

COLLÈGE  
DE FRANCE

— 1530 —

# Les traits fonctionnels pour relier les réponses des écosystèmes aux changements environnementaux et les effets sur leur fonctionnement

Sandra LAVOREL  
Chaire annuelle  
Biodiversité et écosystèmes



Fondation  
Jean-François  
de Clermont-Tonnerre



# A la quête du Graal...

- Ambition: grouper les plantes des végétations diversifiées du globe pour pouvoir modéliser les effets du changement climatique sur le cycle du carbone

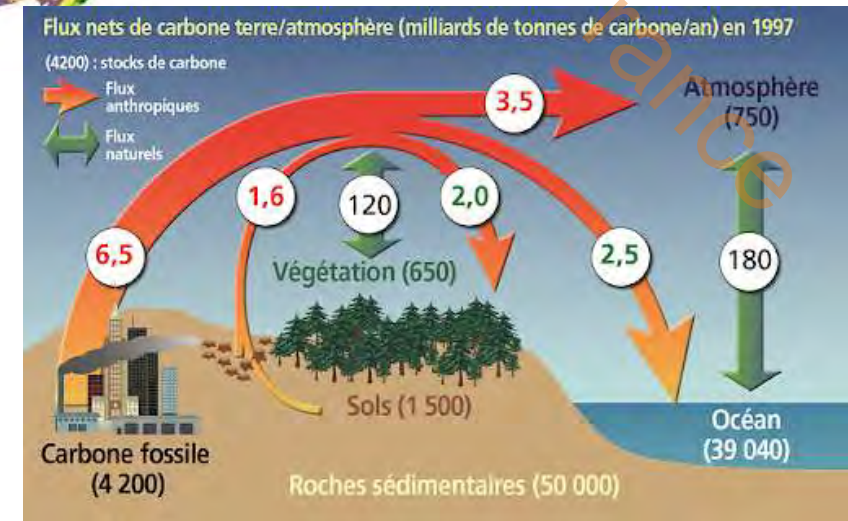


Biomes

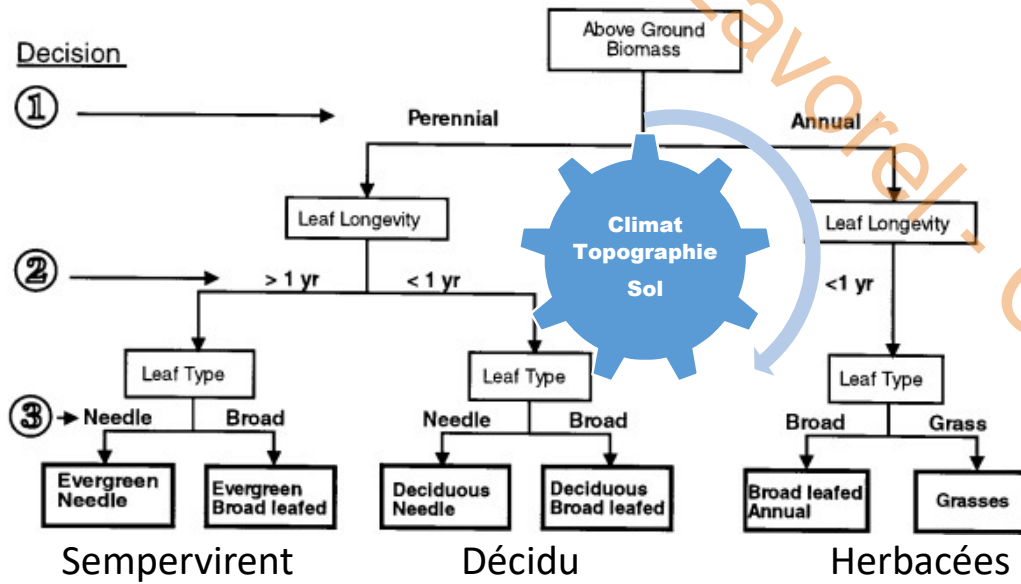
Ecosystème diversifié



Modèle du cycle du carbone  
À l'échelle planétaire

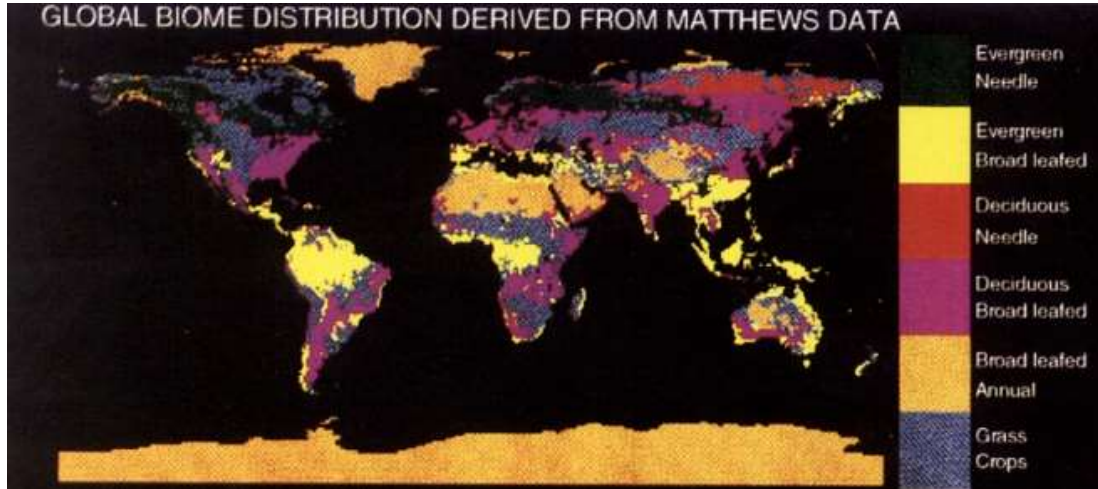


CANOPY STRUCTURE

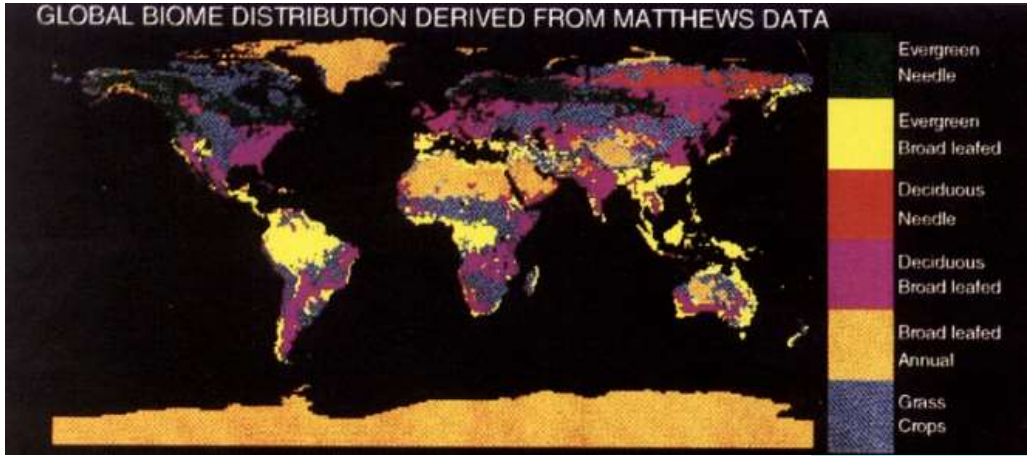


Durée de vie des feuilles

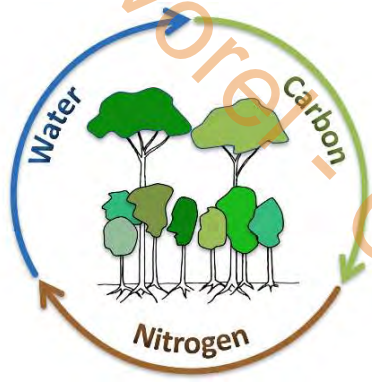
Type de feuilles



Nemani, R. & Running, S.W. (1996) Implementation of a hierarchical global vegetation classification in ecosystem function models. *Journal of Vegetation Science*, 7, 337-346.



© University of Basel  
Physiological Plant Ecology



Surface spécifique  
Conductance stomates  
Vitesse de photosynthèse  
Respiration  
N, lignine  
Durée de vie

## Production nette de l'écosystème

Evapotranspiration  
Photosynthèse  
Respiration autotrophique  
Production primaire nette

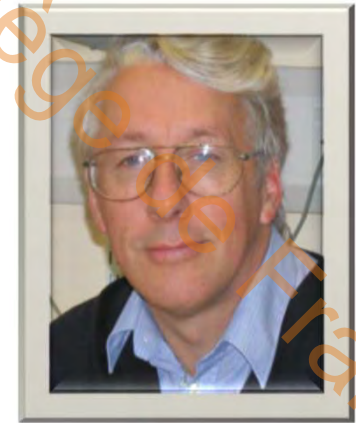
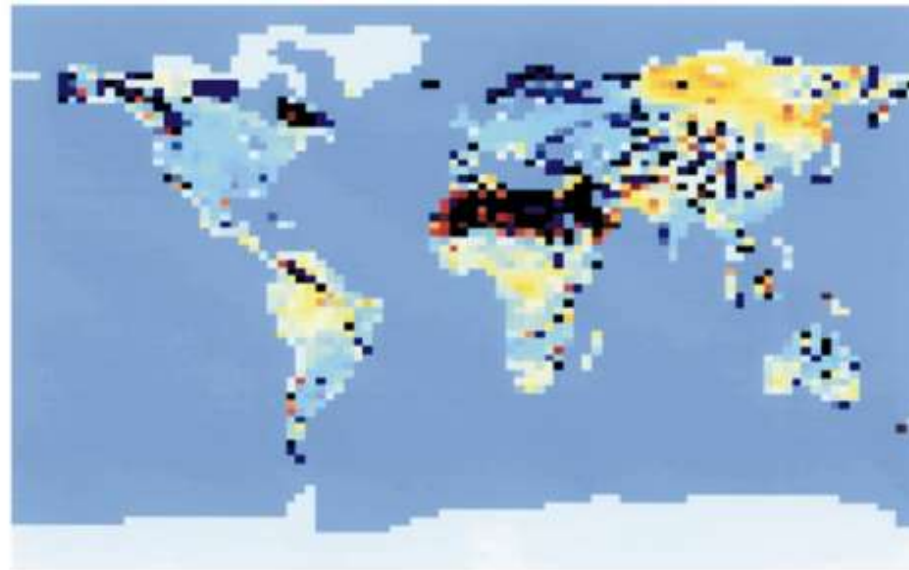


Respiration hétérotrophique  
Minéralisation N

Woodward, FI & Diament, AD (1991)  
*Functional approaches to predicting the ecological effects of global change. Functional Ecology, 5, 202-212*

# Modélisation des rétroactions biosphère - climat

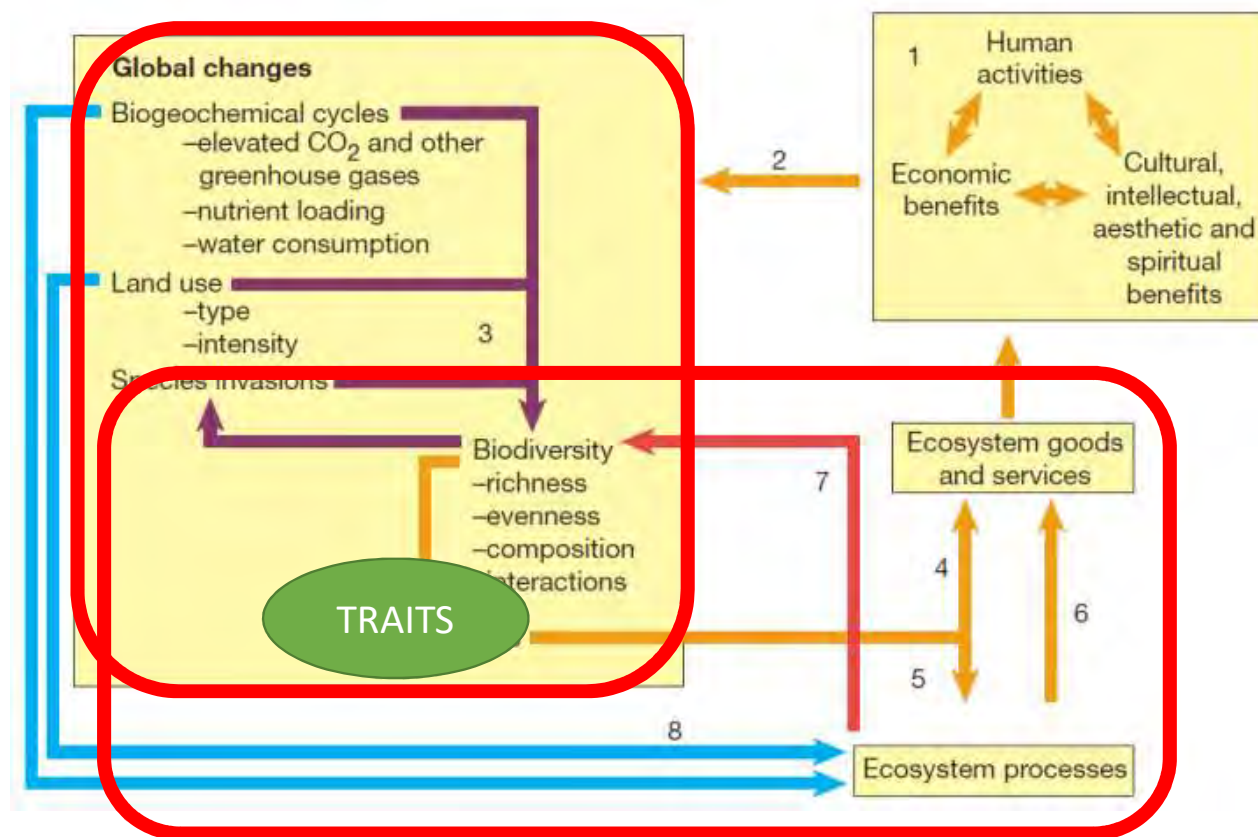
Impacts de l'indice foliaire (LAI) sur la température simulés par le modèle SDGVM



Modèle global de dynamique de la végétation (DGVM) : couplage de la dynamique de la végétation et des processus biogéochimiques

*Woodward, F.I., Lomas, M.R. & Betts, R.A. (1998) Vegetation-climate feedbacks in a greenhouse world. Phil. Trans. Roy. Soc. B, 353, 29-39*

# Les traits fonctionnels pour lier changements de la biodiversité et fonctionnement des écosystèmes



Chapin, FS III, et al. (2000) Consequences of changing biotic diversity. *Nature*, 405, 234-242

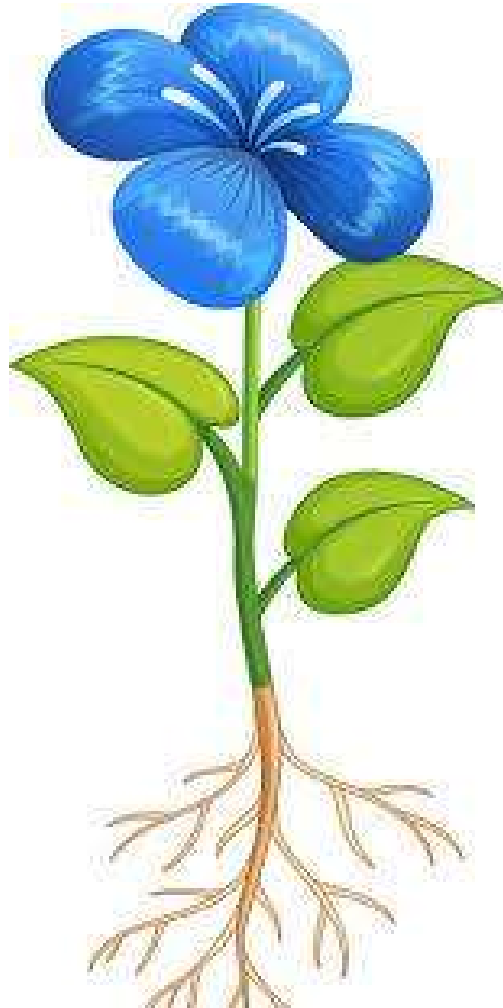
# Fonction

Fécondité  
Dispersion  
Recrutement

Interception lumineuse  
Capacité compétitrice

Photosynthèse  
Décomposabilité

Absorption (nutriments, eau)  
Flux de carbone



# Trait fonctionnel

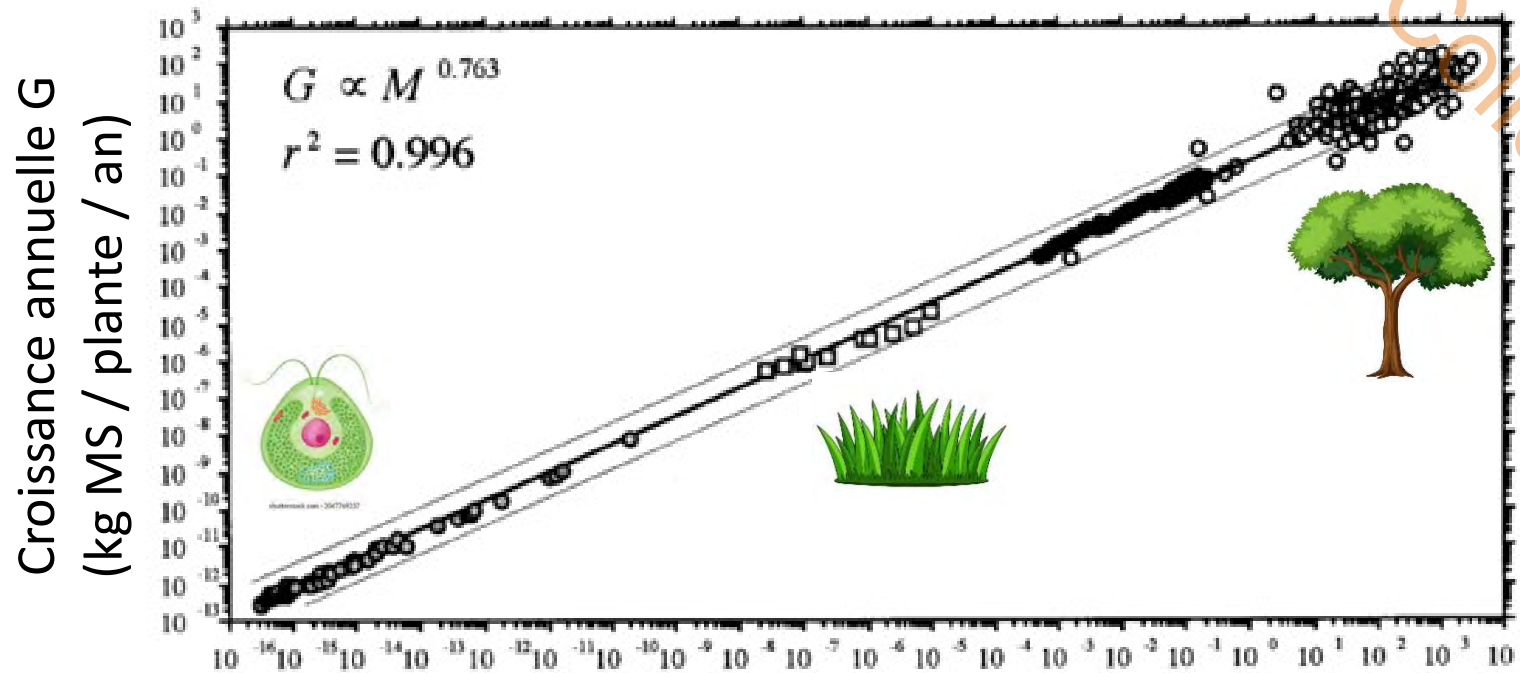
Masse des graines

Hauteur végétative

Traits des feuilles  
Masse surfacique  
Teneur en matière sèche  
Teneurs en nutriments

