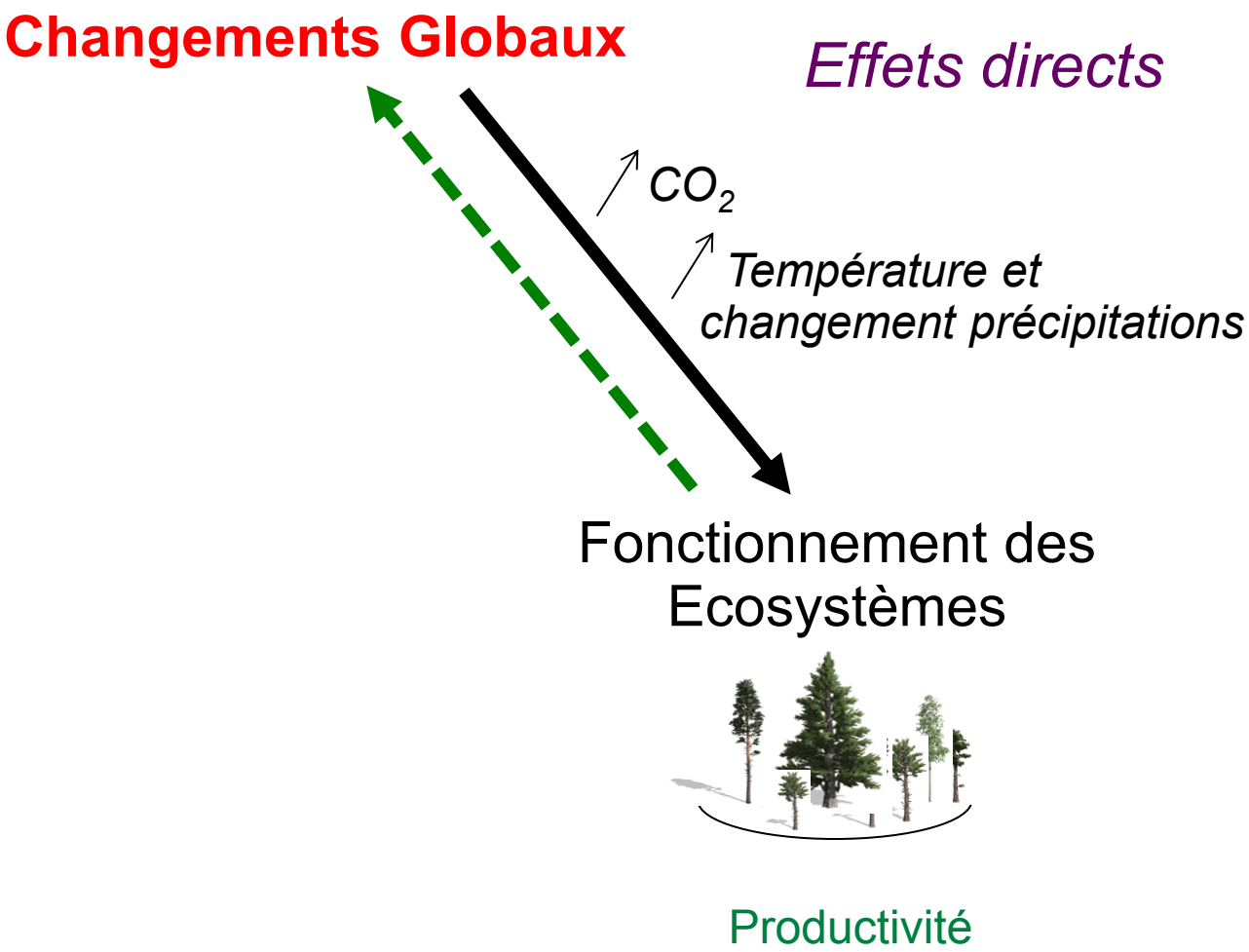
Impacts directs et indirects du changement climatique sur la productivité forestière

Xavier Morin, François de Coligny, Hervé Jactel, Lorenz Fahse, Harald Bugmann

Changement climatique, diversité et fonctionnement des forêts



Changement climatique, diversité et fonctionnement des forêts

Changements Globaux

Effets directs

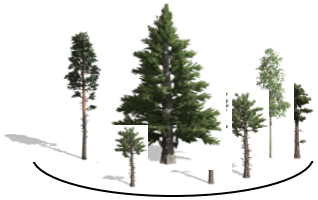
↗ CO_2

↗ *Température et changement précipitations*

Composition des communautés

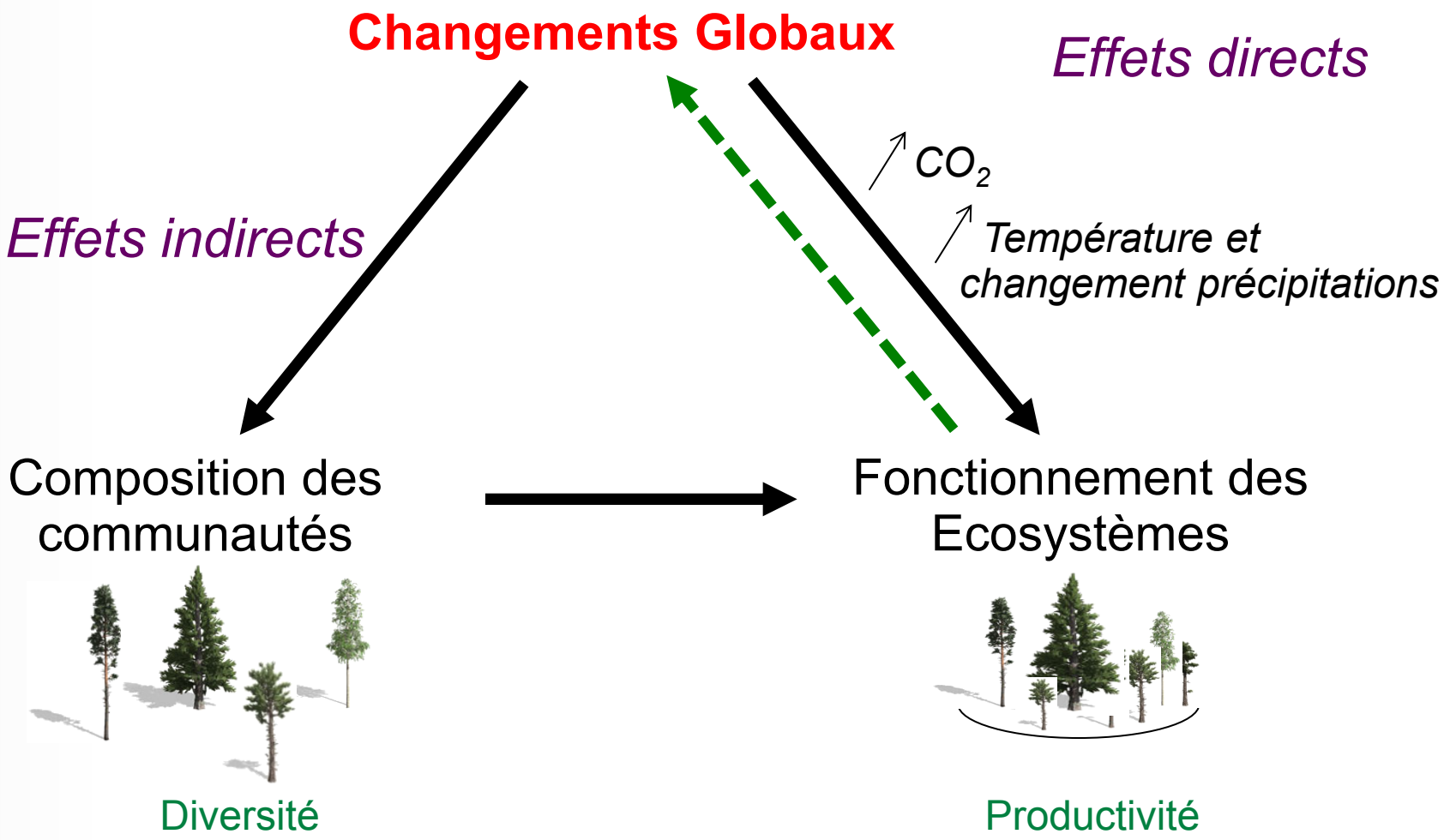
Diversité

Fonctionnement des Ecosystèmes

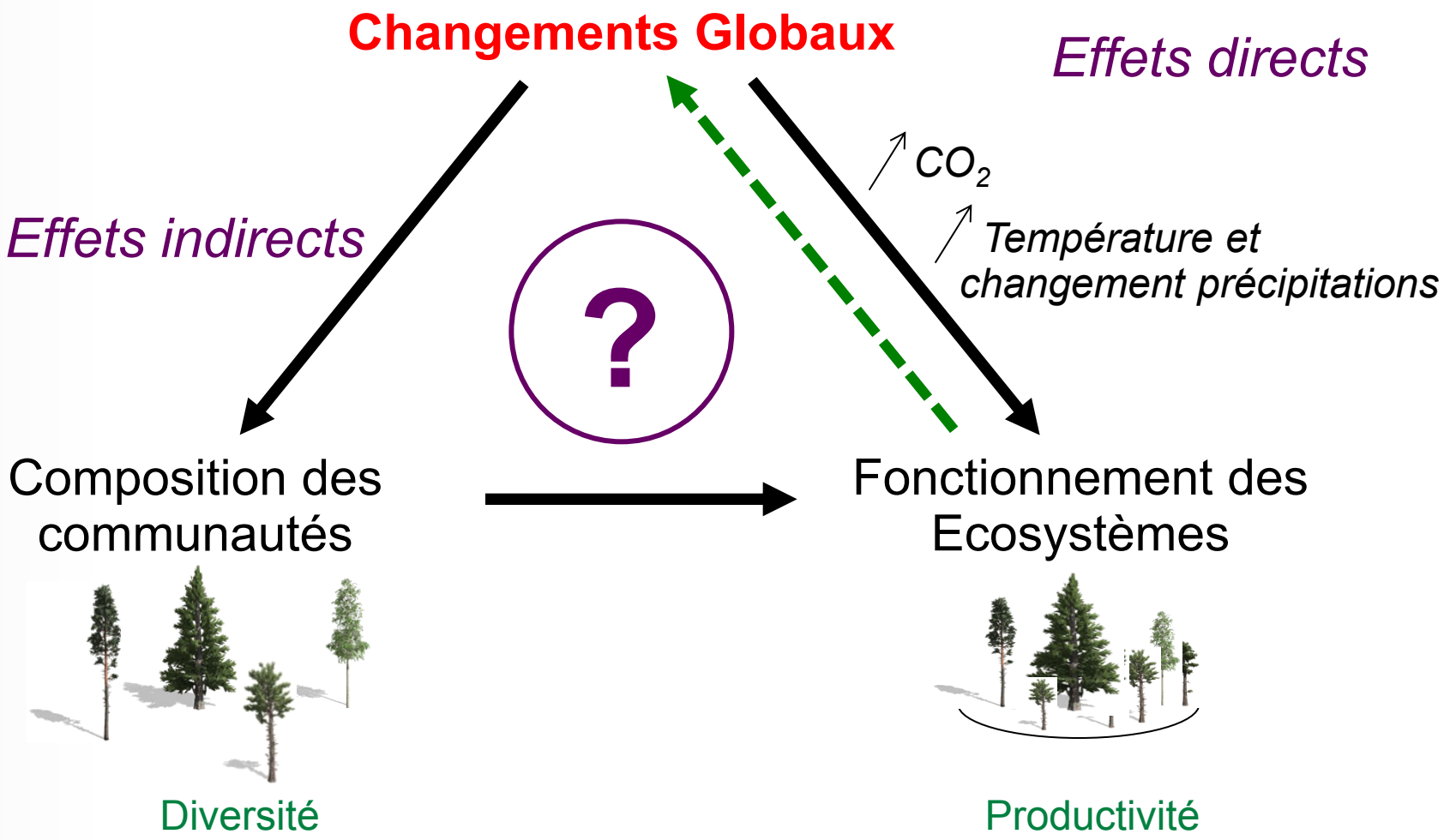


Productivité

Changement climatique, diversité et fonctionnement des forêts



Changement climatique, diversité et fonctionnement des forêts

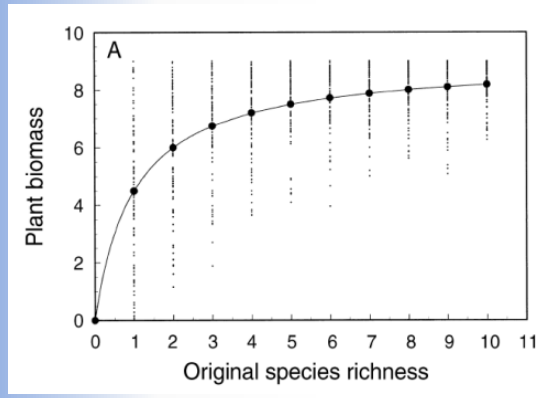


La relation diversité-productivité

Biodiversité → **F**onctionnement des Ecosystèmes

La relation diversité-productivité

Travaux théoriques

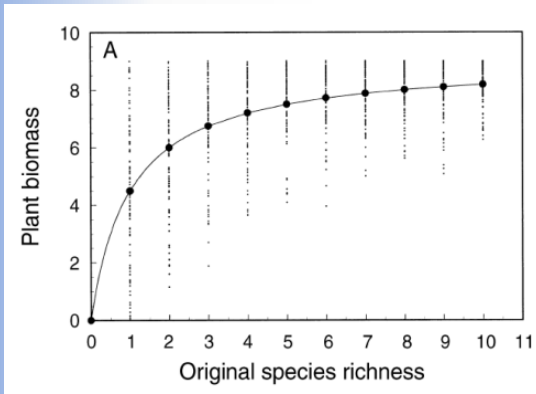


Tilman *et al.* 1997
Loreau 1998

Biodiversité → **F**onctionnement des Ecosystèmes

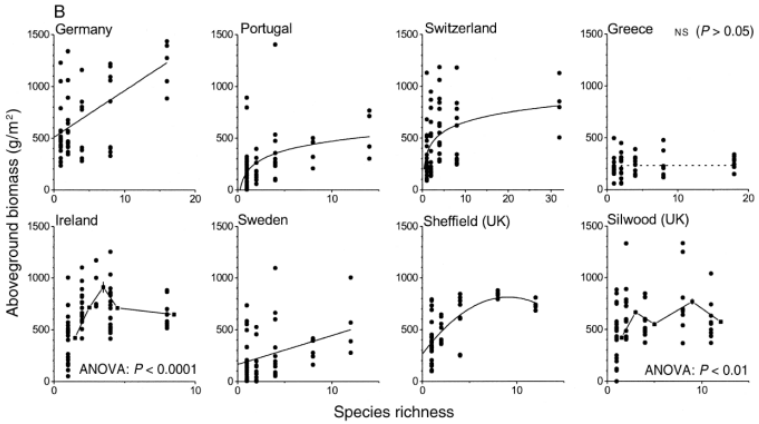
La relation diversité-productivité

Travaux théoriques



Tilman *et al.* 1997
Loreau 1998

Expérimentations

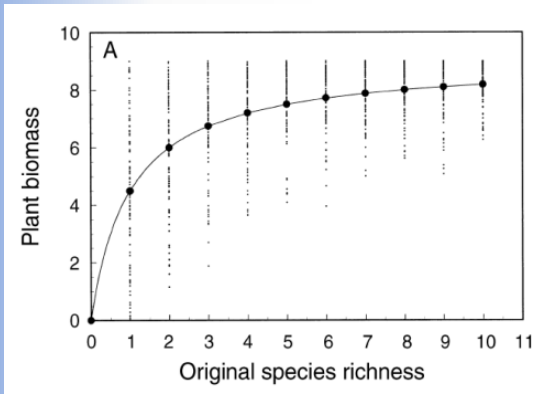


Hector *et al.* 1999
Cardinale et al. 2012

Biodiversité → **F**onctionnement des Ecosystèmes

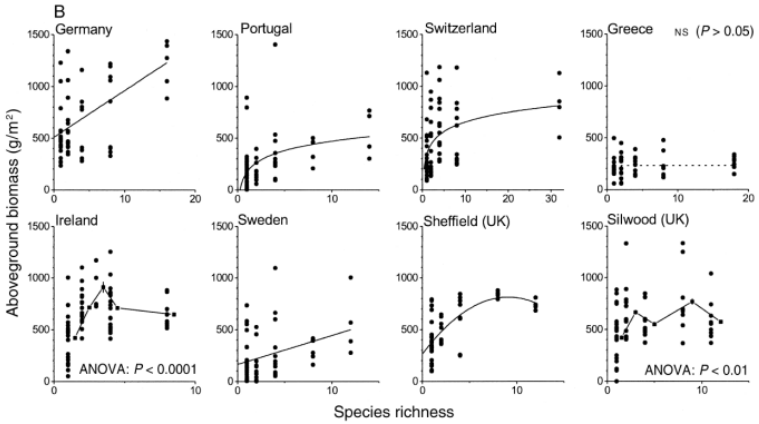
La relation diversité-productivité *en forêt*

Travaux théoriques



Tilman *et al.* 1997
Loreau 1998

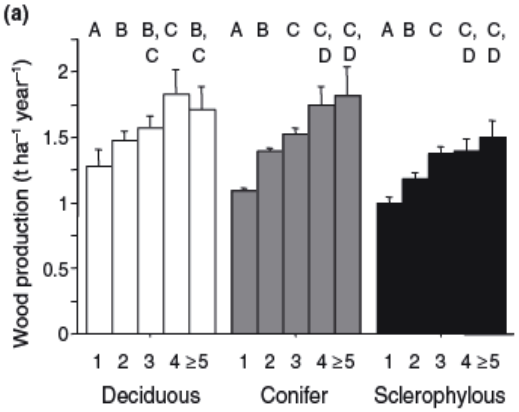
Expérimentations



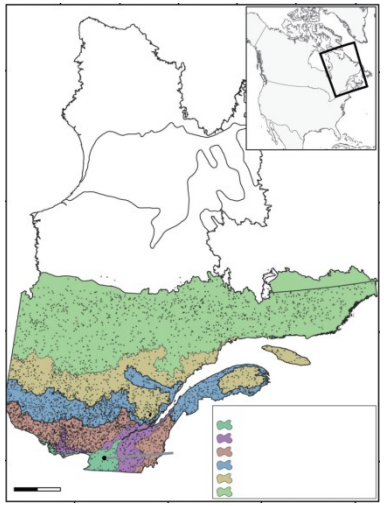
Hector *et al.* 1999
Cardinale et al. 2012

