



Un modèle des prairies de montagne intégrant la plasticité phénotypique

Clément Viguiier

EMGR - EDGE

Modèles de la dynamique de la végétation pour l'évaluation des services écosystémiques clés en prairie de montagne

Clément Viguier

Supervision : Björn Reineking

2^{ème} année

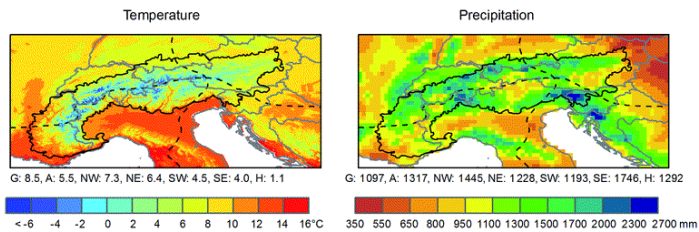
Evaluer l'évolution future des niveaux de services écosystémiques dans les paysages de montagne nécessite d'aller au-delà de la simple quantification des patrons actuels de ces services. Cela requiert de déterminer le lien mécanistique entre le climat et les modes de gestion d'une part et les niveaux de services écosystémiques d'autre part, via leurs effets sur la structure de l'écosystème. Ce projet vise à quantifier ce lien en ciblant des fonctions et services écosystémiques clés dans les prairies de montagne : qualité et quantité de fourrage, ressources associées à la production de fleurs, et stockage de carbone. Cette approche permettra également de déterminer la résilience de ces milieux aux variations de climat et d'usage. Pour répondre à cet objectif, un nouveau modèle spatialement explicite individu centré (IBM) sera développé. Il s'appuiera sur les compromis physiologiques d'allocation des ressources et de traits d'histoire de vie propre à chaque espèce et individu. Le modèle intégrera également la plasticité des plantes et leurs modes de réponse aux perturbations (e.g. pâturage). En utilisant ce lien explicite entre écologie des communautés et comportement biogéochimique du milieu, le modèle fournira une base mécanistique permettant d'évaluer l'impact des changements globaux (climat et gestion) sur la dynamique des écosystèmes et l'évolution des niveaux de services écosystémiques. Des approches nouvelles, utilisant l'inférence statistique et des simulations stochastiques, en appui avec l'utilisation de données provenant d'études expérimentales réalisées ces dernières années, permettront de paramétrer le modèle. L'analyse des compromis entre les différentes fonctions et services des écosystèmes sera réalisée via la construction de scénarios de gestion, s'appuyant sur les conditions actuelles et les différentes évolutions attendues des usages. La sensibilité/stabilité de ces compromis à la structure initiale des communautés et aux conditions environnementales originelles des prairies sera également analysée. Dans un deuxième temps, à l'échelle du paysage, l'évolution des services écosystémiques en réponse aux différents scénarios d'évolution du climat et de la gestion, sera simulée à l'aide d'un modèle de la dynamique de la végétation développé au Laboratoire d'Ecologie Alpine (FATE-H, W. Thuiller). La comparaison avec les simulations issues du modèle IBM construit à l'échelle de la communauté permettra d'interpréter plus directement les niveaux de diversité fonctionnelle produits par l'analyse paysagère issue de FATE-H en relation avec les niveaux de fonctions et services des écosystèmes. Enfin, cette approche multi-échelles permettra d'identifier l'existence de seuils potentiels au-delà desquels les services et compromis entre services fournis les prairies d'altitude sont profondément modifiés en réponse à des changements forts d'usages en interaction avec les modifications du climat. La comparaison des modalités d'apparition de ces seuils entre les deux types de modèles (IBM et FATE-H) permettra d'identifier avec robustesse les facteurs de vulnérabilité de ces écosystèmes. En outre, ces modèles pourront servir à évaluer les méthodes proposées pour la détection précoce des impacts de changements de régime dans les écosystèmes.

Evaluer l'évolution future des niveaux de services écosystémiques Lien mécanistique entre le climat et les modes de gestion, et les niveaux de services écosystémiques

Evaluer l'évolution future des niveaux de services écosystémiques dans les paysages de montagne nécessite d'aller au-delà de la simple quantification des patrons actuels de ces services. Cela requiert de déterminer le lien mécanistique entre le climat et les modes de gestion d'une part et les niveaux de services écosystémiques d'autre part, via leurs effets sur la structure de l'écosystème. Ce projet vise à quantifier ce lien en ciblant des fonctions et services écosystémiques clés dans les prairies de montagne : qualité et quantité de fourrage, ressources associées à la production de fleurs, et stockage de carbone. Cette approche permettra également de déterminer la résilience de ces milieux aux variations de climat et d'usage. Pour répondre à cet objectif, un nouveau modèle spatialement explicite individu centré (IBM) sera développé. Il s'appuiera sur les compromis physiologiques d'allocation des ressources et de traits d'histoire de vie pour à la fois quantifier et prédire comment le modèle intégrera également la plasticité des plantes et leurs modes de réponse aux perturbations (e.g. pâturage). En utilisant ce lien explicite entre écologie des communautés et comportement biogéochimique, le modèle fournira une base mécanistique permettant d'évaluer l'impact des changements globaux (climat et gestion) sur la dynamique des écosystèmes et l'évolution des niveaux de services écosystémiques. Des approches nouvelles, utilisant l'inférence statistique et des simulations stochastiques, en appui avec l'utilisation de données provenant d'études expérimentales réalisées ces dernières années, permettront de paramétrer le modèle. L'analyse des compromis entre les différentes fonctions et services des écosystèmes qui se réalisent à l'échelle du paysage en fonction des modes de gestion, en reliant les conditions actuelles et les différentes évolutions attendues des usages. La sensibilité/stabilité de ces compromis à la structure initiale des communautés et aux conditions environnementales originelles des prairies sera également analysée. Dans un deuxième temps, l'évolution des services écosystémiques en réponse aux différents scénarios d'évolution du climat et de la gestion, sera simulée à l'aide d'un modèle de la dynamique de la végétation développé au Laboratoire d'Ecologie Alpine (FATE-H, W. Thuiller). La comparaison des simulations issues du modèle IBM construit à l'échelle de la communauté permettra d'interpréter plus directement les niveaux de diversité fonctionnelle produits par l'analyse paysagère issue de FATE-H en relation avec les niveaux de fonctions et services des écosystèmes. Enfin, cette approche innovante permettra d'identifier l'existence de seuils potentiels au-delà desquels les services et compromis entre services fournis les prairies d'altitude sont profondément modifiés en réponse à des changements forts d'usages en interaction avec les modifications du climat. La comparaison des modalités d'apparition de ces seuils entre les deux types de modèles (IBM et FATE-H) permettra d'identifier avec robustesse les facteurs de vulnérabilité de ces écosystèmes. En outre, ces modèles pourront servir à évaluer les méthodes proposées pour la détection précoce des impacts de changements de régime dans les écosystèmes.

Du climat aux services

Climat



Gestion



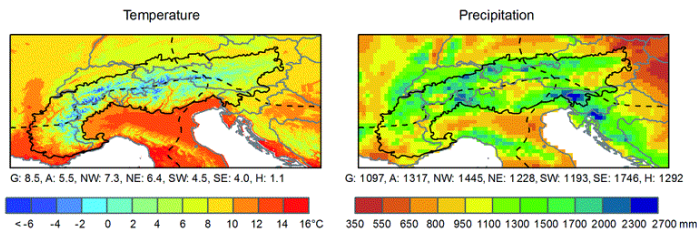
Services



- Fourrage
- Fleurs
- Séquestration C

Du climat aux services

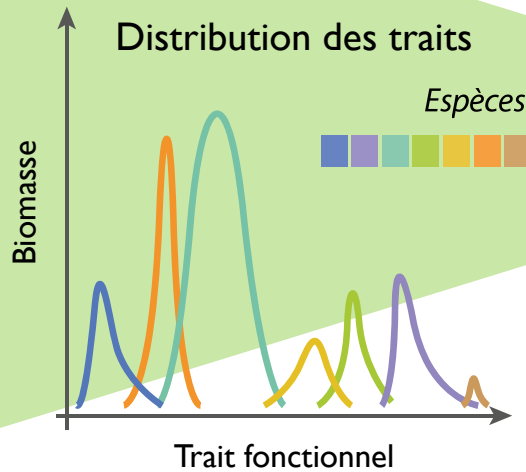
Climat



Gestion



Propriétés de la communauté



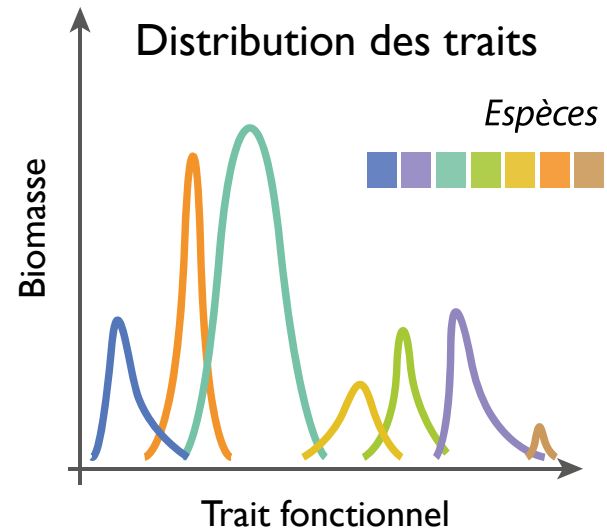
Services



- Fourrage
- Fleurs
- Séquestration C

Déterminer la distribution des traits

Règles d'assemblages
Réponse des espèces
Interactions



- Hétérogénéité
 - Interactions
 - Stratégies multiples
- Plasticité → Réponses et motifs complexes → Difficile de prédire la réponse de la communauté