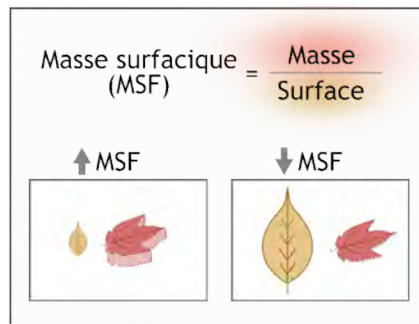
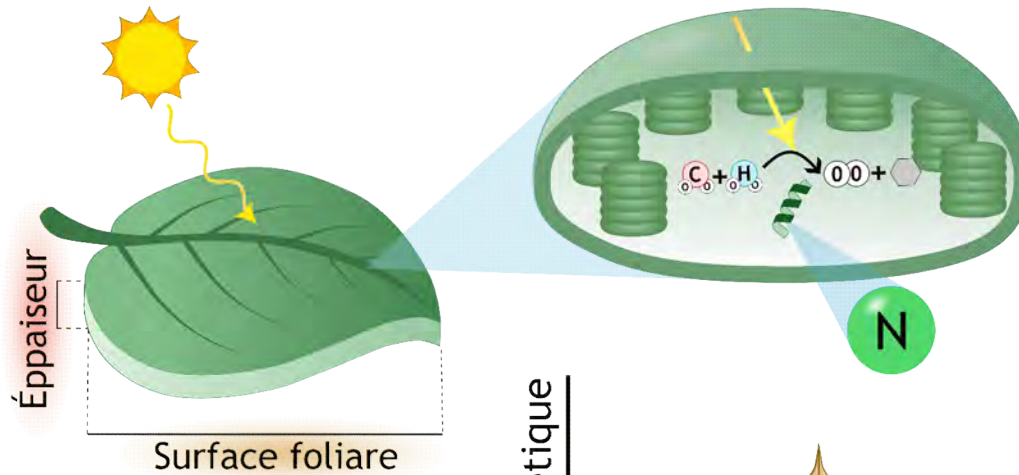
Traits des racines  
Densité, diamètre  
Longueur spécifique

# Traits fonctionnels végétaux essentiels: Taille - hauteur végétative

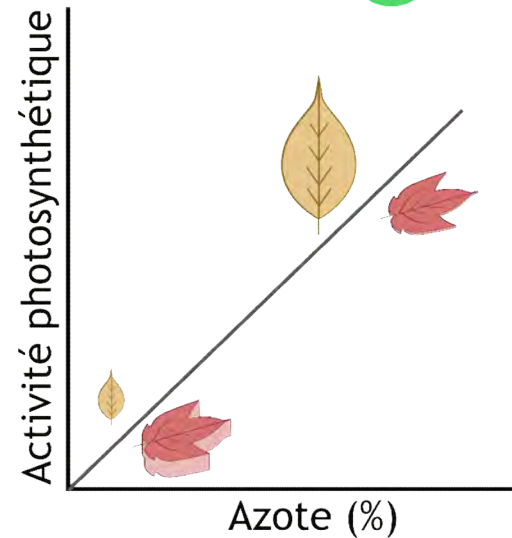


Hauteur -  $L \sim M^{0.264}$

# Traits fonctionnels végétaux essentiels : Economie des ressources par les feuilles

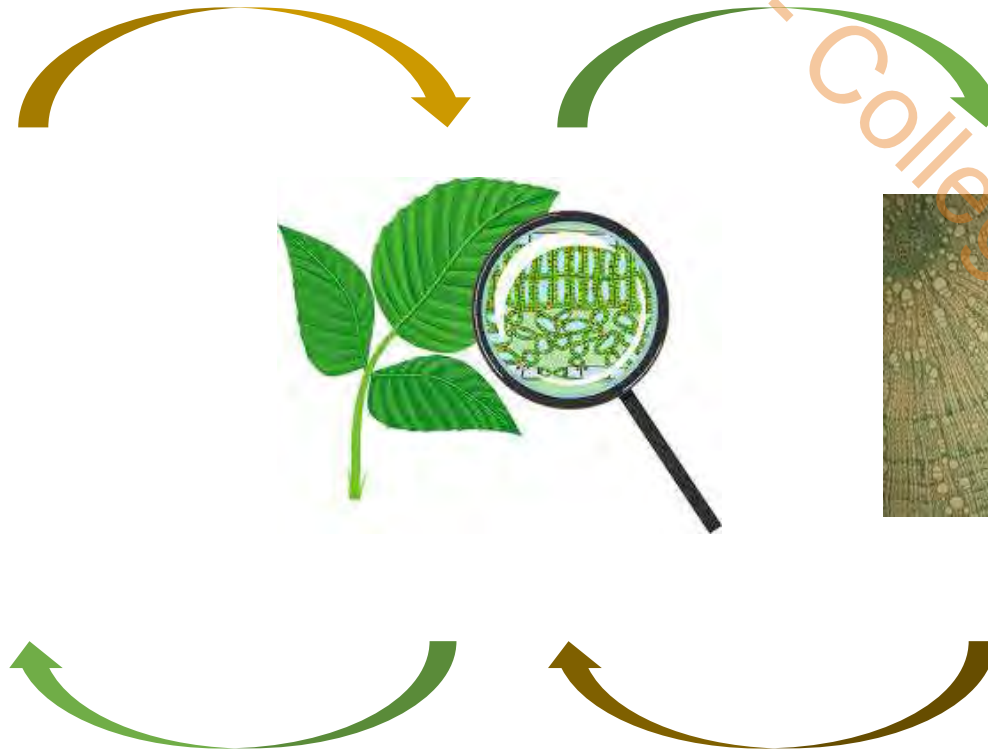
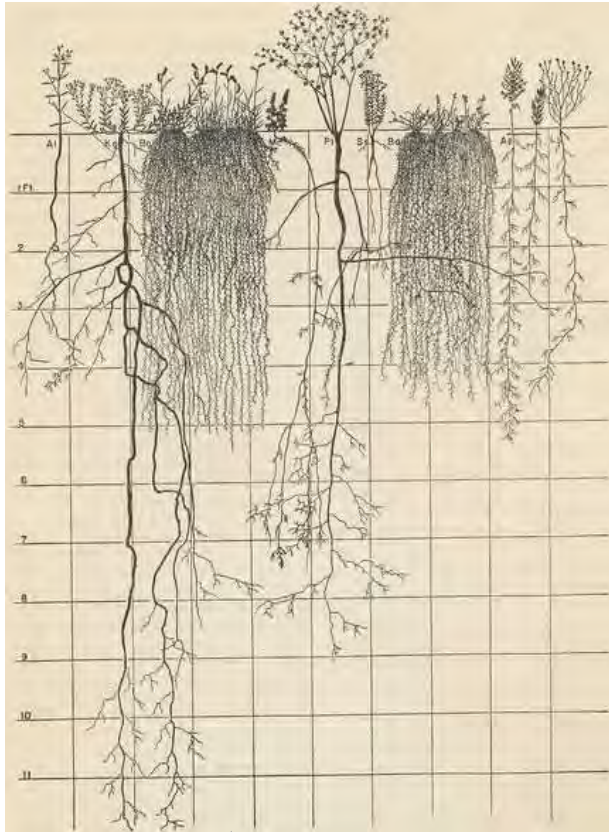


*Lucia Laorden*



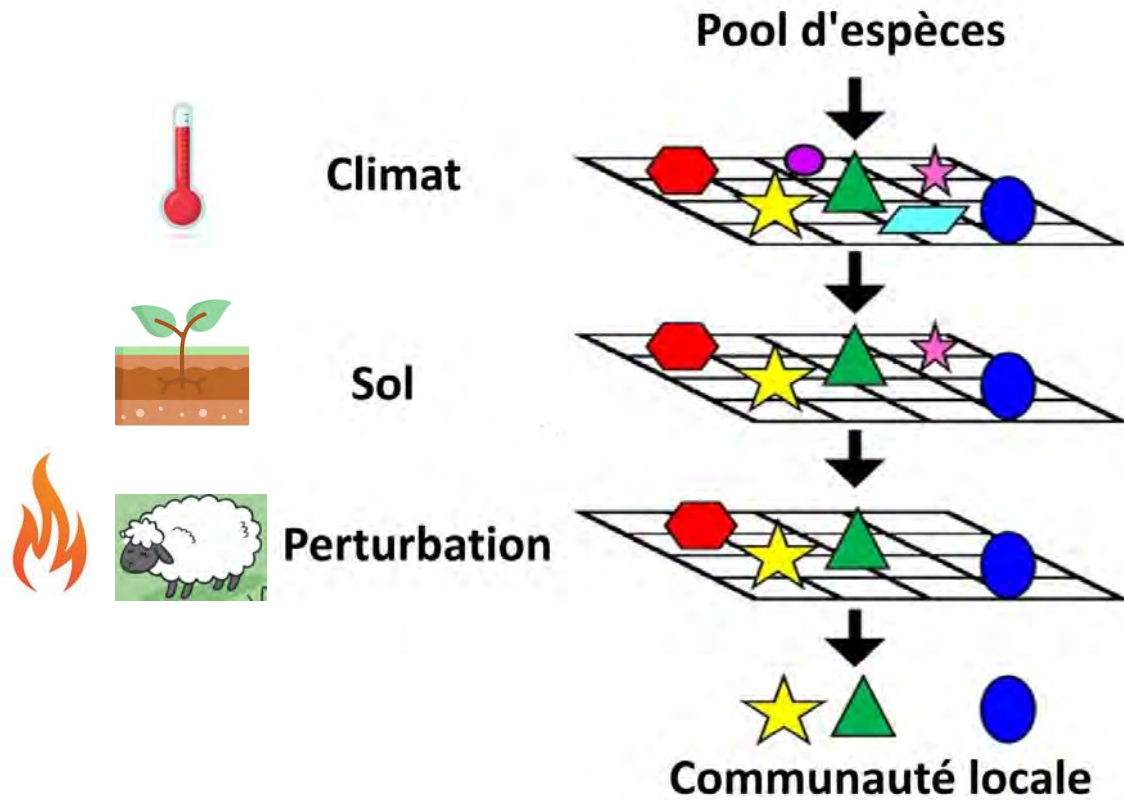
S. Lavoie - Collège de France

# Spectre d'économie de la plante entière



Economie du carbone, des nutriments (N,P) et de l'eau

# Traits de réponse : le modèle des filtres environnementaux

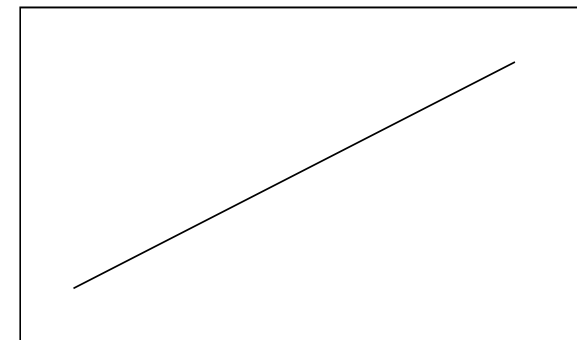


Woodward & Diament 1991, Keddy et al. 1992



Philip Grime, 1977

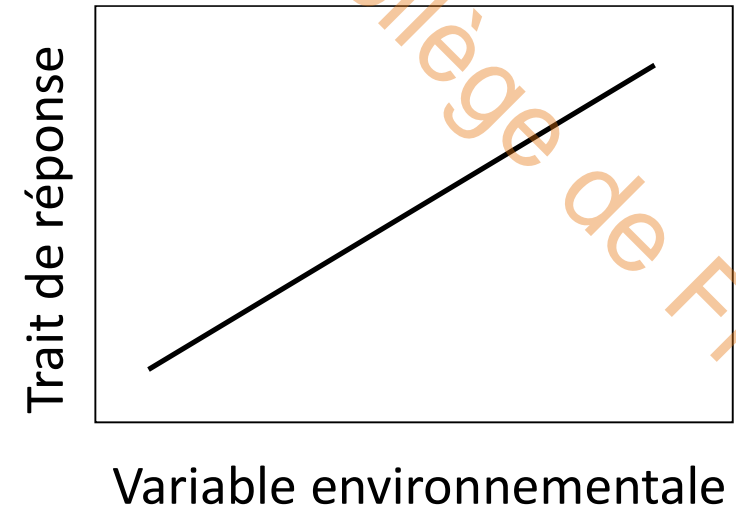
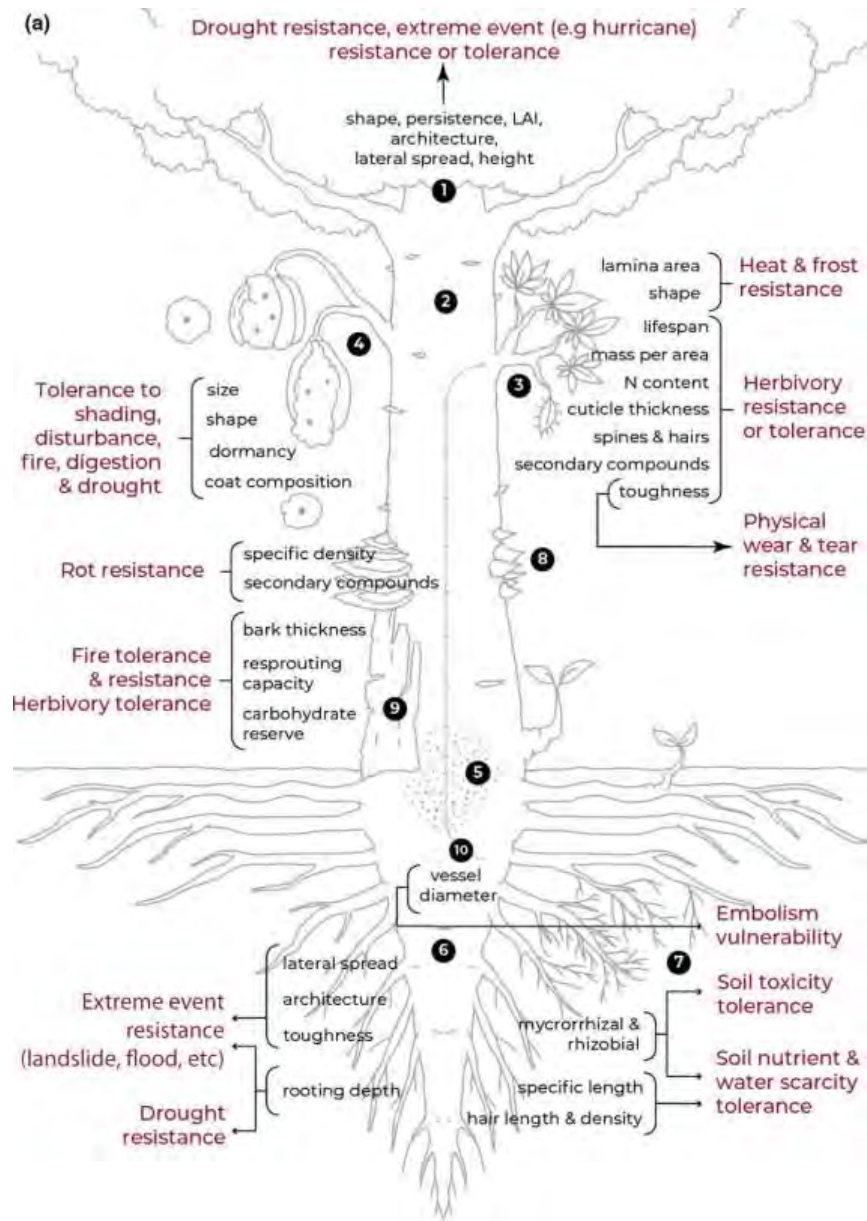
Trait de réponse



Variable environnementale

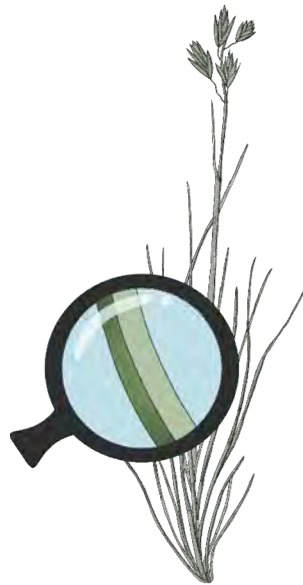
S. Lavoiron - Collège de France

## Connaissances fournies après 30 ans d'écologie des traits

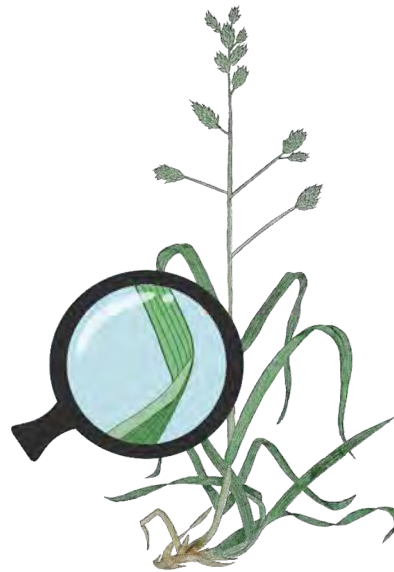


Díaz, S. (2025) Plant functional traits and the entangled phenotype. *Functional Ecology*, 39, 1144-1159

# Traits de réponse: spectre d'économie foliaire



*Festuca ovina*



*Dactylis glomerata*



*Lolium multiflorum*

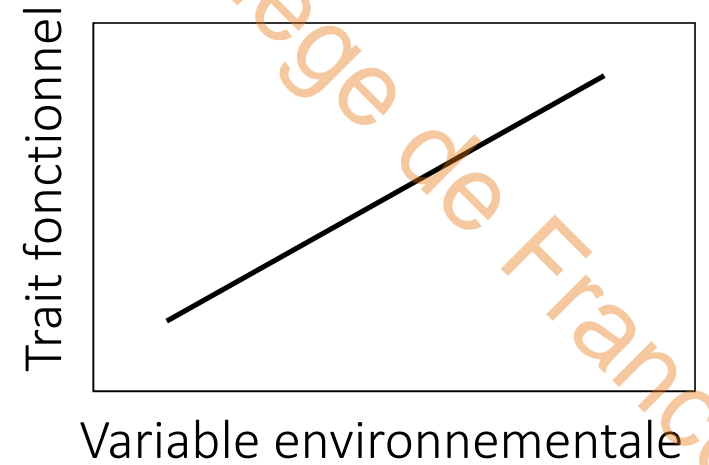
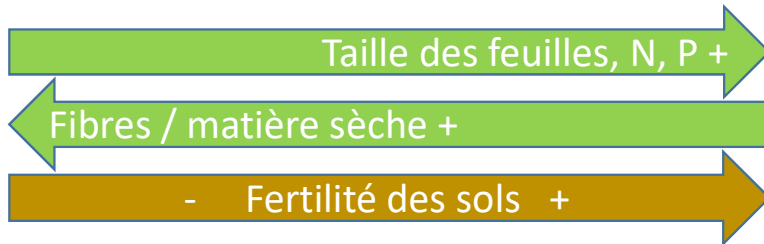
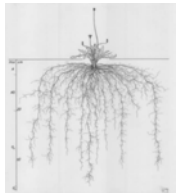
Masse surfacique  
Teneur en matière sèche, durée de vie

Métabolisme  
Azote foliaire

Fertilité des sols

Lucia Laorden

# Spectres de réponse aux facteurs physico-chimiques de l'environnement



S. Lavoie - Collège de France

# Traits de réponse : Perturbations locales

Espèces pionnières



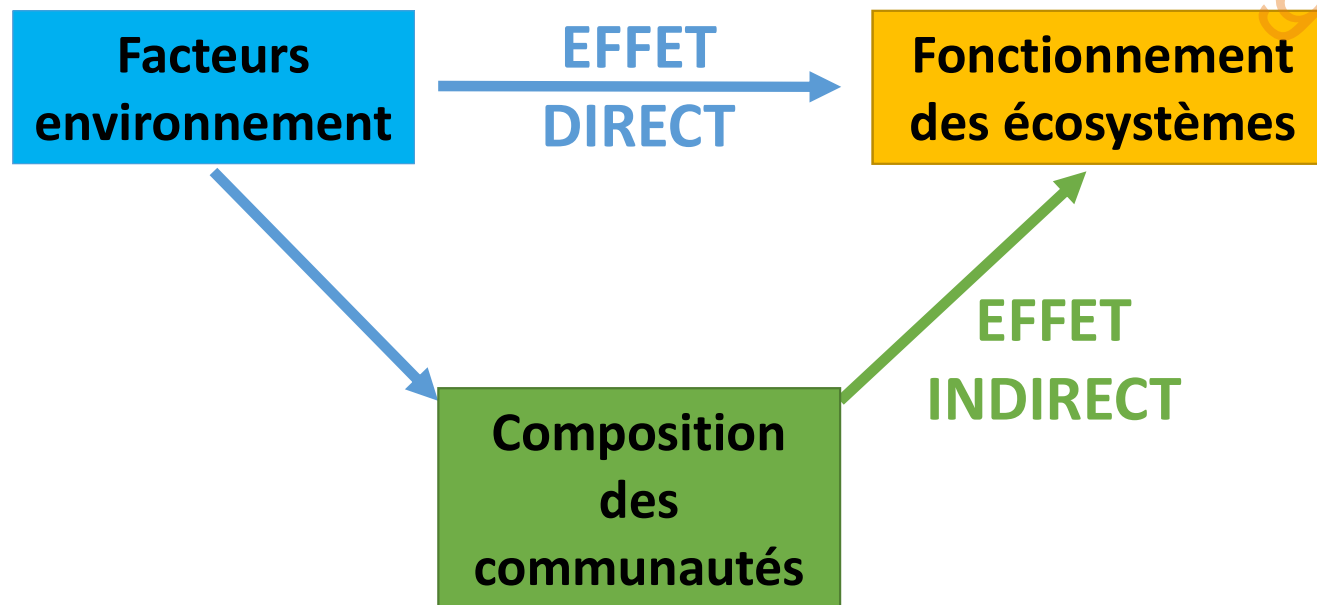
Espèces compétitrices



Temps (années)

