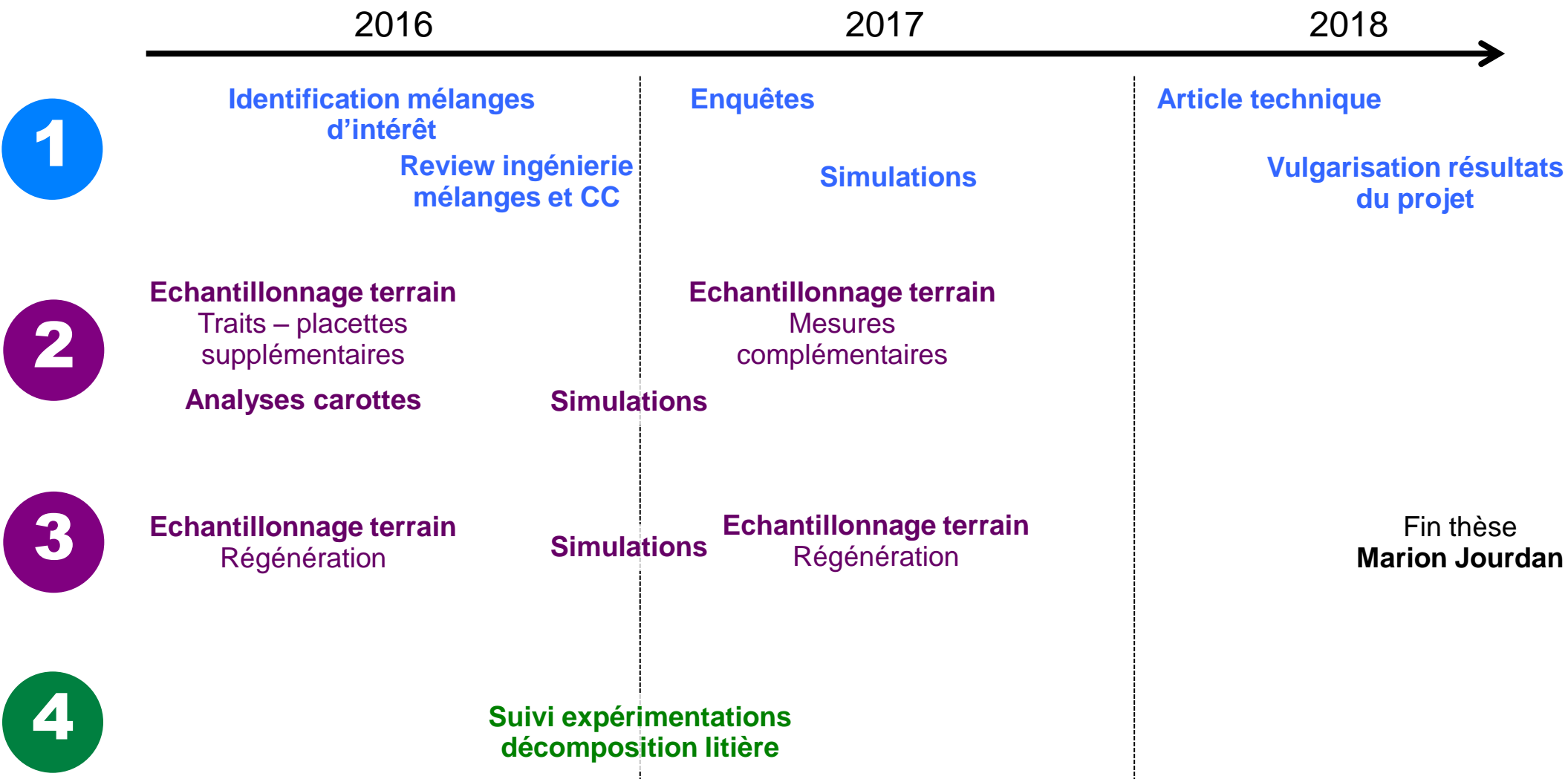
### 3 Diversité – Stabilité *régénération*

Mesures de régénération selon protocole établi et mesures de traits, sur 2 saisons de végétation (thèse Marianne Bernard - IPEF)

### 4 Diversité – Stabilité *décomposition*

Suivi des expérimentations *in-situ* permettant de tester comment le mélange agit sur la résistance et la résilience de la décomposition des litières.

## Calendrier...





## *Principaux livrables*

### Académiques

- Article d'opinion sur le rôle de la diversité en essences sur la stabilité en forêt
- Article scientifique sur l'importance de l'hétérogénéité des tailles sur la productivité
- Article scientifique sur l'effet de la diversité sur la stabilité temporelle de la productivité, sa résilience, et sa résistance, en fonction des conditions environnementales
- Article scientifique sur le test de l'hypothèse d'assurance via le modèle ForCEEPS
- Article scientifique sur l'effet du mélange et ses caractéristiques sur la régénération par rapport aux peuplements purs
- Article scientifique sur l'effet du mélange du peuplement et du mélange de la litière sur la décomposition

### Politiques publiques, gestion

- Synthèse de l'état de l'art quant à l'ingénierie des mélanges en zone Méditerranéo-alpine
- Article technique sur la partie ingénierie (à soumettre aux Rendez-Vous Techniques de l'ONF par ex.)
- Rapport vulgarisation des résultats du projet

## Collaborations envisagées

- LERFOB Nancy (dendrochronologie et stabilité)
- INRA Nancy (Analyses isotopiques)
- INRA Pierroton (herbivorie, diversité et changement climatique)

## Collaborations envisagées

- LERFOB Nancy (dendrochronologie et stabilité)
- INRA Nancy (Analyses isotopiques)
- INRA Pierroton (herbivorie, diversité et changement climatique)

## Réflexions et Perspectives

- *Prise en compte du CC :*

Fort gradient climatique, expérimentations, simulations avec scénarios climatiques

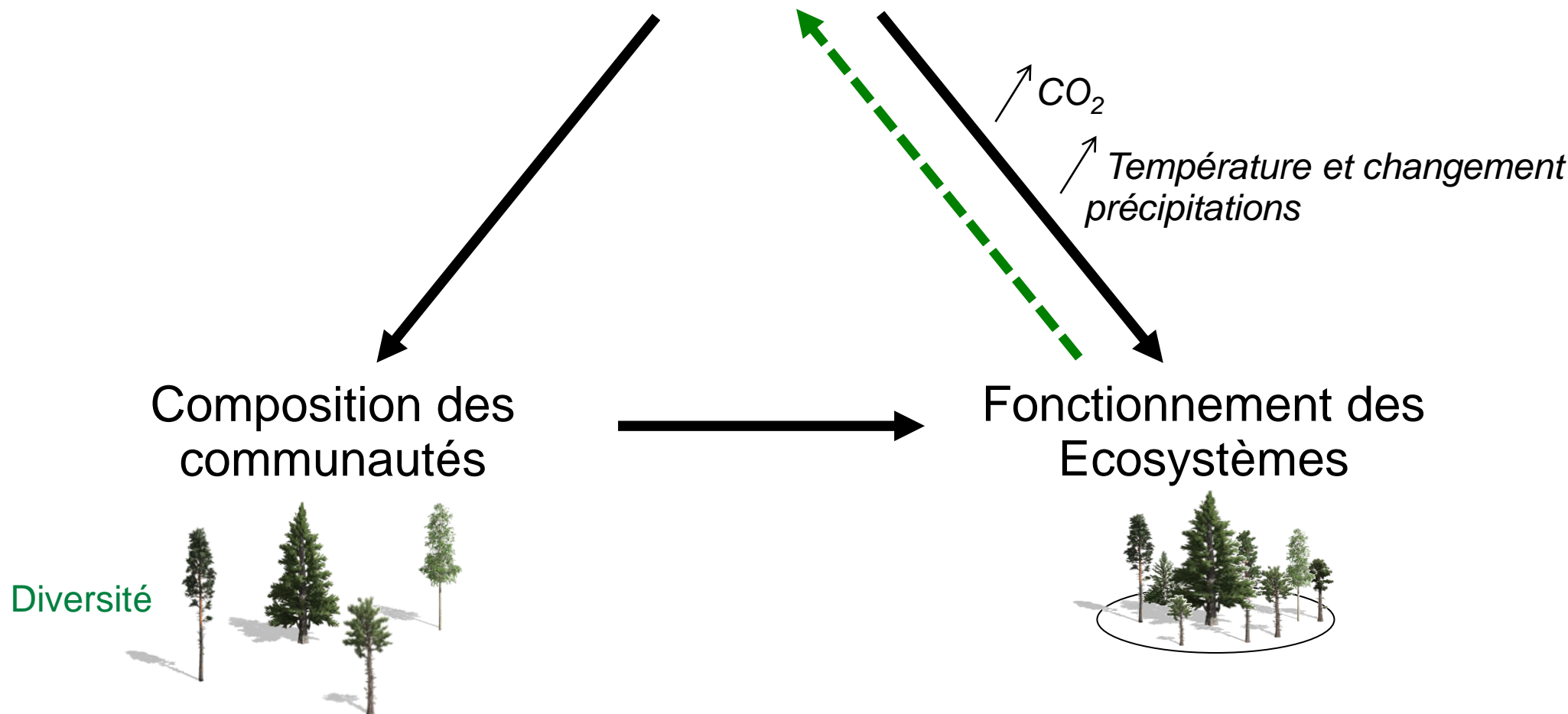
Mais approche gradient

- *Quelles difficultés pour aborder le changement climatique et le lier à la biodiversité ?*

Approche terrain = co-facteurs, non-indépendance...