→ **Modèle mécanistique**

Lien mécanistique =

Compromis d'allocation et de traits d'histoire de vie

(= variabilité inter-spécifique)

Plasticité des plantes et mode de réponse

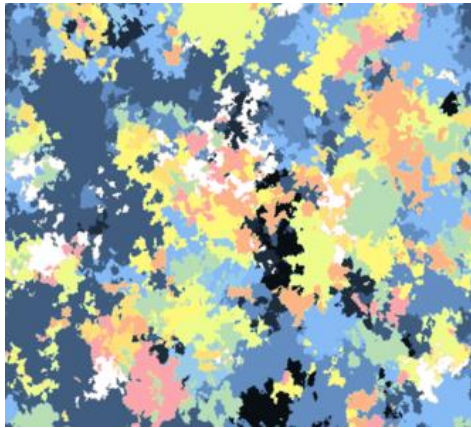
(= variabilité intra-spécifique)

Un modèle,
Mais lequel ?



Modèles existants

Modèles à base d'individus - Spatialement explicites



GEMINI – Maire et Soussana

Grassmind – Taubert

Lohier

Lingra - Schapendonk

...

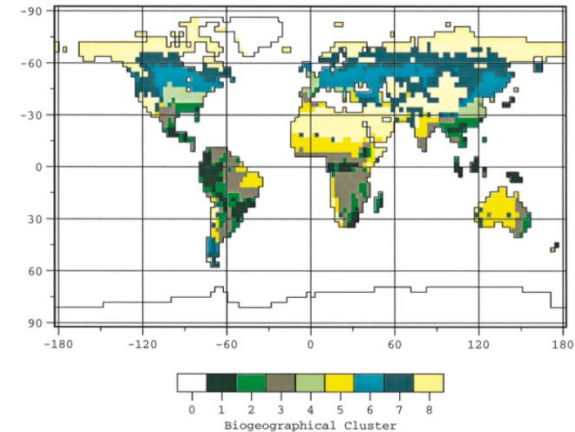
- Proche de la physiologie
- Résolution spatiale et temporelle fine
- Complets (ressources, processus biologiques, traits...)
- Paramètres nombreux et spécifiques
- Nécessite beaucoup de données
- Lourds

Modèles existants

Modèles dynamiques globaux de végétation

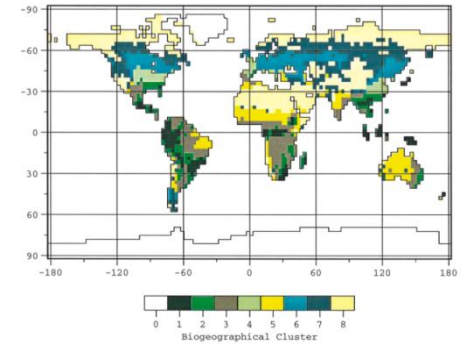
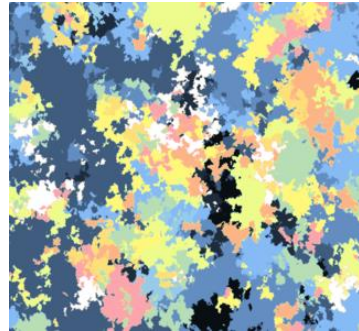
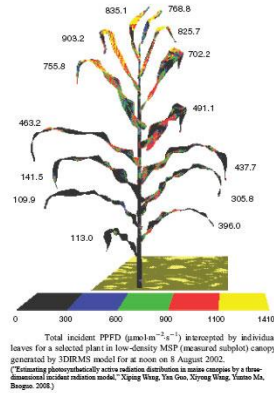
JeDi – Kleydon & Mooney
Scheiter & Higgins

...



- Types fonctionnels variés
- Représentation simplifiée
- Nombre réduits de paramètres
- Pas d'interactions locales
- Pas ou peu de plasticité

Un modèle centré sur la communauté



Molécule

Organe

Individu

Communauté

Paysage

s

s/min

h/j

j

j/sem.