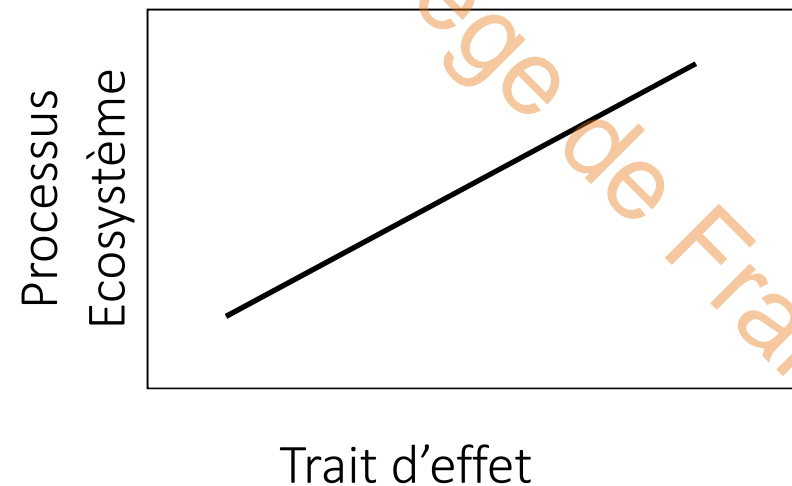


# Effets directs et indirects des changements environnementaux sur le fonctionnement des écosystèmes



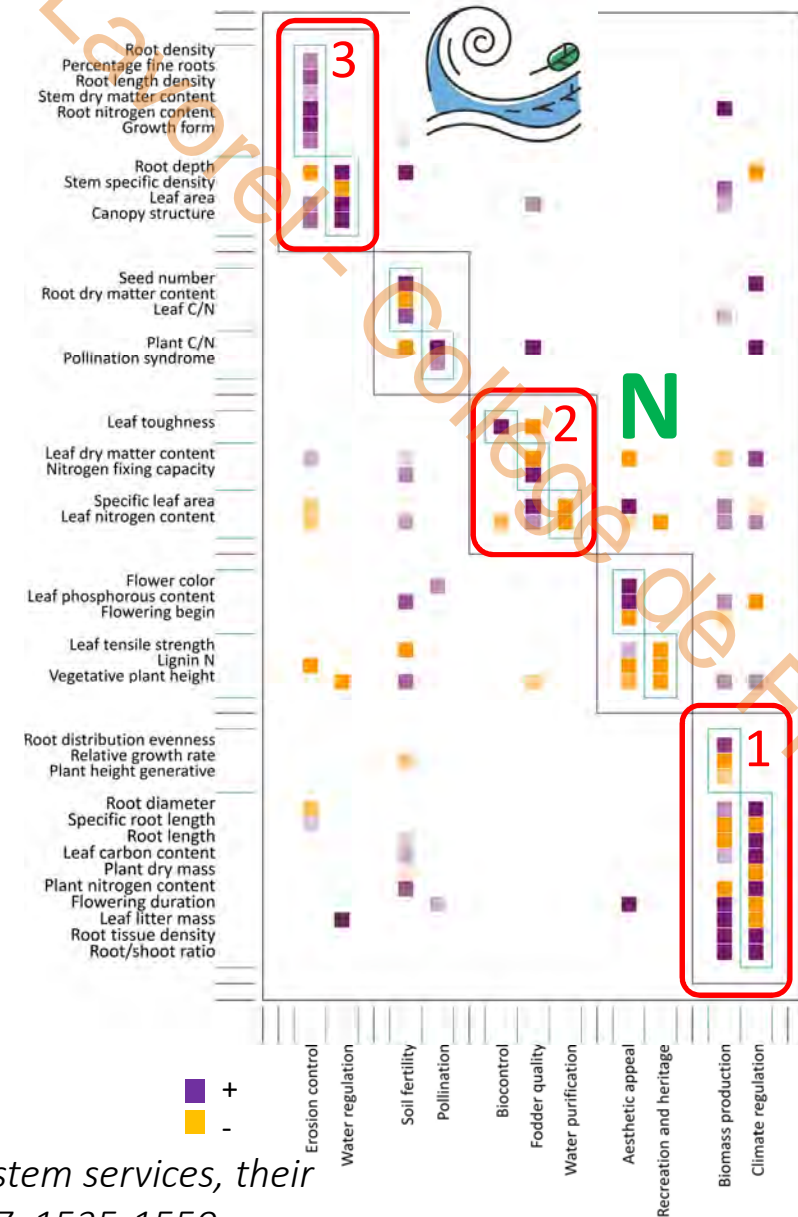
# Effets des traits fonctionnels sur le fonctionnement des écosystèmes

- **Caractéristiques mesurables sur les individus** par lesquels les organismes :
  - Consomment ou transforment des ressources
  - Modifient la structure physique de l'habitat
  - Modifient la chimie de l'environnement
  - Interagissent avec d'autres organismes



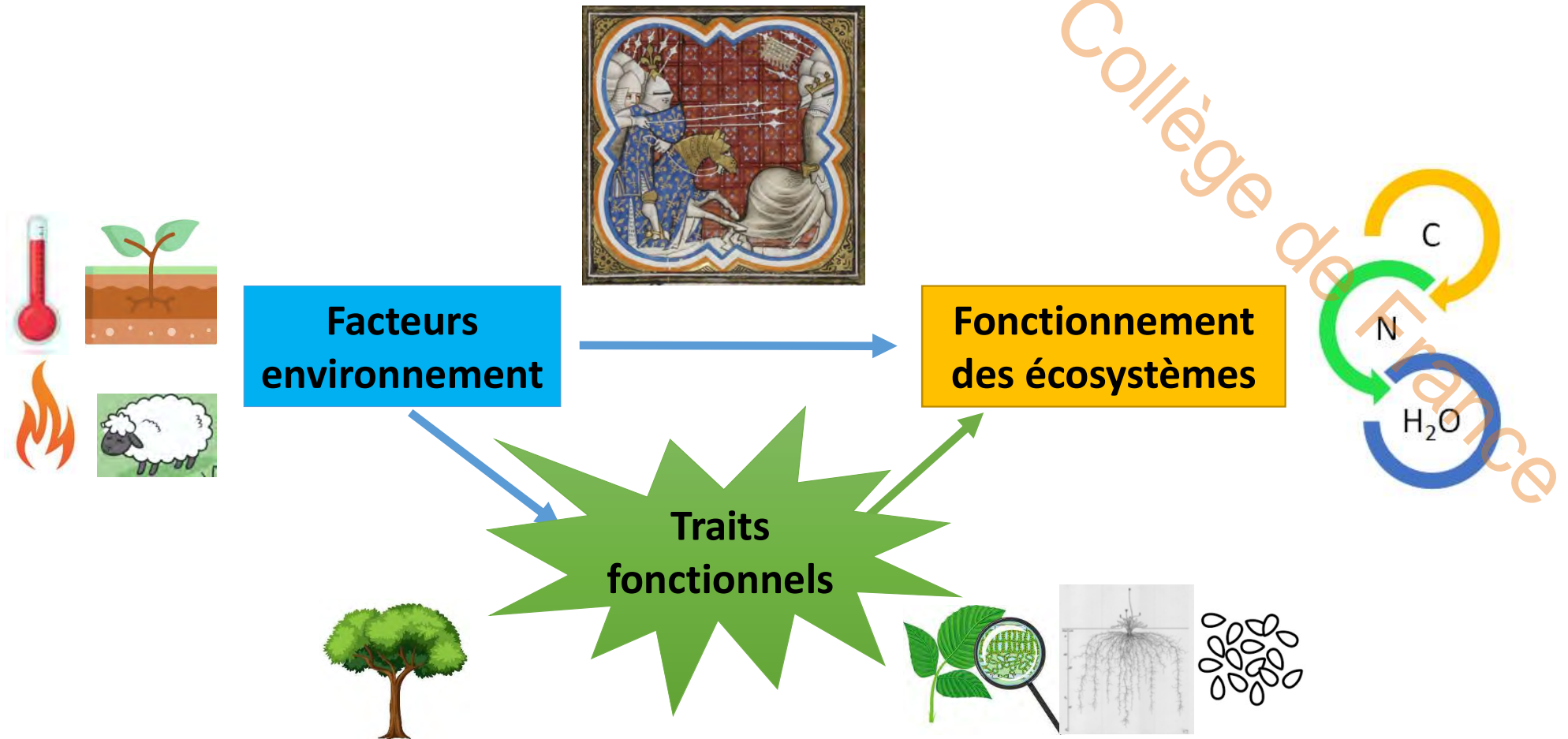
# Traits d'effet

1. Forte valeur prédictive des traits du spectre d'économie des plantes pour les fonctions directement liées à la production primaire
2. Spectre d'économie foliaire et nutriments
3. Traits architecturaux et régulation des flux liés à l'eau

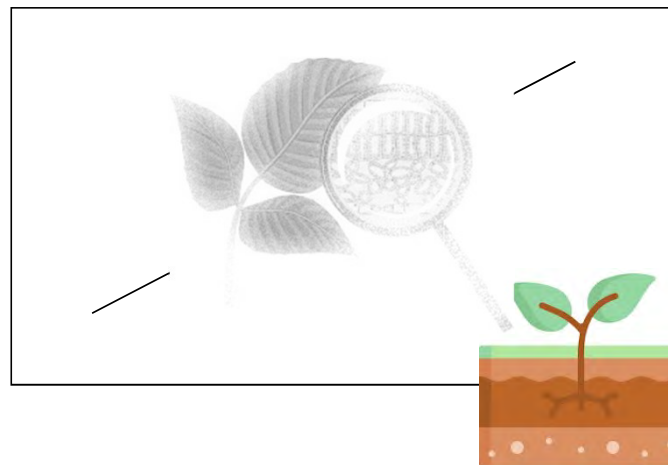
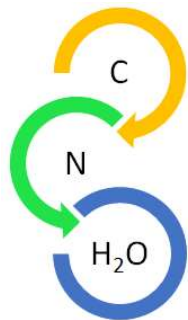
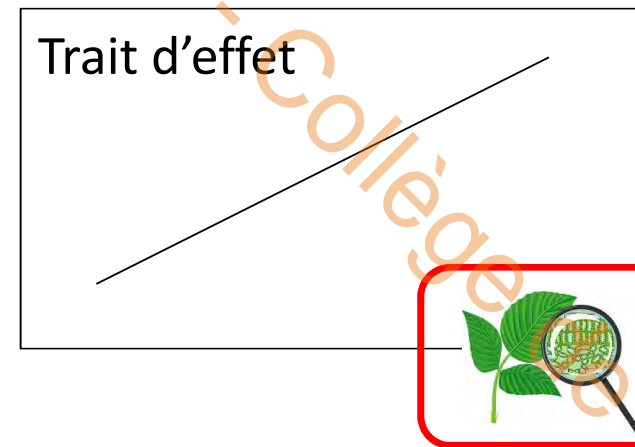
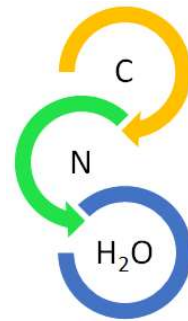
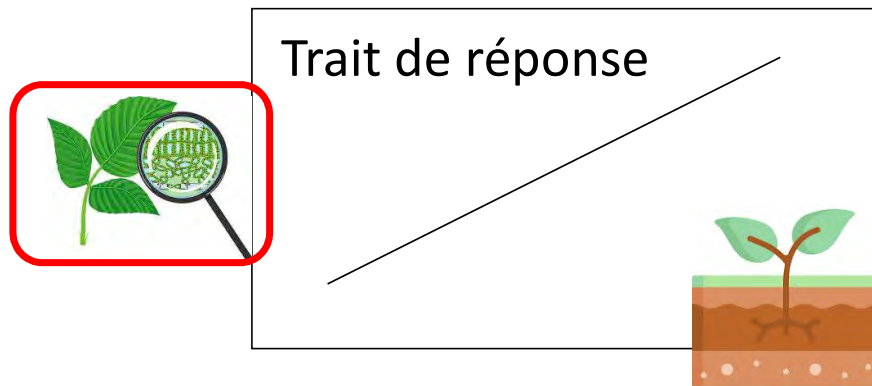


Hanisch, M et al. (2020) Plant functional traits shape multiple ecosystem services, their trade-offs and synergies in grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 57, 1535-1550.

# Les traits fonctionnels pour comprendre et prédire le fonctionnement des écosystèmes



# Utiliser les traits fonctionnels pour comprendre et prédire le fonctionnement des écosystèmes



# Méthodes

## Observer *in natura*

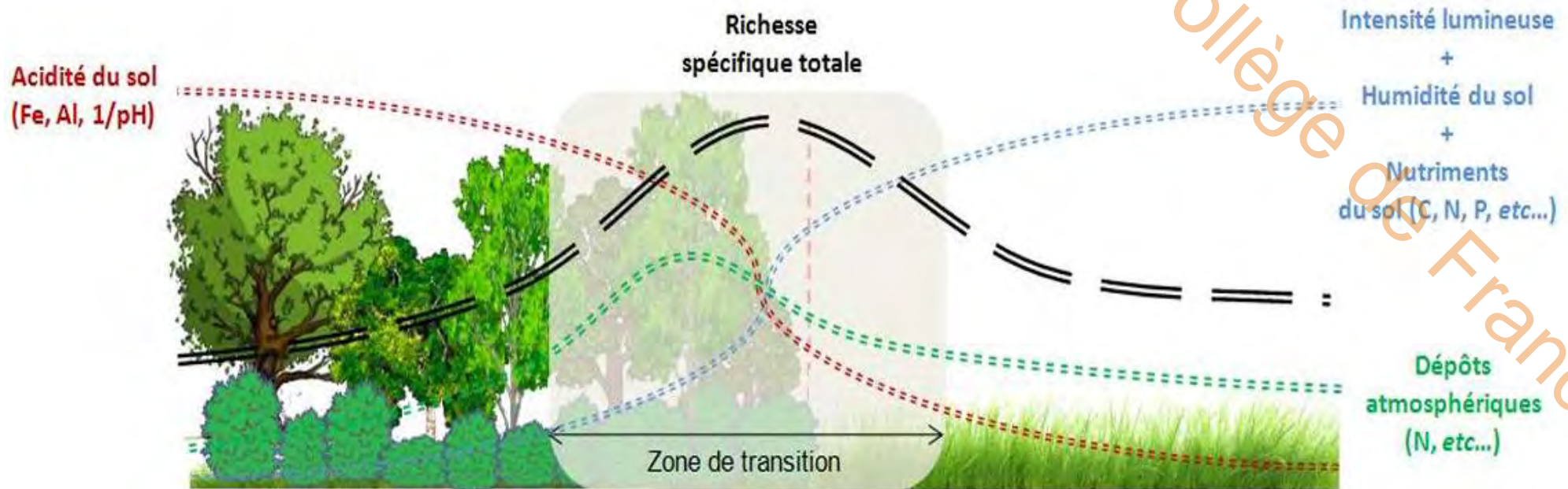


© Observatoire des forêts françaises  
Vue sur la forêt guyanaise depuis la Savane-roche Virginie

S. Lavoirel - Collège de France

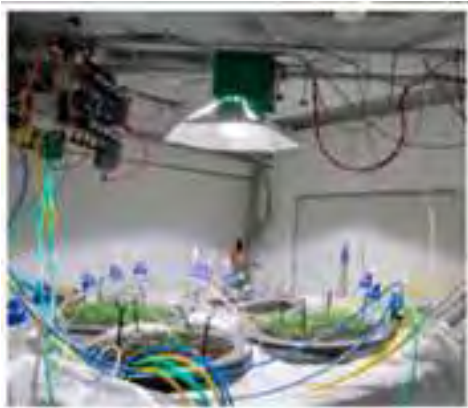
# Méthodes

## Observations sur des gradients écologiques



© Maxime Burst (2017) *Les communautés végétales des interfaces forêt-prairie et leur environnement face aux cas d'afforestation et de déforestation.* Thèse de Doctorat, Université de Lorraine.

# Expérimentations: manipulations de la composition des communautés et de facteurs environnementaux



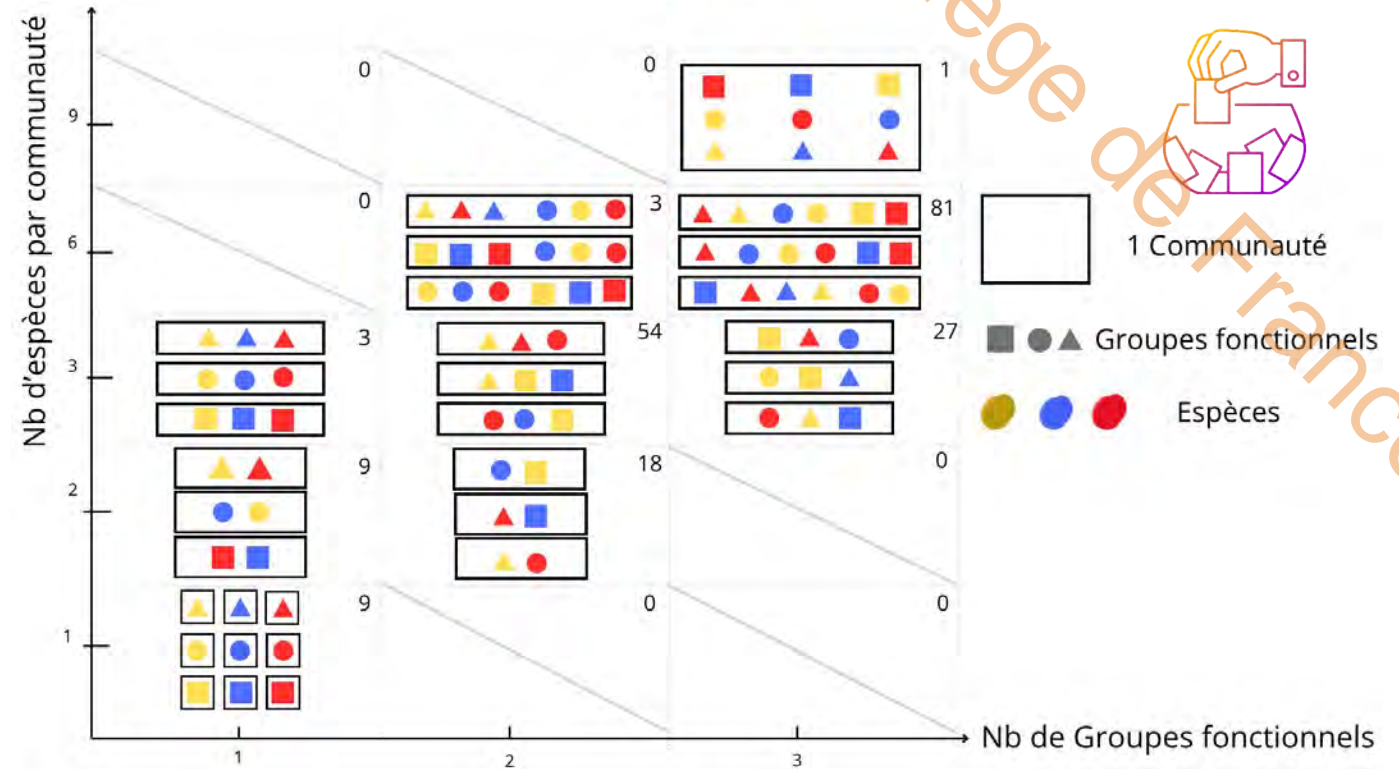
← Contrôle des conditions environnementales