## Changements Globaux



 Sites BioProFor 2012-2015  
= 65 placettes

 + 1 autre site Nord Vercors (Méaudre)  
= 30 placettes

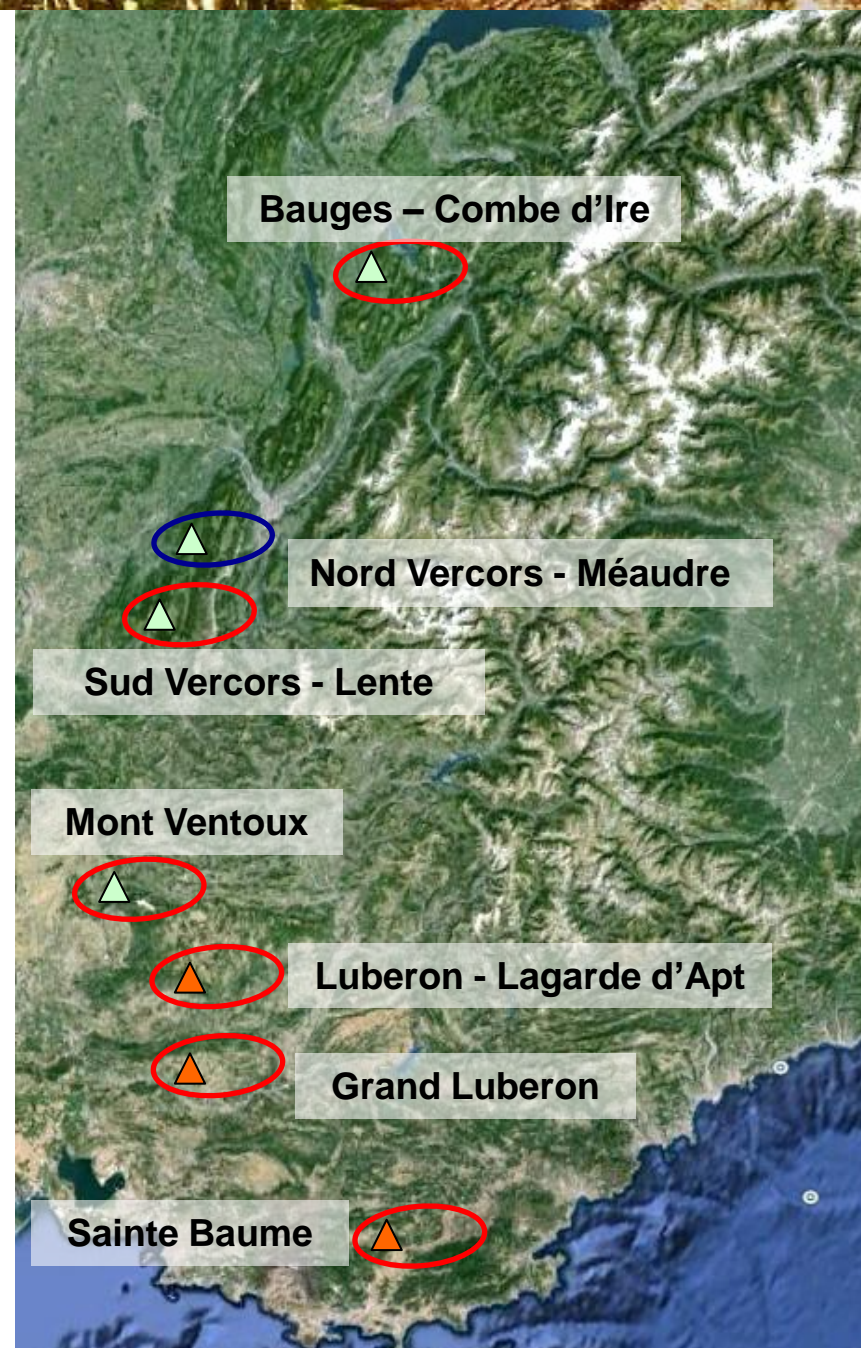
IRSTEA Grenoble

## Espèces ciblées

*Fagus sylvatica* = sur tous les sites

*Abies alba* 

*Quercus pubescens* 





## Collaborations envisagées

- LERFOB Nancy (dendrochronologie et stabilité)
- INRA Nancy (Analyses isotopiques)
- INRA Pierroton (herbivorie, diversité et changement climatique)

## Réflexions et Perspectives

- *Prise en compte du CC :*

Fort gradient climatique, expérimentations, simulations avec scénarios climatiques

Mais approche gradient

- *Quelles difficultés pour aborder le changement climatique et le lier à la biodiversité ?*

Approche terrain = co-facteurs, non-indépendance...

Mais approche conjointe terrain/modélisation

Rôle fort de la diversité (et identité des espèces) dans la réponse des forêts au CC

- *DISTIMACC = projet en réelle interface*

Approche semi-expérimentale in situ / Modélisation avec développements futurs...

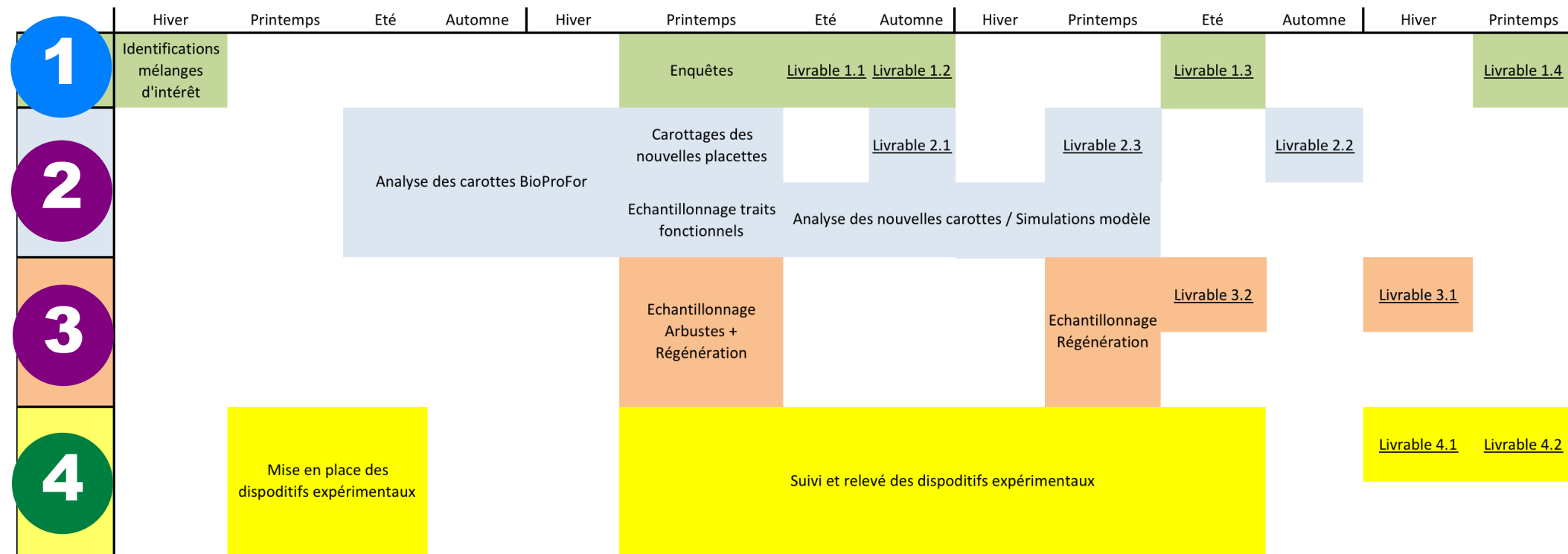




Merci !