Modèles physio

Modèles à base
d'individus

DGVMs



Modèle – vue générale

ENTREES

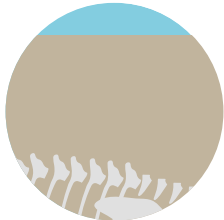
Précipitations



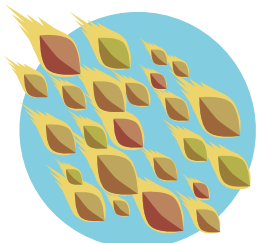
Températures



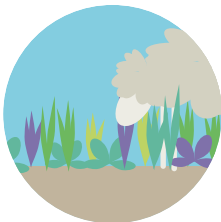
Rayonnement



Sol

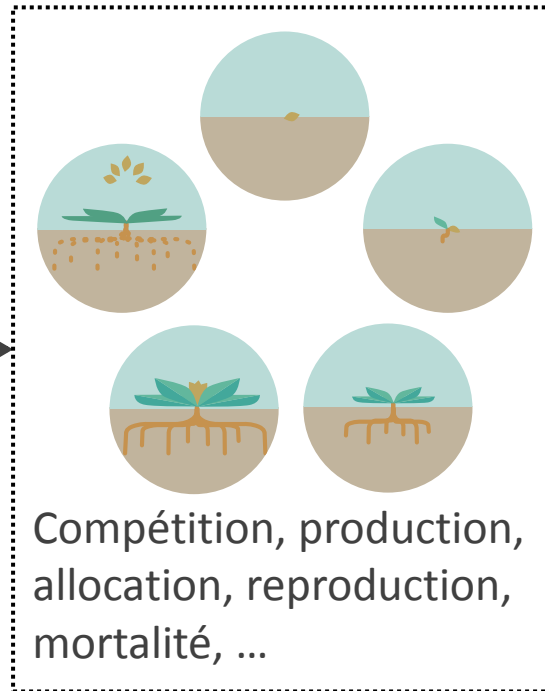


Pluie de
graines

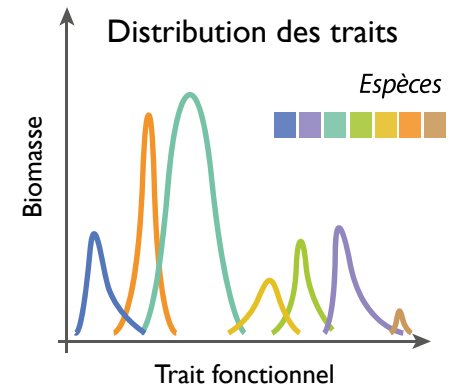


Gestion

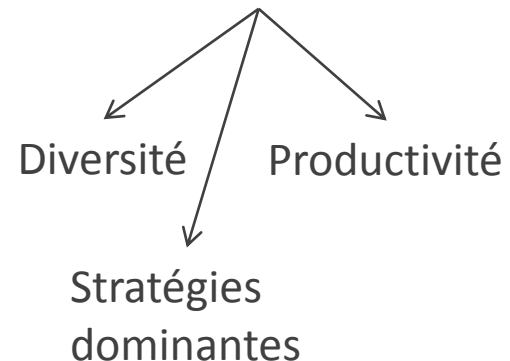
MODELE

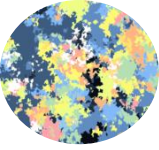


SORTIES

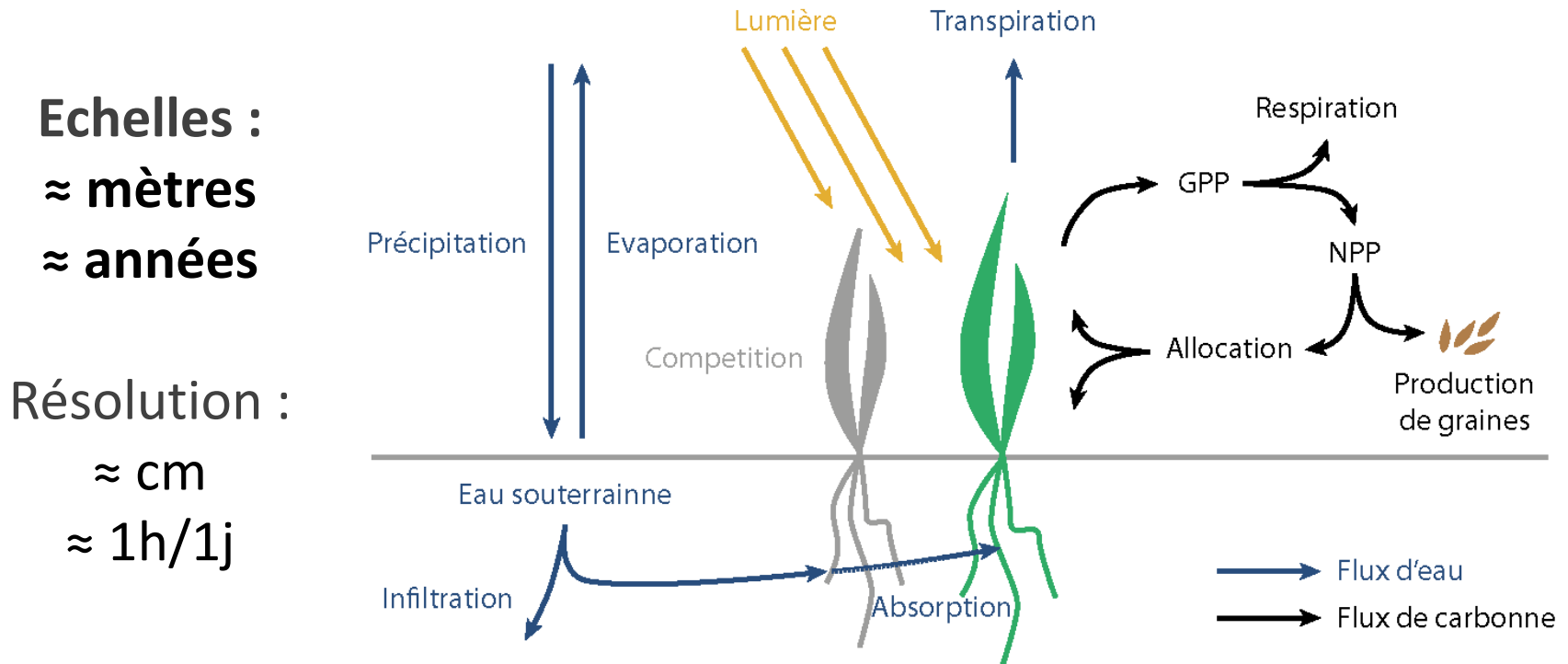


Etats du système



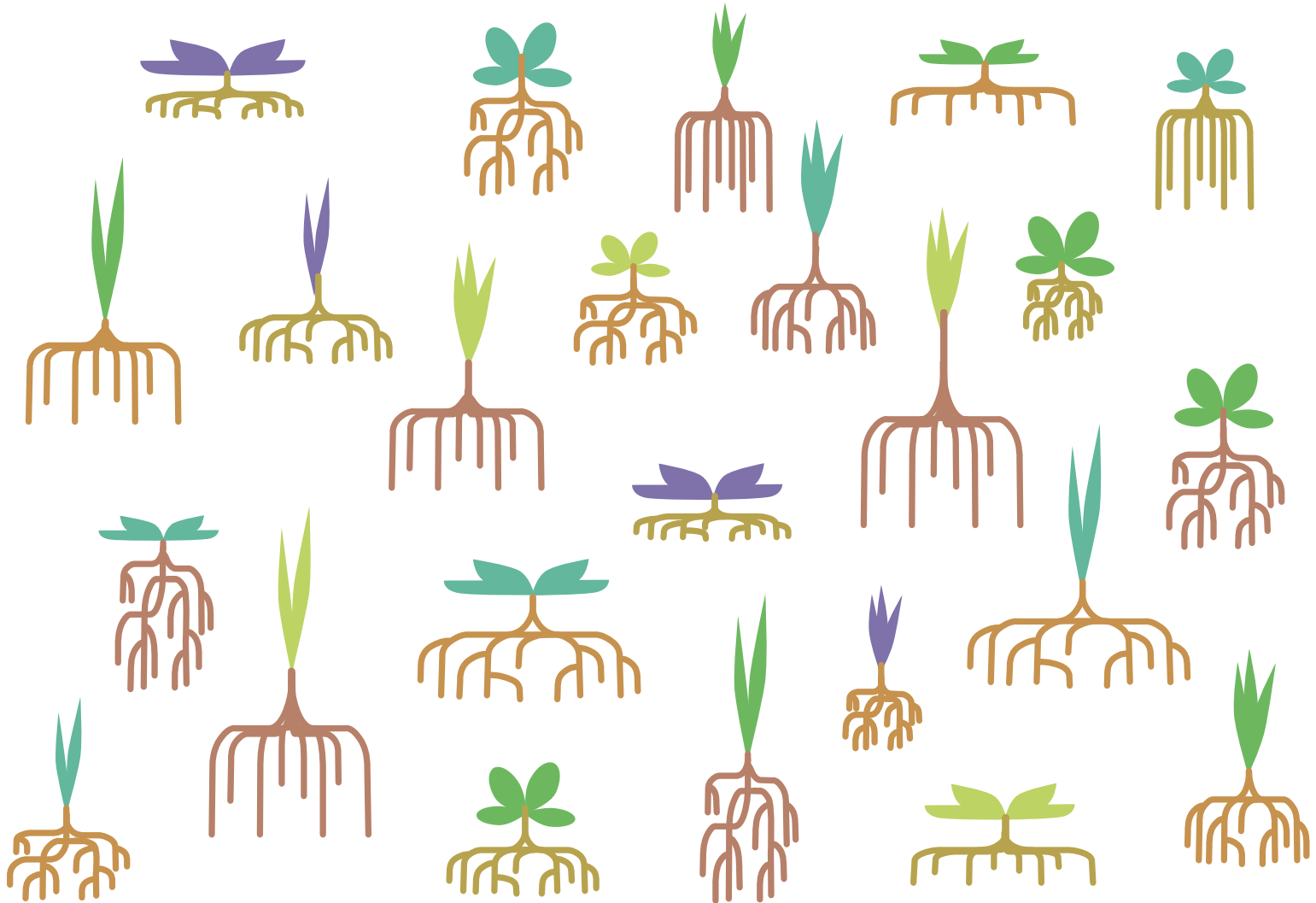


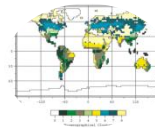
Modèle – Mécanismes clés et échelles



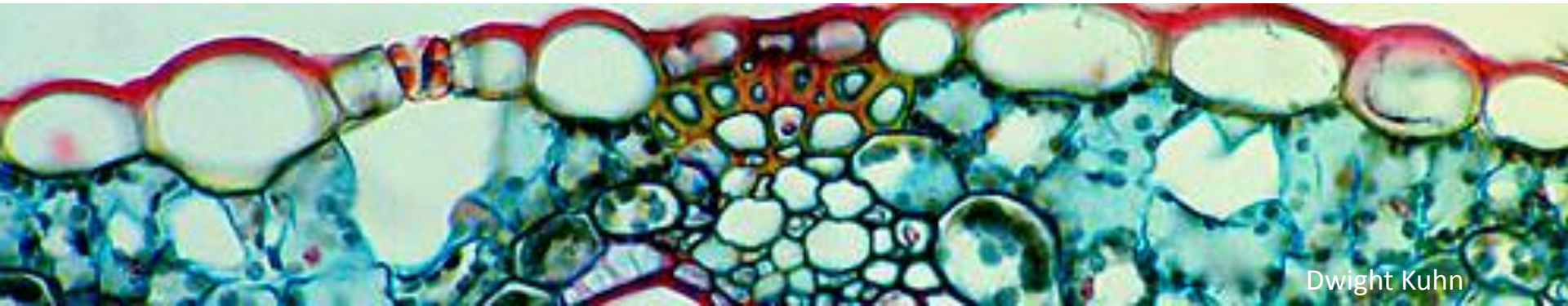
Individu centré et spatialement explicite
Compétition pour l'eau et la lumière

Modèle – Représentation de la diversité ?