Biodiversité → **F**onctionnement des Ecosystèmes

Observations

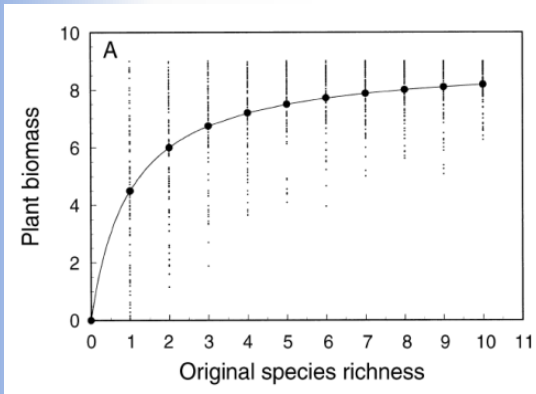


Paquette & Messier 2011
Vila *et al.* 2007, 2013
Toigo *et al.* 2015



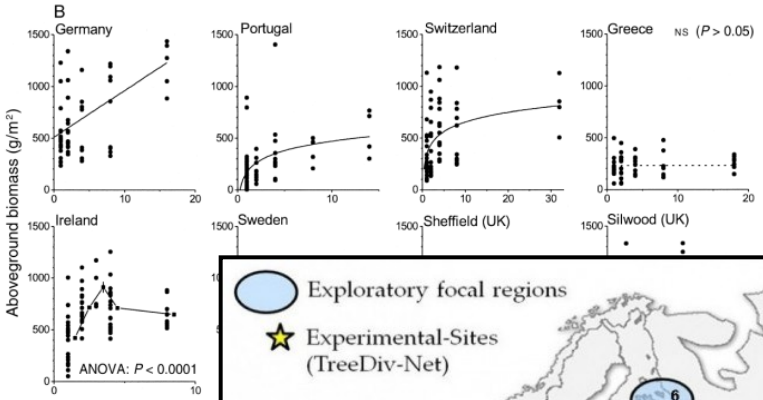
La relation diversité-productivité *en forêt*

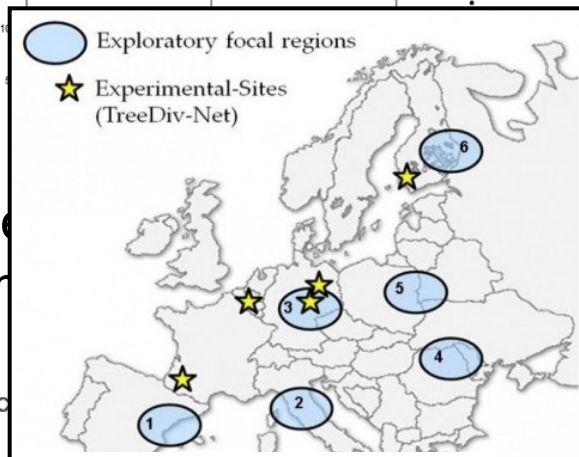
Travaux théoriques



Tilman *et al.* 1997
Loreau 1998

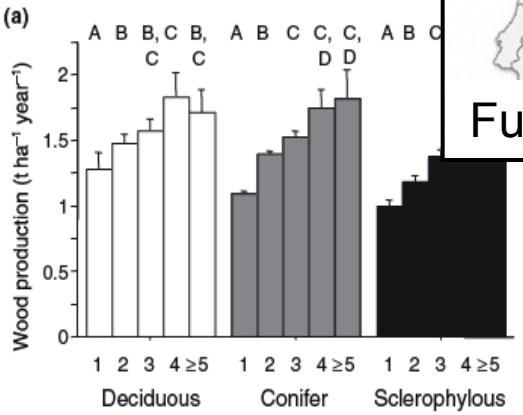
Expérimentations



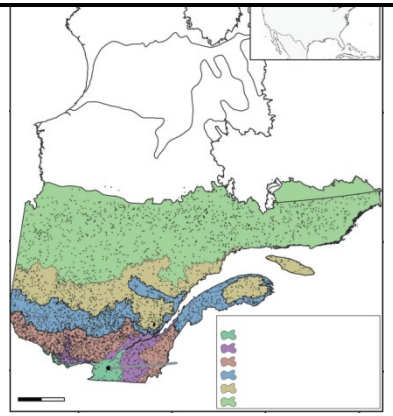


FunDIV EU

Biodiversité → **F**onctionneme
Ecosystèr

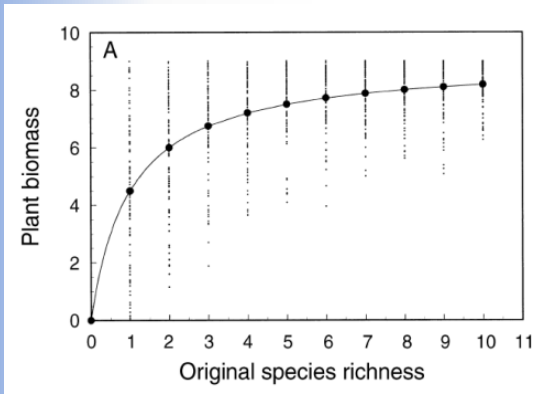


Paquette & Messier 2011
Vila *et al.* 2007, 2013
Toigo *et al.* 2015

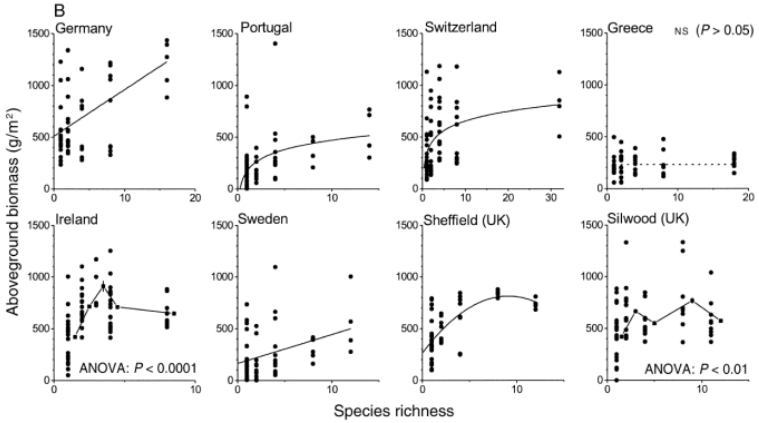


La relation diversité-productivité *en forêt*

Travaux théoriques

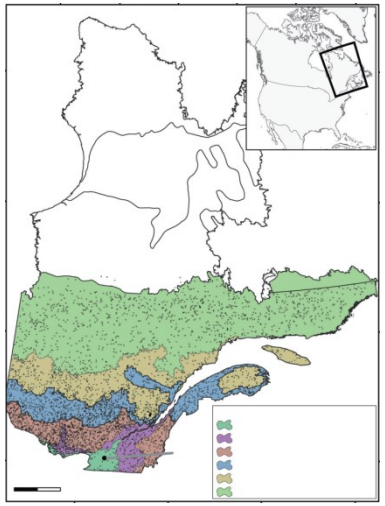


Expérimentations



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

Modèles de dynamique forestière

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

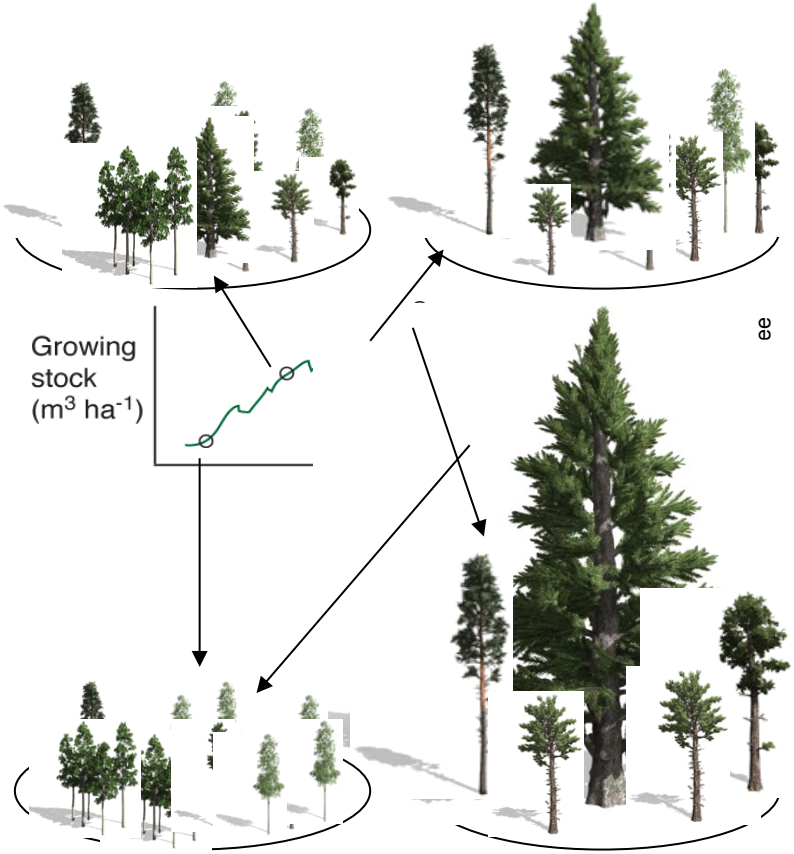
- Théories par A.S. Watt, H.A. Gleason

- Description quantitative de la dynamique de populations d'arbres

  Etablissement / Croissance / Mortalité

- Facteurs limitants

  Lumière */ Climat / Azote du sol*



Modèles de dynamique forestière

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

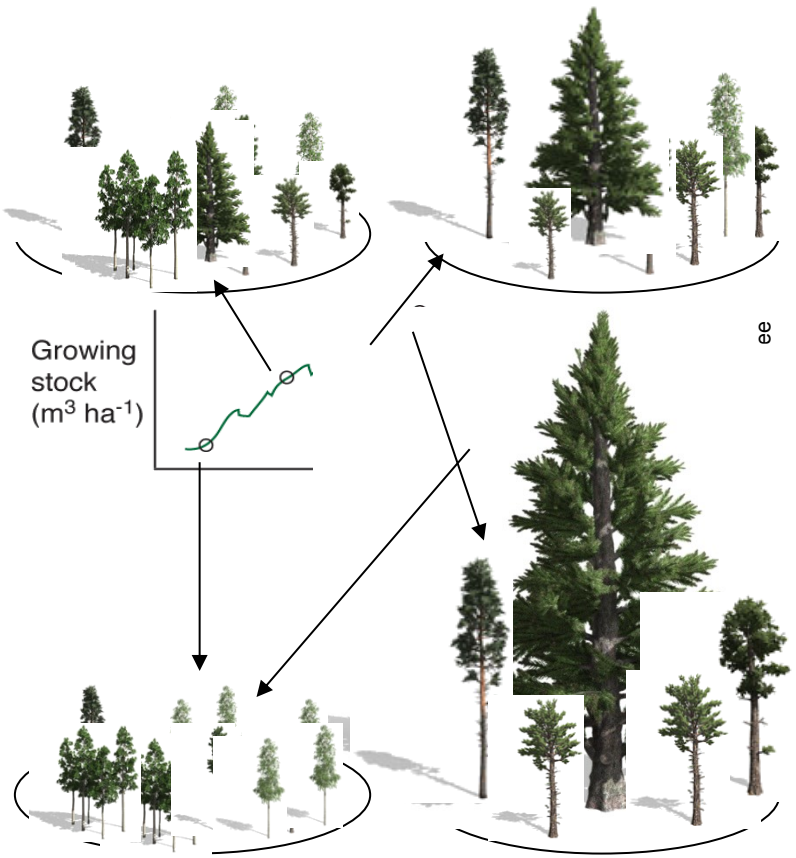
- Théories par A.S. Watt, H.A. Gleason

- Description quantitative de la dynamique de populations d'arbres

  Etablissement / Croissance / Mortalité

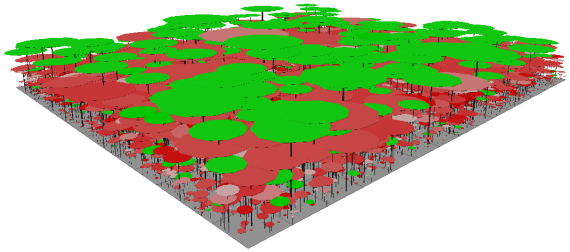
- Facteurs limitants

  Lumière */ Climat / Azote du sol*

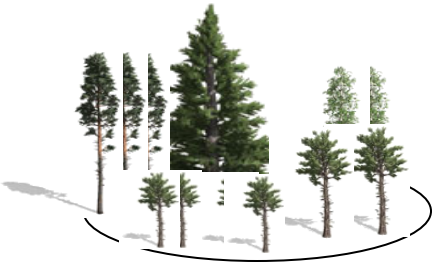


ForCLIM ⇨ ForCEEPS

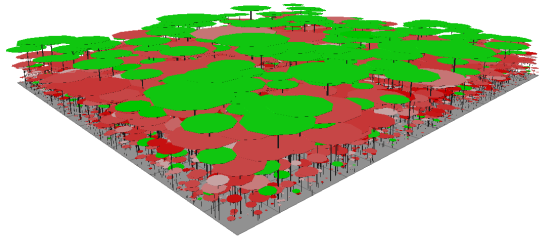
Depuis 2013…



ForCEEPS = *FORest Community Ecology and Ecosystem ProcesseS*

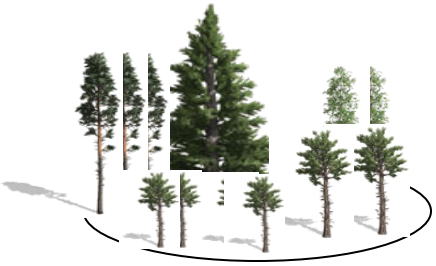


ForClim ⇨ **ForCEEPS**

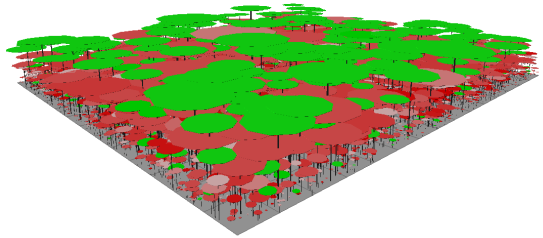


Cohorte-centré	→	*Individu-centré*
Espèce-centré	→	Génotype-centré = *var. intrasp.*
Compétition pour la lumière	→	Compétition pour la lumière + *Compétition pour l'eau*
Régénération « simpliste »	→	*Plus intégrée* + Tests avec des données de terrain
Modélisation du couvert en disques	→	*Modélisation en cylindres* *= plus de finesse dans la compétition pour la lumière*

ForCEEPS = *FORest Community Ecology and Ecosystem ProcesseS*



ForClim ⇨ **ForCEEPS**

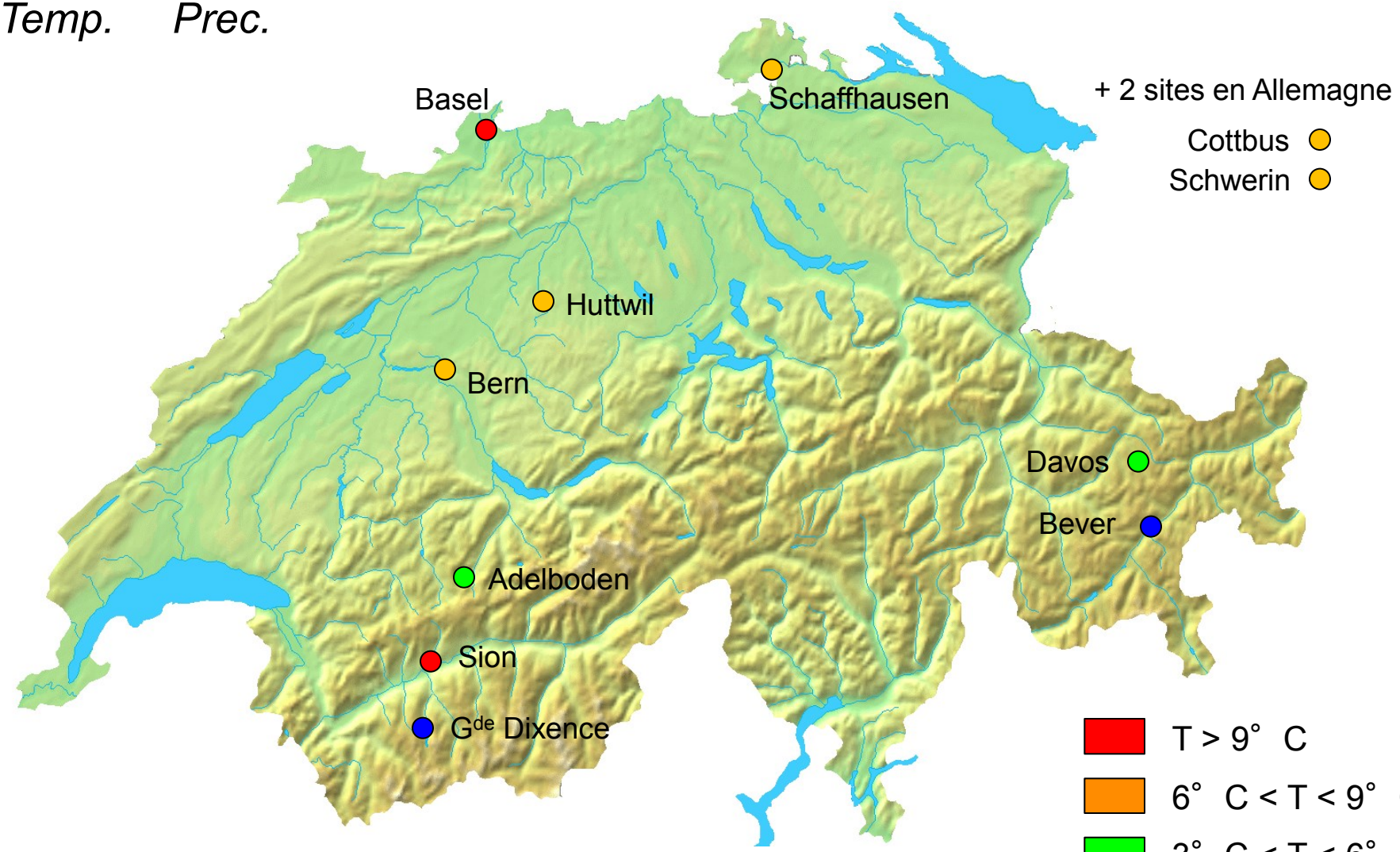


Cohorte-centré	→	*Individu-centré* ☑
Espèce-centré	→	Génotype-centré = *var. intrasp.* ☑
Compétition pour la lumière	→	Compétition pour la lumière + *Compétition pour l'eau*
Régénération « simpliste »	→	*Plus intégrée* ≈ ☑ + Tests avec des données de terrain
Modélisation du couvert en disques	→	*Modélisation en cylindres* *= plus de finesse dans la compétition pour la lumière*