## Calendrier...



## Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

*Théorie*

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

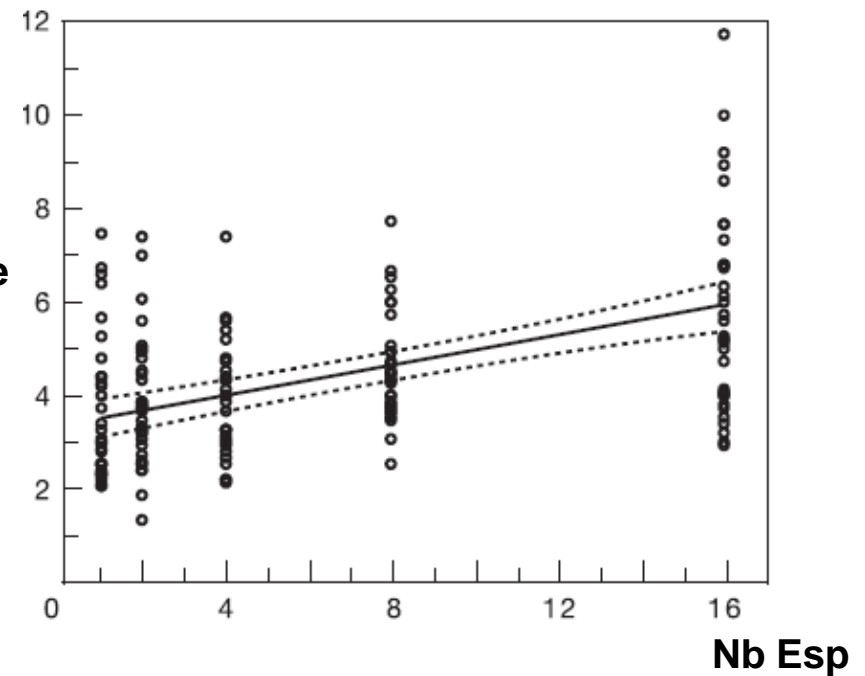
En moyenne, un effet stabilisant de la diversité

*Expérimentations*

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



Stabilité temporelle  
de la productivité

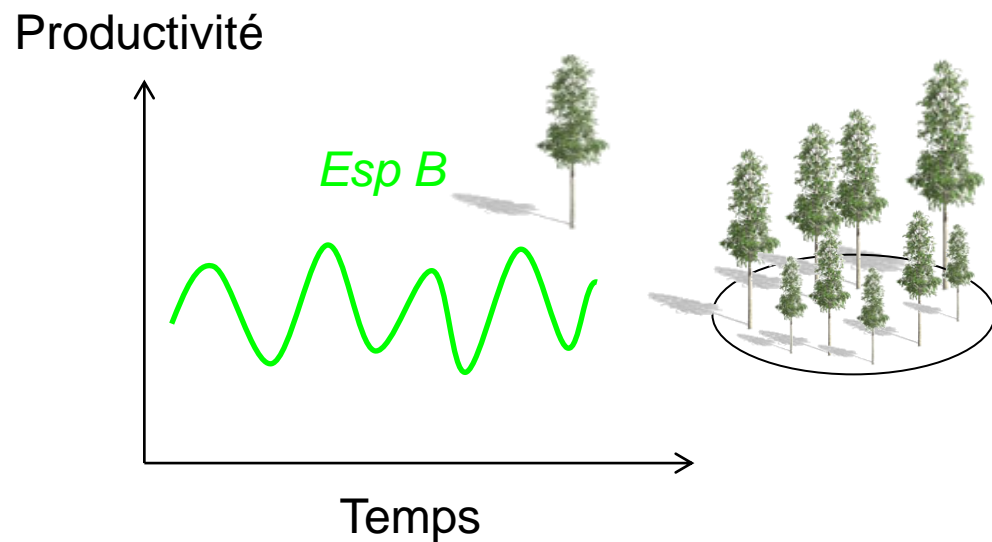
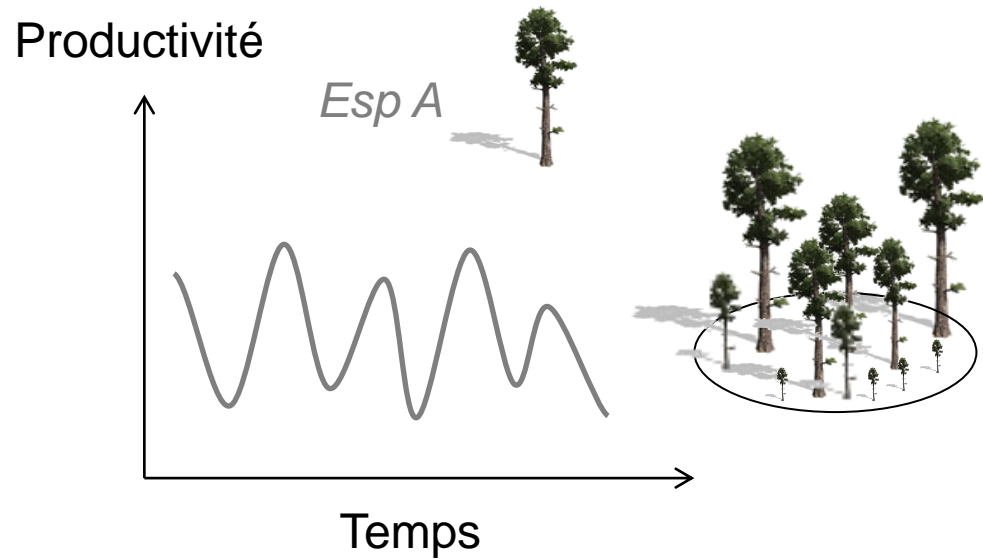


***Valide pour les écosystèmes naturels ?***  
***En forêt ?***  
***Mécanismes ?***



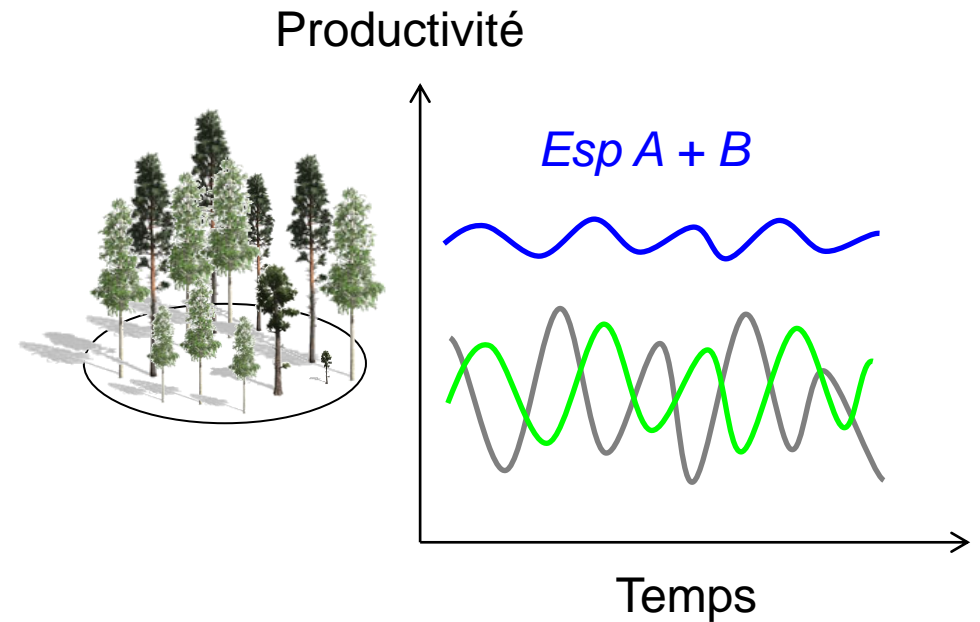
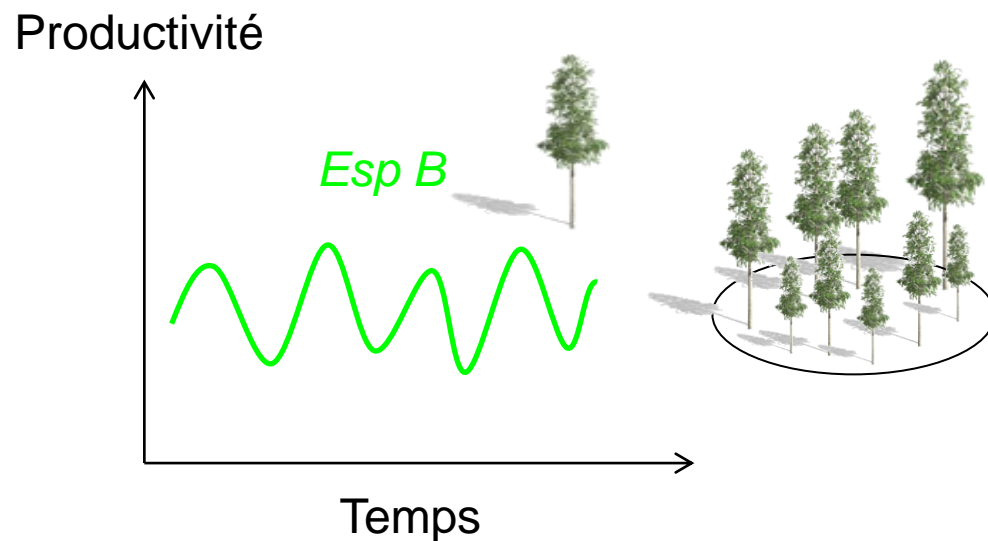
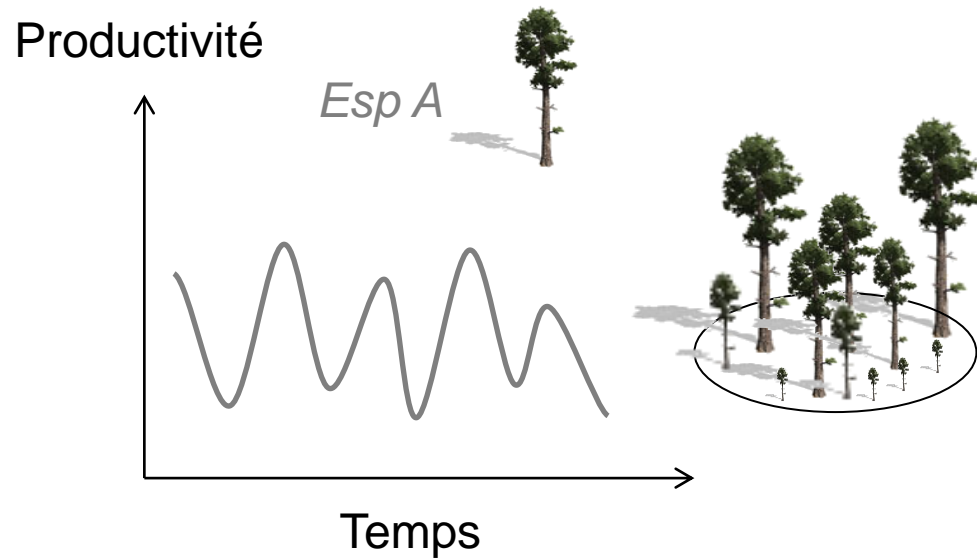
## Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