Modèle – Compromis d'allocation

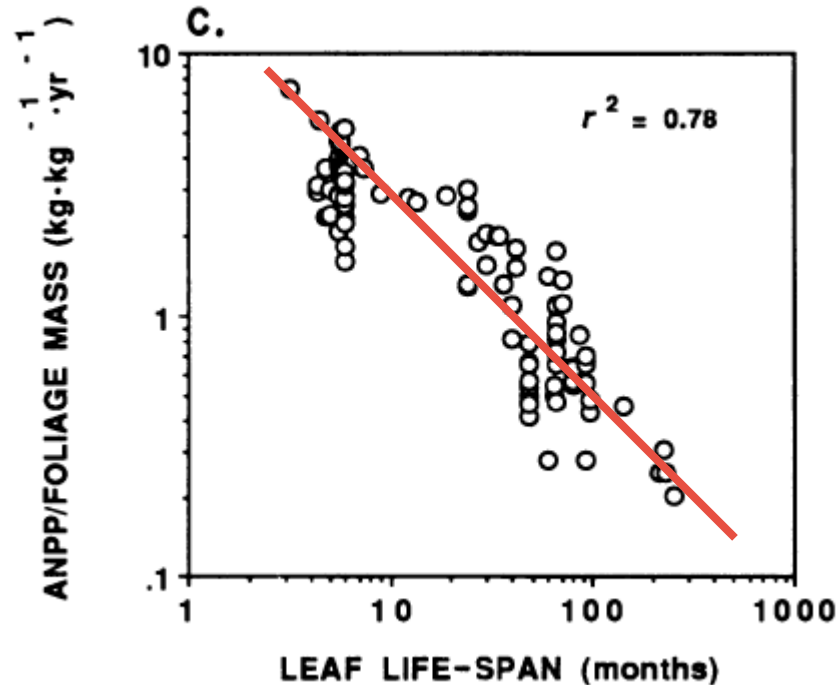


Dwight Kuhn

Rapides

= actif/str. élevé

- Absorption racinaire
- Photosynthèse
- Compétition



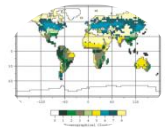
Conservatrices

= actif/str. bas

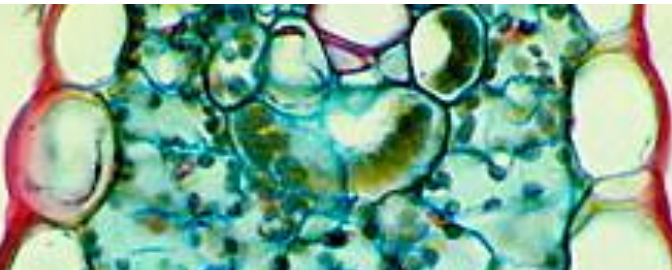
- Durée de vie des tissus
- WUE
- Respiration réduite

Reich et al., *Ecological Monographs*, Vol. 62, No. 3 (Sep., 1992), pp. 365-392

Wright et al., *Nature*, 2004, vol 428

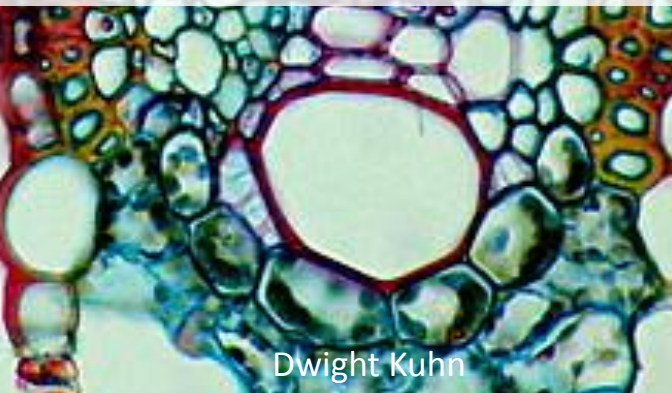


Modèle – Compromis d'allocation



Actif/structural des feuilles
Actif/structural des racines
Tige/racines
etc...

→ Espace de différenciation stratégique



Dwight Kuhn



Debora Leite



Mike The Mad Biologist

Modèle – Variables (plantes)

Multitude d'axes de différenciation

Espèces (stratégie)

- Masse des graines
- Maturité des plants
- Actif/structural feuilles
- Actif/structural racines
- Coefficient d'allocation
- « A priori » des conditions environnementales
- Réactivité
- Coefficient de forme
- Coefficient d'occupation de l'espace

**Paramètres physiologiques
communs à toutes les espèces**

Individus (état)

- Masse des racines
- Masse des feuilles
- Ratio actif/structural feuilles
- Ratio actif/structural racines
- Masse tissus reproducteurs
- Age
- Disponibilité estimée des ressources
- Position
- Rayons
- Hauteur
- Productivité nette
- Jour consécutif de sécheresse

Modèle – Caractéristiques

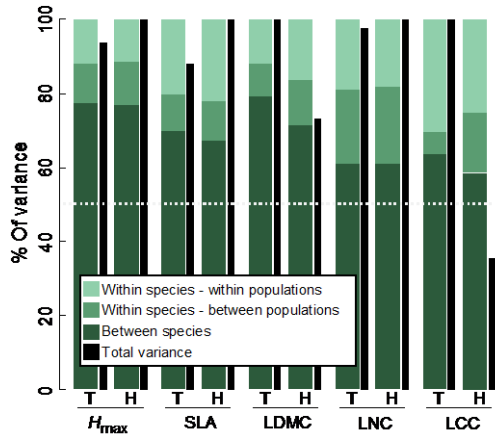
- Compétition pour l'eau et la lumière
 - Interactions locales
 - Différenciation stratégique des espèces
 - Représentation simplifiée des plantes
 - Résolution fine
- Outils intéressant pour explorer les dynamiques des **communautés**

Mais...

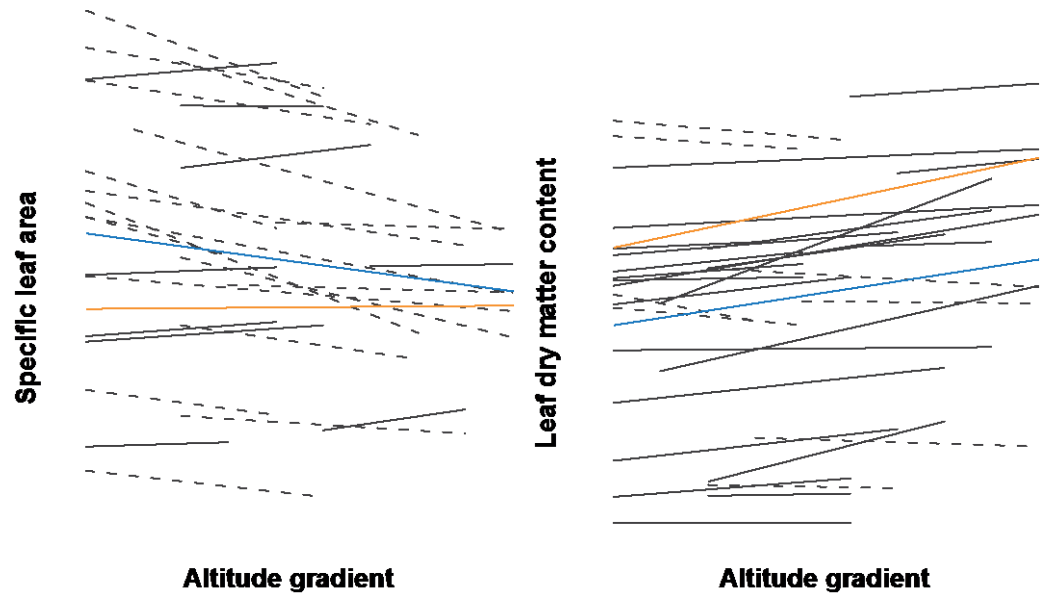
Variabilité intra-spécifique et plasticité phénotypique



Variabilité intra-spécifique



Variance decomposition into the different levels.
From Albert and al. 2010.



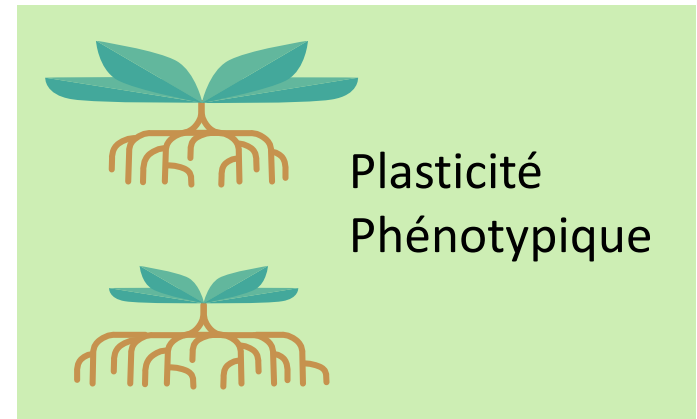
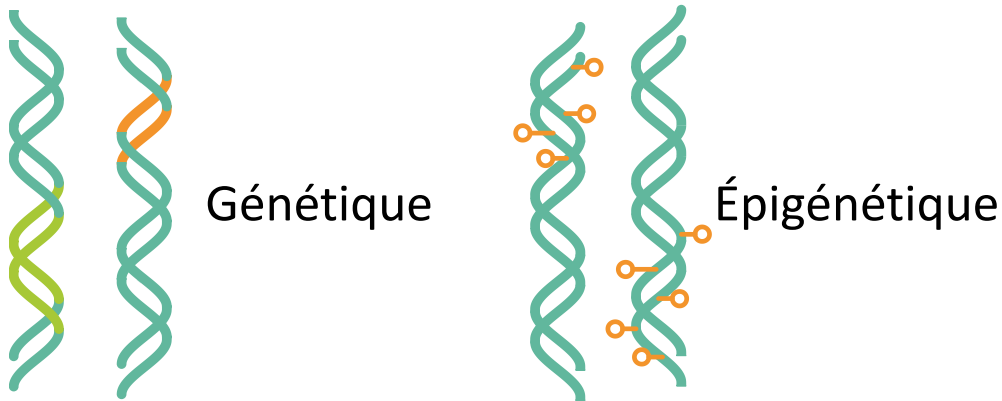
20-40% de la
variabilité expliquée