ForCLIM et ForCEEPS = validés sur 11 sites

11 sites = gradient climatique

Temp. *Prec.*



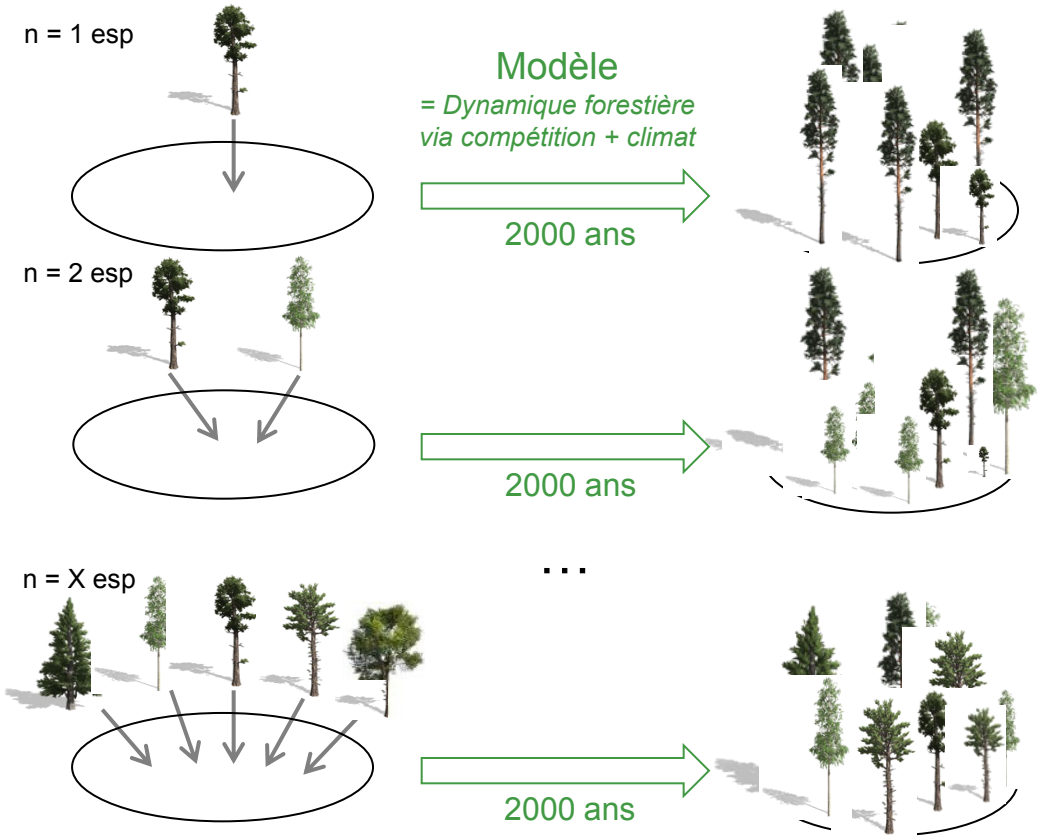
Chq site >13000 combinaisons testées ➡ ~ 150,000 simulations au total

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

⇨ Expériences virtuelles par modélisation

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

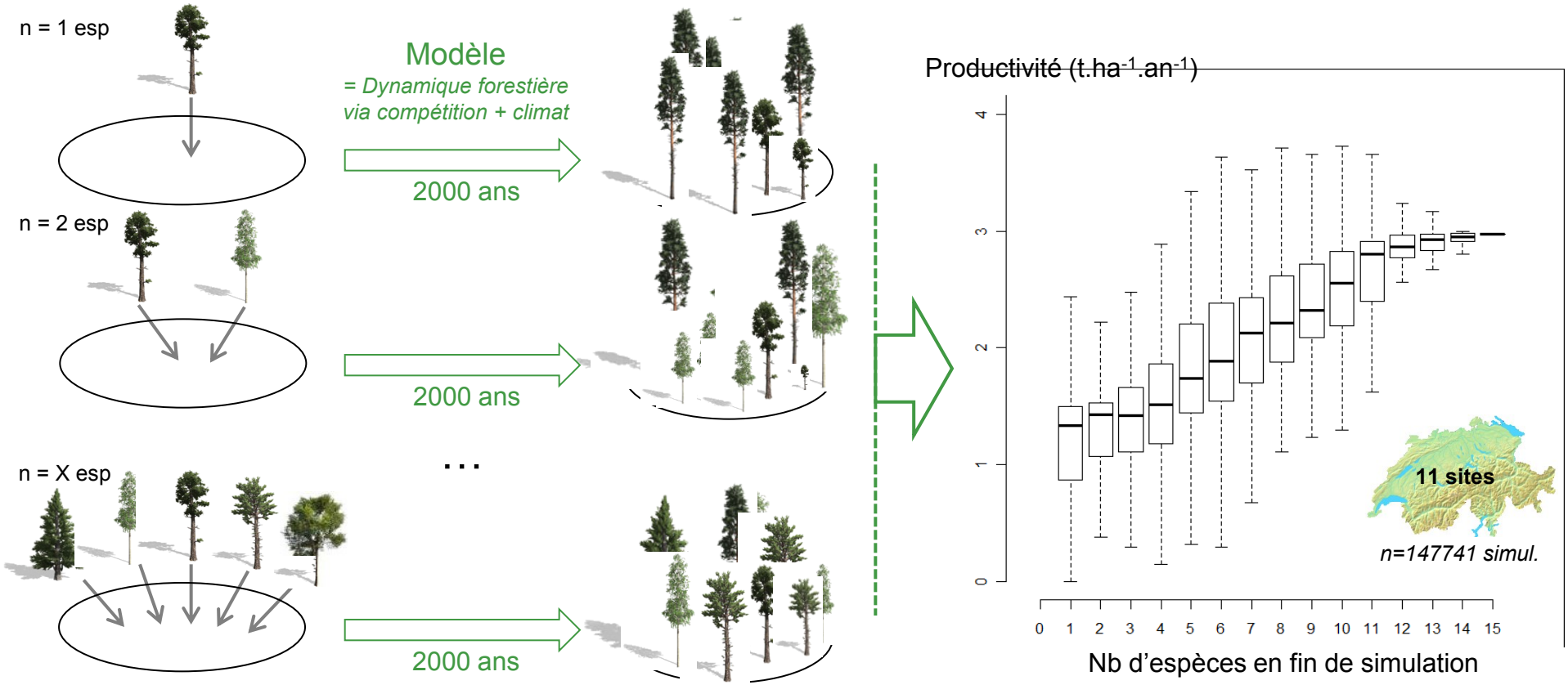
⇨ Expériences virtuelles par modélisation



n=147741 simul.

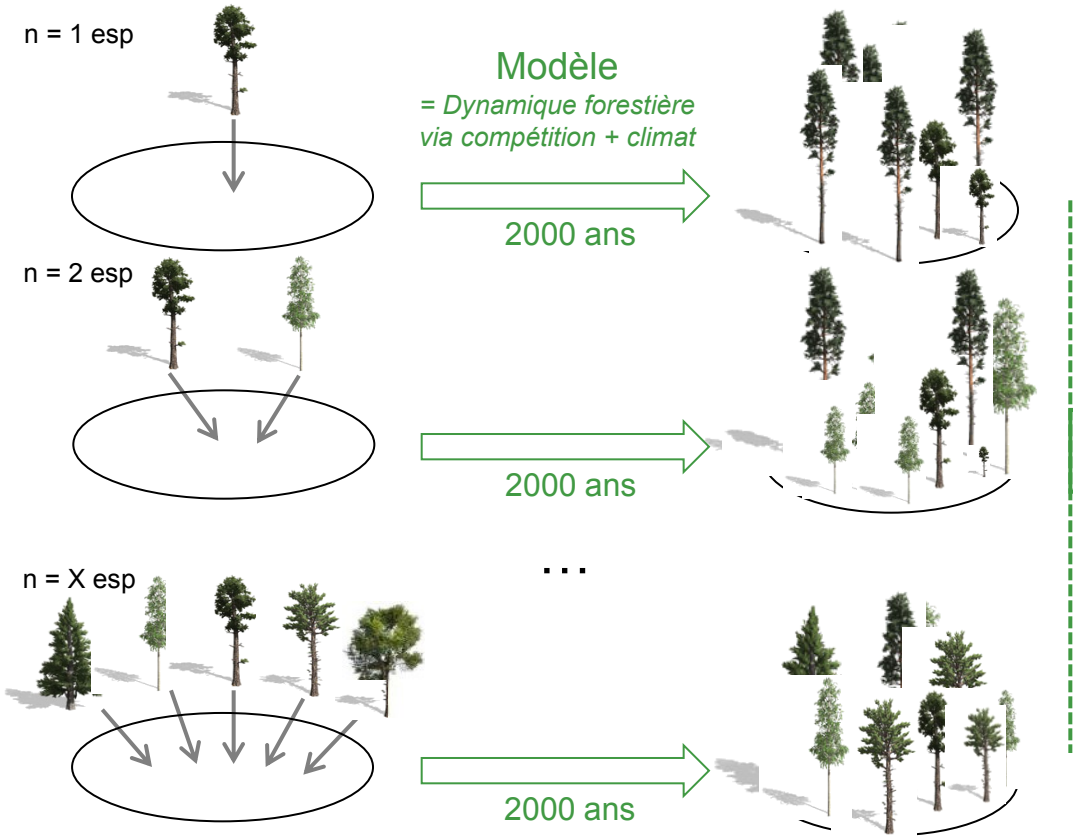
Relation *Diversité* – *Productivité* dans les écosystèmes forestiers ?

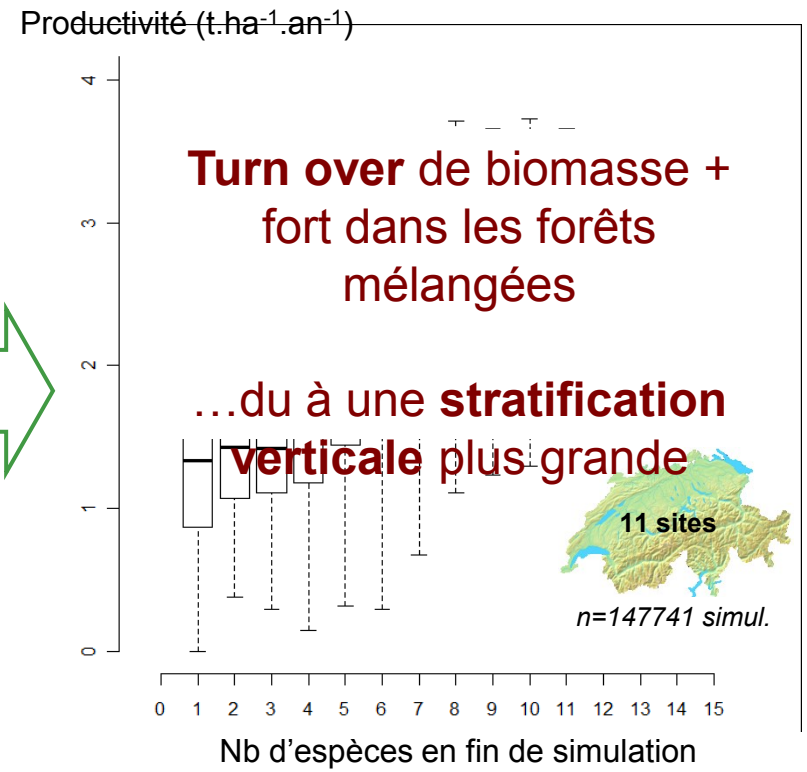
⇨ Expériences virtuelles par modélisation



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

⇨ Expériences virtuelles par modélisation





Turn over de biomasse + fort dans les forêts mélangées

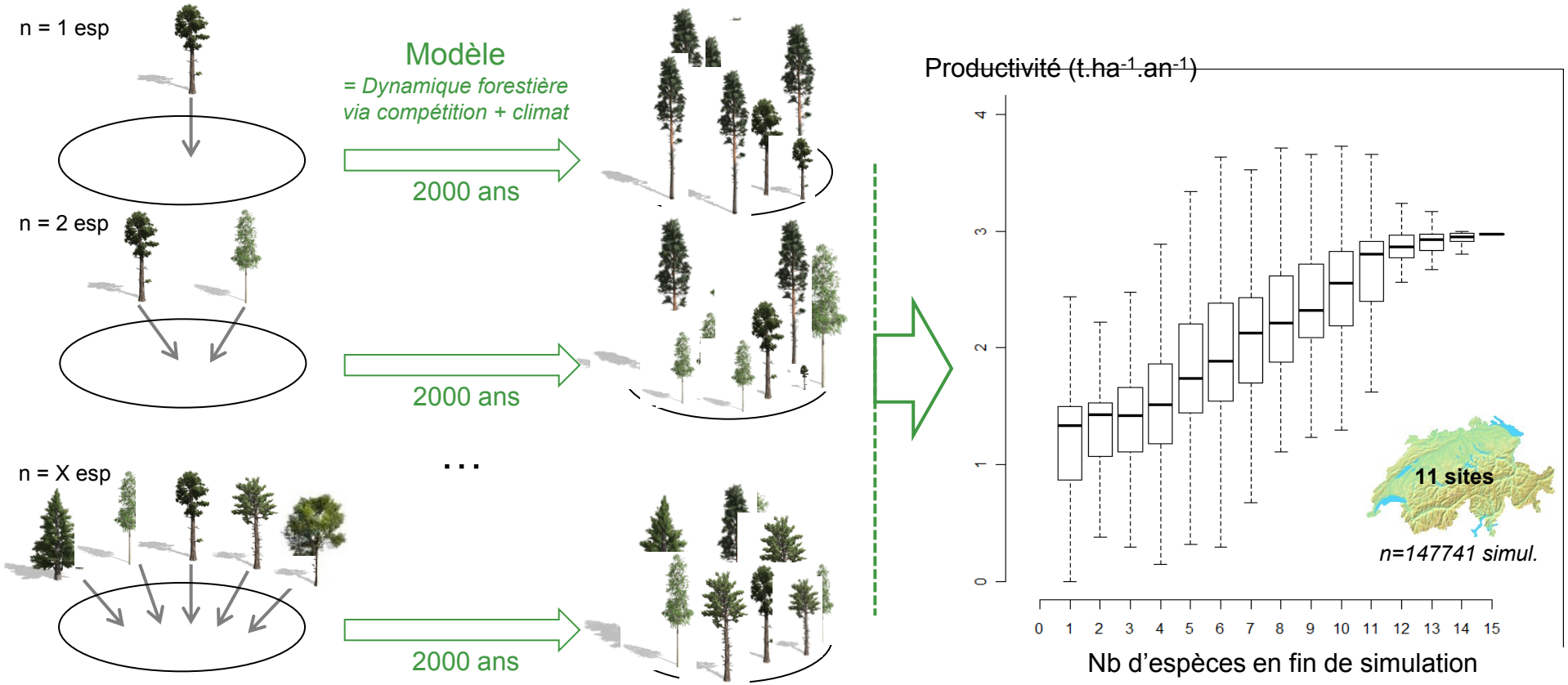
…du à une **stratification verticale** plus grande

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

Morin et al. *Ecol. Lett.* 2011, 2014

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

⇨ Expériences virtuelles par modélisation

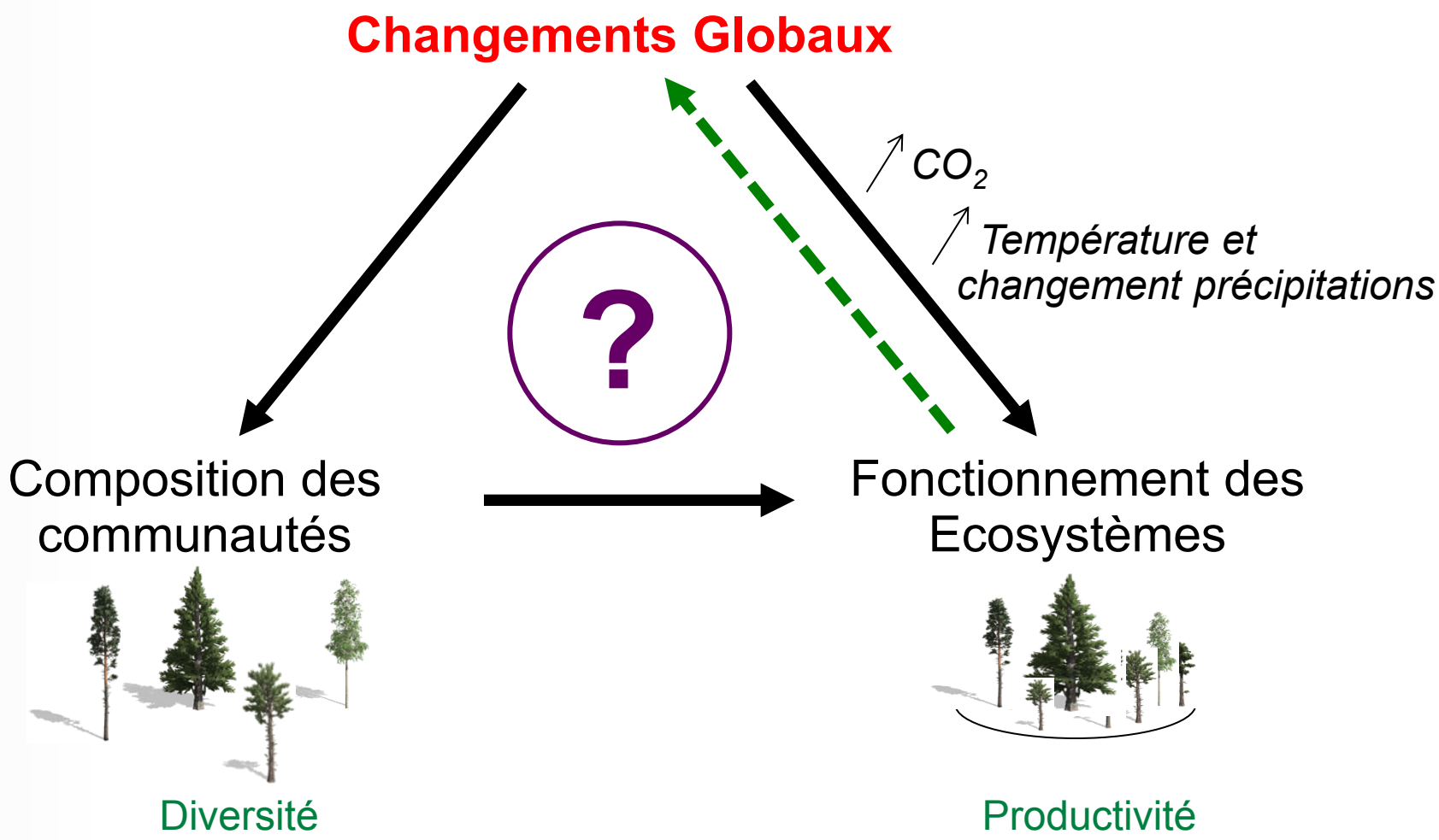


Les forêts mélangées sont plus productives que les monocultures
+ Mise en évidence d'une complémentarité de niche entre espèces