→ Représentativité systèmes *in natura*

# Manipuler la biodiversité en conditions naturelles: les assemblages expérimentaux



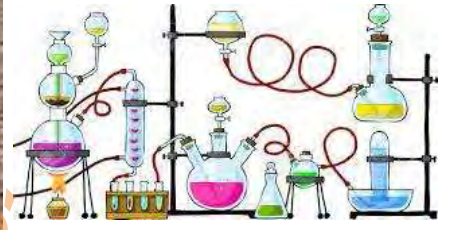
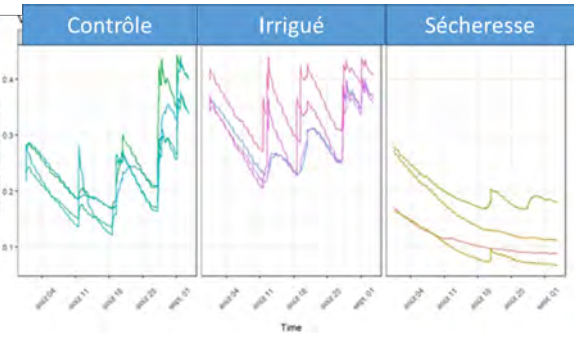
Créer un gradient de nombre croissant d'espèces en mélangeant différents groupes fonctionnels et en contrôlant les effets des espèces individuelles par des combinaisons aléatoires



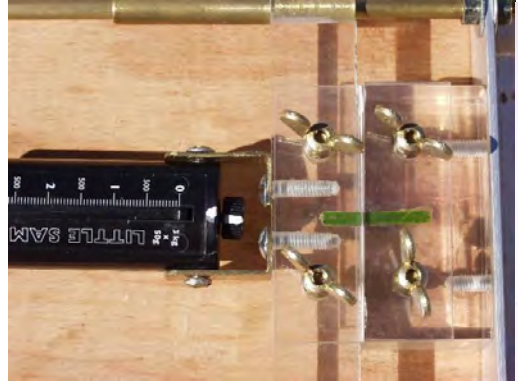
# Mesures

S. Lavorel - Collège de France

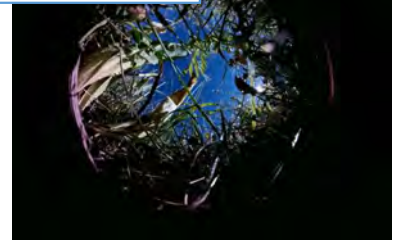
## ENVIRONNEMENT



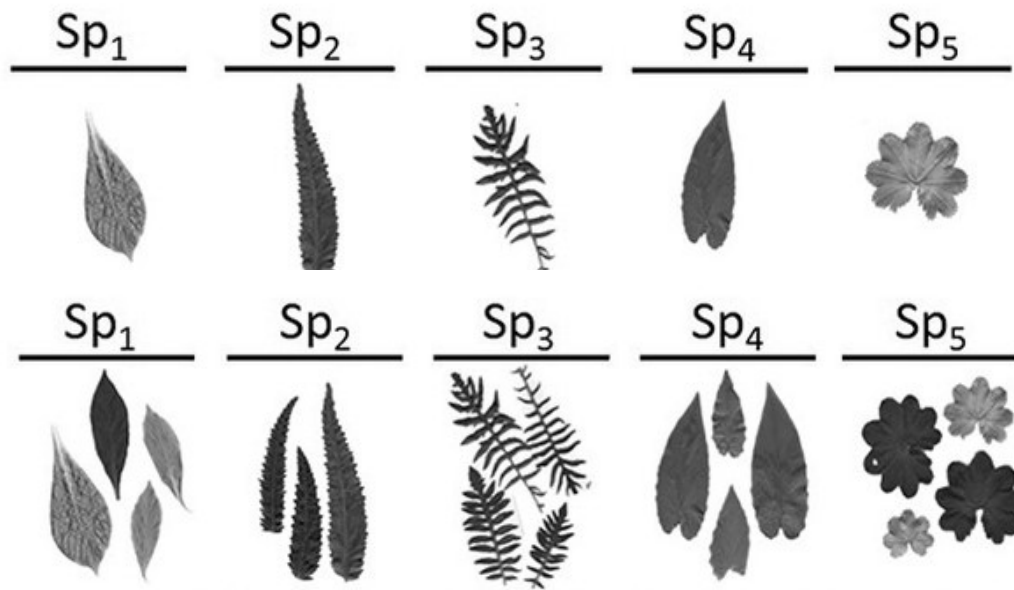
## TRAITS FONCTIONNELS



## PROCESSUS ECOSYSTEME

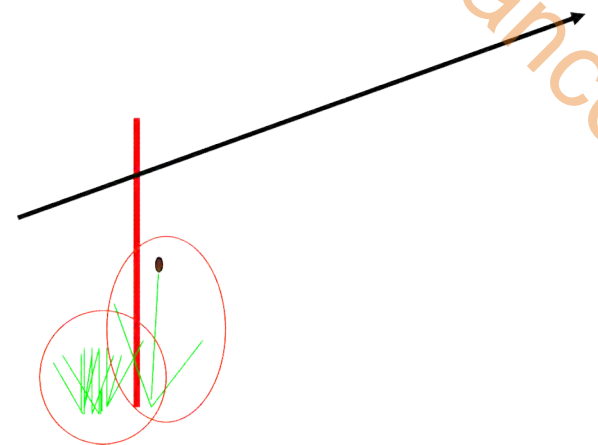


# Mesurer les traits fonctionnels : Variabilité intraspécifique



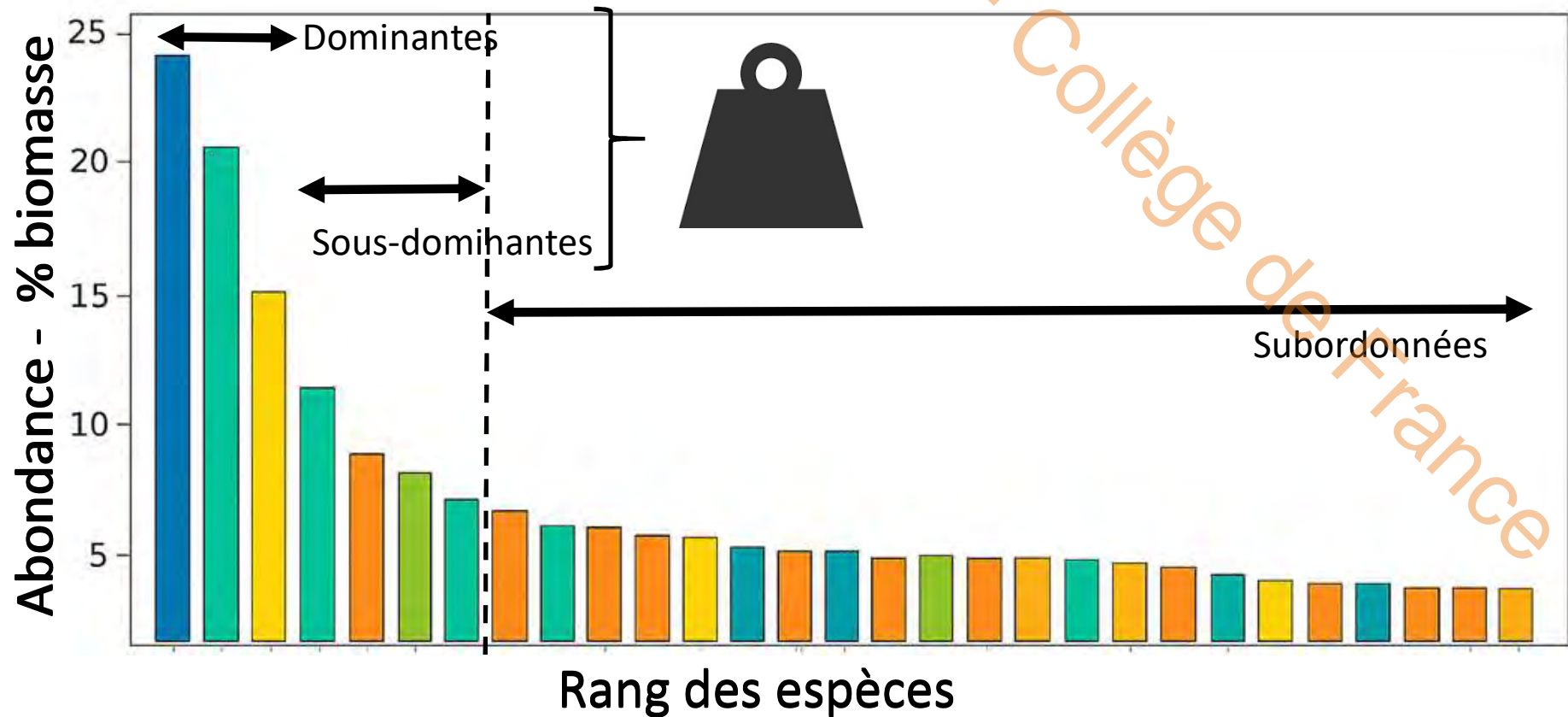
Variabilité intra < interspécifique  
Variable entre espèces  
Variable entre traits

Usage des bases de données



de Bello, F et al. (2021) *Intraspecific Trait Variability*.  
In: *Handbook of Trait-Based Ecology: From Theory to R Tools*.  
Cambridge University Press, 105-128

# Mécanisme primaire : Effet de masse



# Effets de masse



Moyenne pondérée des traits CWM =  $\sum_{i=1}^n p_i * trait_i$

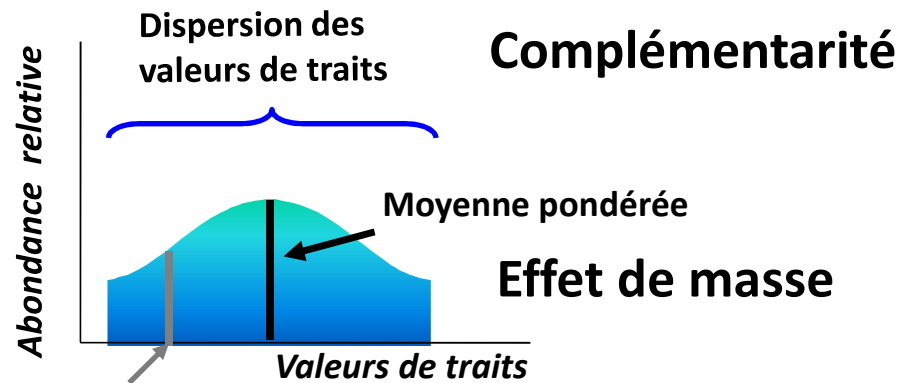
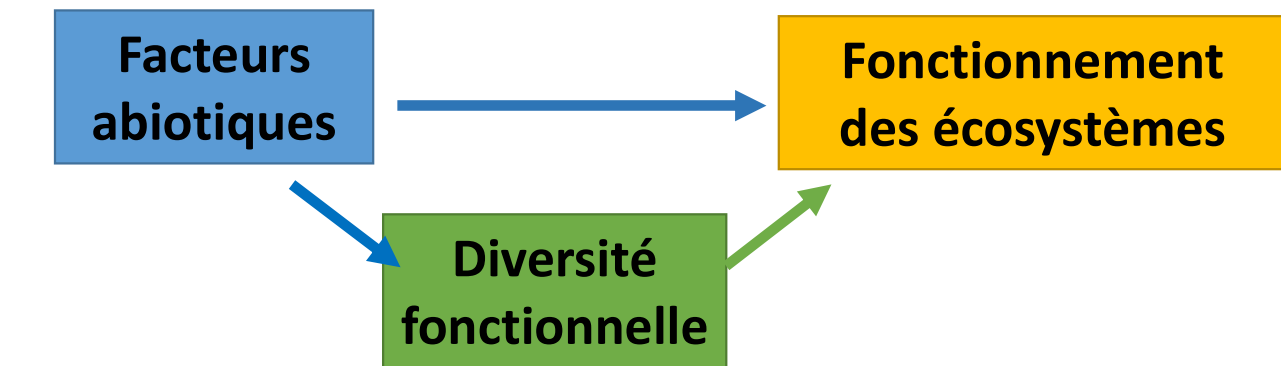


Eric Garnier, 2004

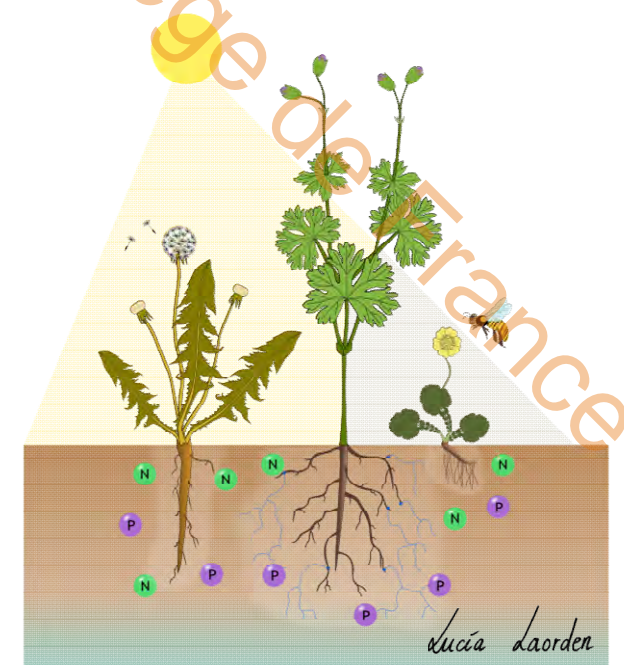


# Effets de la diversité fonctionnelle

S. Lavorel - Collège de France

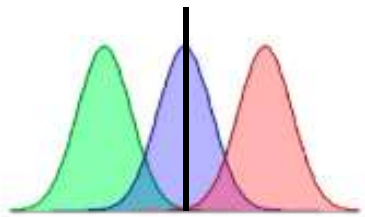


**Valeurs de taxa particuliers - idiosyncratie**

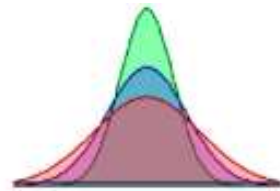


# Quantifier la diversité fonctionnelle

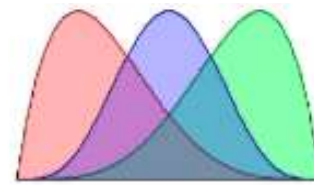
## Moments de la distribution des valeurs de traits dans la communauté



Moyenne  
~ Dominance



Variance  
~ Divergence  
Complémentarité



Asymétrie (*skewness*)  
~ Rareté  
Compétition



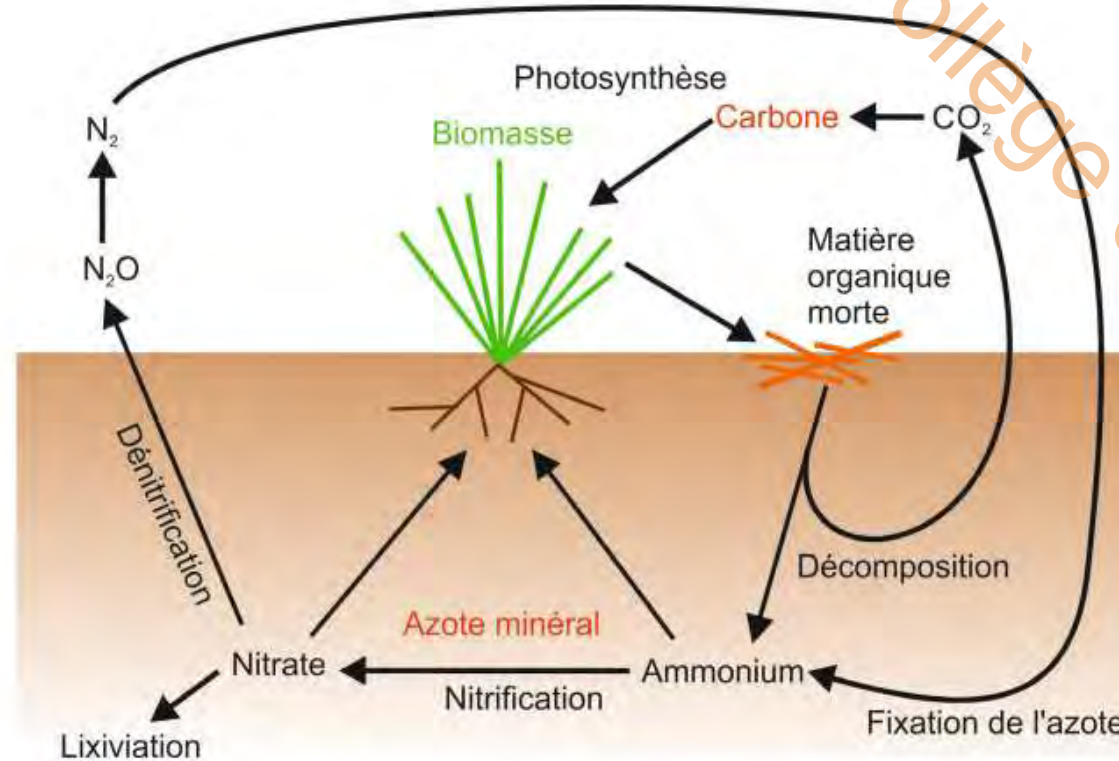
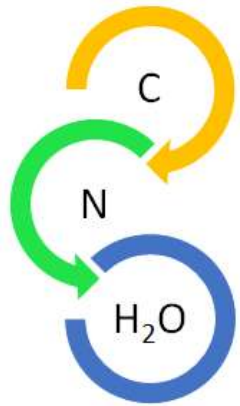
Aplatissement (*kurtosis*)  
~ Equitabilité  
Coexistence

*Le Bagousse-Pinguet, Y et al. (2021) Functional rarity and evenness are key facets of biodiversity to boost multifunctionality. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118, e2019355118.*

*Gross, N et al. (2021) Unveiling ecological assembly rules from commonalities in trait distributions. Ecology Letters, 24, 1668-1680*

# Modèles réponse-effets

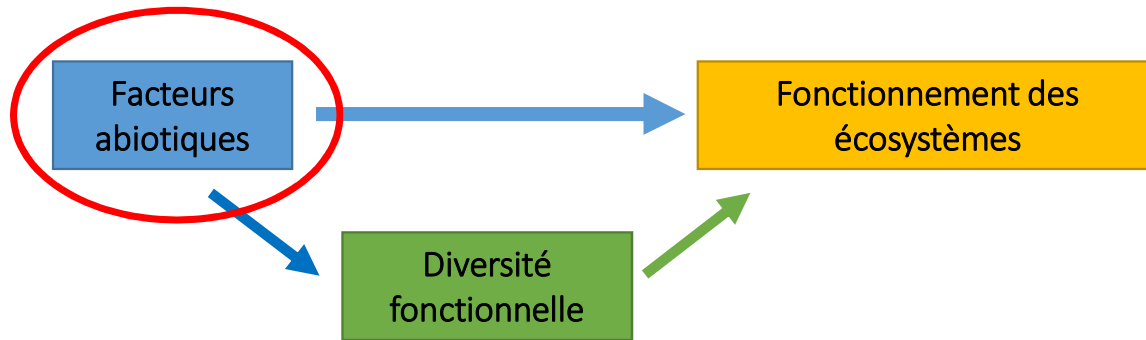
## Recyclage du carbone et des nutriments