Réponses spécifiques contrastées
(signes et amplitude)

→ Importance de la variabilité intra-spécifique dans la
réponse de la communauté

Plasticité phénotypique

- Une des sources de variabilité intra-spécifique



→ Un premier mécanisme pour prendre en compte la variabilité intra-spécifique

→ Identifié comme plus important que l'adaptation locale (à cette échelle)

Plasticité phénotypique - Approche

- Empirique : **chaines de réponse internes** à des signaux externes
- Finaliste : définition d'un nouveau **phénotype** « **cible** » (idéal, optimal) en accord avec les signaux externes

Plasticité phénotypique - Approche

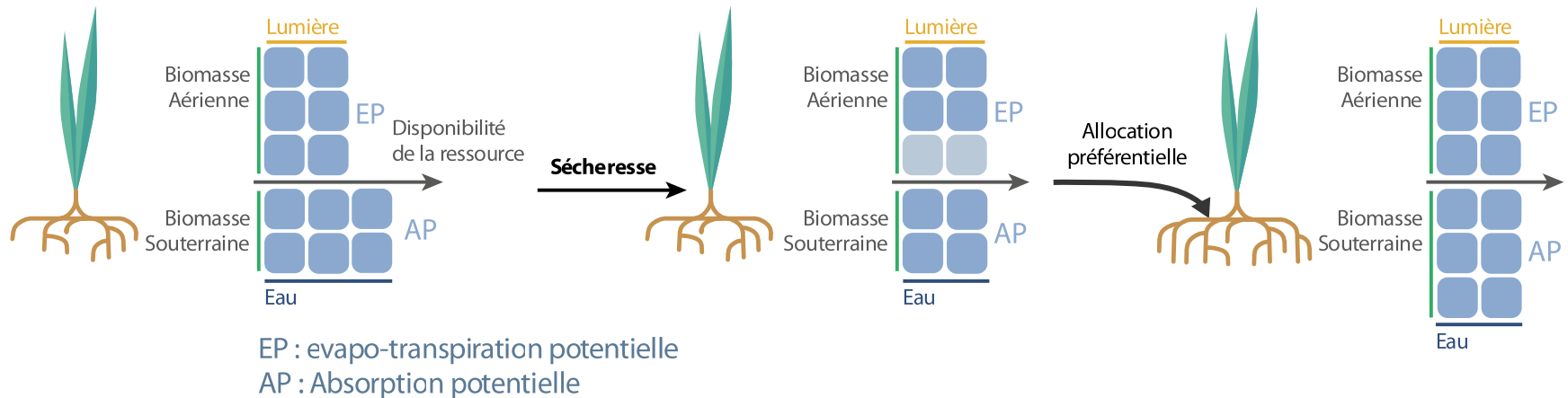
- Métabolique : **chaines de réponse internes** à des signaux externes
- Finaliste : définition d'un nouveau **phénotype** « **cible** » (idéal, optimal) en accord avec les signaux externes