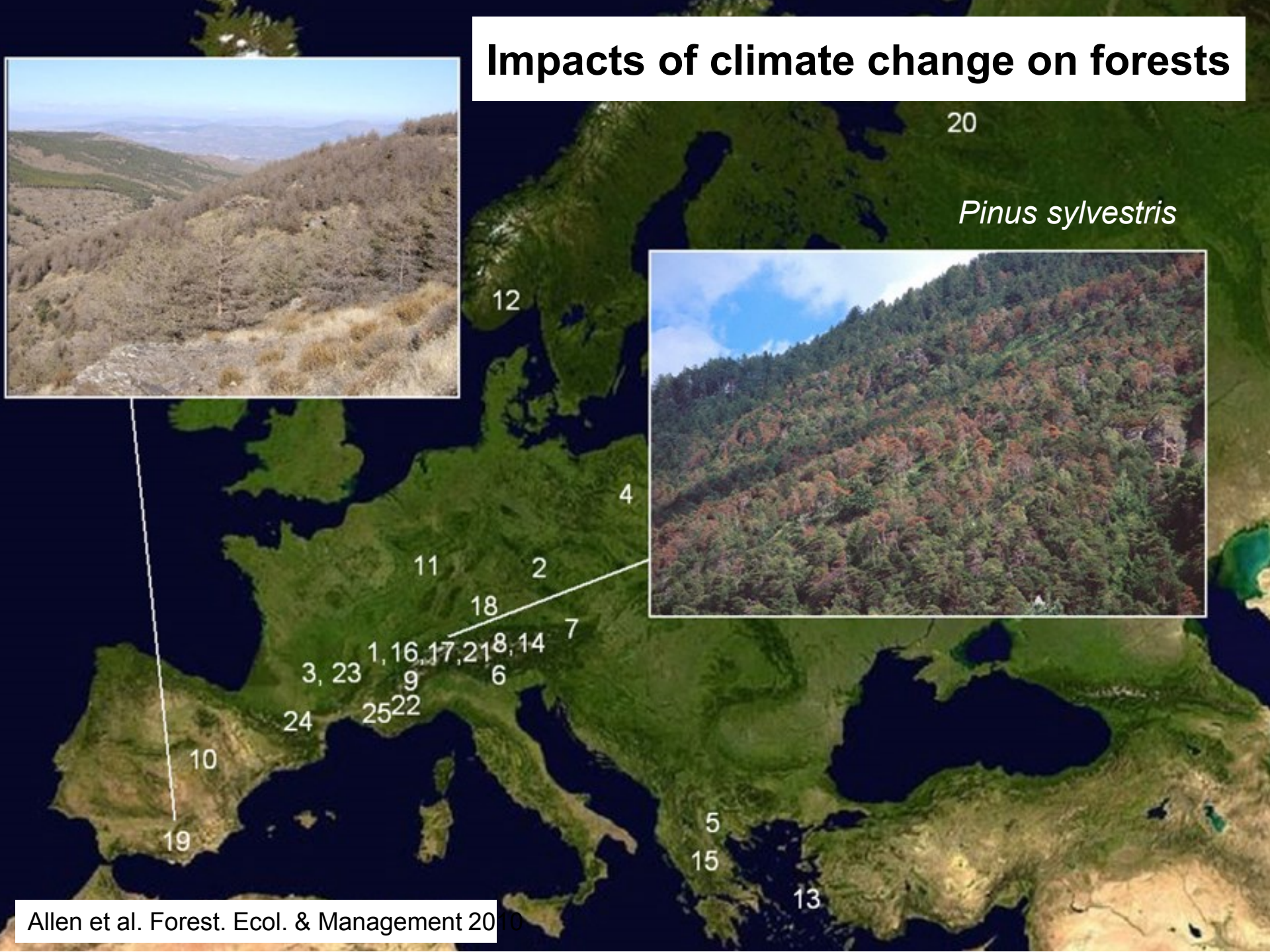
+ Effet sur la stabilité de la productivité de la communauté

Morin et al. *Ecol. Lett.* 2011, 2014

Mais les changements de diversité sont non aléatoires…



Impacts of climate change on forests



Allen et al. Forest. Ecol. & Management 2010

Mais les changements de diversité sont non aléatoires…

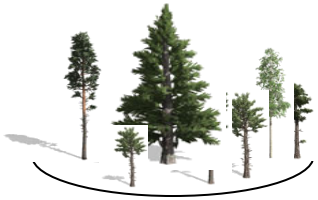
Changements Globaux

Quel effet du changement climatique sur la relation diversité – productivité ?

Composition des communautés

Diversité

Fonctionnement des Ecosystèmes

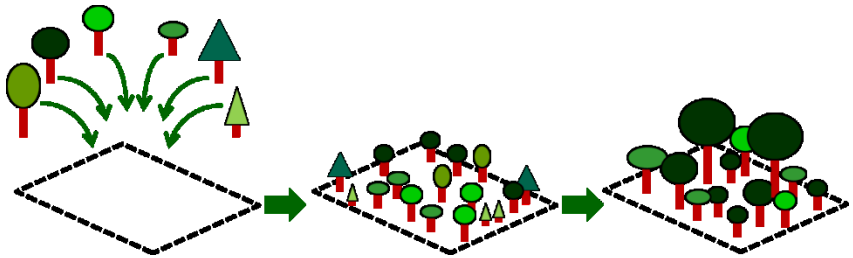


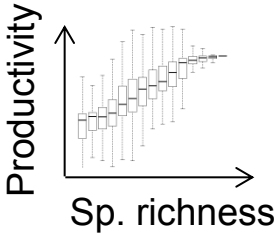
Productivité

Un modèle de dynamique forestière pour explorer l'impact du CC sur la relation diversité-productivité

Expérimentations virtuelles

Conditions « actuelles »

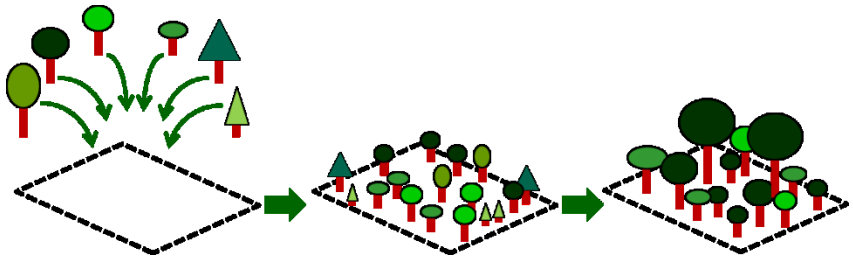


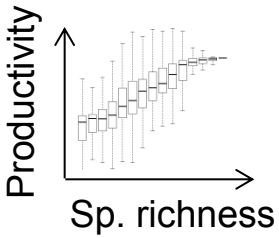


Un modèle de dynamique forestière pour explorer l'impact du CC sur la relation diversité-productivité

Expérimentations virtuelles

Conditions « actuelles »





3 RCMs 2090-2100
A1b scenario

KNMI – RACMO2
+3.5 ° C
-18% precip.

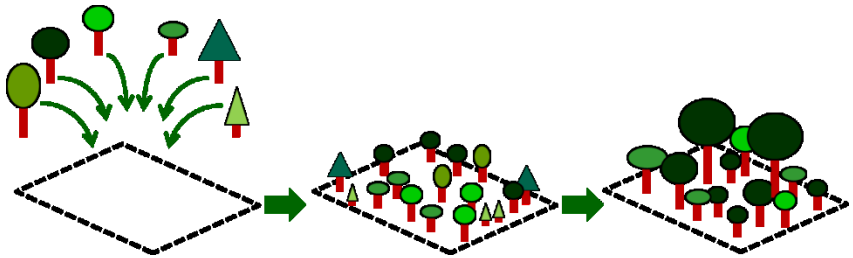
MPI – CLM
+4.2 ° C
-16% precip.

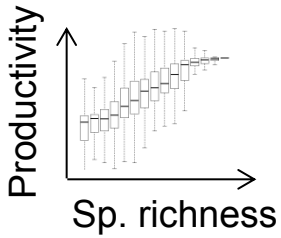
SHMI – RCA30
+4.1 ° C
-21% precip.

Un modèle de dynamique forestière pour explorer l'impact du CC sur la relation diversité-productivité

Expérimentations virtuelles

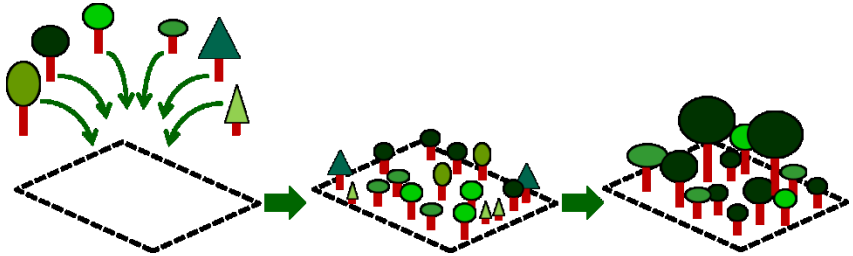
Conditions « actuelles »

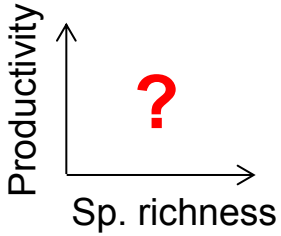




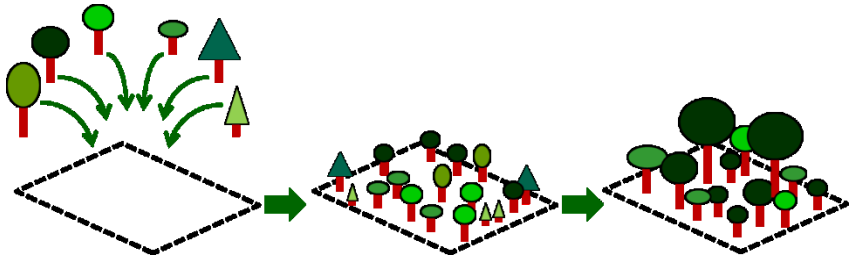
3 RCMs 2090-2100
A1b scenario

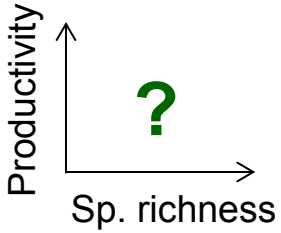
KNMI – RACMO2
+3.5 ° C
-18% precip.



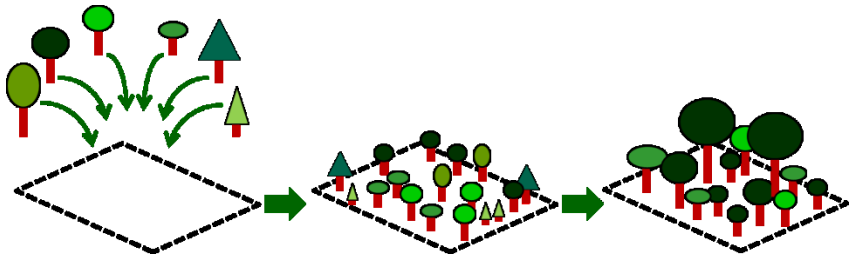


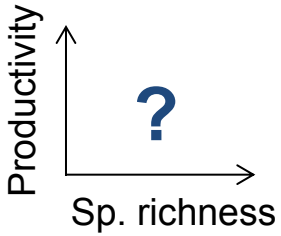
MPI – CLM
+4.2 ° C
-16% precip.



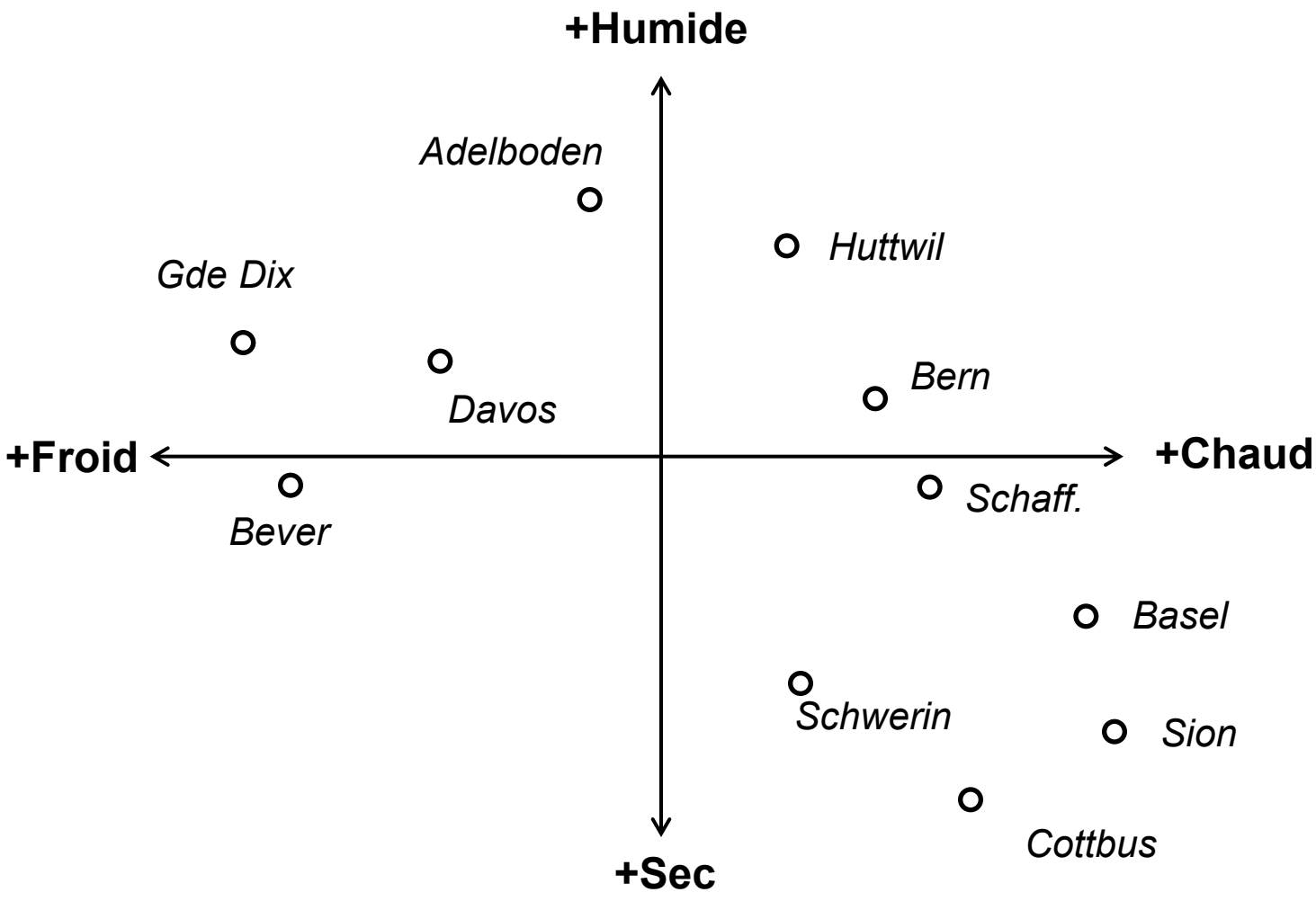


SHMI – RCA30
+4.1 ° C
-21% precip.

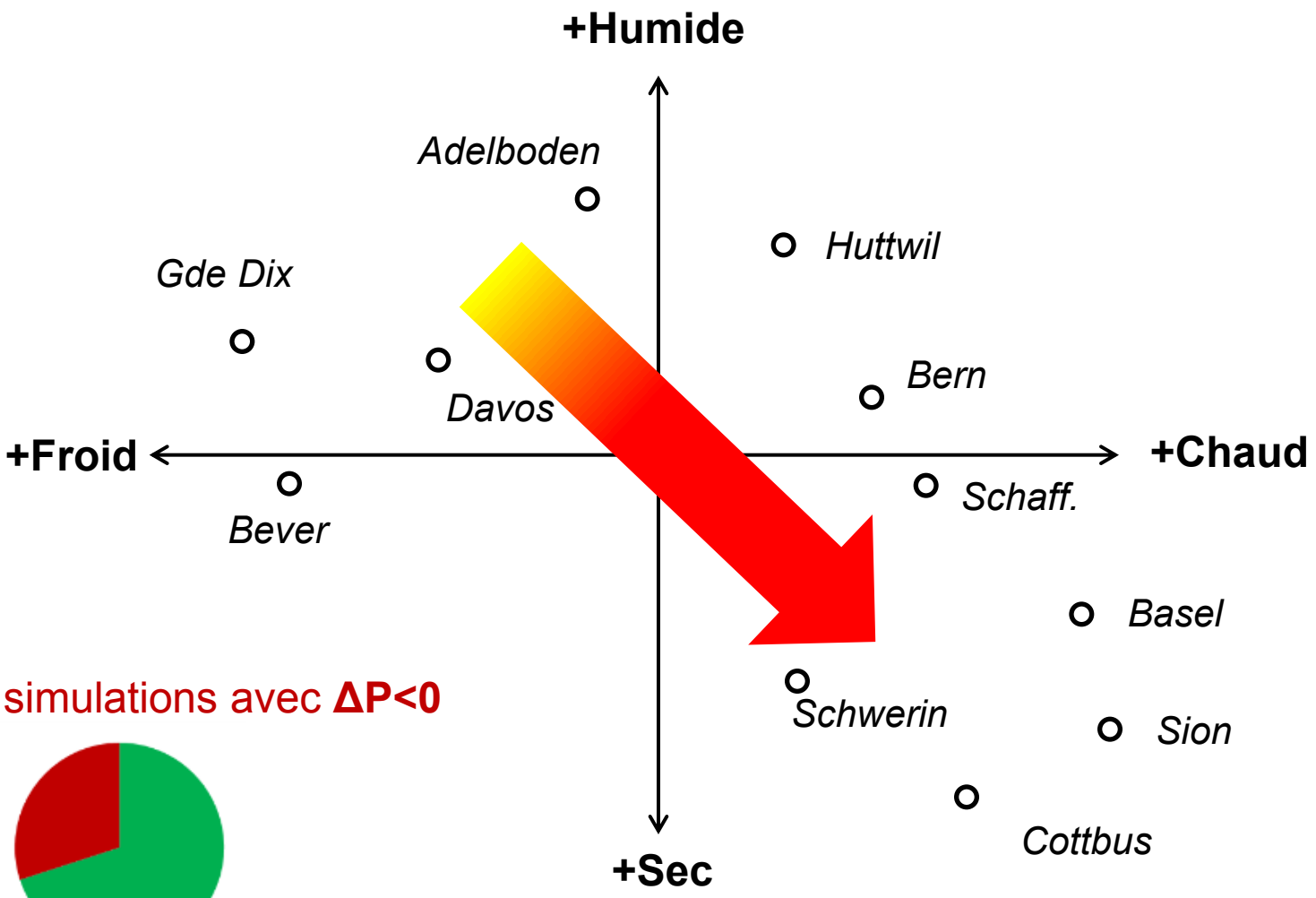




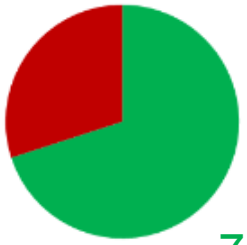
Changement de productivité en réponse au CC