Test de l'hypothèse d'assurance écologique



## Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

### Test de l'hypothèse d'assurance écologique



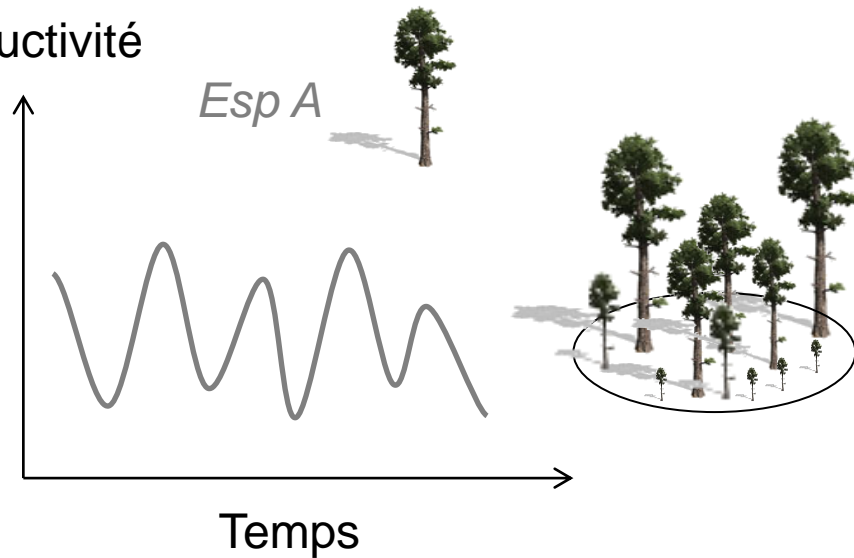
### ***Dynamique compensatoire***

- réponse aux fluctuations environnementales
- réponse différentielle à la compétition

## Diversité et Stabilité des écosystèmes en contexte de changement climatique

### Test de l'hypothèse d'assurance écologique

Productivité

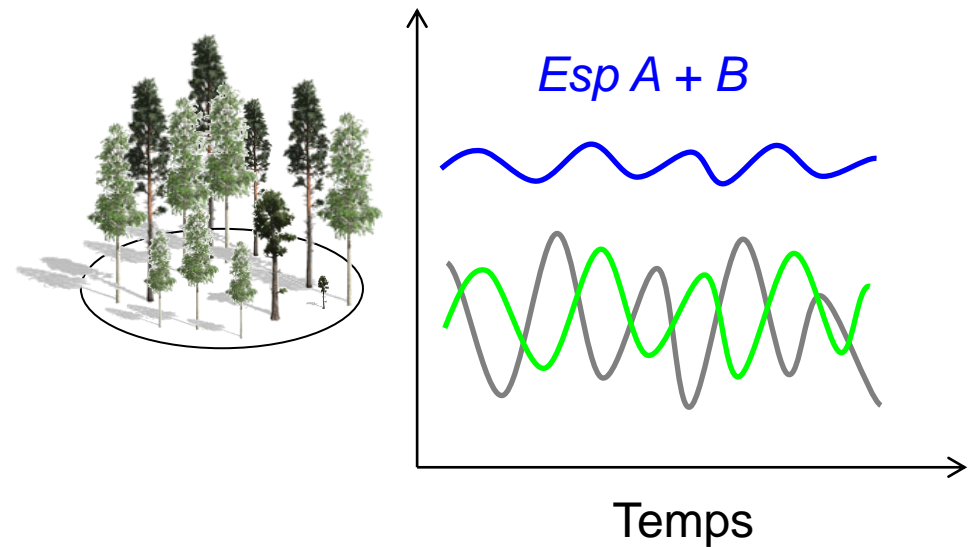


Temps

*Très peu d'études en forêt,  
surtout à large échelle*

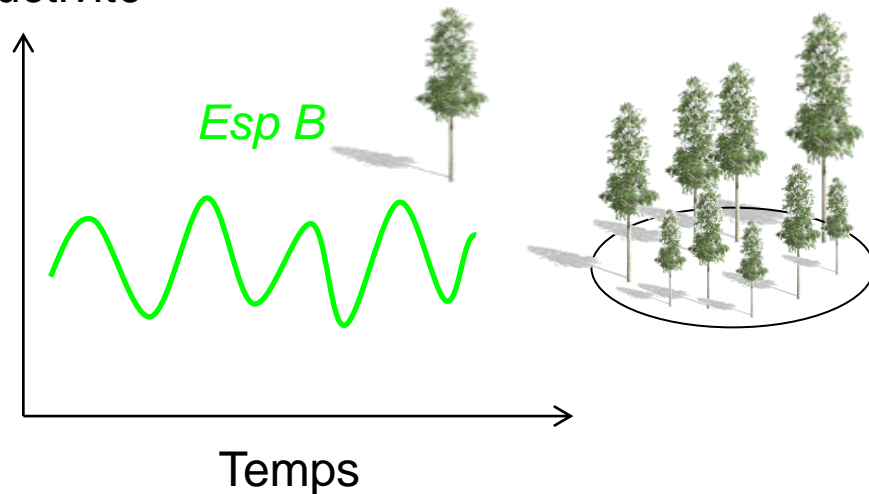
*Avantage par rapport aux études sur  
les prairies*

Productivité



Temps

Productivité



Temps

***Dynamique compensatoire***

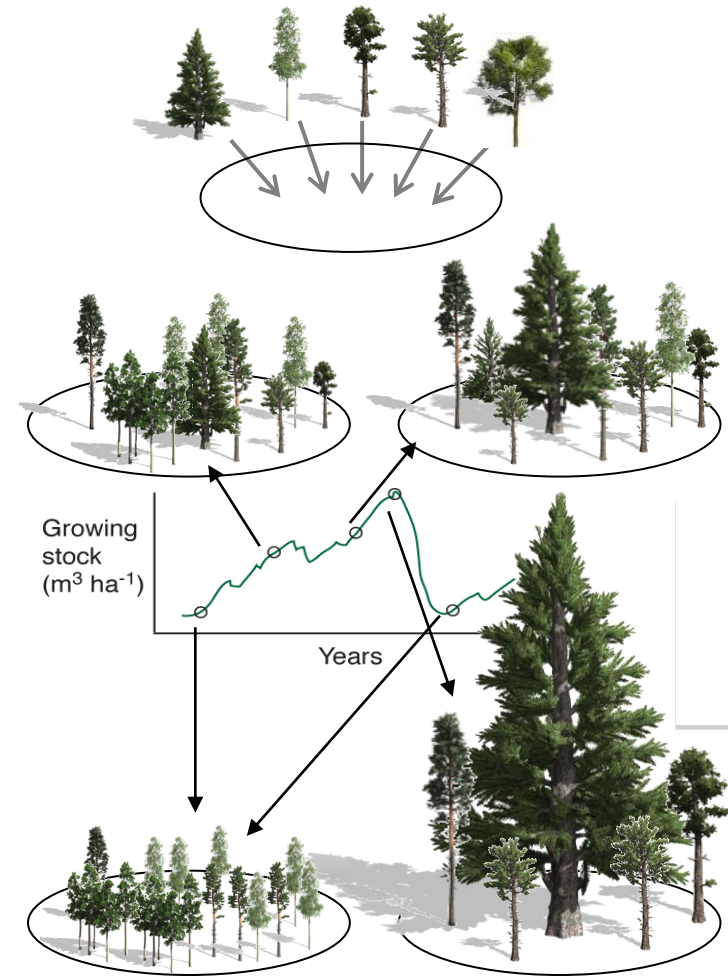
- réponse aux fluctuations environnementales
- réponse différentielle à la compétition



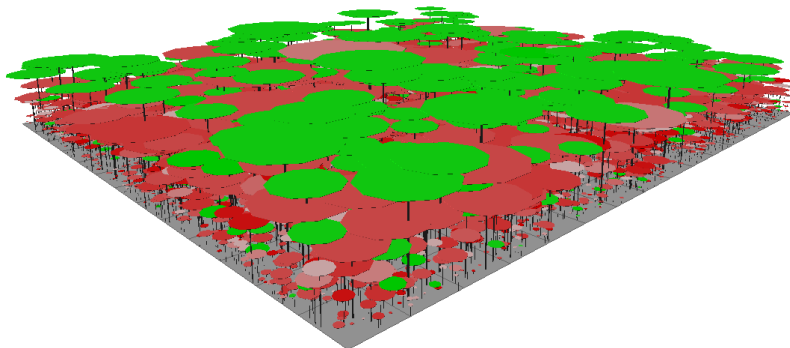
# ForCEEPS = FORest Community Ecology and Ecosystem Processes