© Sébastien Barot

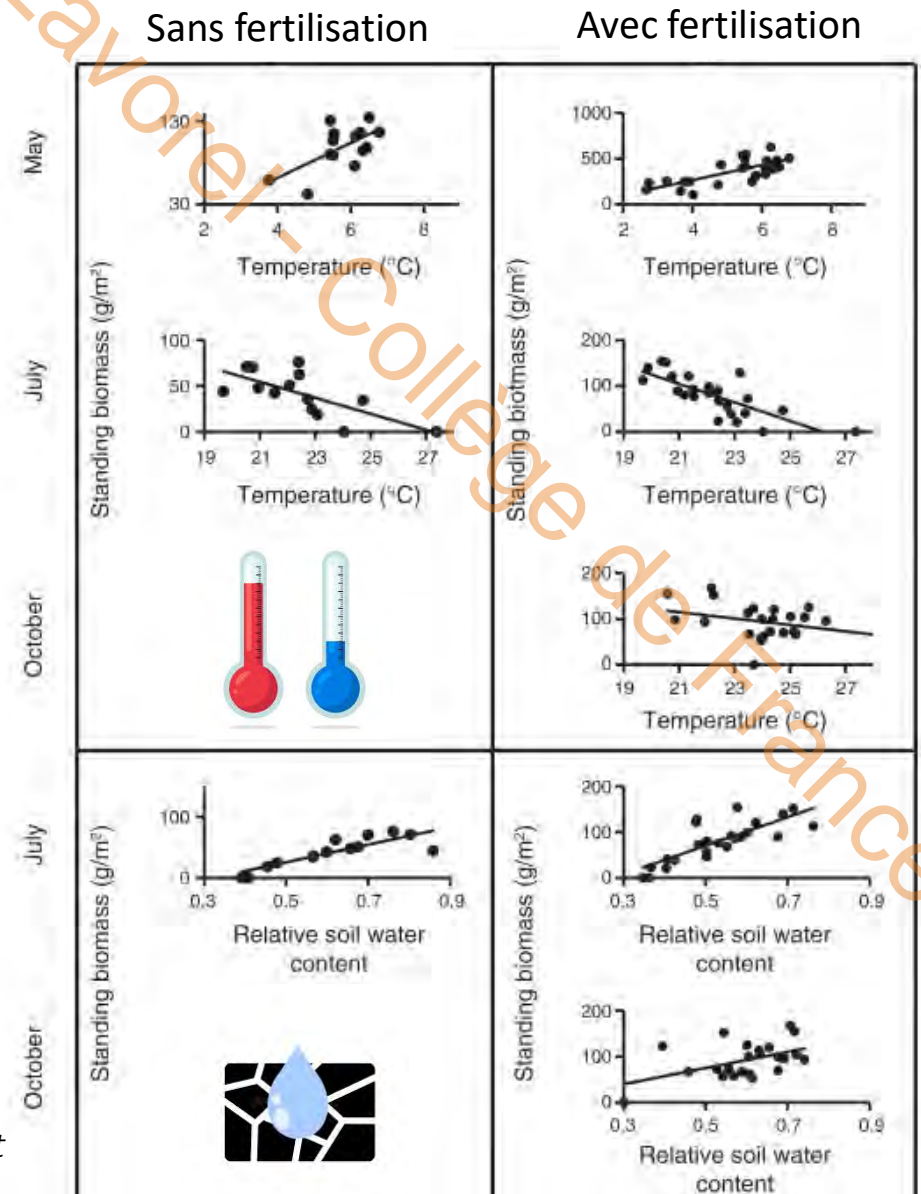
# Production primaire

## Effets directs



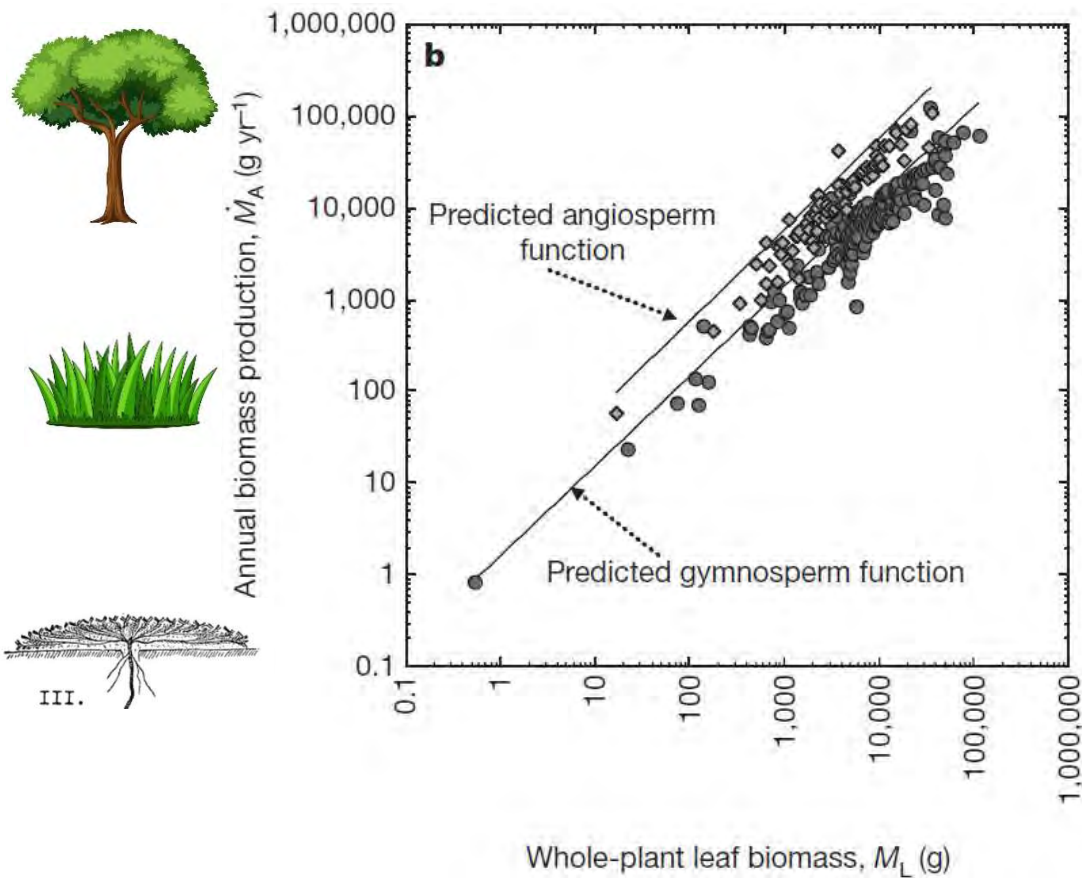
Suivi pendant 25 ans

- **Printemps:**  
Limitation par la température et l'humidité du sol
- **Été & automne:**  
Limitation par la chaleur et l'humidité du sol



Chollet, S et al. (2014) Combined effects of climate, resource availability, and plant traits on biomass produced in a Mediterranean rangeland. *Ecology*, 95, 737-748

# Mécanisme d'effets des traits fonctionnels : relations d'allométrie à l'échelle des espèces

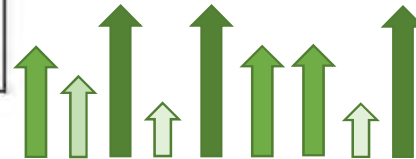
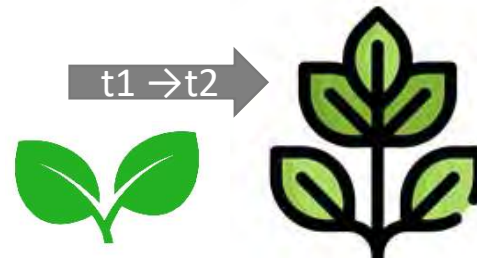
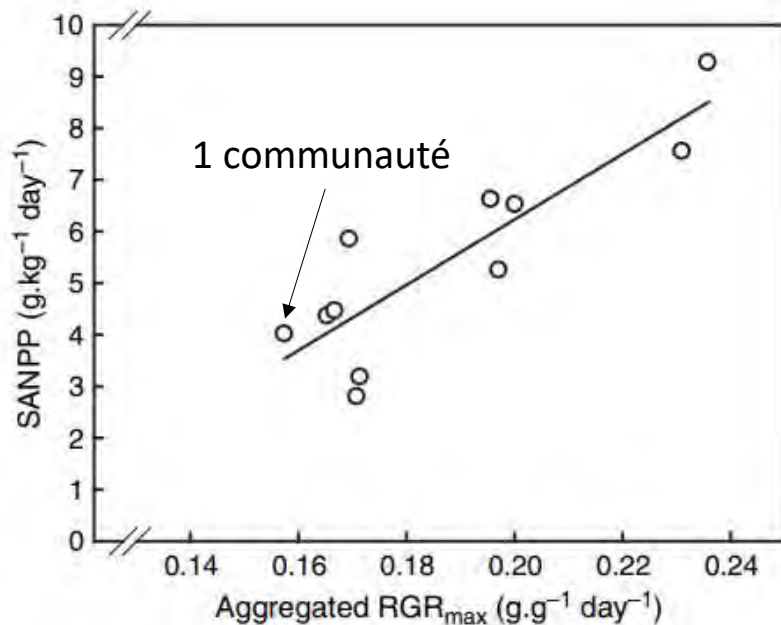


Productivité primaire des végétaux supérieurs expliquée par une relation à leur masse foliaire totale



# Mécanisme d'effets des traits fonctionnels sur la production primaire des communautés

Taux spécifique d'accumulation de la biomasse =  
production de biomasse / durée de croissance



Taux de croissance relative

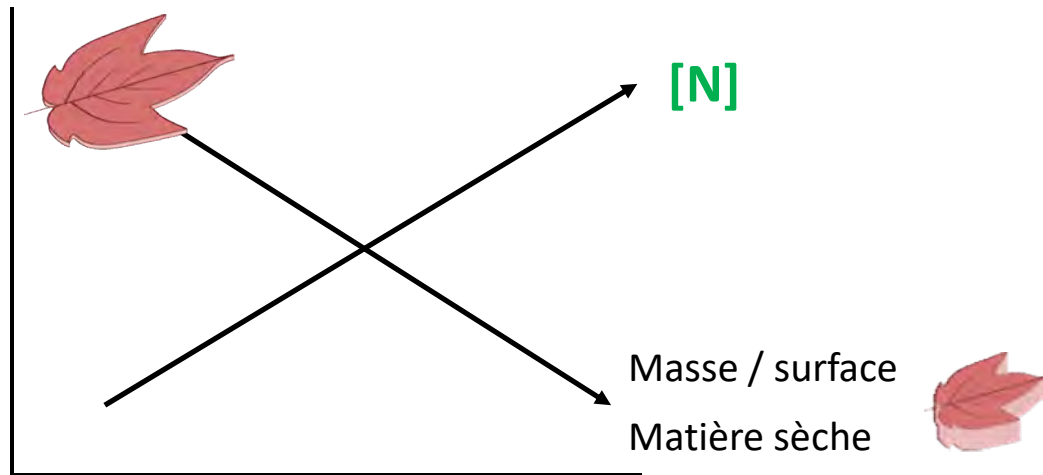
$$RGR = \frac{(\log M2 - \log M1)}{(t1 - t2)}$$

$$NPP = \frac{\sum_{i=1}^{n_{species}} N_i \times M_{o_i} \times (e^{RGR_i \times (t_f - t_o)_i} - 1)}{\Delta T}$$

Vile, D et al. (2006) Ecosystem productivity relates to species' potential relative growth rate: a field test and a conceptual framework. *Ecology Letters*, 9, 1061-1067

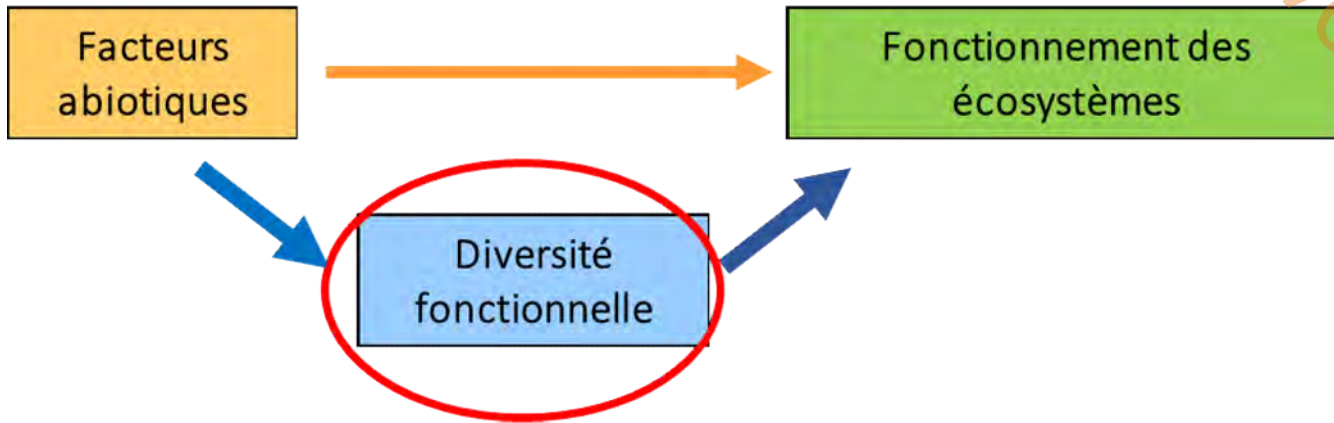
# Effets des traits foliaires sur la production primaire des communautés

Taux spécifique d'accumulation de la biomasse =  
production de biomasse / durée de croissance



Garnier, E et al. (2004) Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology*, 85, 2630-2637

S. Lavoirel - Collège de France



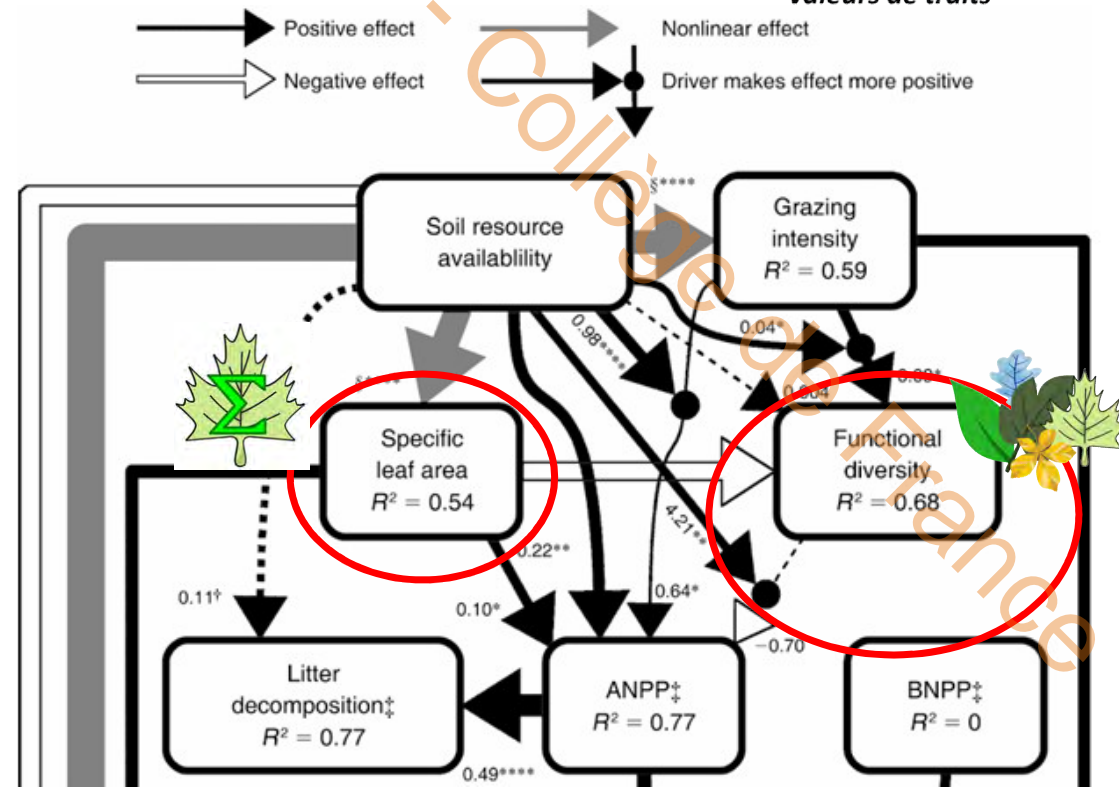
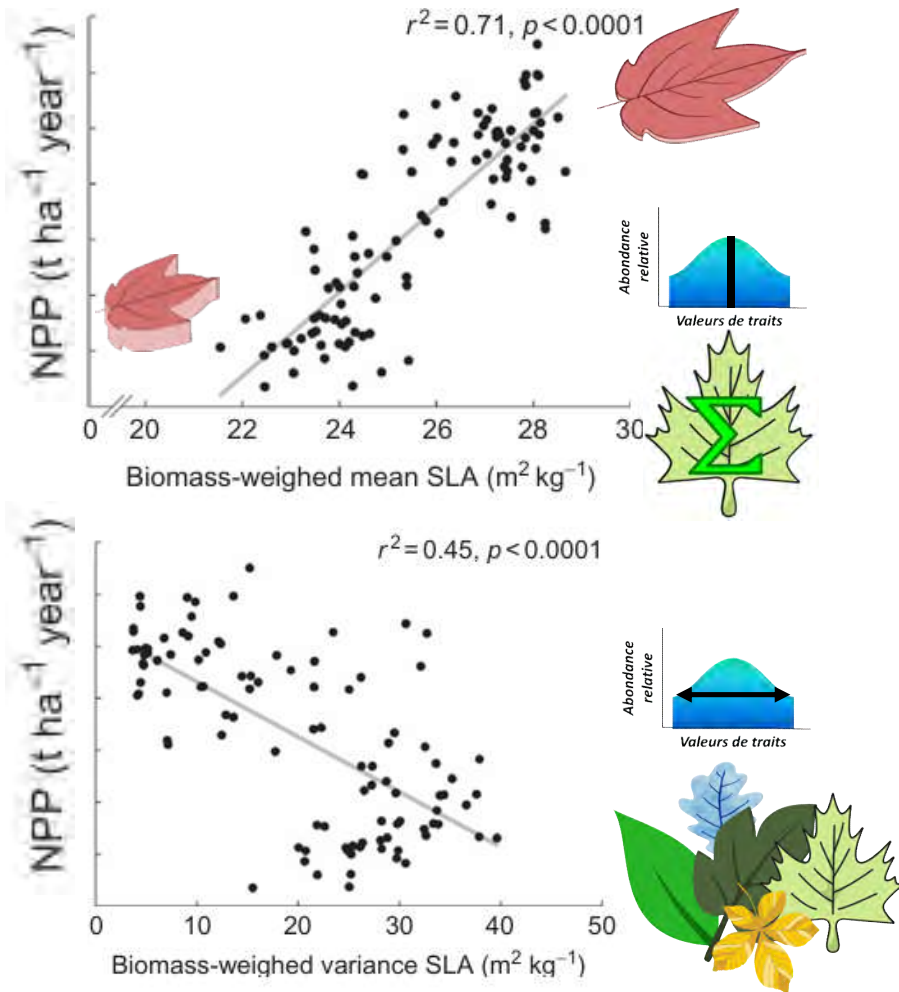
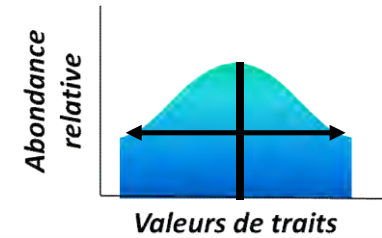
Pousse estivale : stratégie exploitatrice  
Repousse automnale : diversité des types de feuilles



Pousse printanière : couverts homogènes  
Repousse automnale : petites espèces

Chollet, S et al. (2014) Combined effects of climate, resource availability, and plant traits on biomass produced in a Mediterranean rangeland. *Ecology*, 95, 737-748

# Effets de la diversité fonctionnelle : gradients environnementaux *in natura*



Laliberté, E. & Tylianakis, J.M. (2012) Cascading effects of long-term land-use changes on plant traits and ecosystem functioning. *Ecology*, 93, 145-155

# Manipulations expérimentales de diversité



## **Dominance:**

Effet de masse des grandes espèces pérennes, exploitatrices d’N, racines profondes

## **Complémentarité avec les légumineuses:**

Diversité des teneurs en N foliaires

## **Identité:**

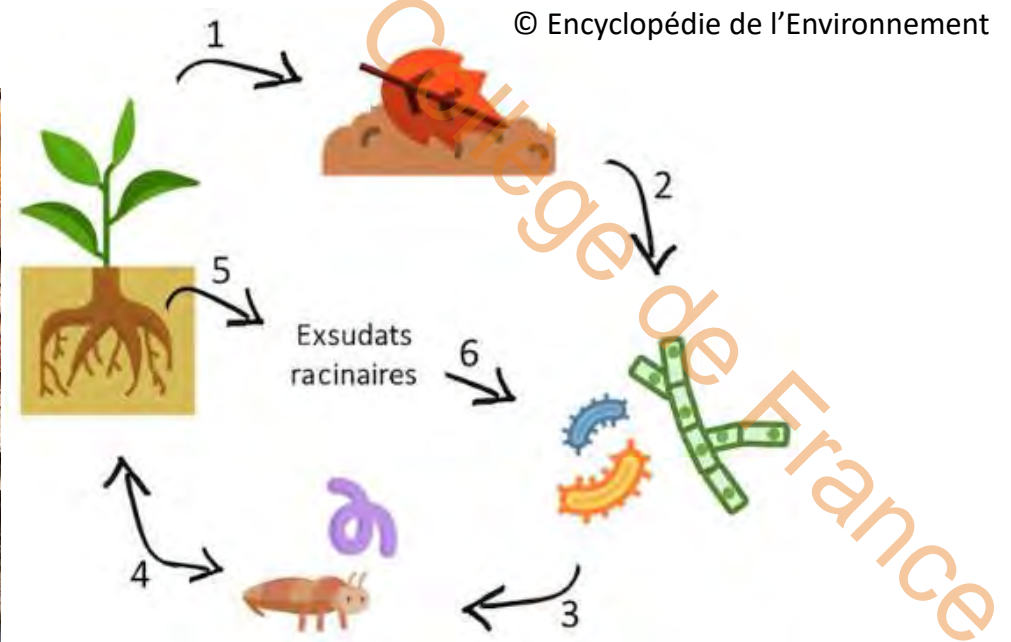
Légumineuses et grandes dicotylédones

Graminée dominante: *Arrhenatherum elatius*

## **Effets via l’augmentation du C du sol**

Roscher, C et al. (2012) Using Plant Functional Traits to Explain Diversity–Productivity Relationships. *PLoS One*, 7, e36760  
Dietrich, P et al. (2023) Linking plant diversity–productivity relationships to plant functional traits of dominant species and changes in soil properties in 15-year-old experimental grasslands. *ecology and evolution*, 13, e9883