Changement de productivité en réponse au CC

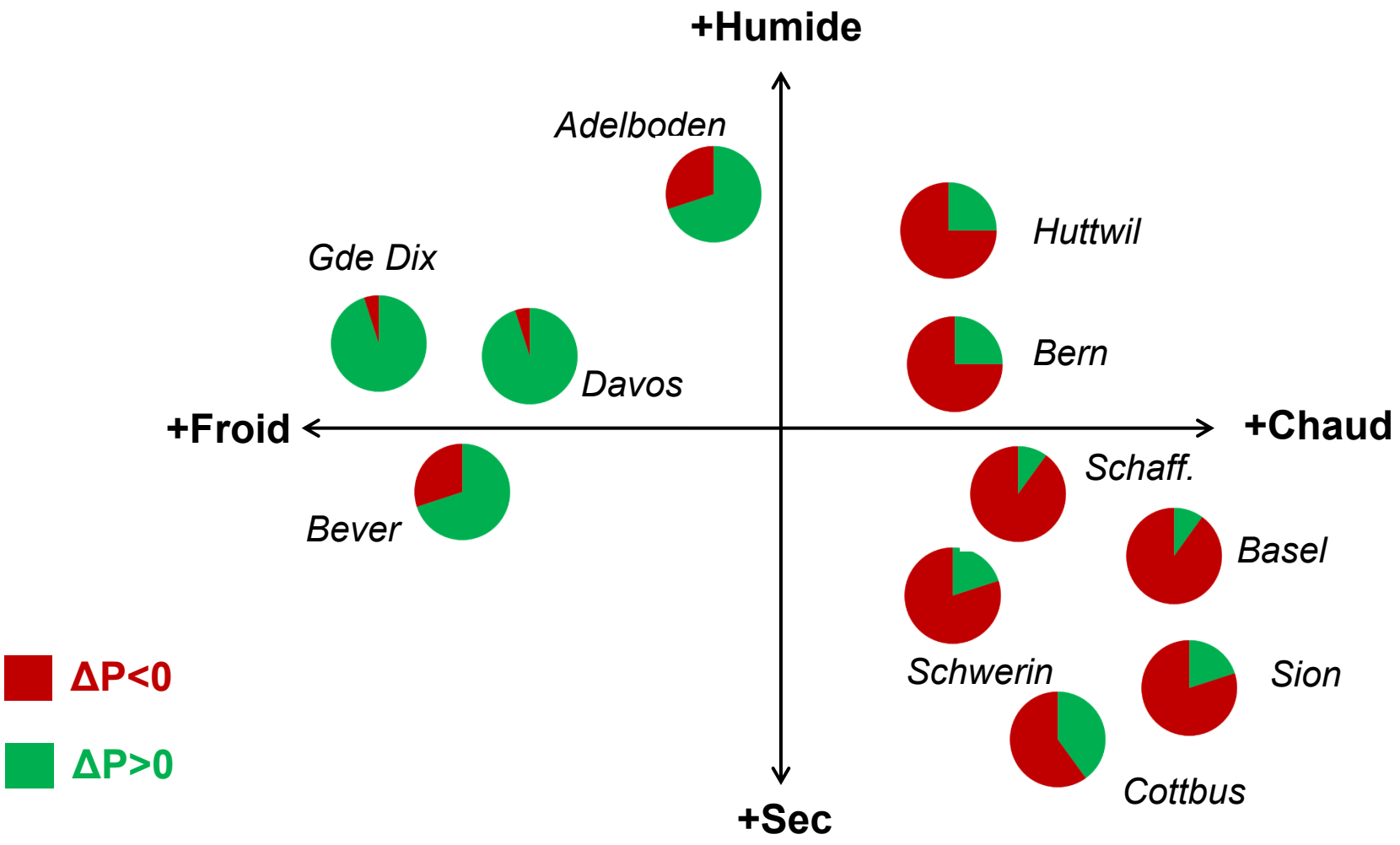


30% des simulations avec **ΔP<0**



70% des simul. avec **ΔP>0**

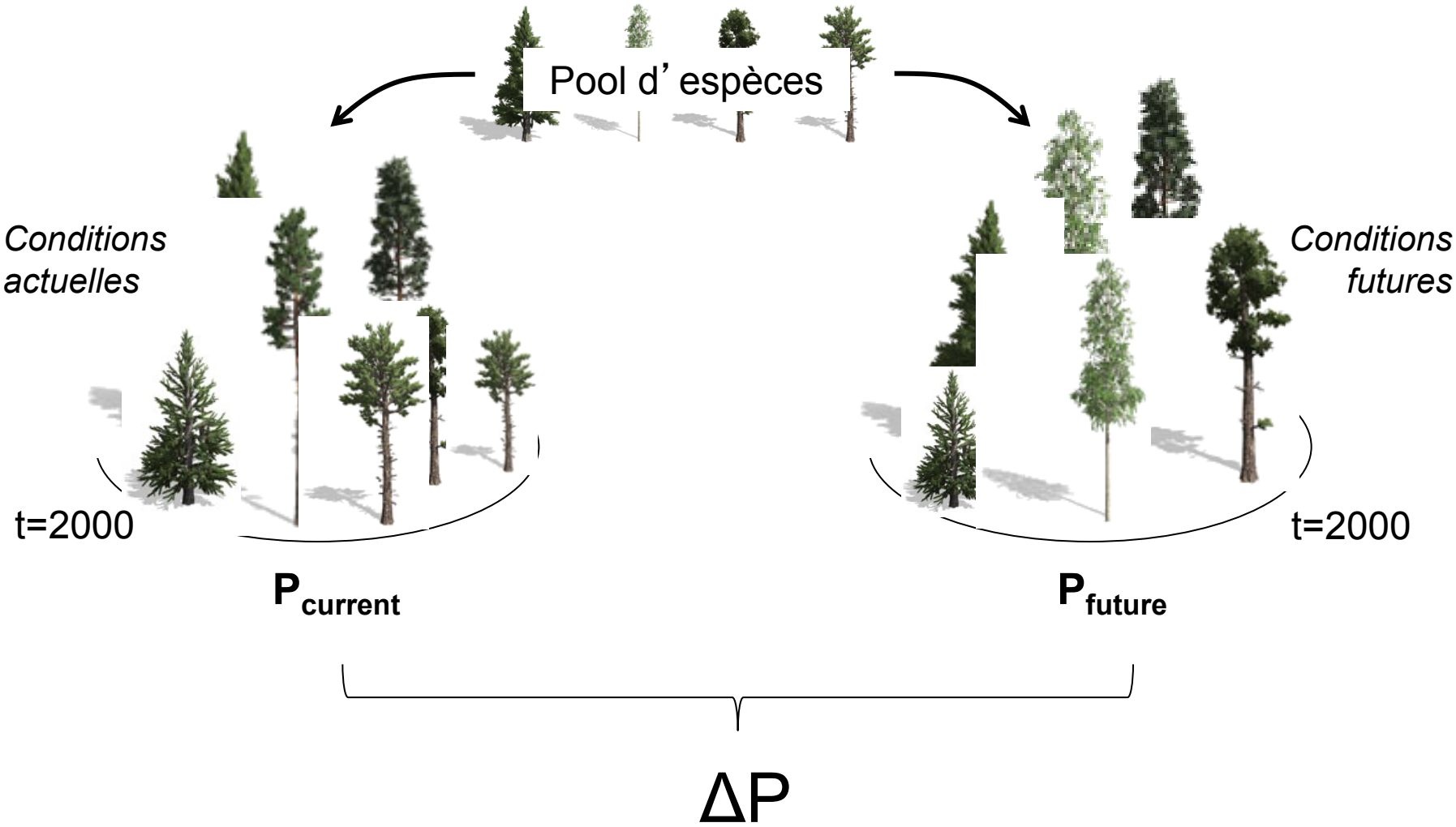
Changement de productivité en réponse au CC



KNMI scenario

Anomalie de productivité (ΔP)

Anomalie de productivité (ΔP)

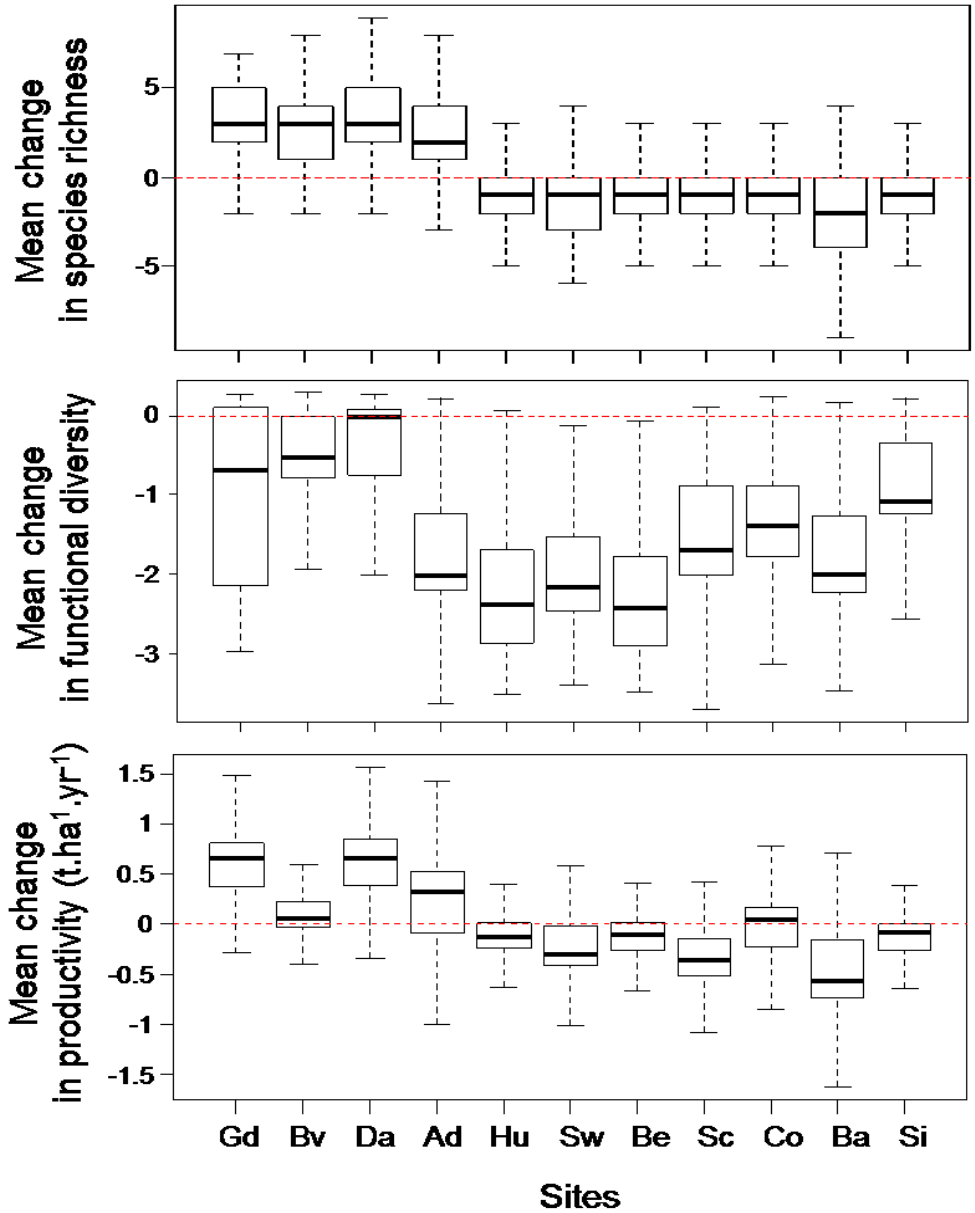


Changement en richnesse spécifique et en productivité

Anomalie en richnesse sp.

Anomalie en richnesse fonctionnelle

Anomalie en productivité ($t.ha^{-1}.yr^{-1}$)



KNMI scenario

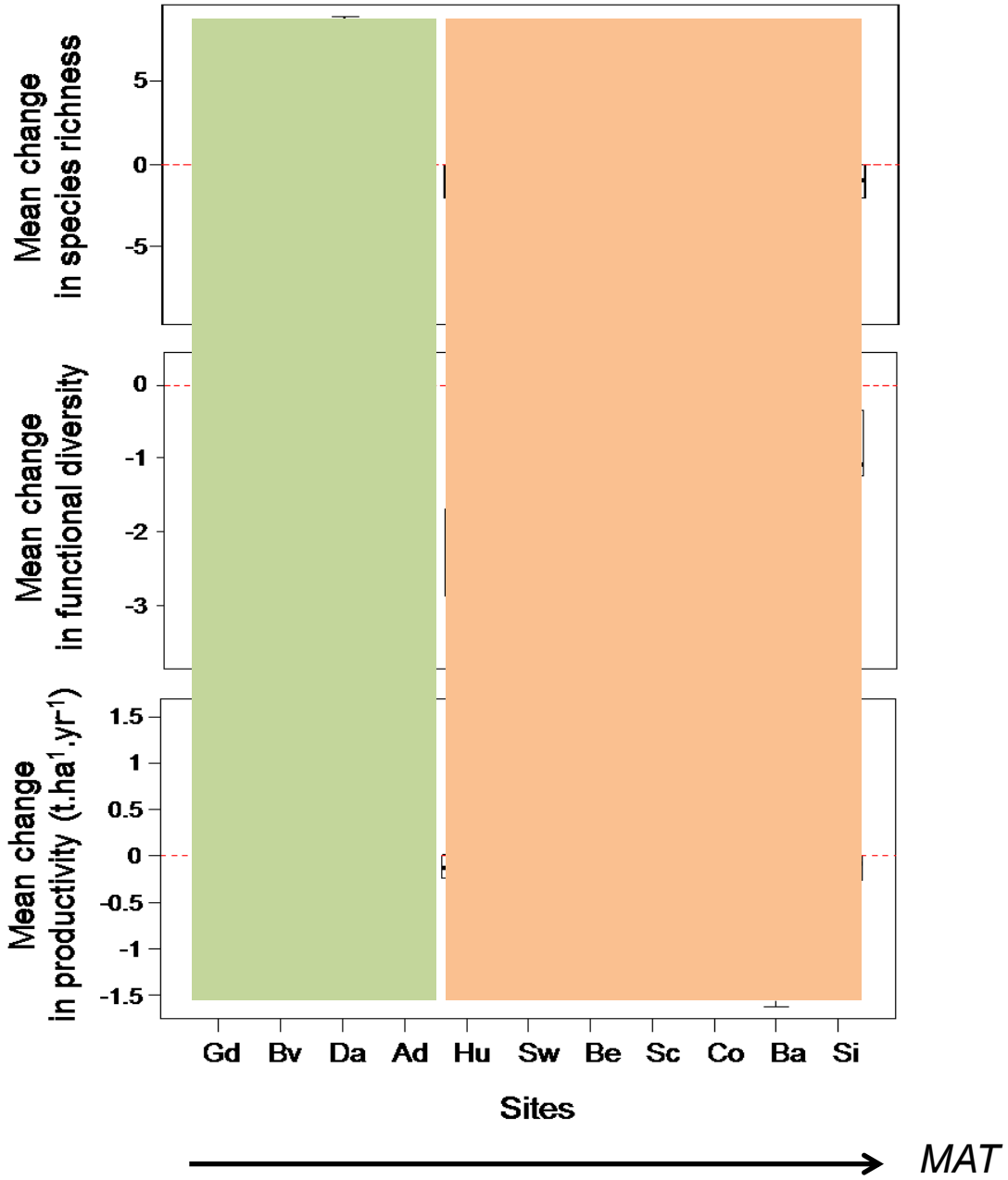
→ *MAT*

Changement en richnesse spécifique et en productivité

Anomalie en richnesse sp.

Anomalie en richnesse fonctionnelle

Anomalie en productivité ($t.ha^{-1}.yr^{-1}$)