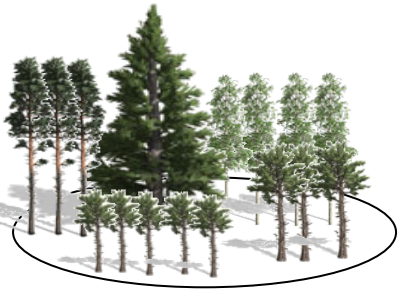
- Inspiré de ForClim (ETH Zürich)
- Un modèle de trouée classique  
= *successions cycliques sur de petites parcelles*
- Description quantitative de la dynamique de populations d'arbres  
= *Etablissement / Croissance / Mortalité*
- Facteurs limitants  
*Lumière / Climat / Azote du sol*
- Développement sur *CAPSIS*



...en développement (1<sup>ère</sup> version disponible depuis avril)



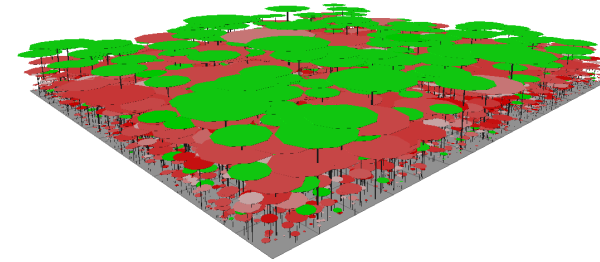
# ForCEEPS = FORest Community Ecology and Ecosystem Processes



**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 »



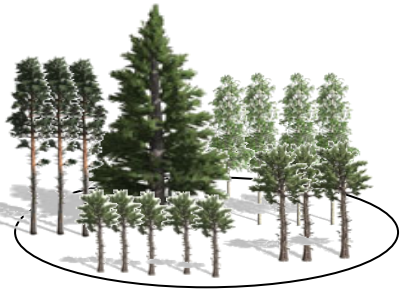
*Plus intégrée  
+ Tests avec des données de terrain*

Modélisation du couvert en disques



*Modélisation en cylindres  
= plus de finesse dans la compétition  
pour la lumière*

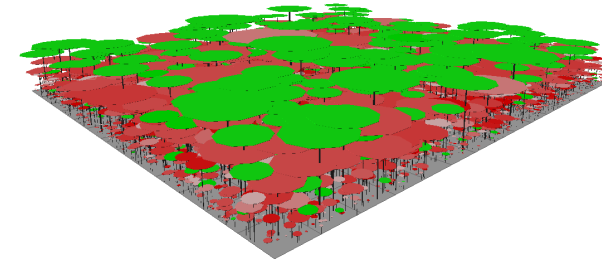
# ForCEEPS = FORest Community Ecology and Ecosystem Processes



**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*



Modélisation du couvert en disques

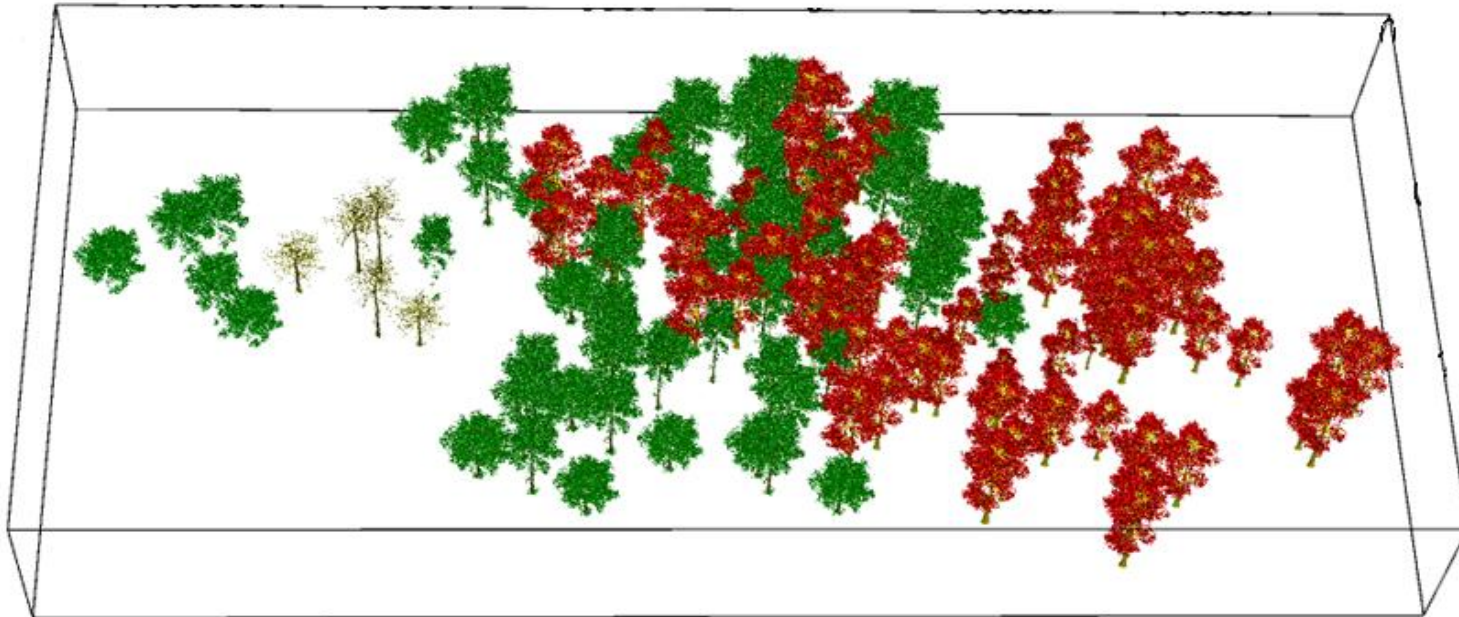


*Modélisation en cylindres*  
*= plus de finesse dans la compétition  
pour la lumière*



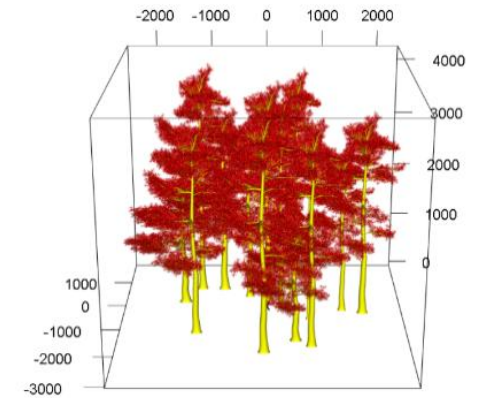
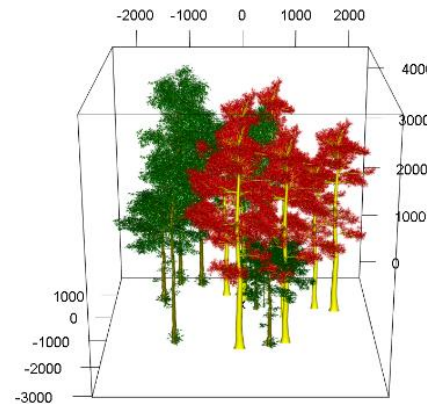
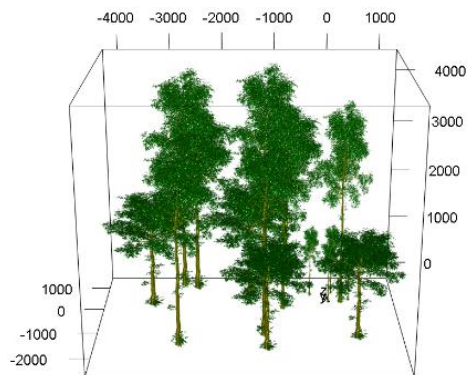
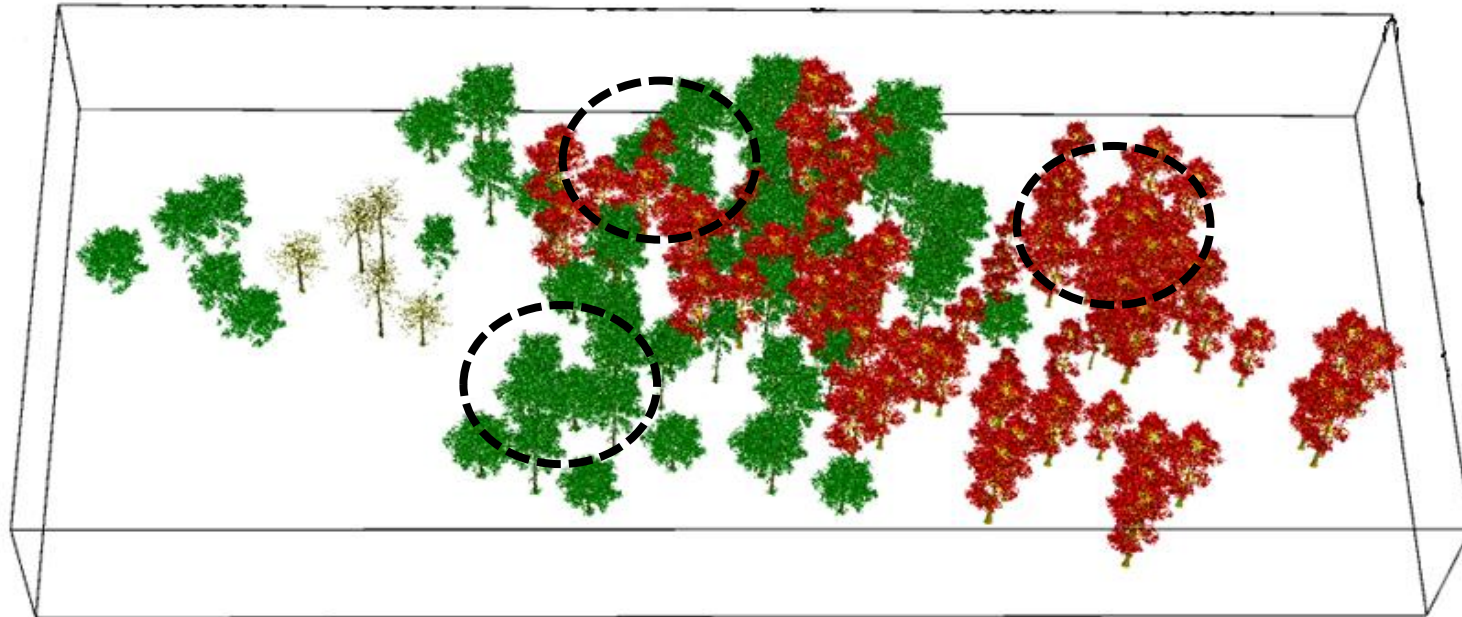
## Principe général :