→ **Comment définir le phénotype cible ?**

Plasticité phénotypique

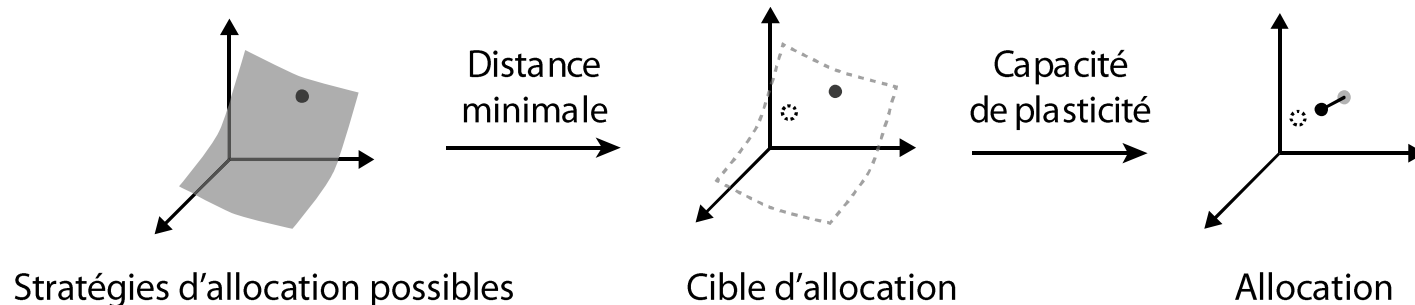
Equilibre fonctionnel

Critère de co-limitation fonctionnelle



→ Ensemble de phénotypes possibles

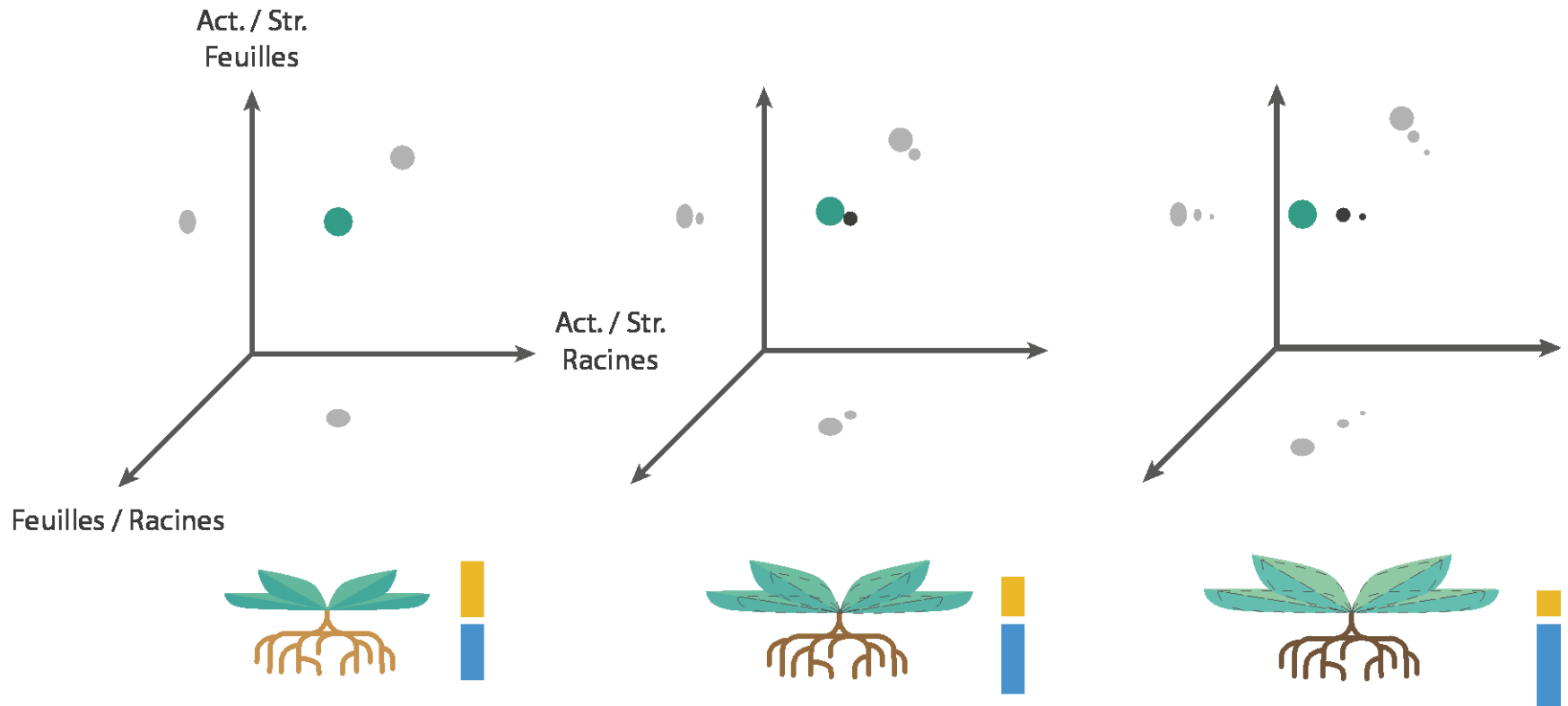
Distance minimale



→ Sélection d'un phénotype cible

Plasticité phénotypique

Equilibre fonctionnel – exemple



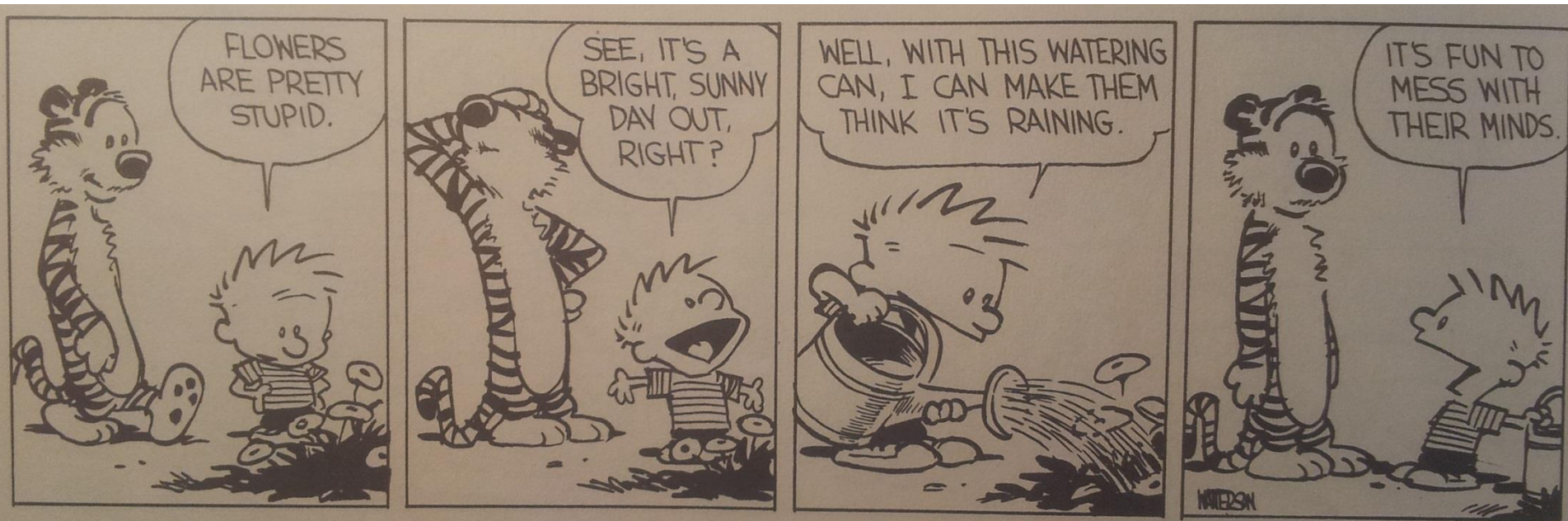
↗ Eau/Lumière

- ↗ part des tissus actifs foliaire
- ↘ part des tissus actifs racines
- ↗ rapport feuilles/racines

Plasticité phénotypique

Rôle de l'environnement

L'équilibre fonctionnel repose sur la **prédiction**
des **conditions environnementales**



Plasticité phénotypique

Sources d'informations

D'où vient l'information et comment est-elle assimilée ?

- Information *génétique* par sélection
= « **a priori** » de l'espèce → **Stratégie de l'espèce**
- Signalisation interne des *conditions extérieures*
= **expérience individuelle** → **Stratégie individuelle d'ajustement**

Comment équilibrer ces deux sources d'information ?

Plasticité phénotypique

« a priori » et « réactivité »

« A priori »

Valeurs codées
génétiquement des
conditions

Stratégie initiale : définit le
premier phénotype cible

Stabilise et contraint le
« chemin stratégique »

« Réactivité »

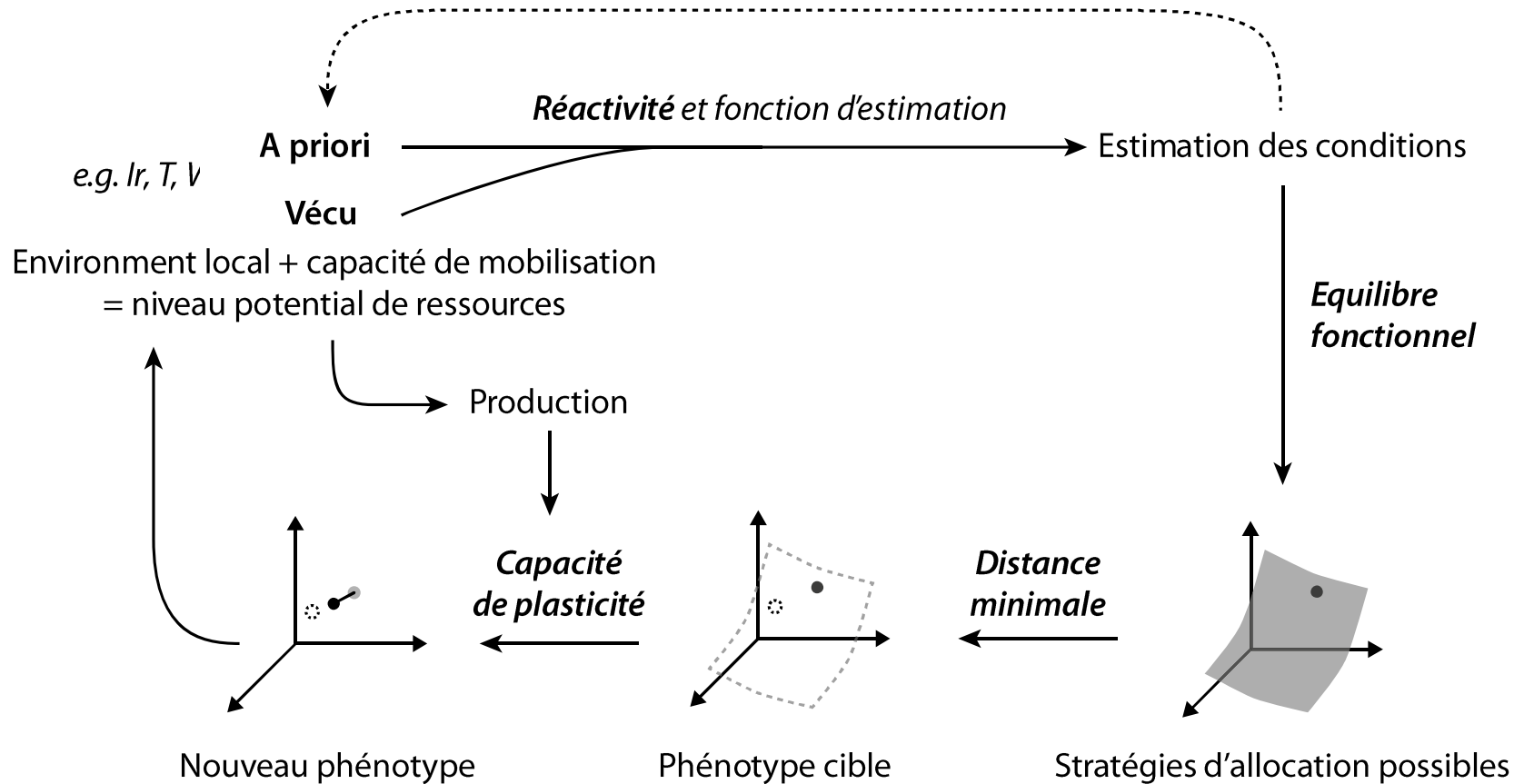
Poids relatifs de l'« a priori »
et du vécu dans l'estimation
des conditions

Définit la stabilité du
phénotype

Corrélié avec la productivité :
capacité de plasticité

Plasticité phénotypique

Bilan





Conclusion à propos du modèle

- Représentation simplifiée d'une communauté
- Résolution fine temporelle et spatiale
- Compétition explicite pour des ressources aériennes et souterraines
- Intégration de la plasticité phénotypique






Digital Equipment Corporation (DEC)

Programme

Travail réalisé :

- Compétition pour les ressources
- Production, respiration, allocation fixe
- Reproduction et germination

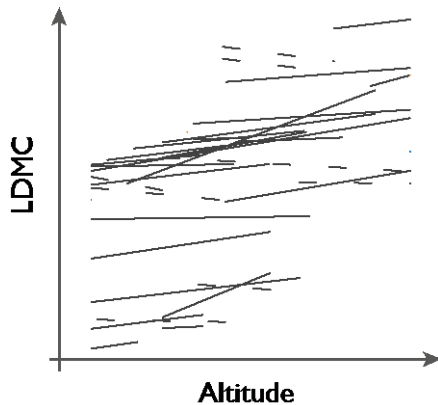
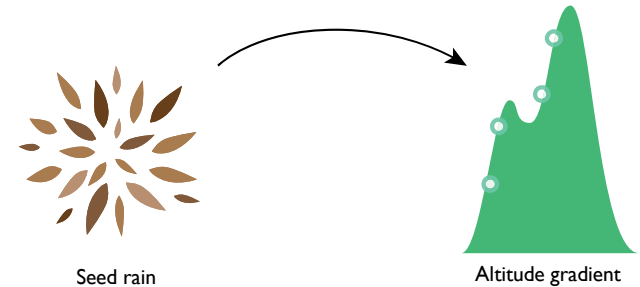
Travail restant :