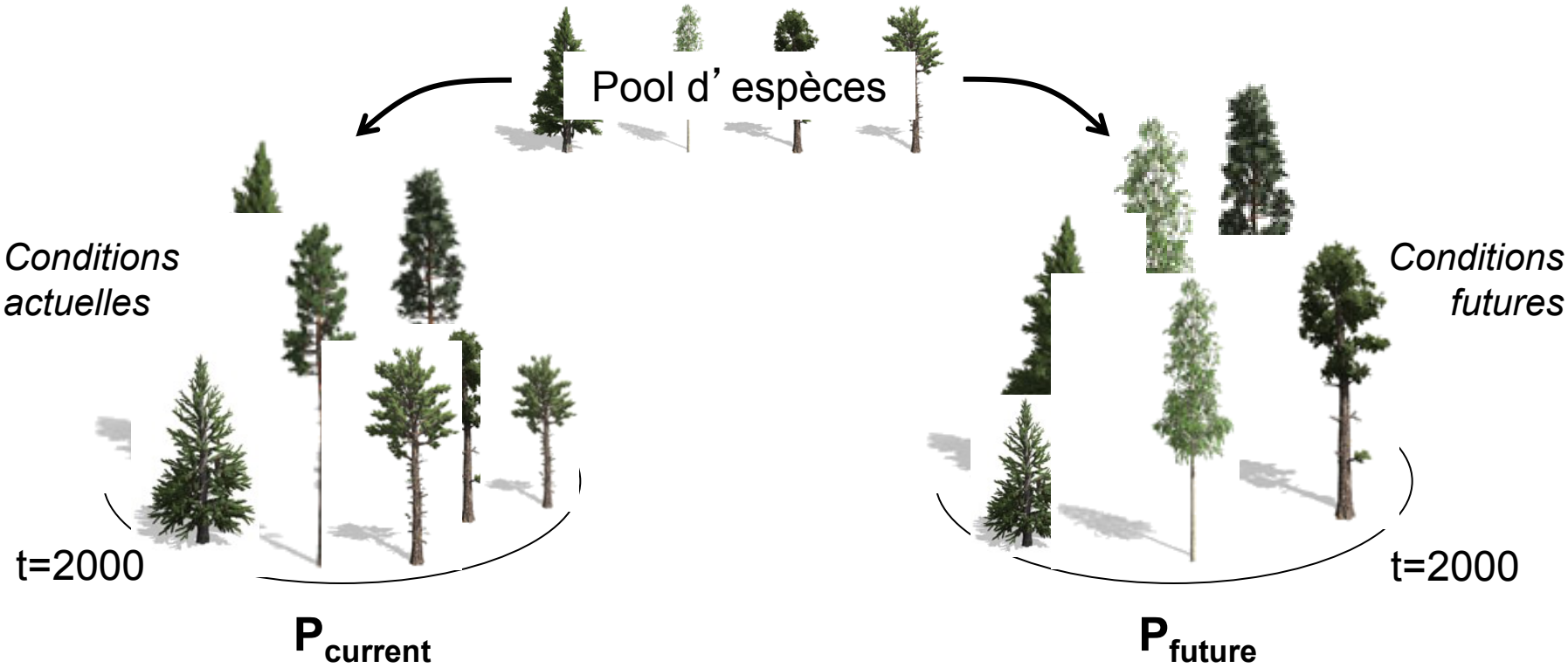
P↗

P↘

KNMI scenario

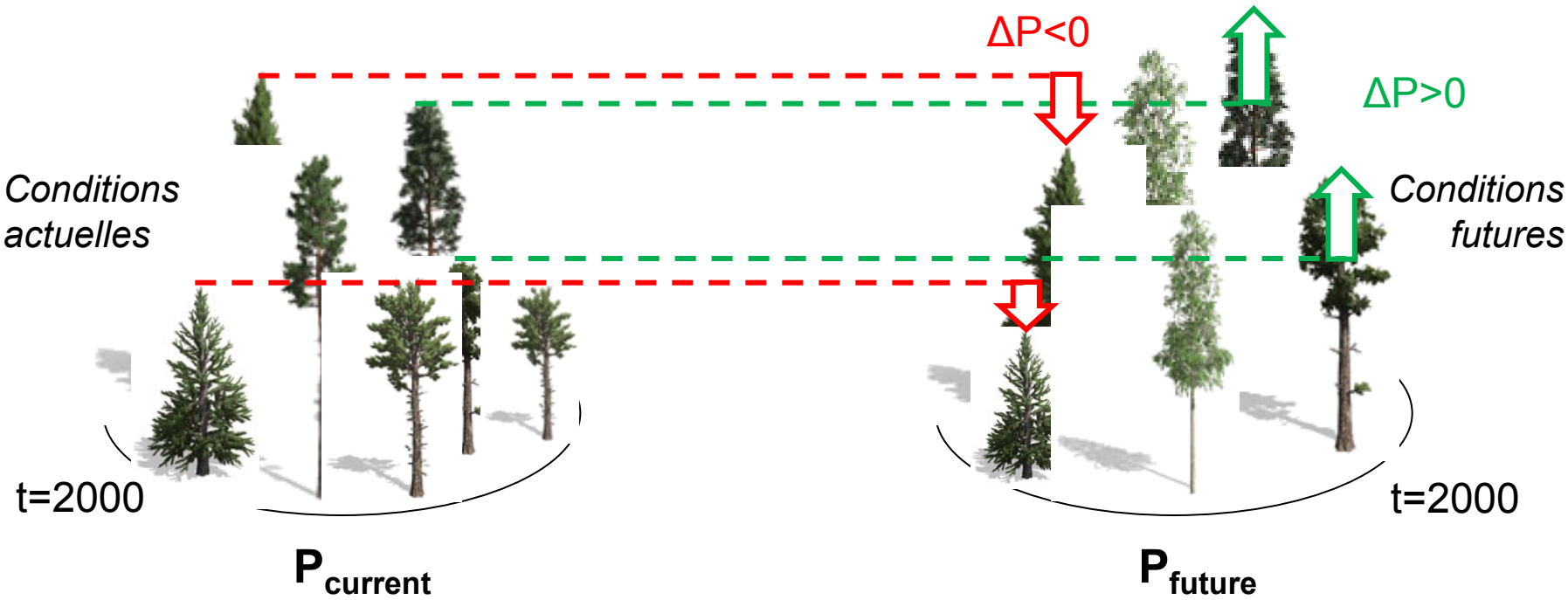
Partition de la variance de ΔP

Partition de la variance de ΔP



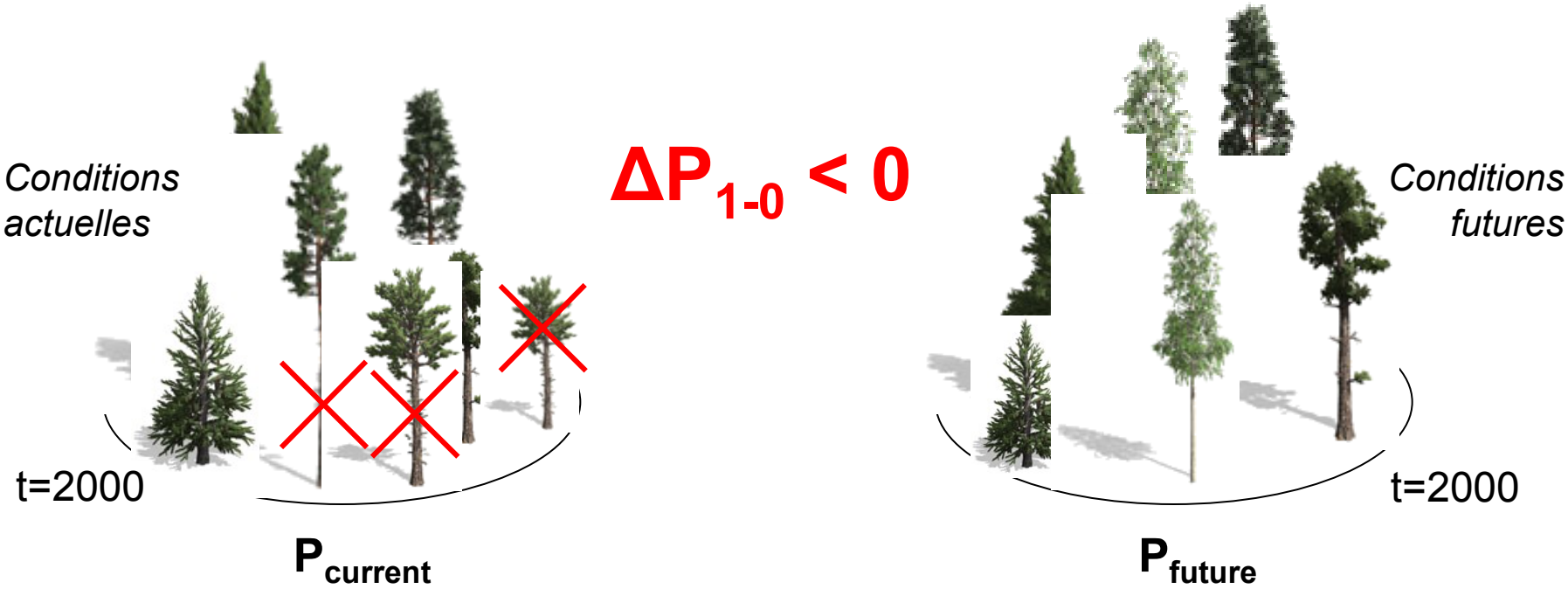
$$\Delta P = \Delta P_{1\text{-}1} + \Delta P_{1\text{-}0} + \Delta P_{0\text{-}1}$$

Partition de la variance de ΔP



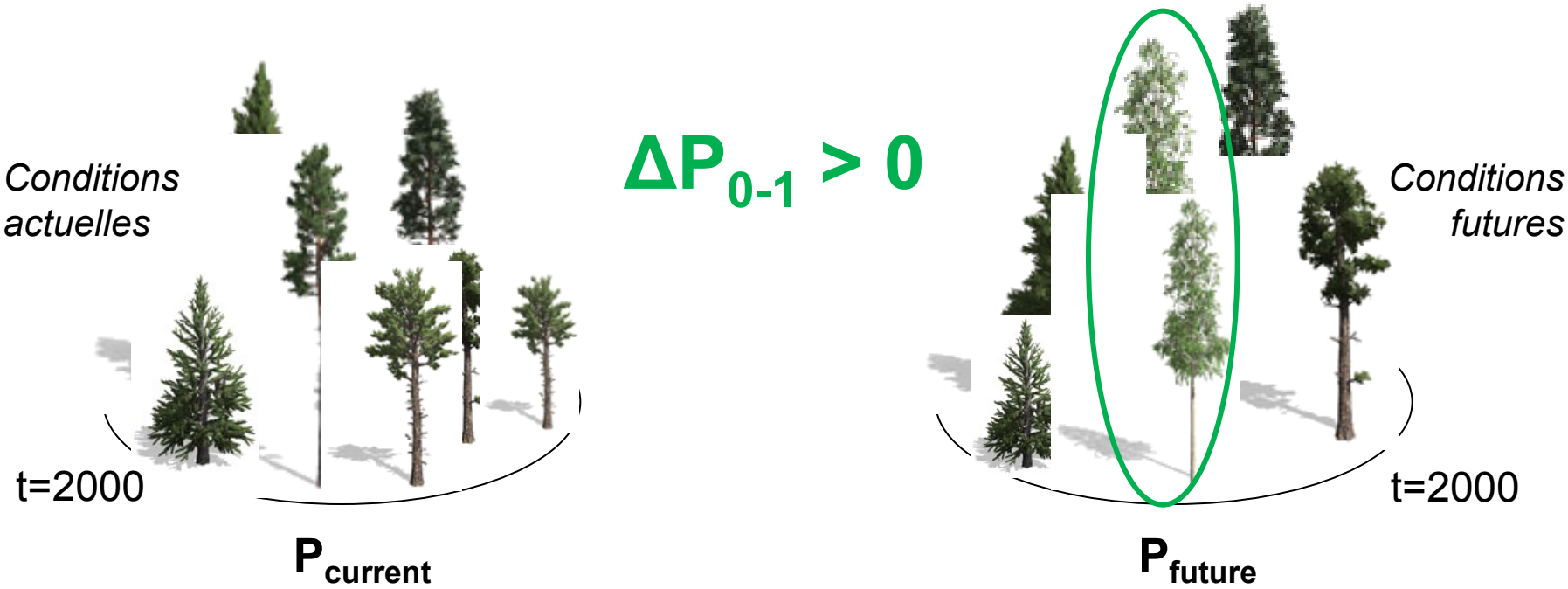
$$\Delta P = \Delta P_{1\text{-}1} + \Delta P_{1\text{-}0} + \Delta P_{0\text{-}1}$$

Partition de la variance de ΔP



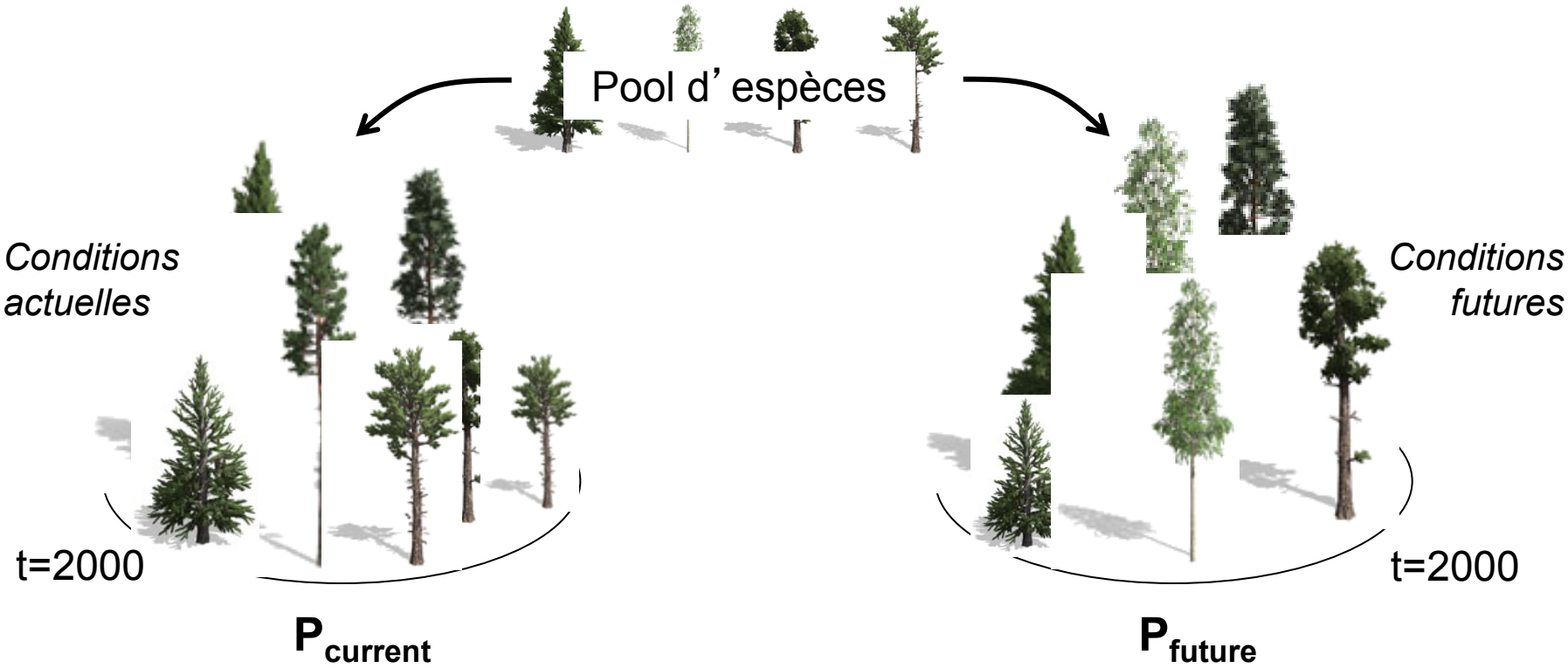
$$\Delta P = \Delta P_{1-1} + \Delta P_{1-0} + \Delta P_{0-1}$$

Partition de la variance de ΔP



$$\Delta P = \Delta P_{1-1} + \Delta P_{1-0} + \Delta P_{0-1}$$

Partition de la variance de ΔP

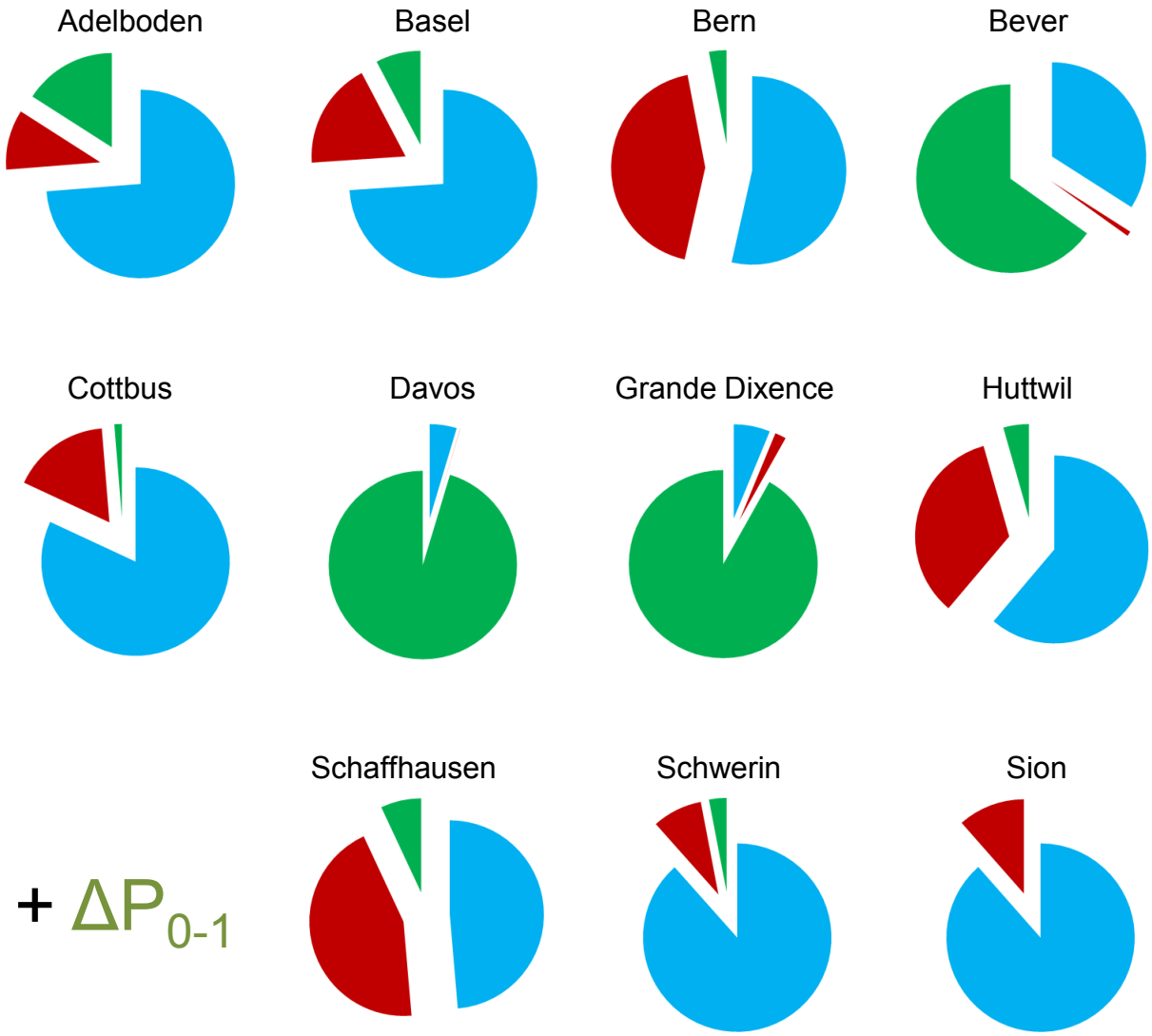


$$\Delta P = \underbrace{\Delta P_{1\text{-}1}}_{\text{Climate change effect on productivity}} + \underbrace{\Delta P_{1\text{-}0} + \Delta P_{0\text{-}1}}_{\text{Change in species composition}}$$

Partition de la variance de ΔP

$$\Delta P = \Delta P_{1\text{-}1} + \Delta P_{1\text{-}0} + \Delta P_{0\text{-}1}$$

Partition de la variance de ΔP

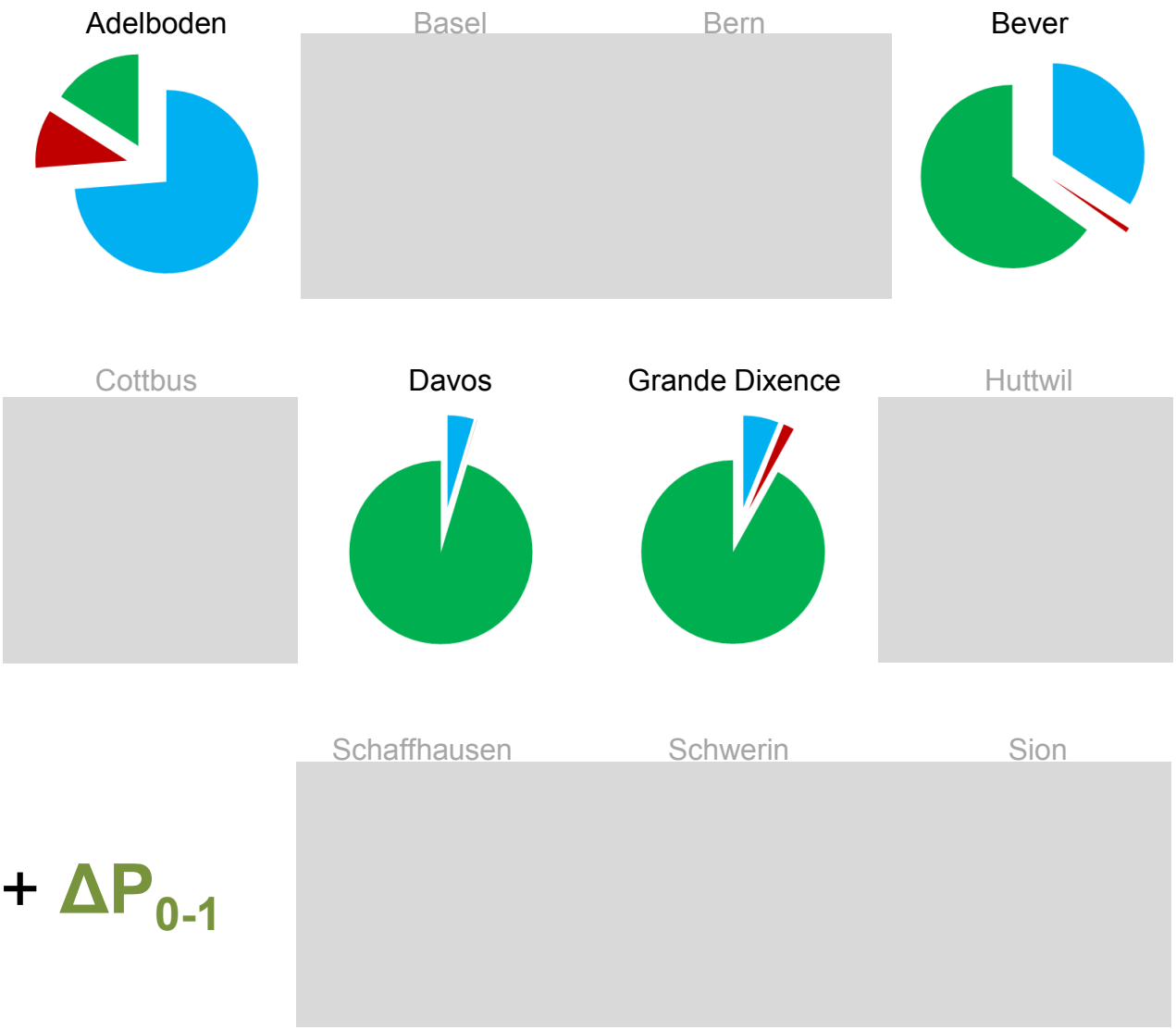


$$\Delta P = \Delta P_{1\text{-}1} + \Delta P_{1\text{-}0} + \Delta P_{0\text{-}1}$$

Partition de la variance de ΔP

Sites avec ΔP > 0
(moyenne !)