**Comparer des placettes mono-spécifiques et mélangées très proches spatialement**





# Principe général :

Comparer des placettes mono-spécifiques et mélangées très proches spatialement





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

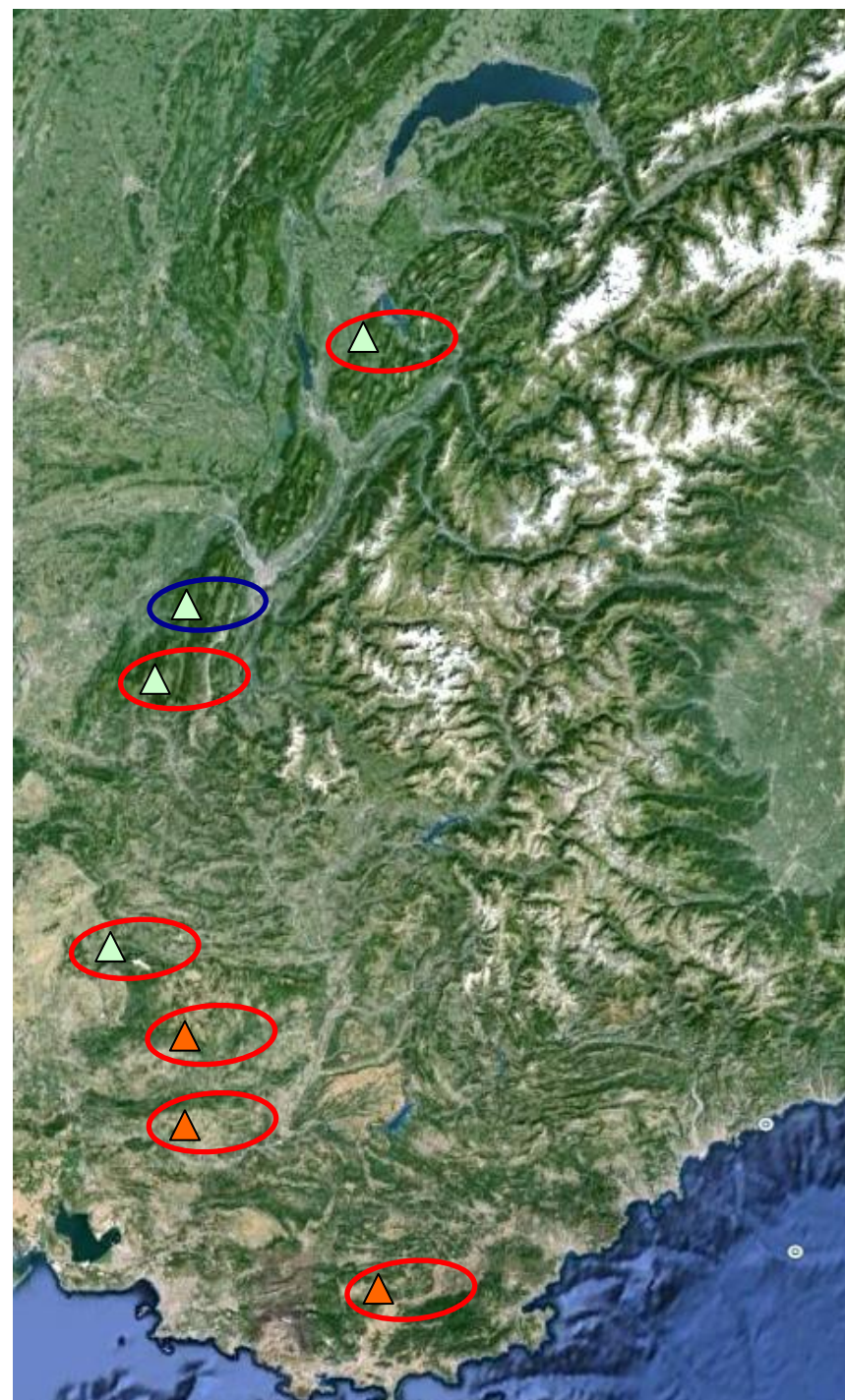
-  Sites BioProFor 2012-2014  
= 63 placettes (fin 2014)
-  + 1 autre site Nord Vercors (Méaudre)  
IRSTEA Grenoble

## Espèces BioProFor

*Fagus sylvatica* = sur tous les sites

*Abies alba* 

*Quercus pubescens* 





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

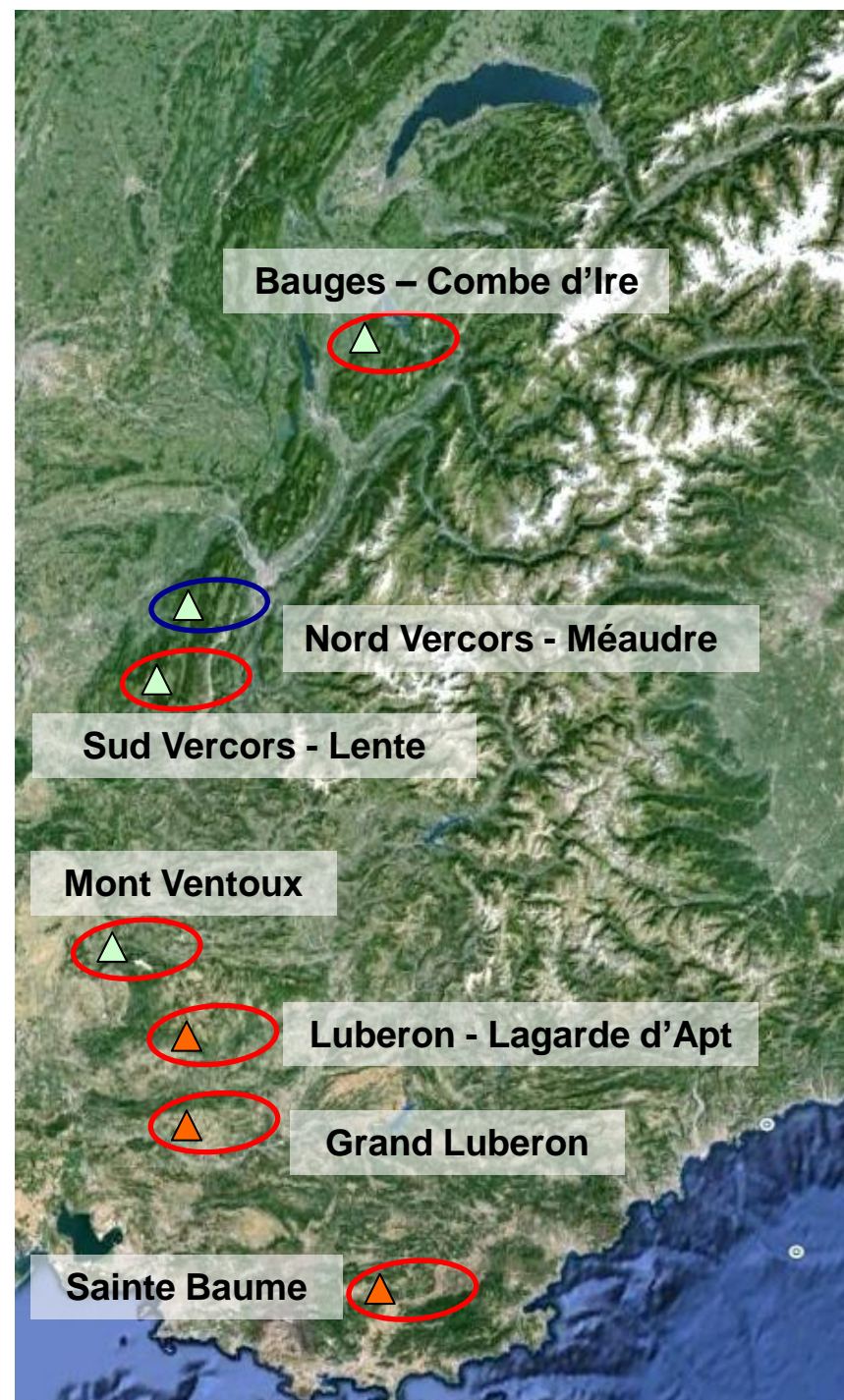
-  Sites BioProFor 2012-2014  
= 63 placettes (fin 2014)
-  + 1 autre site Nord Vercors (Méaudre)  
IRSTEA Grenoble