- Intégrer/pofiner allocation plastique, régulation, perception de l'environnement, germination
- Optimisation et développement d'un package 
- Paramétrage et validation
- Premières simulations

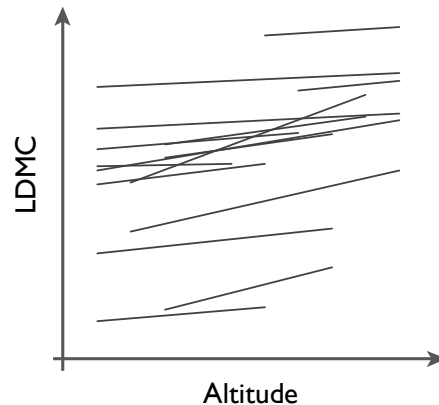
Source de variabilité intra-spécifique

Rôle de la plasticité et de l'environnement local

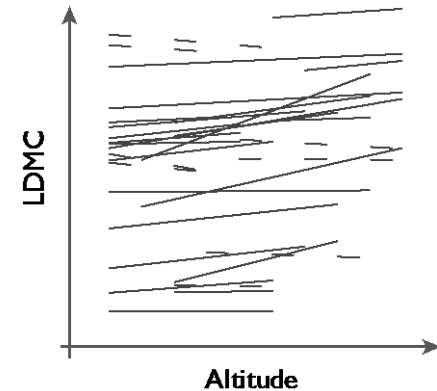
Tester les différences de signe et d'amplitude le long du gradient d'altitude



Turn-over = importance de l'adaptation locale



Homogénéité = mécanismes manquants



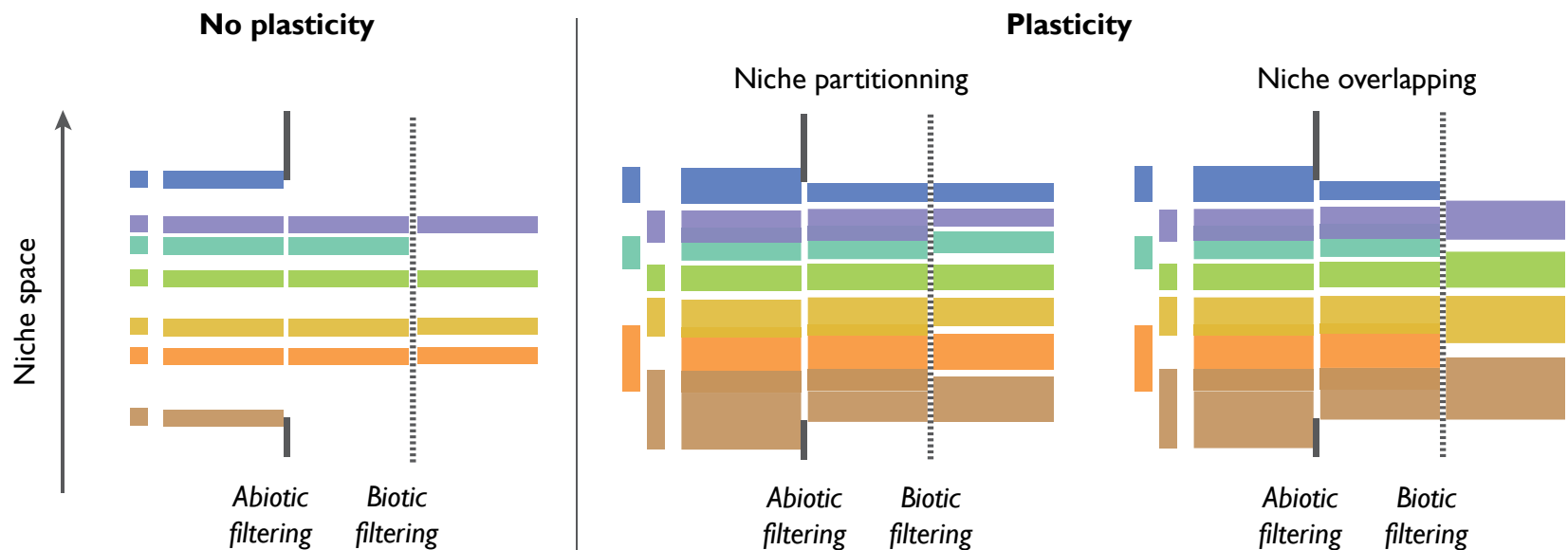
Similaire = confirme le rôle de la plasticité phénotypique

Rôle de la capacité de plasticité ?

Rôle de la perception des conditions ?

Comment la plasticité impacte la coexistence ?

Tester les différences de diversité en fonction du mécanisme de plasticité phénotypique



A explorer, effets de la plasticité sur...

- ... la productivité (en relation avec la diversité)
- ... la réponse aux différents scénarios de gestion
- ... la résistance aux invasions
- ...

Merci pour votre attention !

Des questions, suggestions ,
remarques... ?



Modèle – Variables (environnement)

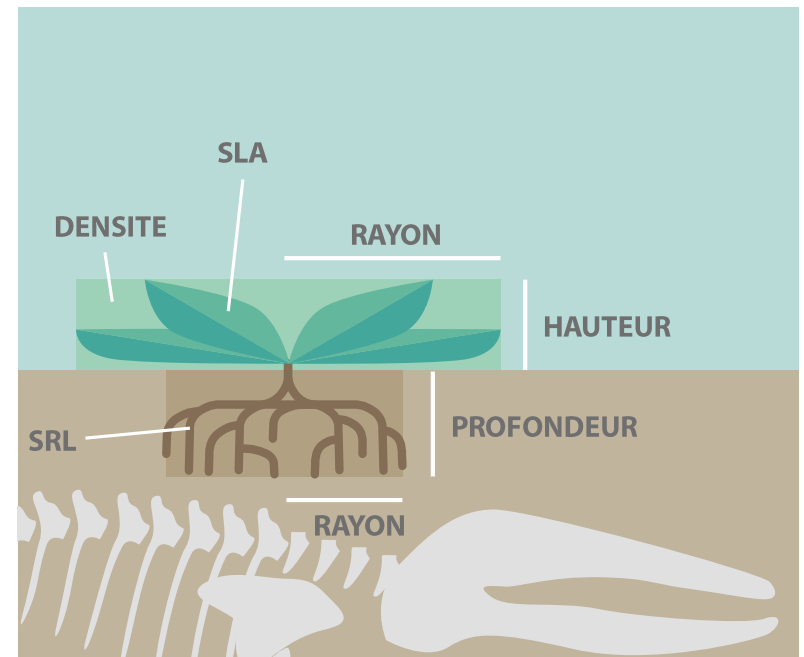
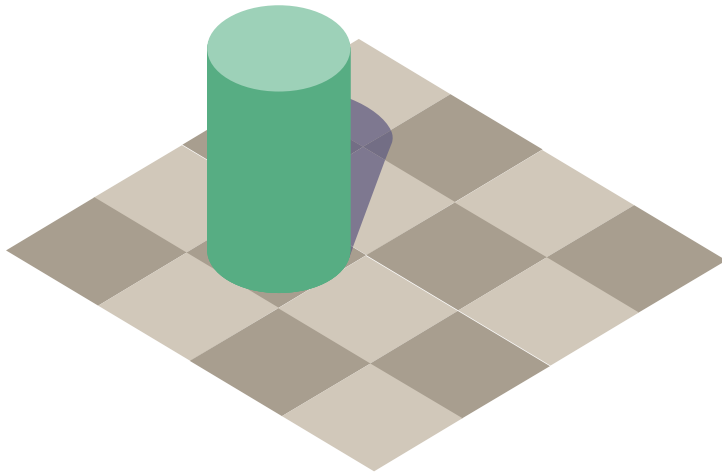
Sol

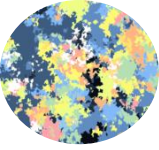
- Profondeur
- Teneur critique en eau
- Teneur en eau de saturation
- Teneur en eau
- LAI
- (Température)