= Importance des « nouvelles » espèces

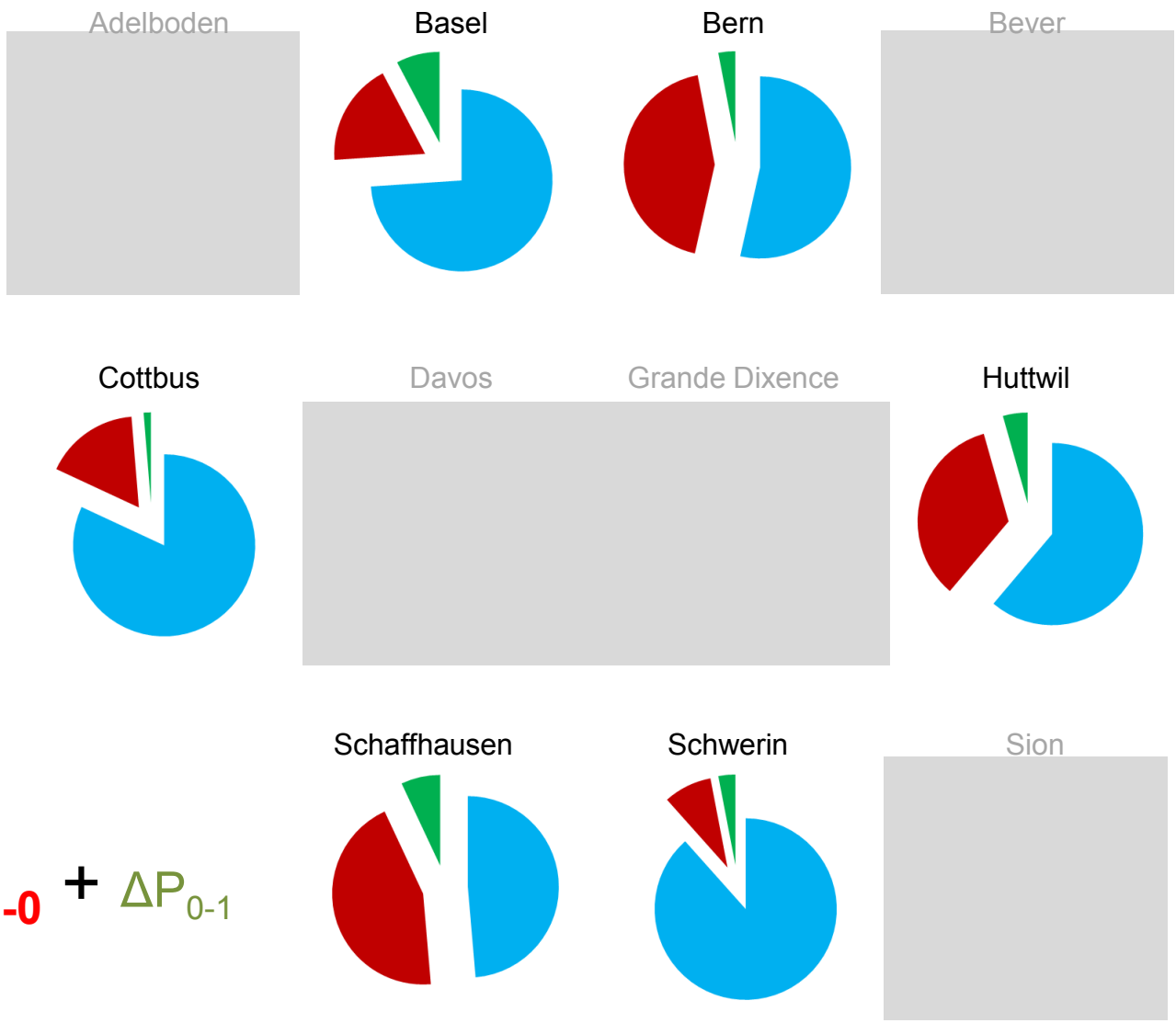


$$\Delta P = \Delta P_{1\text{-}1} + \Delta P_{1\text{-}0} + \Delta P_{0\text{-}1}$$

Partition de la variance de ΔP

Sites avec ΔP < 0
(moyenne !)

= Importance des extinctions



$$\Delta P = \Delta P_{1\text{-}1} + \Delta P_{1\text{-}0} + \Delta P_{0\text{-}1}$$

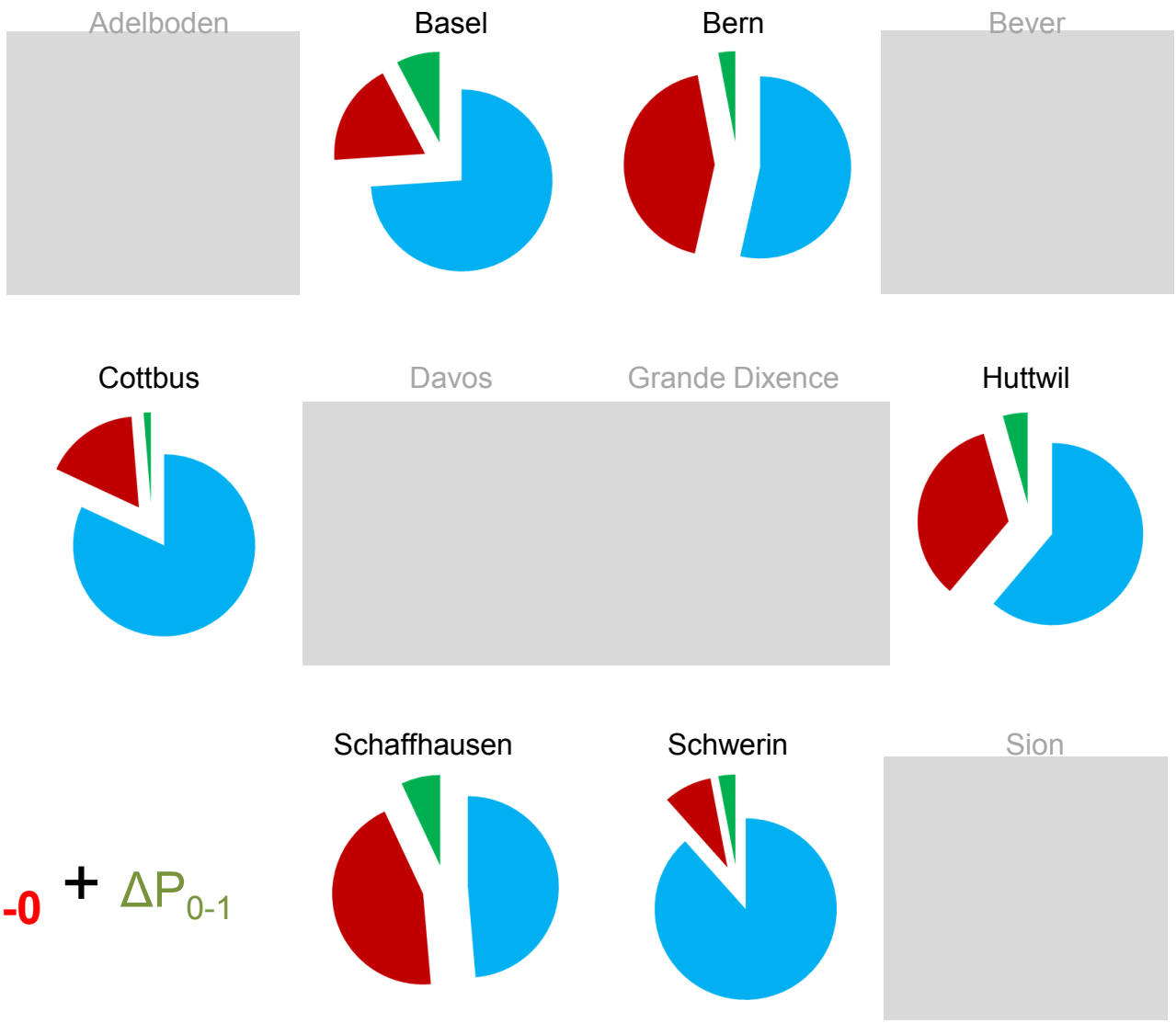
Partition de la variance de ΔP

Sites avec ΔP < 0
(moyenne !)

= Importance des extinctions

Effets indirects

$$\Delta P = \Delta P_{1\text{-}1} + \Delta P_{1\text{-}0} + \Delta P_{0\text{-}1}$$



…et quid de la relation diversité-productivité ?

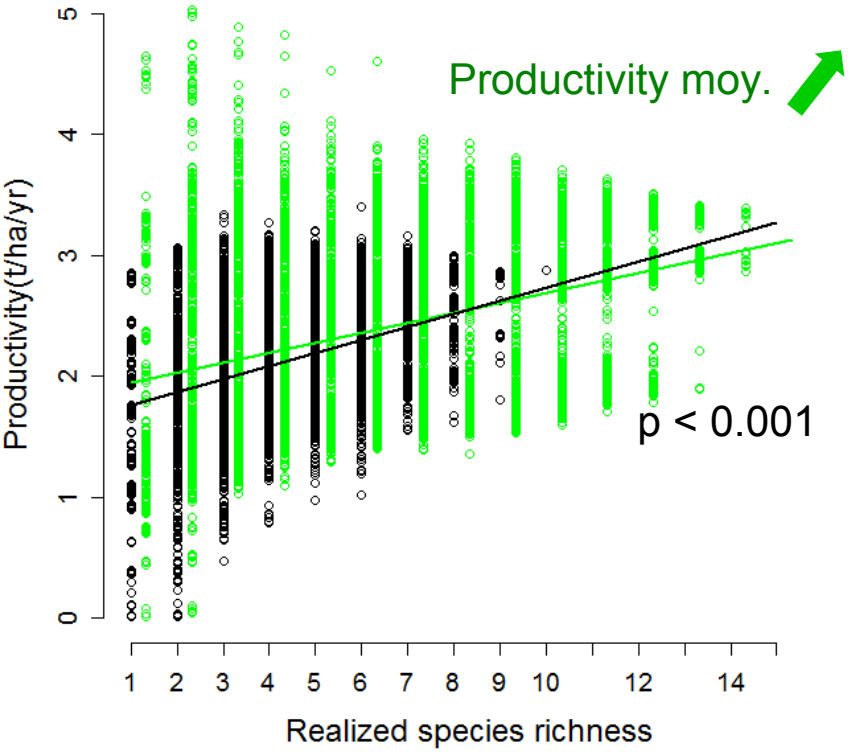
KNMI

Conditions actuelles

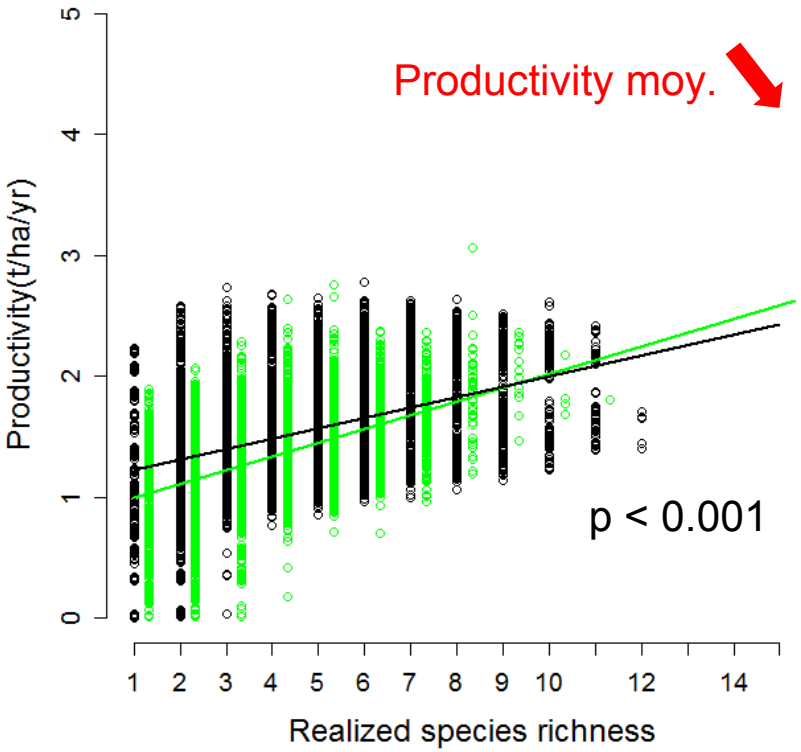
…et quid de la relation diversité-productivité ?

KNMI
Conditions actuelles

Adelboden = *« site froid »*



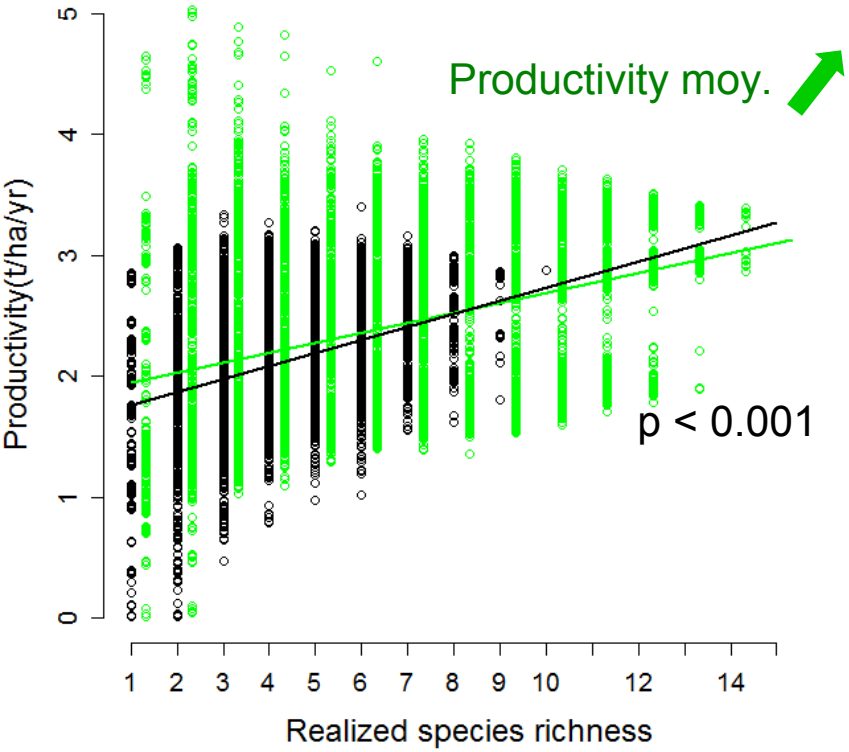
Schwerin = *« site chaud »*



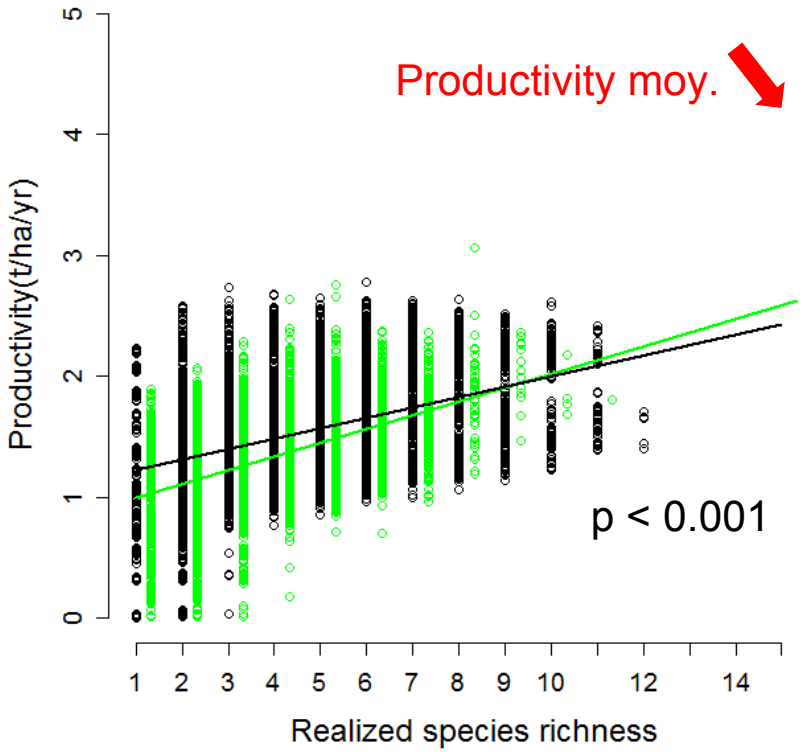
…et quid de la relation diversité-productivité ?