## Espèces BioProFor

*Fagus sylvatica* = sur tous les sites





*Abies alba* 

*Quercus pubescens* 





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

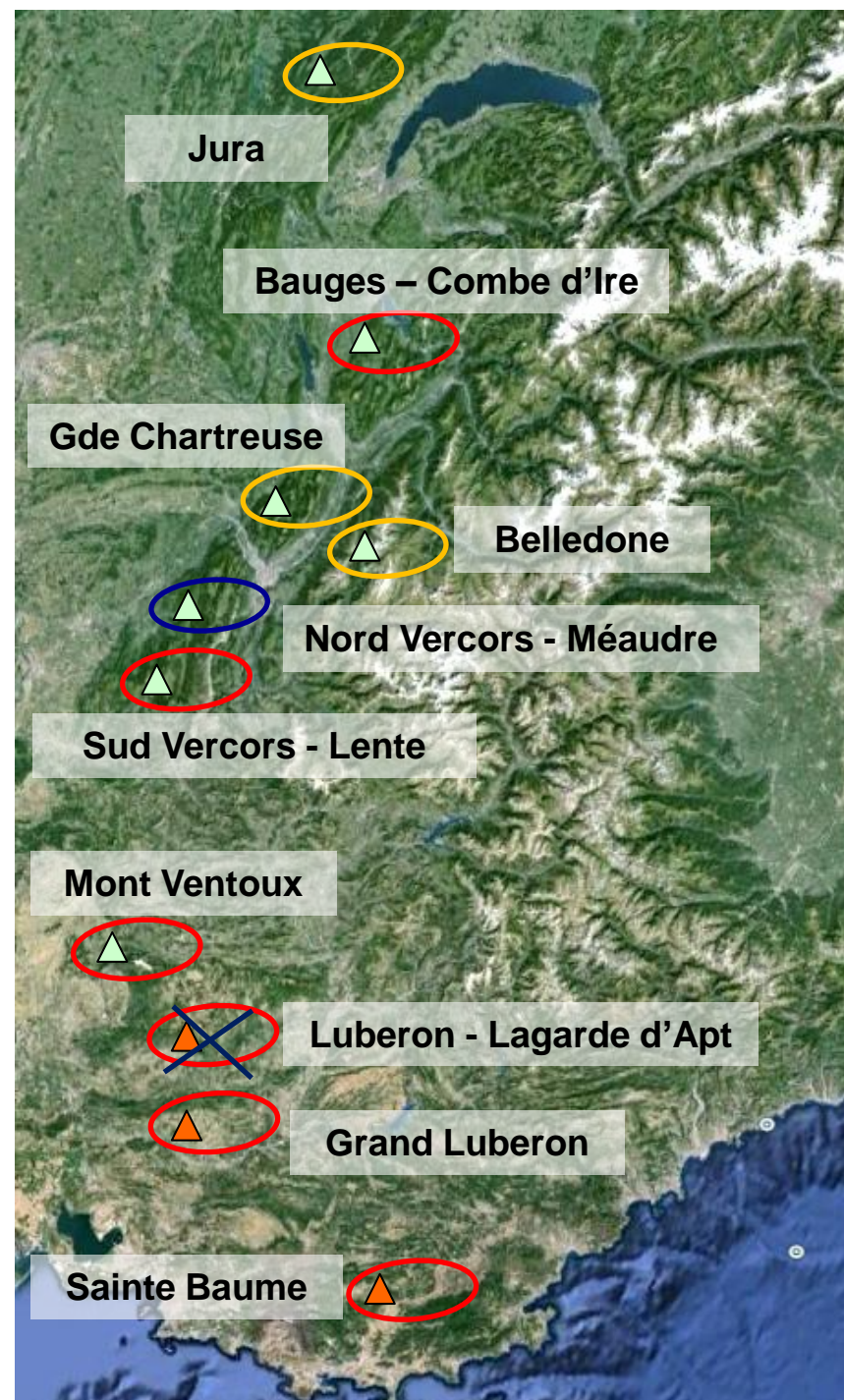
-  Sites BioProFor 2012-2014  
= 63 placettes (fin 2014)
-  + 1 autre site Nord Vercors (Méaudre)  
IRSTEA Grenoble
-  Sites additionnels possibles (DISTIMACC)
-  Sites BioProFor non conservés

## Espèces BioProFor

*Fagus sylvatica* = sur tous les sites





*Abies alba* 

*Quercus pubescens* 





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

-  Sites BioProFor 2012-2014 = 63 placettes (fin 2014)
-  + 1 autre site Nord Vercors (Méaudre) IRSTEA Grenoble
-  Sites additionnels possibles (DISTIMACC)
-  Sites BioProFor non conservés

## Espèces BioProFor

*Fagus sylvatica* = sur tous les sites

*Abies alba* 

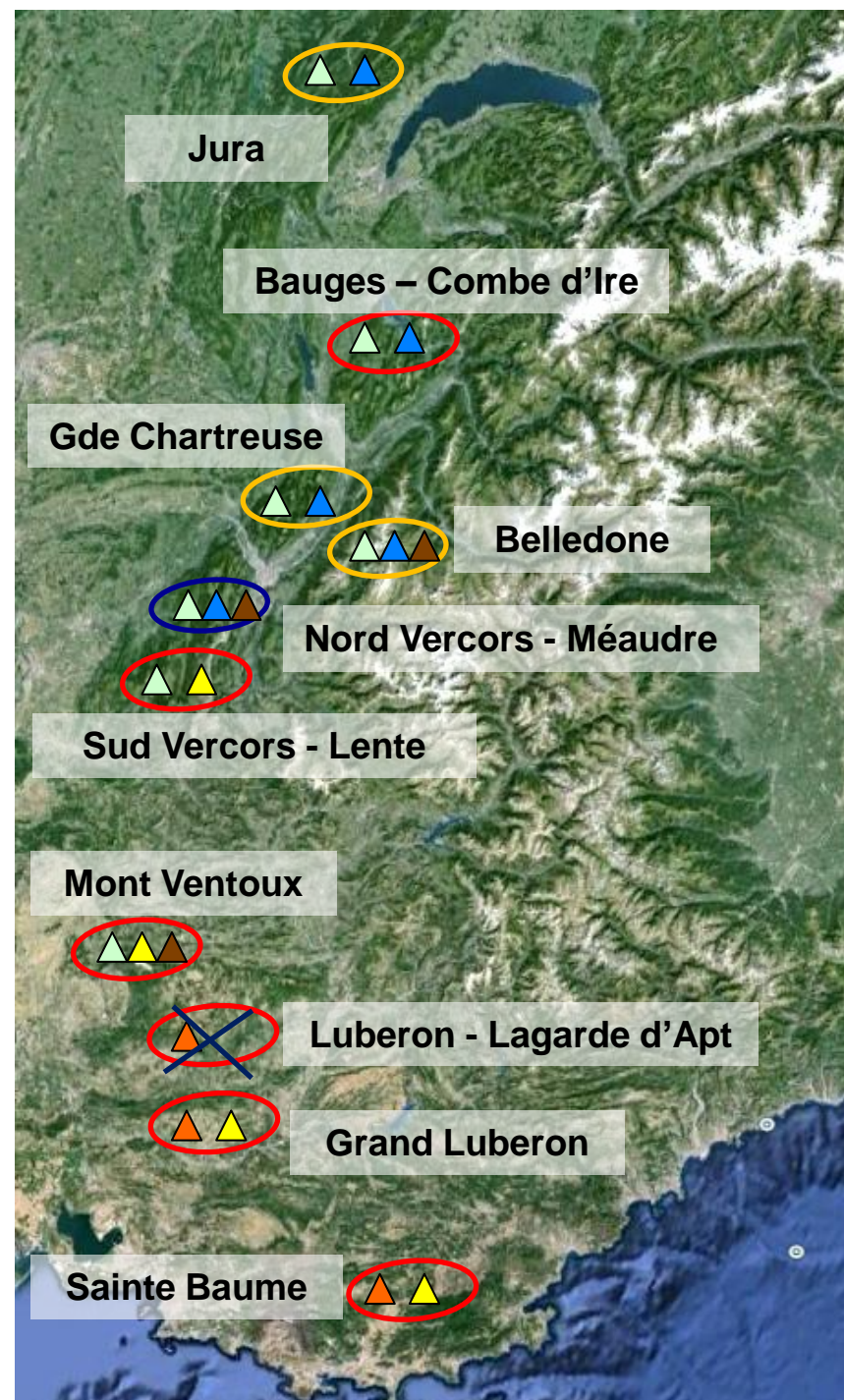
*Quercus pubescens* 

## Espèces supplémentaires

*Picea abies* 

*Pinus sylvestris* 

*Pinus uncinata* 





# 4

## Diversité – Stabilité *décomposition*

### *Expérimentation*

# Résilience de la **décomposition** des litières en fonction la **diversité** des espèces de couvert et des **conditions environnementales**