Atmosphère

- Luminosité
- Température

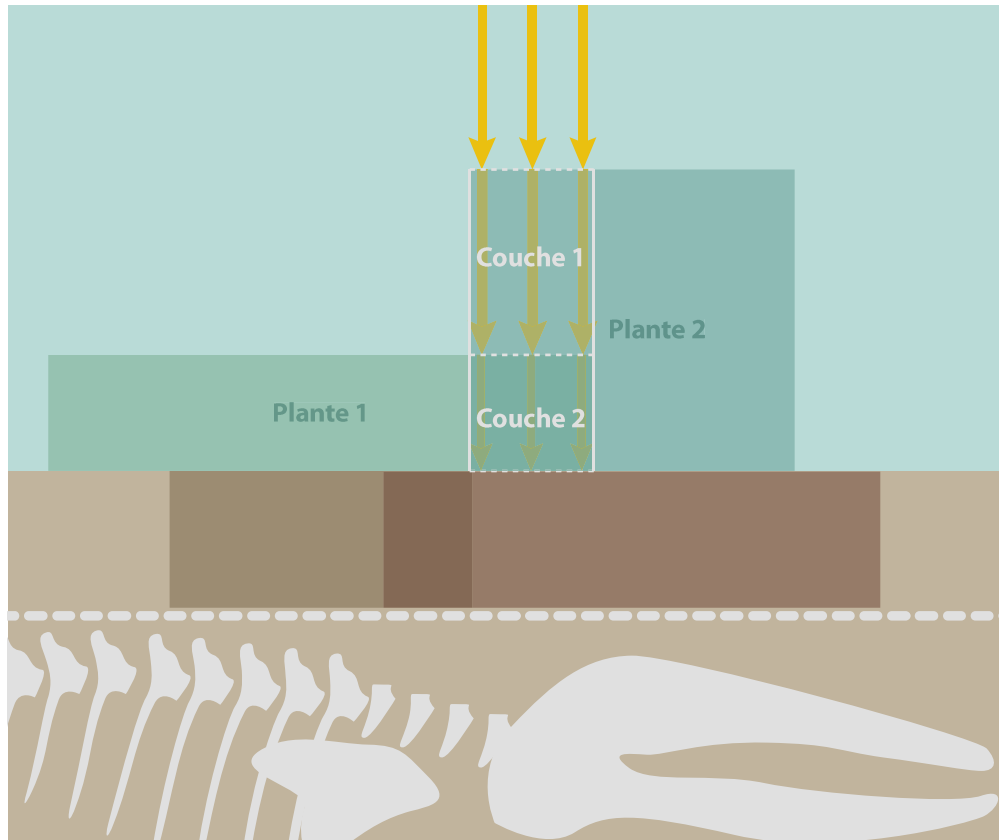
Représentation dans l'espace





Compétition pour les ressources

Exemple de la lumière



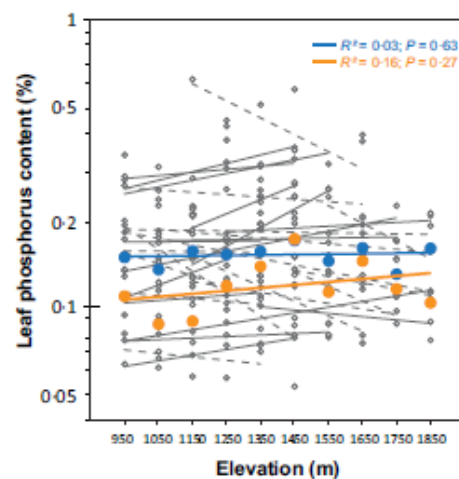
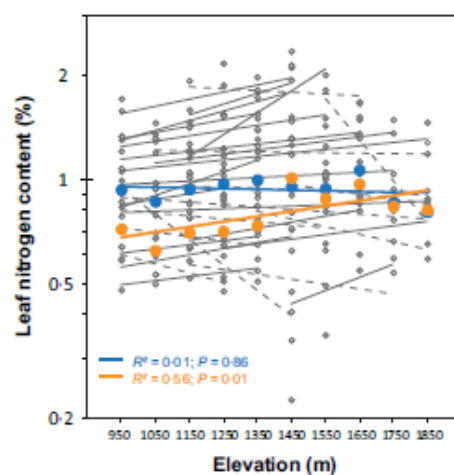
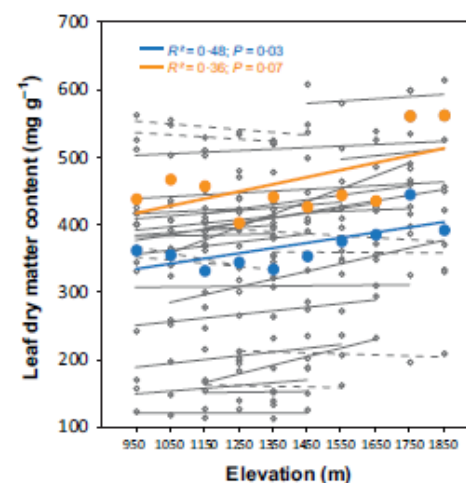
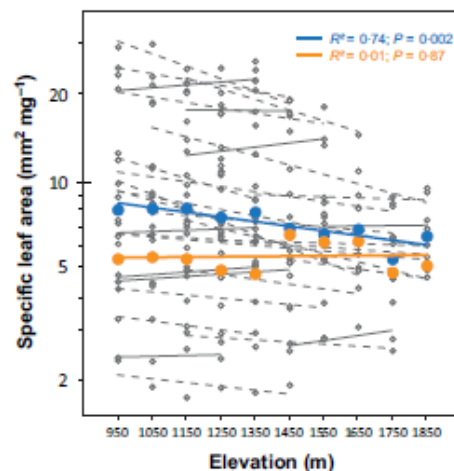
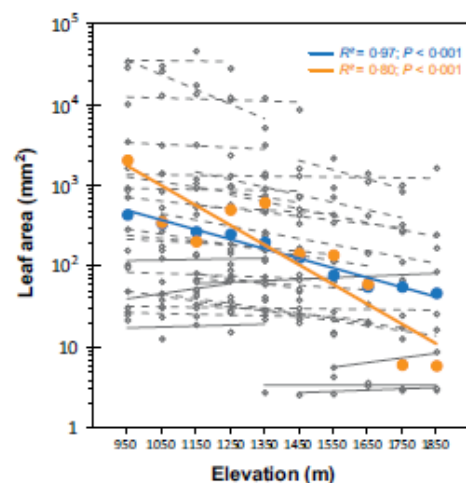
La lumière incidente absorbée
par chaque couche

Chaque couche est homogène

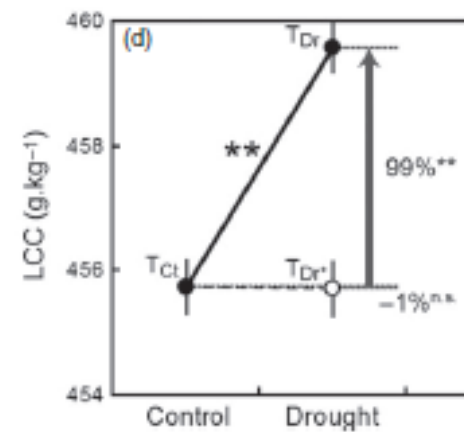
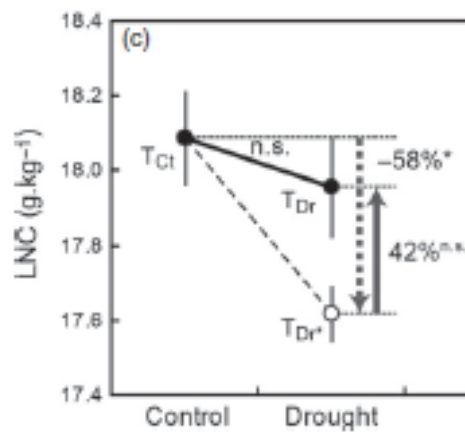
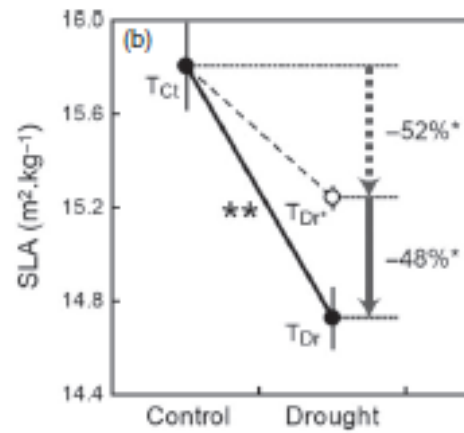
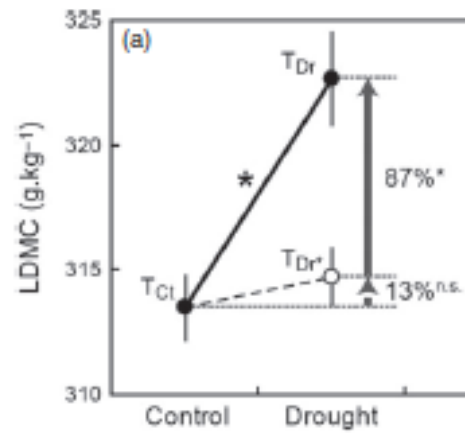
Disponibilité totale
= lumière absorbée dans chaque
couche de chaque pixel

Relations supposées

- SLA longévité
- SRL longévité
- SLA respiration
- SRL respiration
- SLA WUE
- Masse des graines – taux de germination & survie



- Nonweighted community average trait values and regression line
- Weighted community average trait values and regression line
- Sampled species average trait values (i.e. 187 species × plot combinations) and regression lines for each species across plots where it occurs:
- negative slope
- positive slope



Inter-specific (=turn-over)

Intra-specific variations