# Effets des traits foliaires sur la décomposition des litières - mécanisme fonctionnel



N

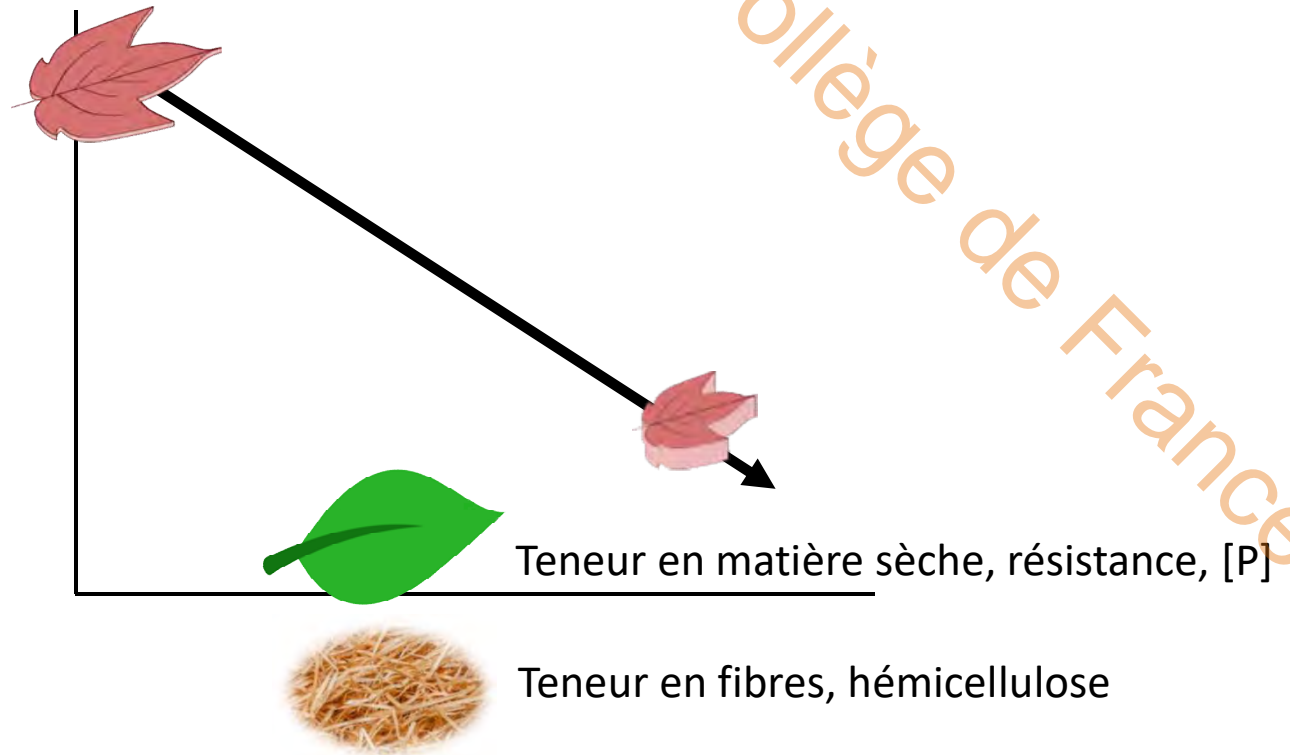


# Relations traits foliaires - décomposabilité

## Echelle de l'espèce



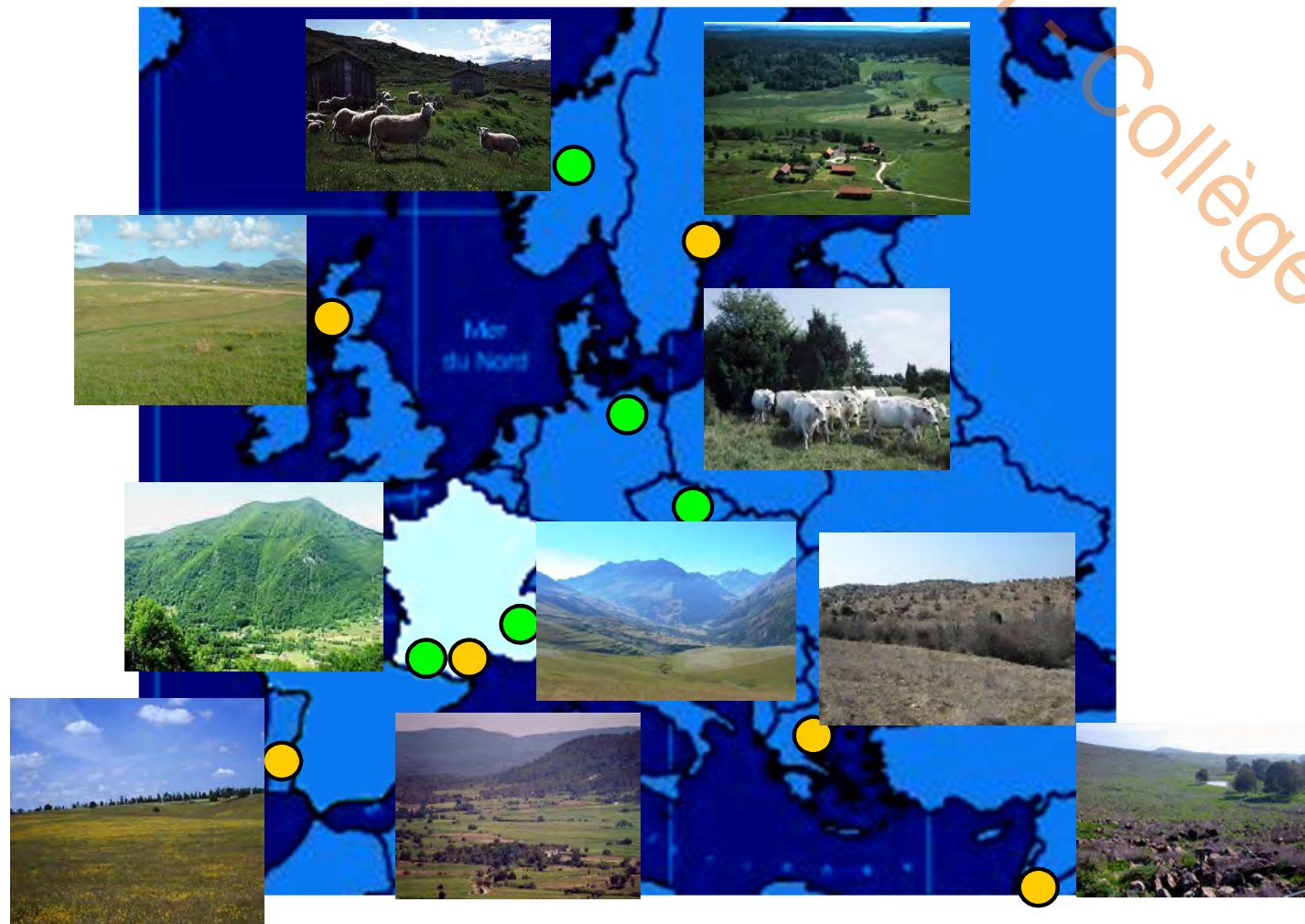
Vitesse de décomposition



Kazakou, E et al. (2009) Litter quality and decomposability of species from a Mediterranean succession depend on leaf traits but not on nitrogen supply. *Annals of Botany*, 104, 1151-1161

# Relations traits foliaires - décomposabilité

## Echelle des communautés



S. Lavoirel - Collège de France

# Réponses des traits fonctionnels des communautés à la gestion

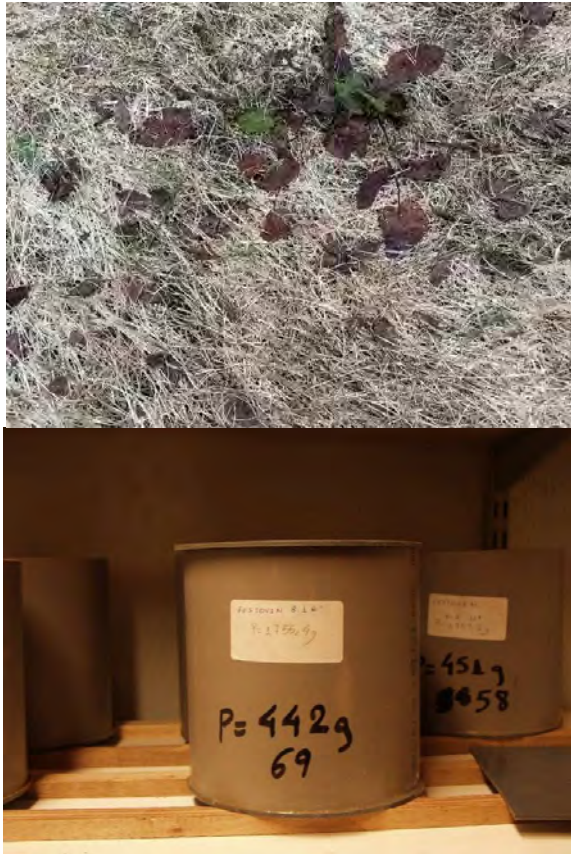
Teneur en matière sèche des feuilles



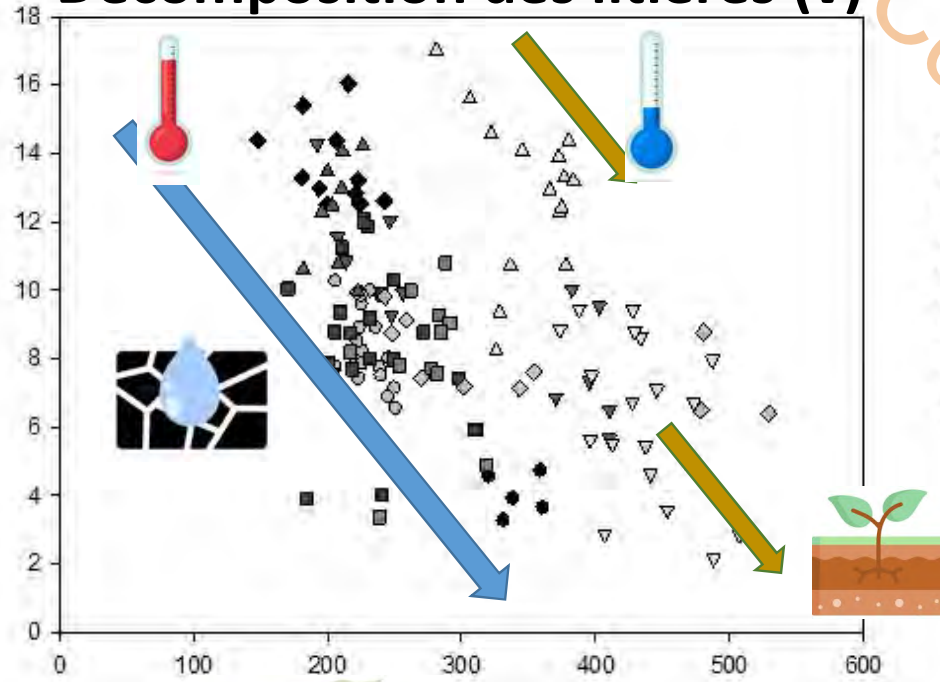
+ Intensité de la gestion -



# Relations traits foliaires - décomposabilité à l'échelle des communautés



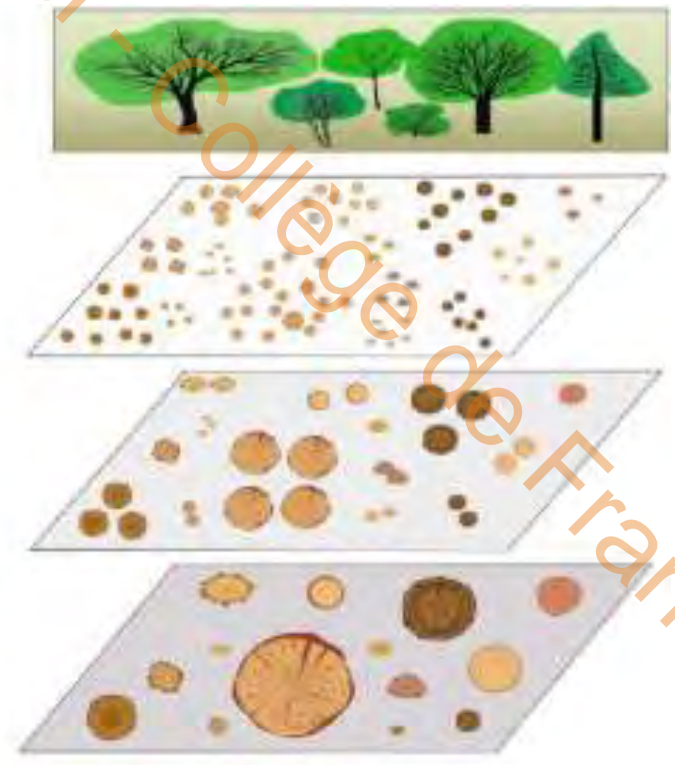
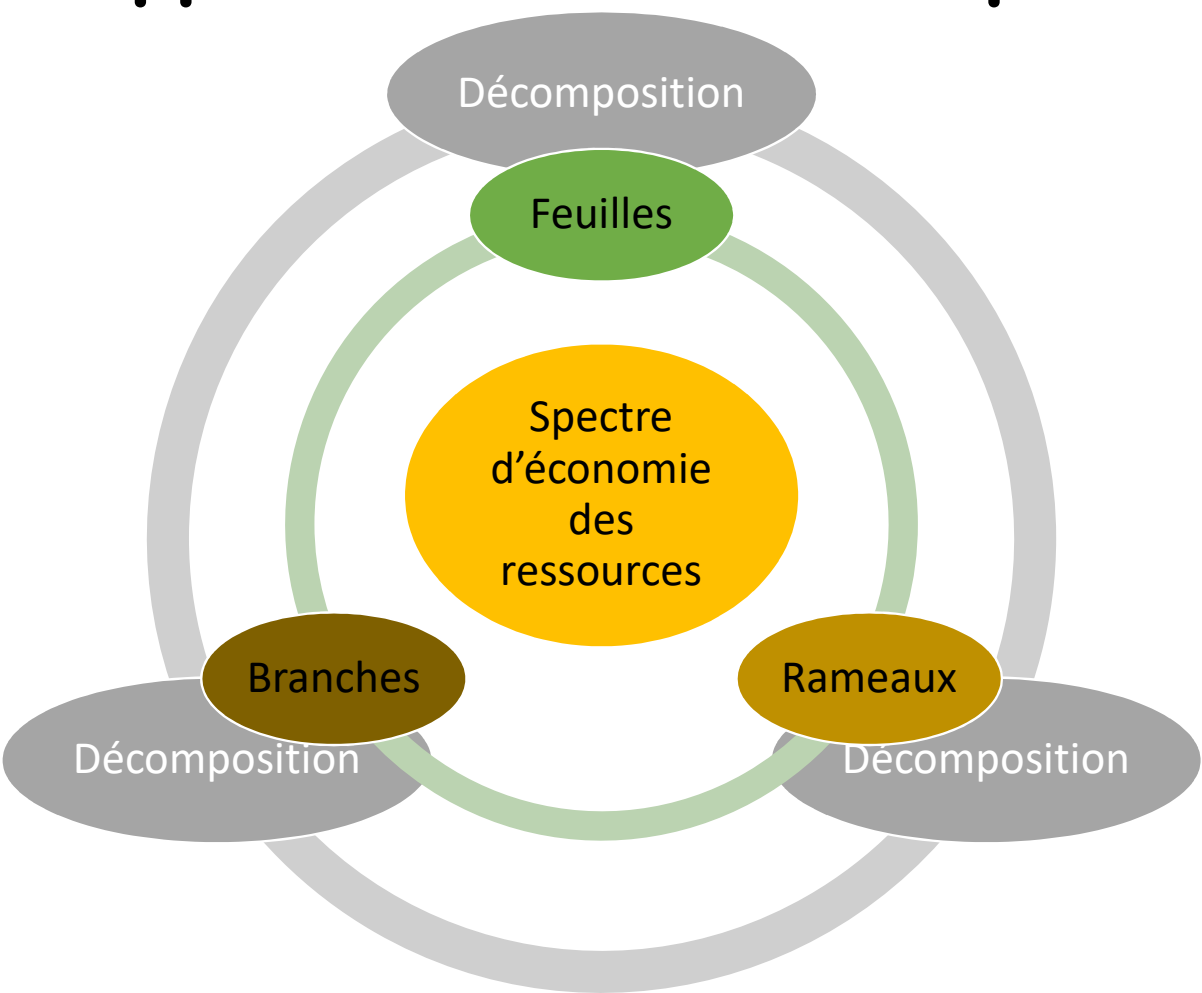
Décomposition des litières (v)



Teneur en matière sèche ~ lignine : N

Fortunel, C et al. (2009) Plant functional traits capture the effects of land use change and climate on litter decomposability of herbaceous communities in Europe and Israel. *Ecology*, 90, 598-611

# Application à la décomposition des ligneux



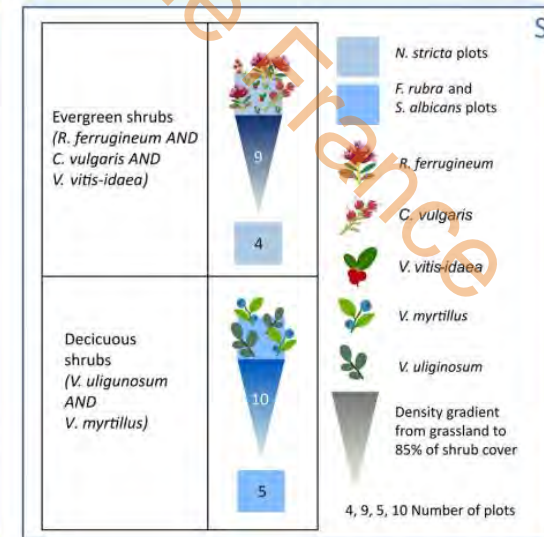
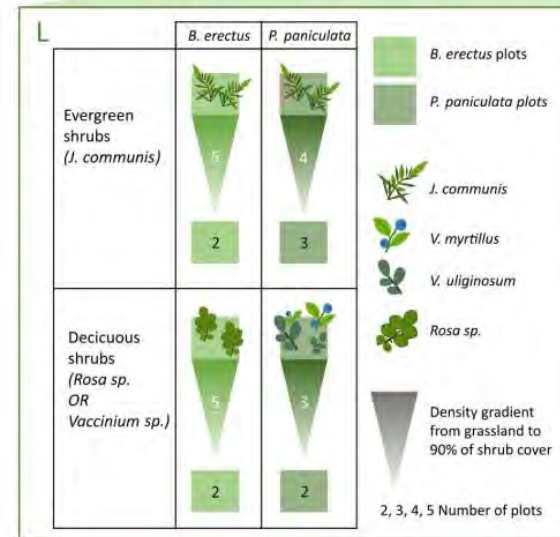
Zuo, J et al. (2018) *Is there a tree economics spectrum of decomposability?* *Soil Biology and Biochemistry*, 119, 135-142

Guo, C et al. (2022) *Size matters for linking traits to ecosystem multifunctionality.* *Trends in Ecology & Evolution*, 37, 803-813