### Hypothèse 1

*Le processus de décomposition est plus résistant aux conséquences négatives d'une sécheresse accentuée dans les mélanges que dans les peuplements monospécifiques.*

Test *in situ* de l'hypothèse 1 :

- « **Mini-exclusion** » de pluie (bâches suspendues)  
= **Accentuation de la période sèche** (bâches mises en place pendant 60 jours)
- **Sachets de litière (Fig. 1)** avec litière foliaire 1 espèce ou 2 espèces
- **Distinction effets couvert/effets mélange de litières**  
Transplantation réciproque et sachets de litière avec deux substrats neutres

## 4

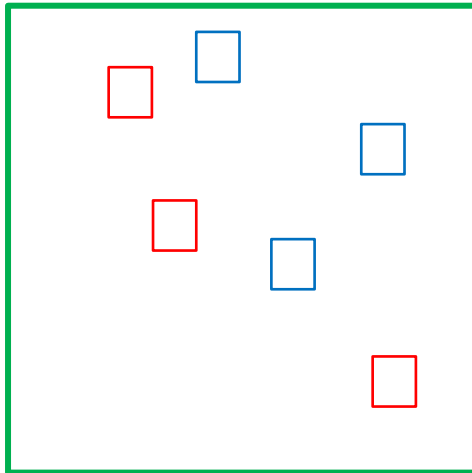
# Diversité – Stabilité *décomposition*

## Expérimentation



### Design expérimental:

- 3 « mini-exclusions » et 3 contrôles par placette (6 quadrats)
- 4 récoltes prévues (automne 2015, printemps 2016, automne 2016, printemps 2016)
- 2 sachets de litière (1 monoculture / 1 mélange) par quadrat et date

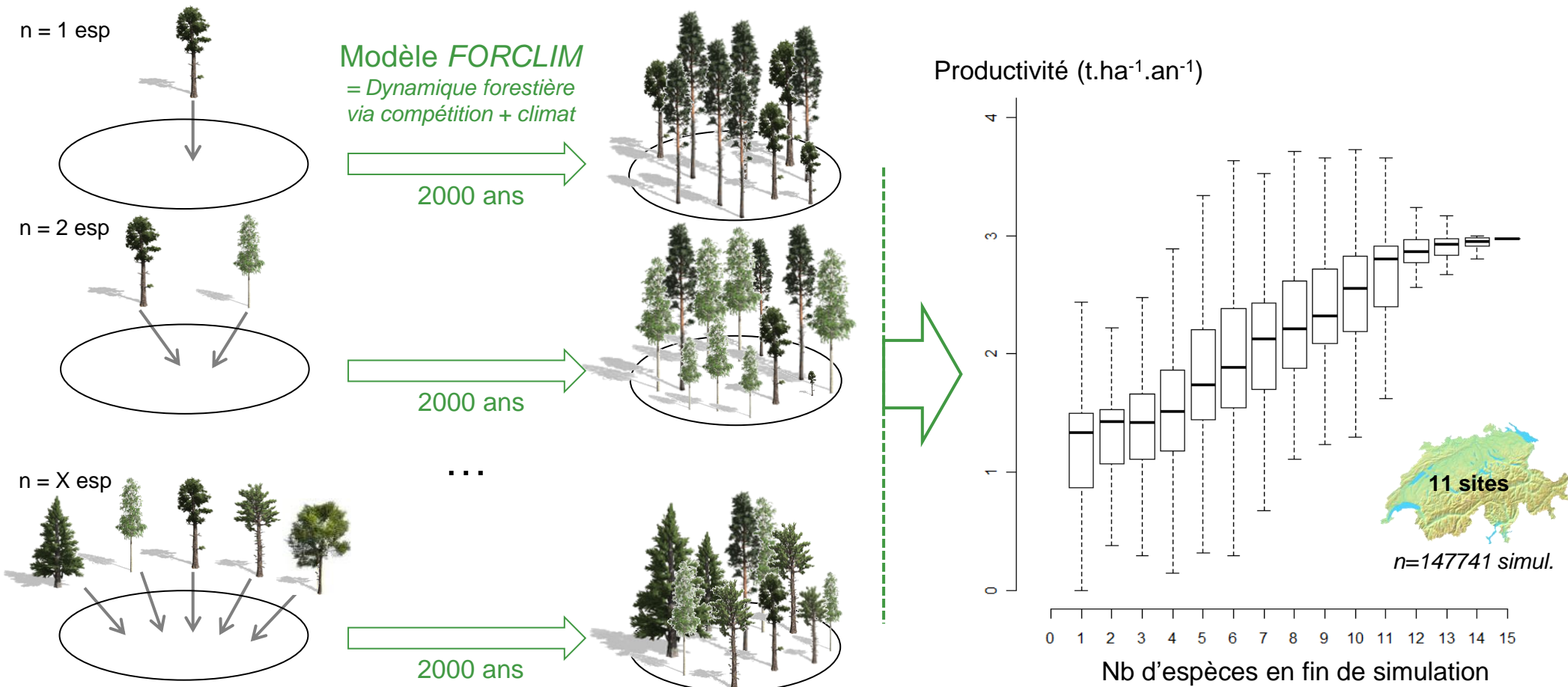


5 sites (Sainte Baume, Grand Luberon, Mont Ventoux, Sud Vercors, Bauges)  
en focalisant les mélanges hêtre / sapin ou hêtre / pin (nouv. esp)

# Principaux résultats obtenus

## Relation *Diversité – Productivité* dans les écosystèmes forestiers ? Tache 2 : effet de la structure du peuplement sur la productivité

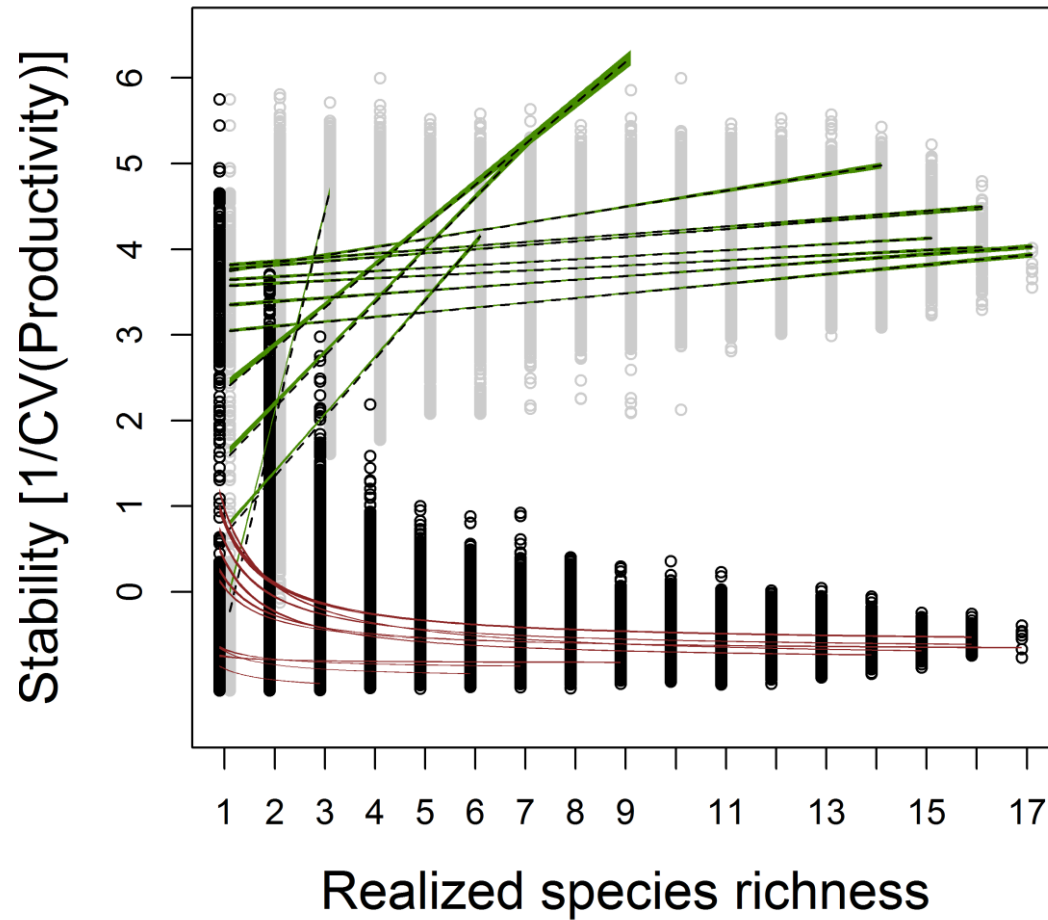
⇒ Expériences virtuelles par modélisation





# Hypothèses

## Relation *Diversité – Productivité* dans les écosystèmes forestiers ?



# Relation *Diversité – Productivité* dans les écosystèmes forestiers ?