KNMI
Conditions actuelles

Adelboden = « *site froid* »

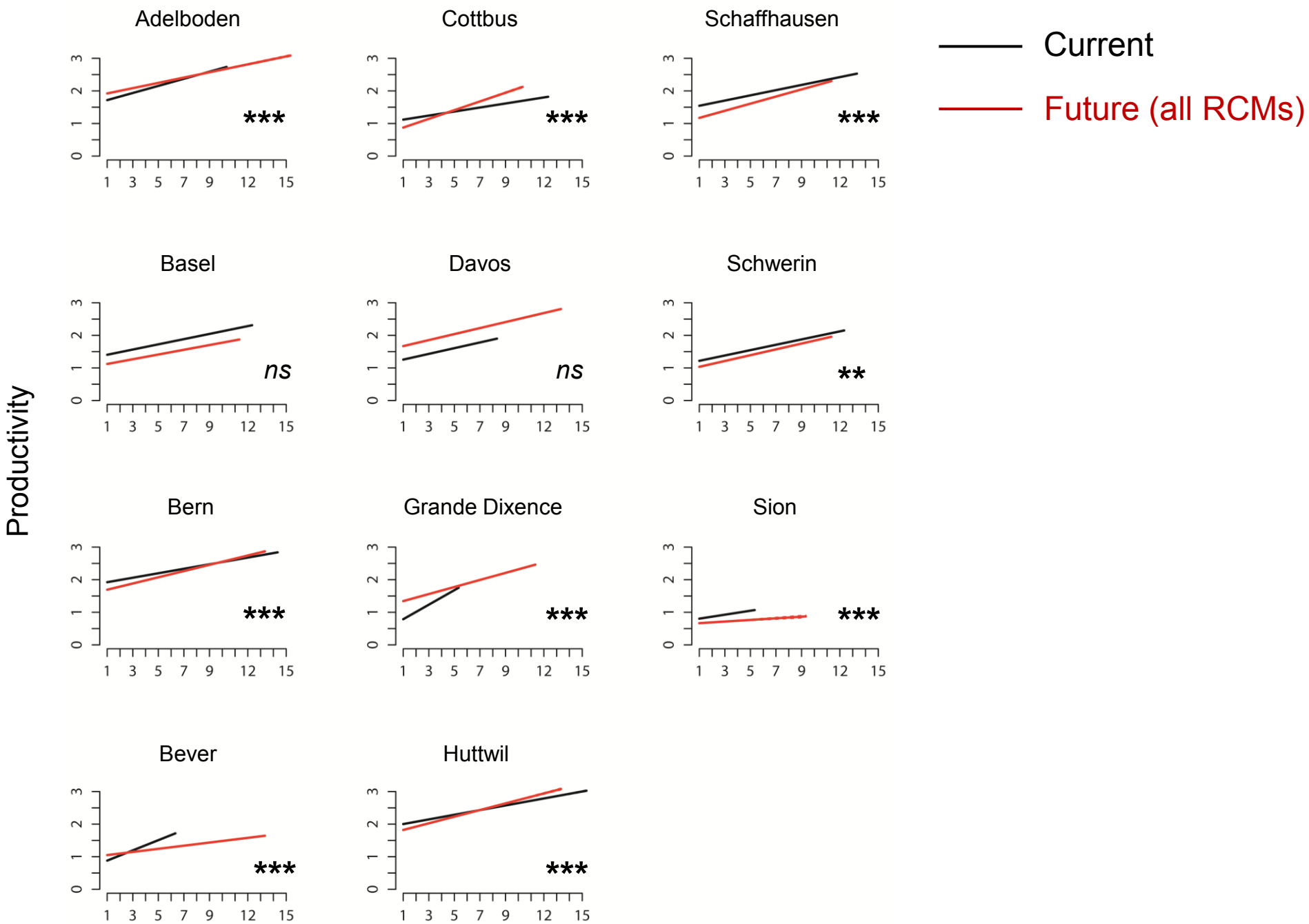


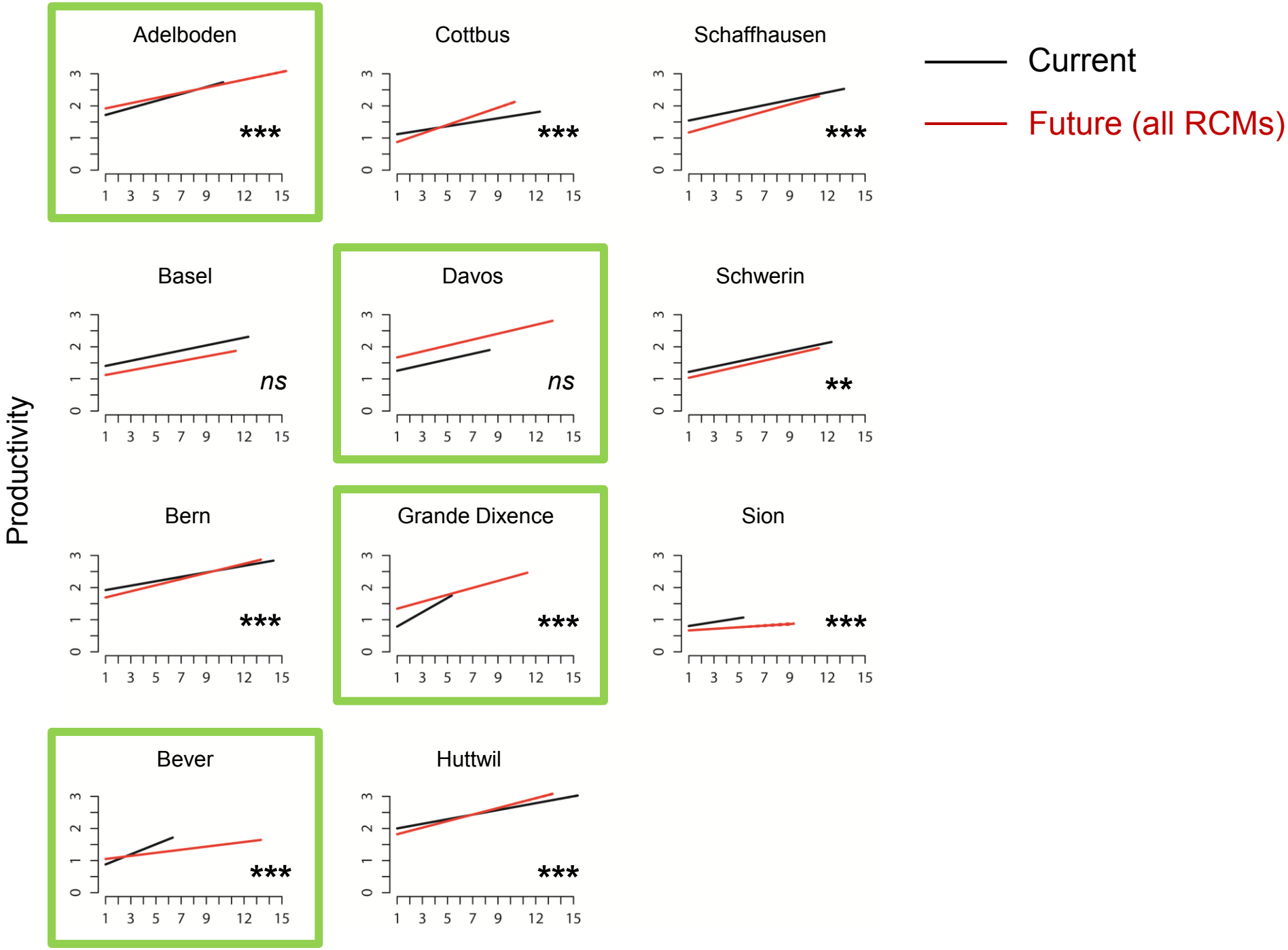
Schwerin = « *site chaud* »

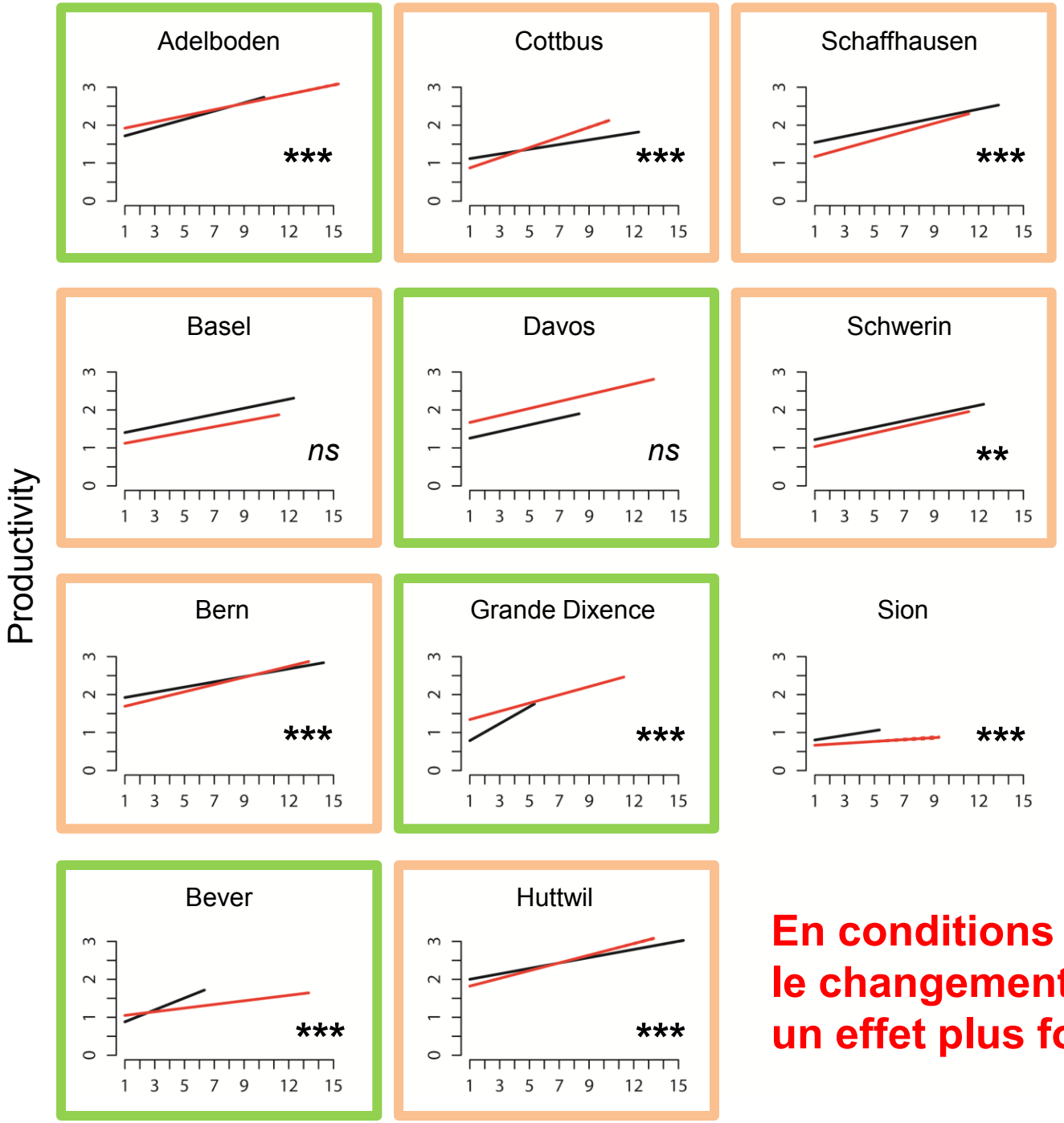


Causes:

- « Extension » de la relation = effet statistique ✗
- En conditions plus sévères, la diversité est plus importante = « *diversity effect* ✓


Adelboden
Cottbus
Schaffhausen
Basel
Davos
Schwerin
Bern
Grande Dixence
Sion
Bever
Huttwil
Current
Future (all RCMs)
Productivity
***
ns
**
0 1 2 3
1 3 5 7 9 12 15


Adelboden
***
Cottbus
***
Schaffhausen
***
Current
Future (all RCMs)
Basel
ns
Davos
ns
Schwerin
**
Productivity
Bern
***
Grande Dixence
***
Sion
***
Bever
***
Huttwil
***
0 1 2 3
1 3 5 7 9 12 15



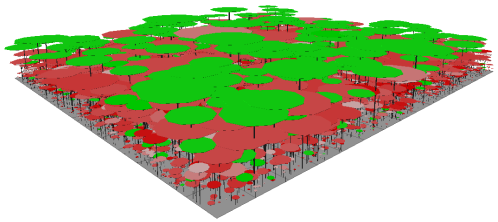
Current

Future (all RCMs)

En conditions plus sévères, le changement de diversité aura un effet plus fort sur la productivité

Changement climatique, diversité et fonctionnement des forêts

MODÈLE DE DYNAMIQUE FORESTIÈRE



Relation diversité-productivité “conservée”

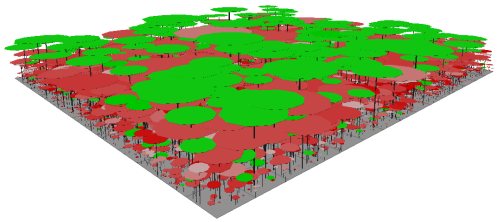
Effets indirects du CC sur fonctionnement !

Rôle de la diversité en espèces dans les sites les plus impactés par le CC

⇨ ***“Stress Gradient Hypothesis”***

Changement climatique, diversité et fonctionnement des forêts

MODÈLE DE DYNAMIQUE FORESTIÈRE



Relation diversité-productivité "conservée"

Effets indirects du CC sur fonctionnement !

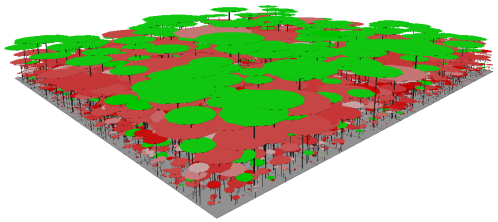
Rôle de la diversité en espèces dans les sites les plus impactés par le CC

⇨ ***"Stress Gradient Hypothesis"***

= Un outil intéressant en écologie des communautés

Changement climatique, diversité et fonctionnement des forêts

MODÈLE DE DYNAMIQUE FORESTIÈRE



Relation diversité-productivité "conservée"

Effets indirects du CC sur fonctionnement !

Rôle de la diversité en espèces dans les sites les plus impactés par le CC

⇨ ***"Stress Gradient Hypothesis"***

= Un outil intéressant en écologie des communautés

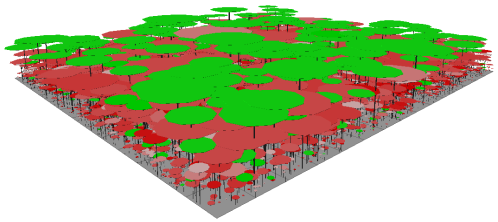
EXTENSION / PERSPECTIVES…

Variabilité intraspécifique

Sites France (… Zone Méditerranéenne)

Changement climatique, diversité et fonctionnement des forêts

MODÈLE DE DYNAMIQUE FORESTIÈRE



Relation diversité-productivité "conservée"

Effets indirects du CC sur fonctionnement !

Rôle de la diversité en espèces dans les sites les plus impactés par le CC

⇨ ***"Stress Gradient Hypothesis"***

= Un outil intéressant en écologie des communautés

EXTENSION / PERSPECTIVES…

Variabilité intraspécifique

Sites France (… Zone Méditerranéenne)

TESTS IN SITU…

TESTS IN SITU…

BIOPROFOR (2012-2015)

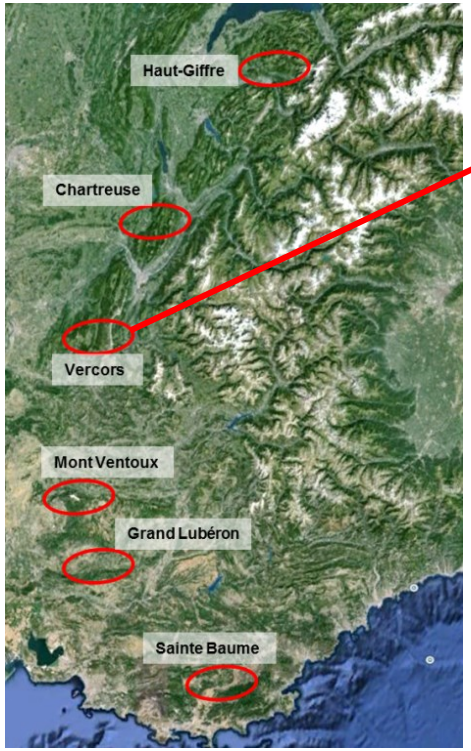
DISTIMACC (2014-2018)

Coord. par **X. Morin**

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

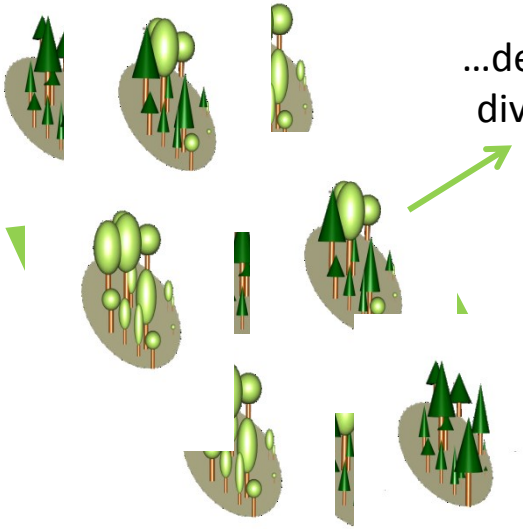
Un gradient latitudinal…

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

Partenariat

Merci !

François de Coligny

Harald Bugmann

Lorenz Fahse

Mickaël Chauvet

Raul Garcia-Valdés

Hervé Jactel

Georges Kunstler

Patrick Vallet

Emmanuel Defossez

Philippe Dreyfus

Agence Nationale de la Recherche ANR

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE L'AGRO-ALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT

ECOFOR ECOSYSTEMES FORESTIERS

EC21 EUROPEAN CONSERVATION FOR THE 21st CENTURY

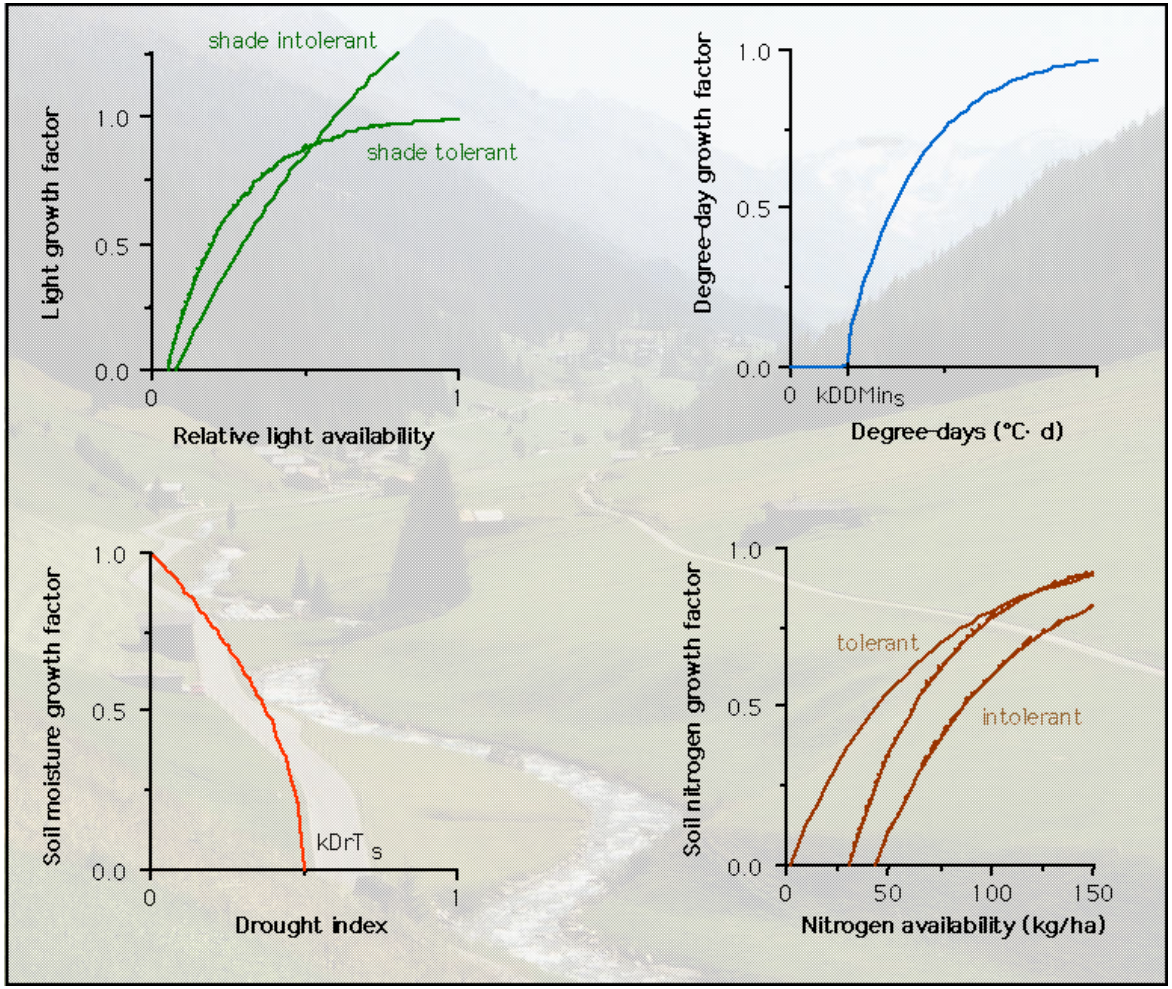
biodiversa

BACCARA

Principe = fonction de croissance potentielle, avec réducteurs

- Croissance = f(D, H)

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

- Etablissement
  (même facteurs
  + abroutissement)

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