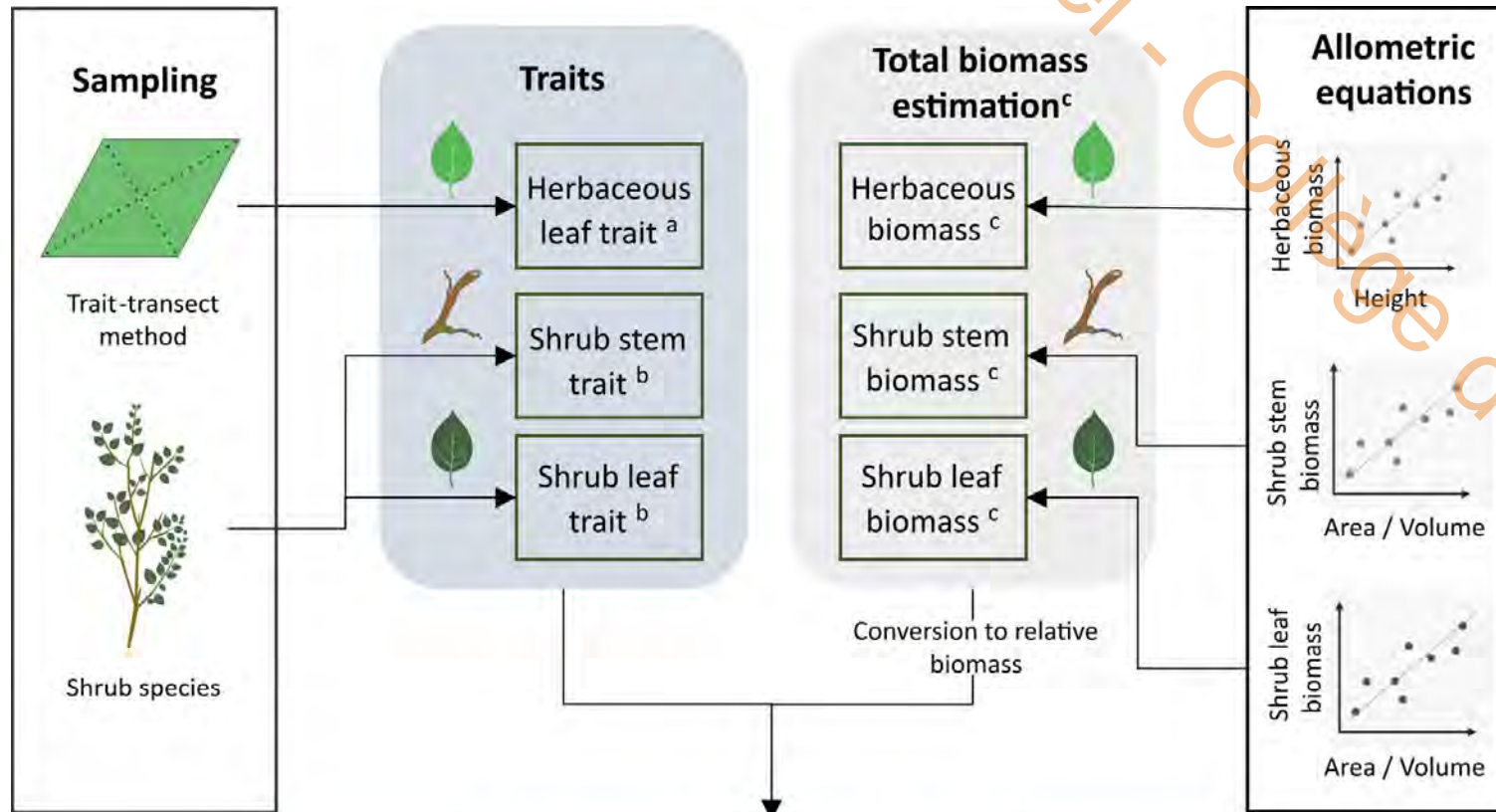
# Effets des végétations ligneuses sur les fonctions des sols



Gradients d'abondance de différentes espèces de ligneux bas  
Différents types de prairies



# Rendre compte des différences entre organes: Allométrie



**Moyennes des traits  
pondérées par la distribution  
de la biomasse**

## Community weighted mean (CWM)

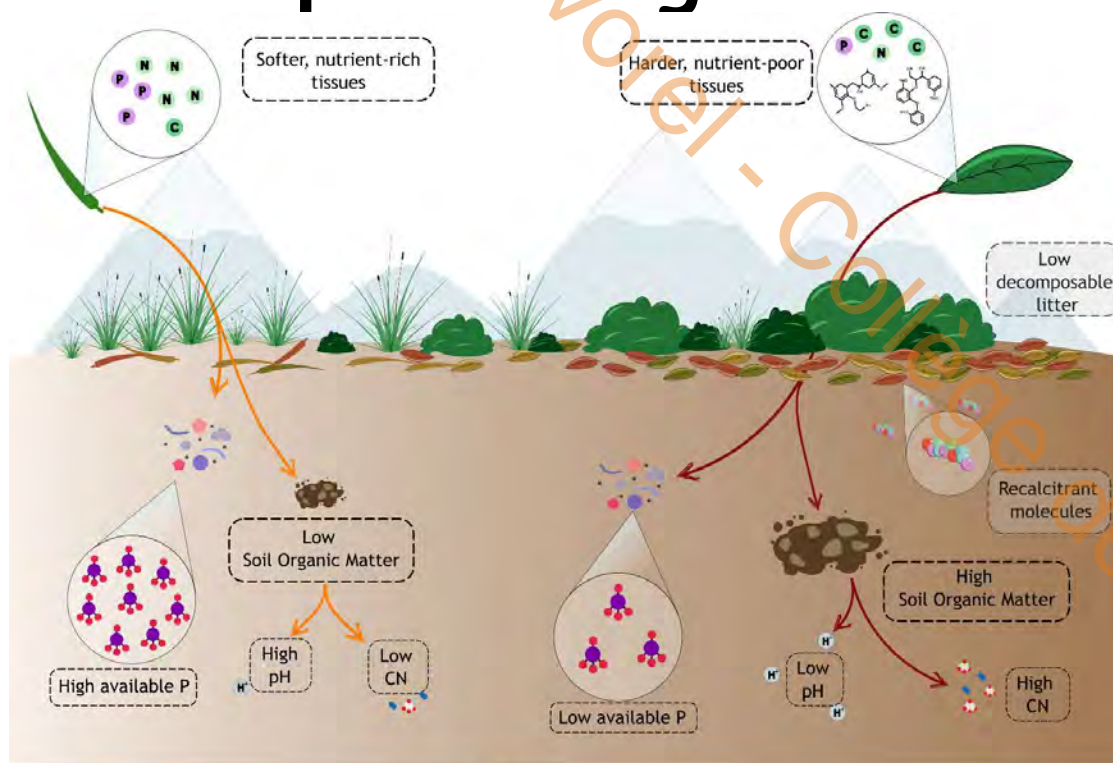
$$CWM^c = (\text{trait} \times \% \text{biomass})_{\text{herbaceous}} + (\text{trait} \times \% \text{biomass})_{\text{shrub}_1 \text{ stem}} + (\text{trait} \times \% \text{biomass})_{\text{shrub}_1 \text{ leaf}} + \dots + (\text{trait} \times \% \text{biomass})_{\text{shrub}_n \text{ stem}} + (\text{trait} \times \% \text{biomass})_{\text{shrub}_n \text{ leaf}}$$

# Comment la colonisation par les ligneux modifie le sol

Traits économie des ressources

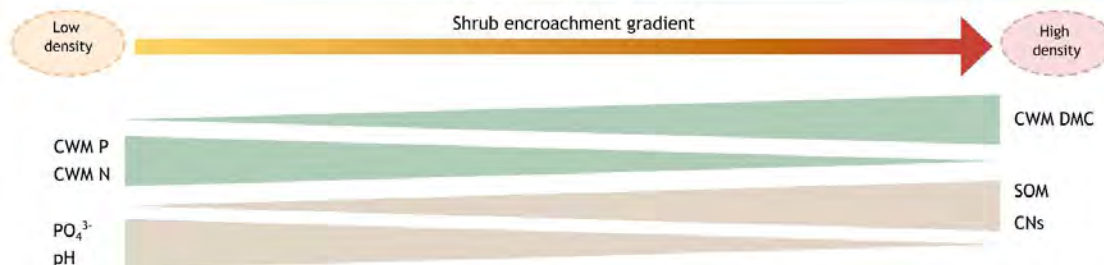
Matière organique du sol

Nutriments du sol



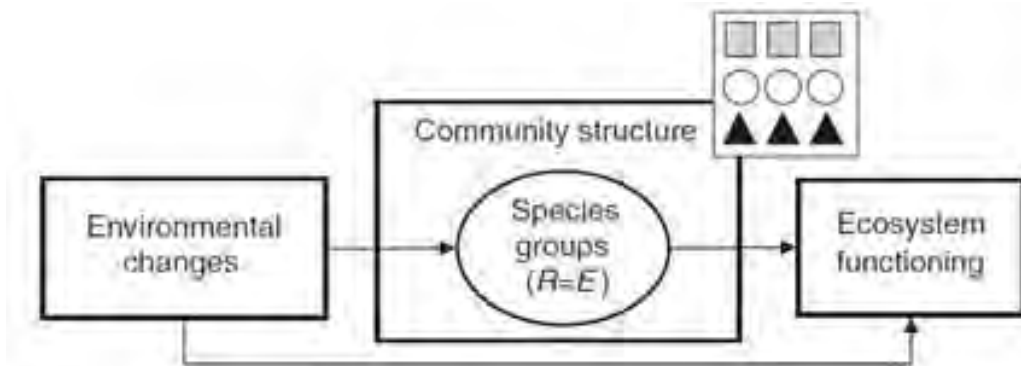
Traits économie des ressources

Propriétés des sols

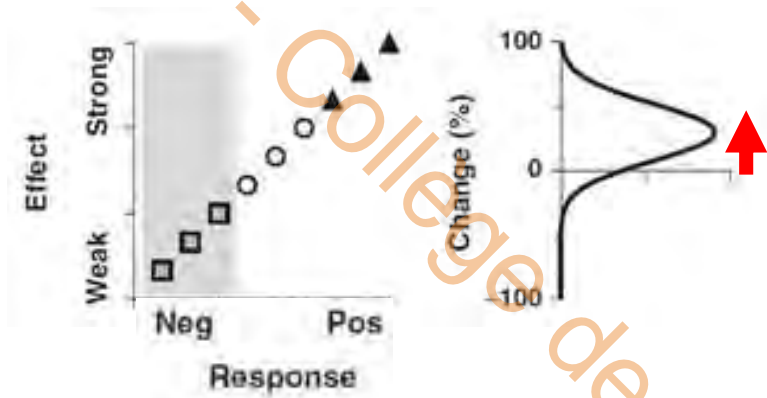


Laorden-Camacho, L., et al. (2025) Shrub encroachment modifies soil properties through plant resource economics traits. *Plant and Soil*, 514, 2083–2104

# Synthèse



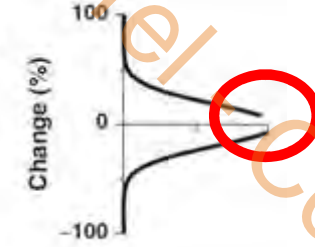
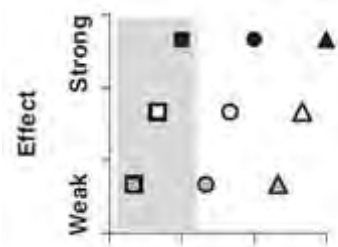
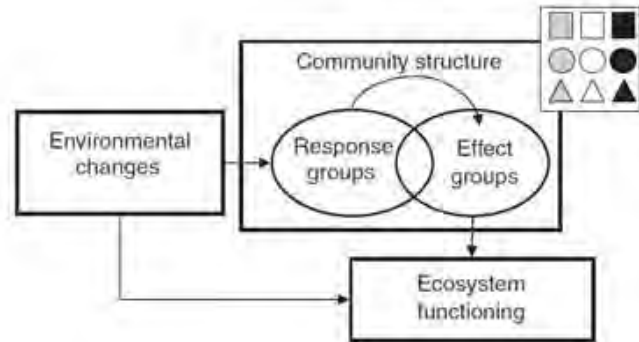
Suding, KN et al. (2008) *Global Change Biology*, 14, 1125-1140



- Le spectre d'économie des ressources détermine la réponse à la disponibilité en ressources ET les effets sur les fonctions de production et de recyclage du carbone et des nutriments
- Effets de masse majoritaires ~ traits moyens des communautés
- Effets de la diversité fonctionnelle moins bien établis, positifs (complémentarité) ou négatifs (compétition)

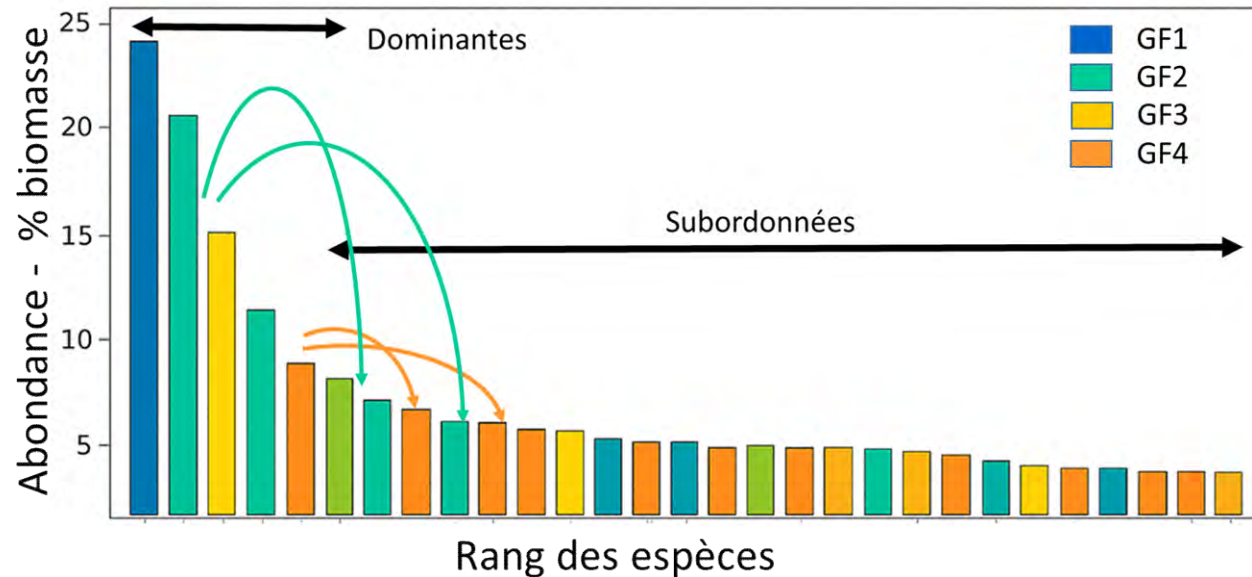
**Est-ce que ça marche toujours?**

# Redondance fonctionnelle



**Stabilité du fonctionnement**

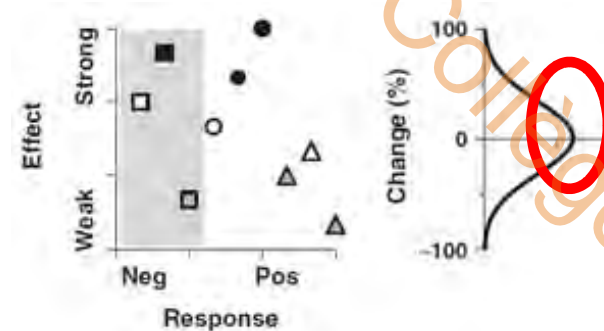
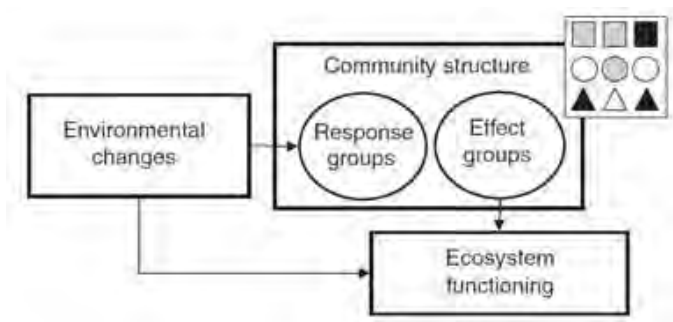
Suding, KN et al. (2008) *Global Change Biology*, 14, 1125-1140



Traits d'effet

➤ Substitutions entre espèces fonctionnellement similaires après un changement

# Traits de réponse et traits d'effet distincts



Suding, KN et al. (2008) *Global Change Biology*, 14, 1125-1140

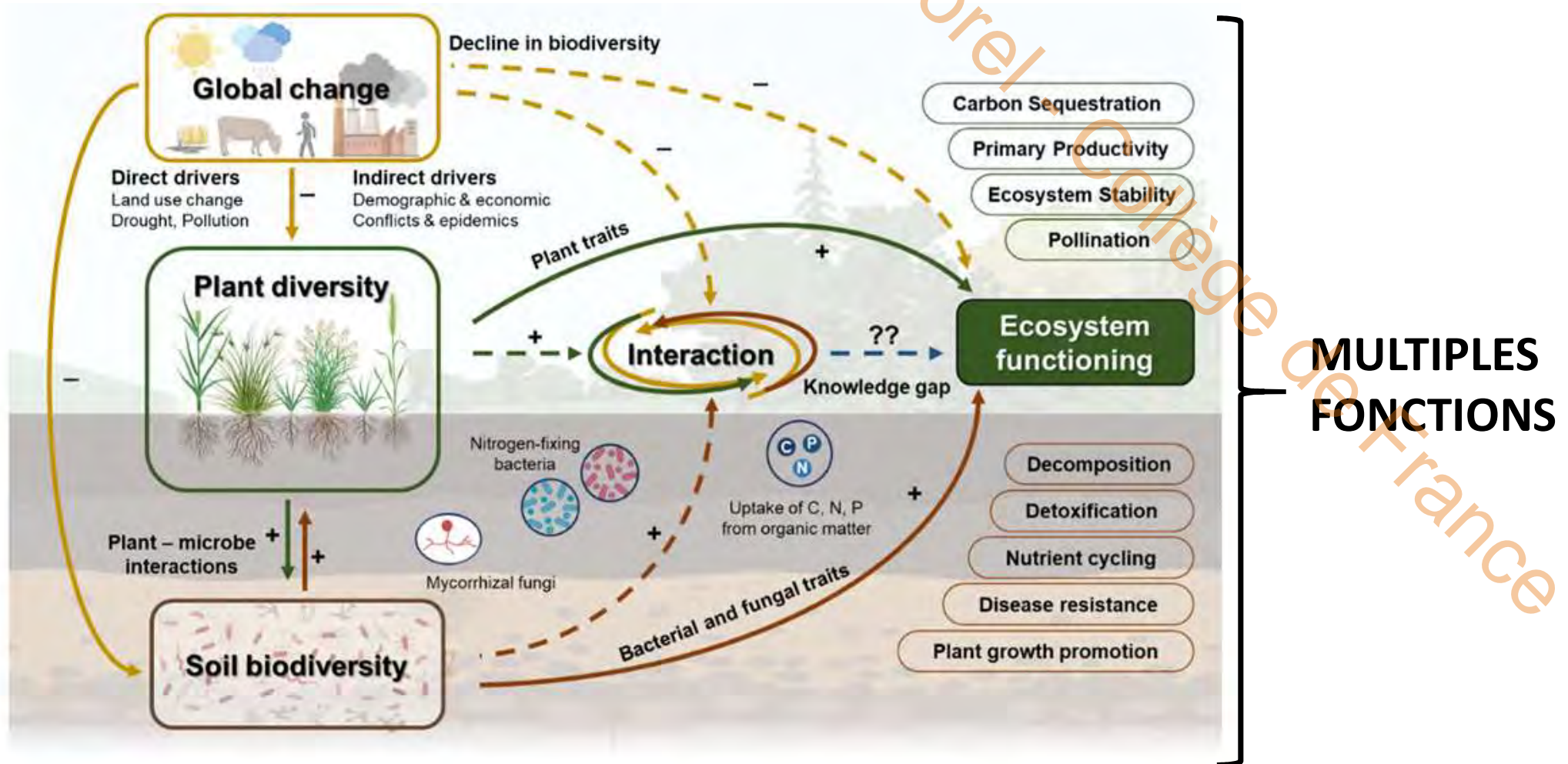


*Eucalyptus delegatensis*



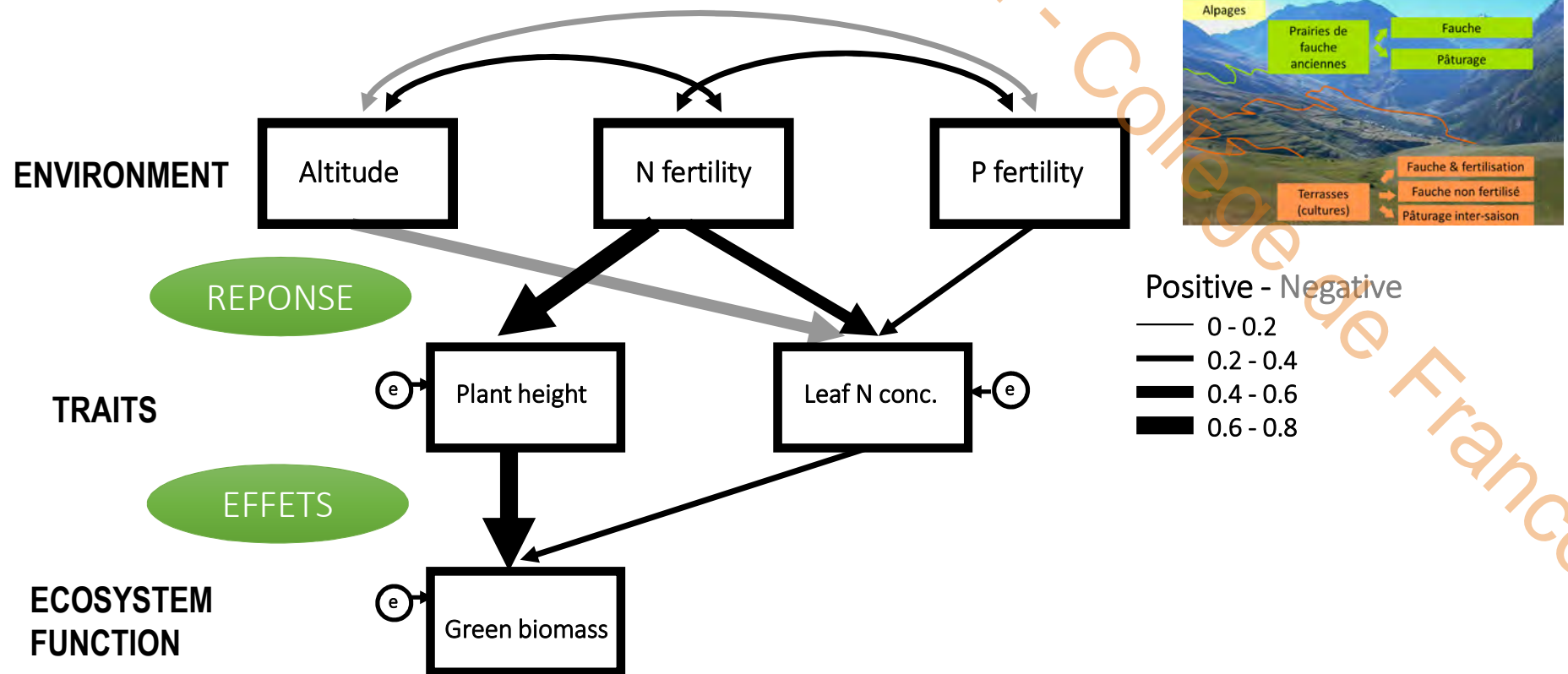
*Eucalyptus dalrympleana*

# Multifonctionnalité des écosystèmes



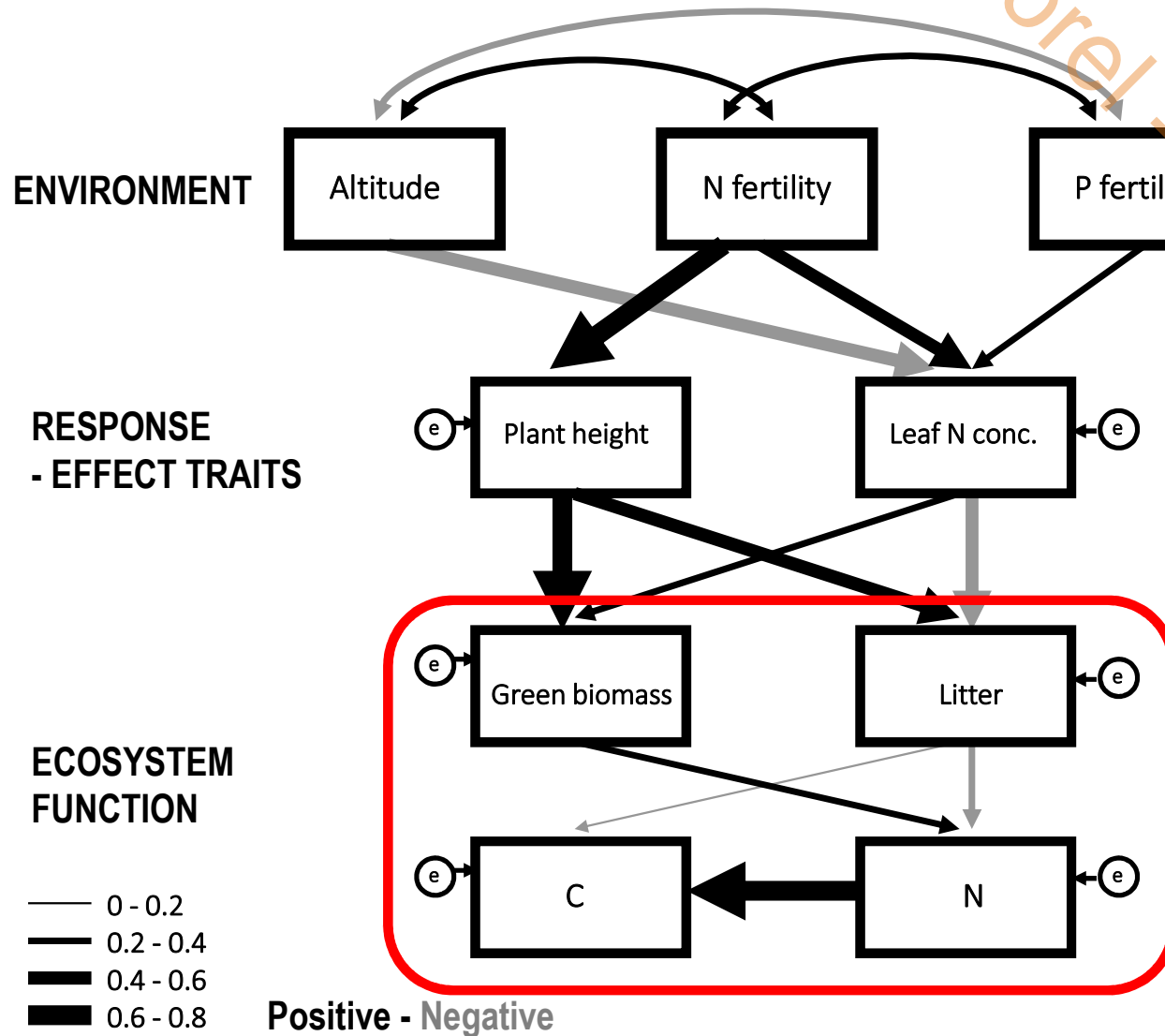
Jayaramaiah, RH et al. (2024) Linking biodiversity and biotic interactions to ecosystem functioning. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 3, e12119.

# Effets des traits fonctionnels végétaux sur le fonctionnement des écosystèmes



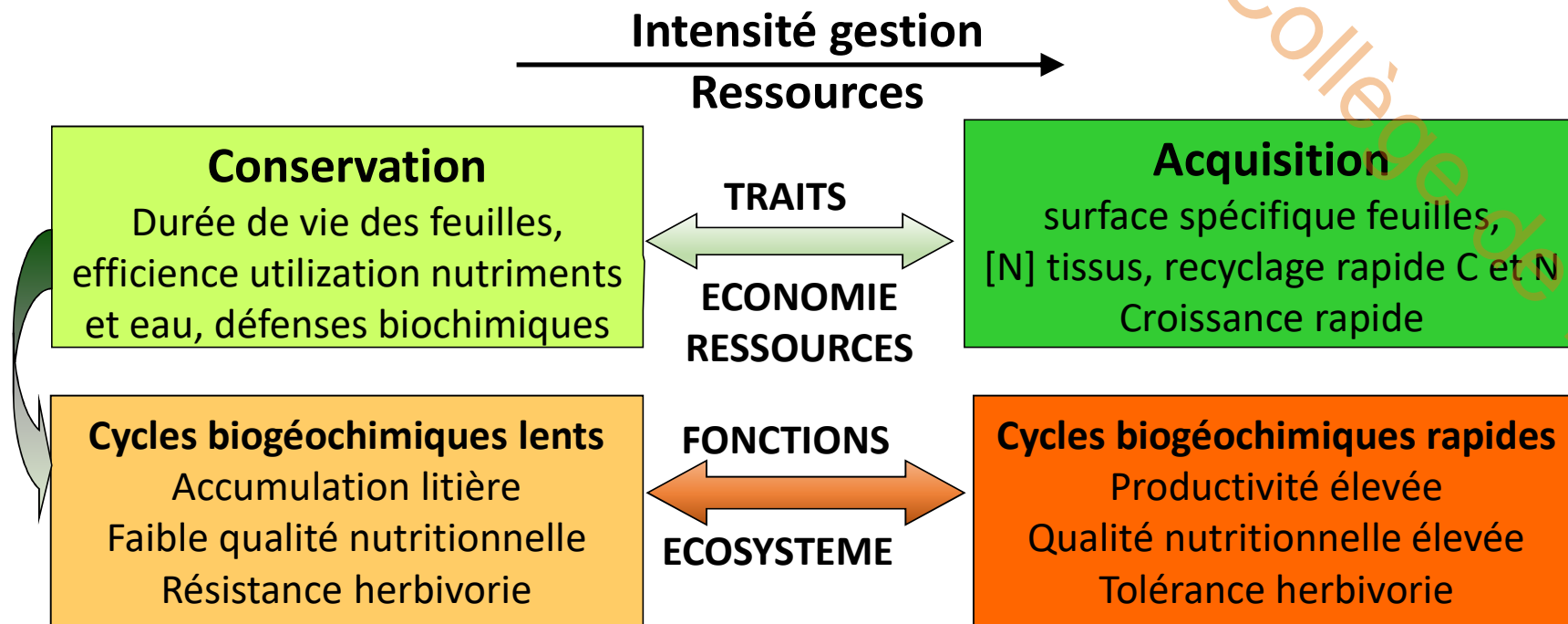
➤ Les variations de production de biomasse sont expliquées via les effets de la hauteur des plantes et de la teneur en azote des feuilles des communautés

# Multifonctionnalité: plusieurs fonctions simultanées



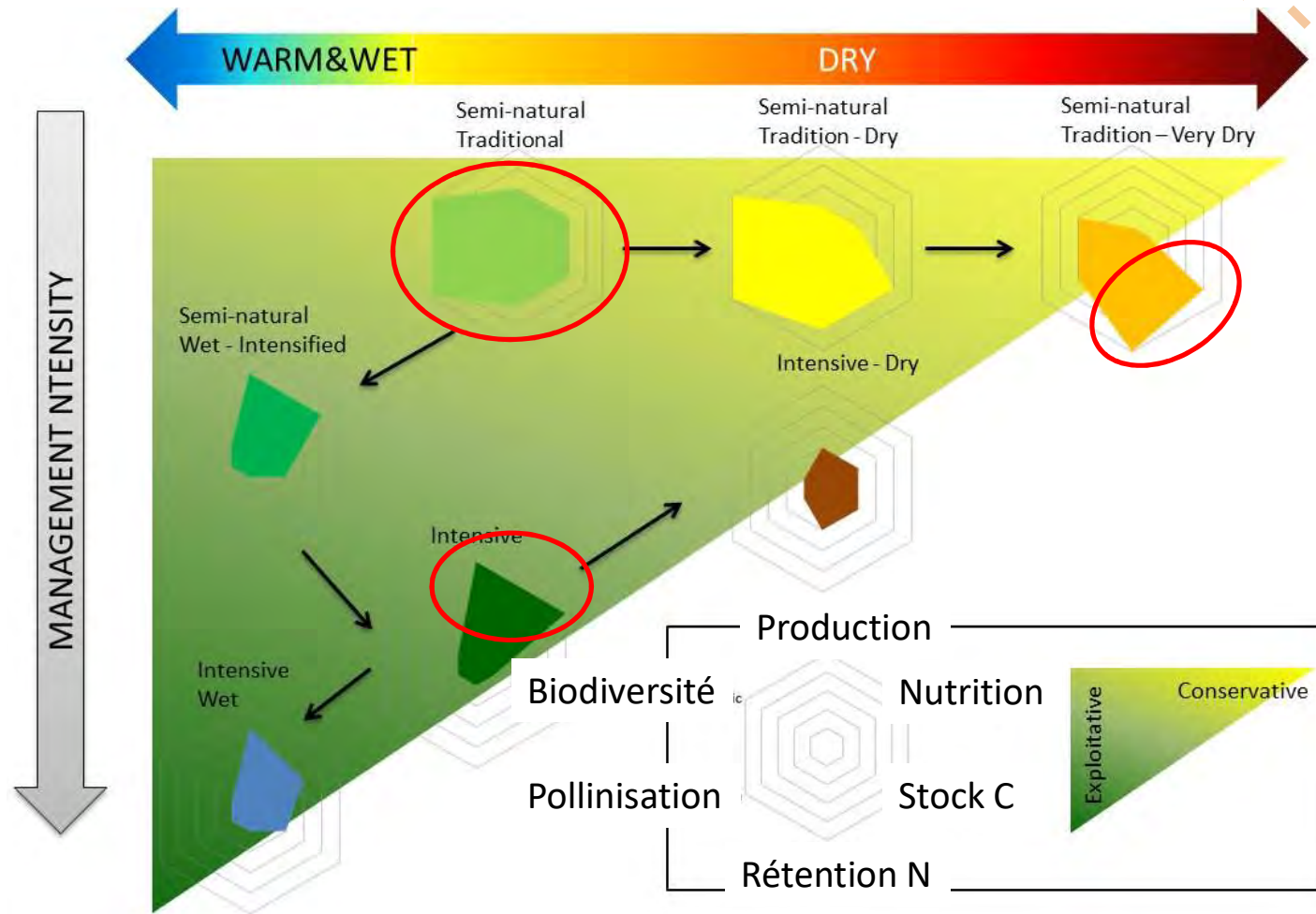
Lavorel, S & Grigulis, K (2012) How fundamental plant functional trait relationships scale-up to trade-offs and synergies in ecosystem services. *Journal of Ecology*, 100, 128-140.

# Du spectre d'économie des ressources au spectre de fonctions de l'écosystème



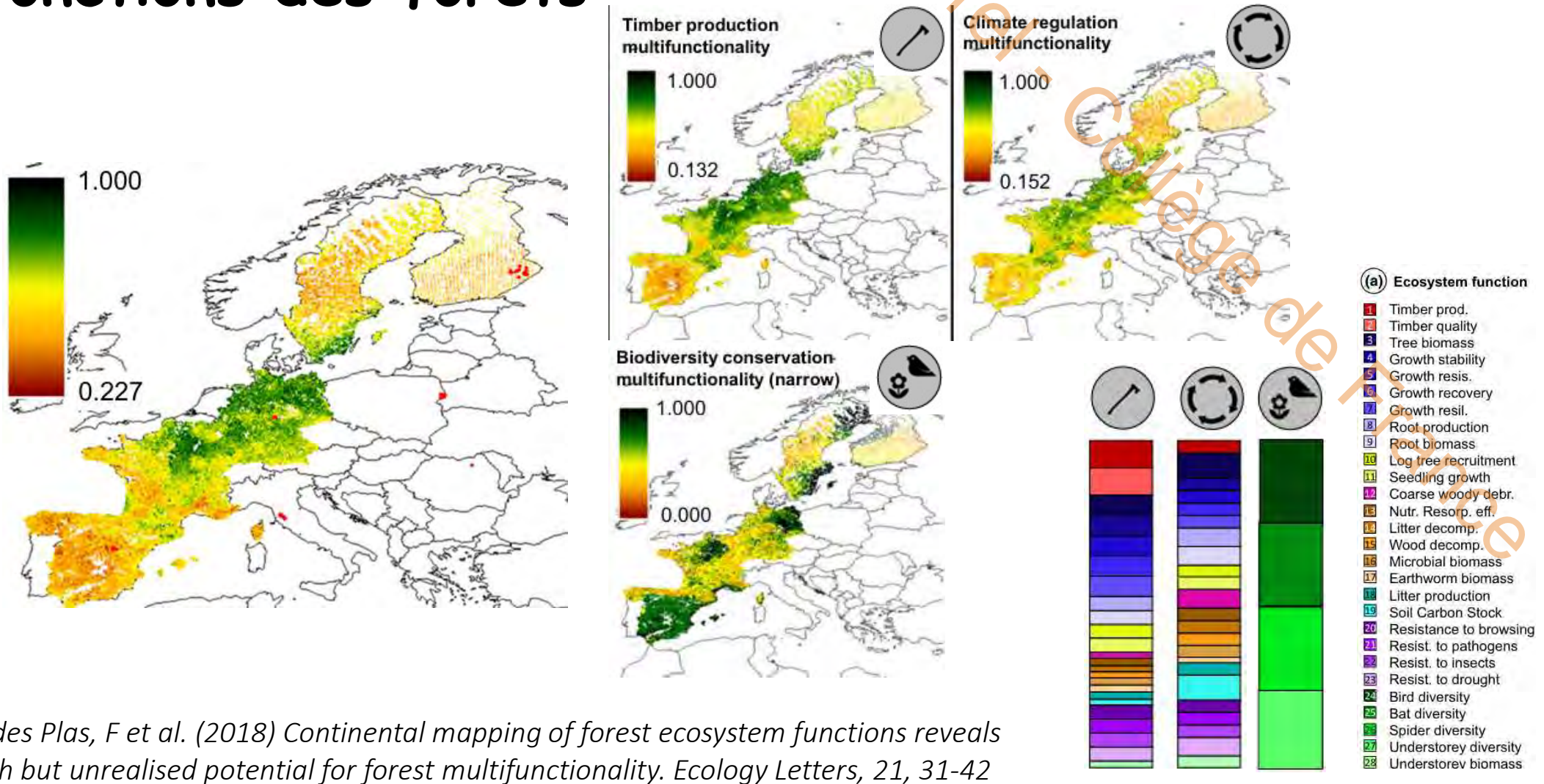
Lavorel, S & Grigulis, K (2012) How fundamental plant functional trait relationships scale-up to trade-offs and synergies in ecosystem services. *Journal of Ecology*, 100, 128-140.

# Multifonctionnalité : Trajectoires de réponses aux changements environnementaux



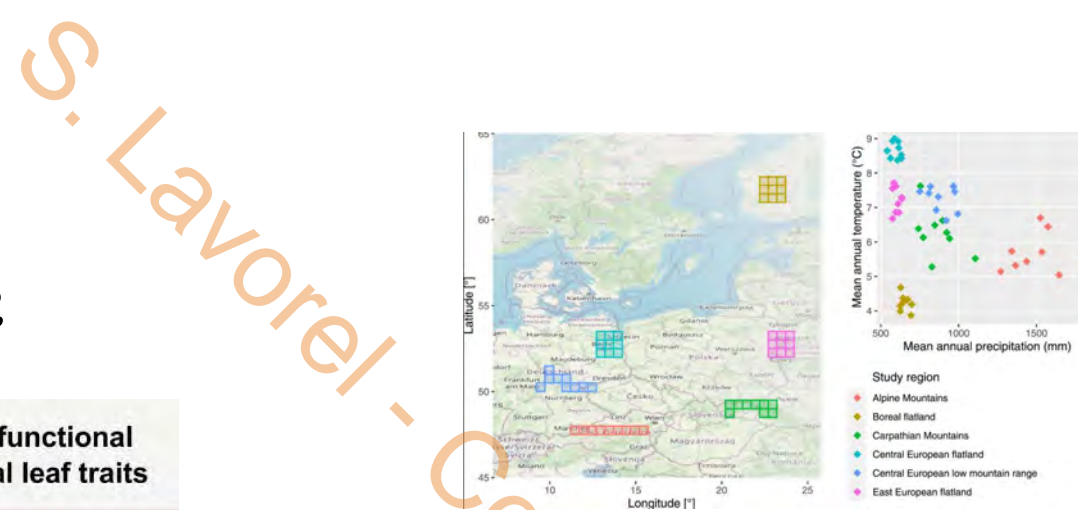
Lavorel, S. (2018). Climate change effects on grassland ecosystem services. *Grasslands and Climate Change*. D. J. Gibson and J. Newman, Cambridge University Press

# Extrapolation à l'échelle européenne Fonctions des forêts

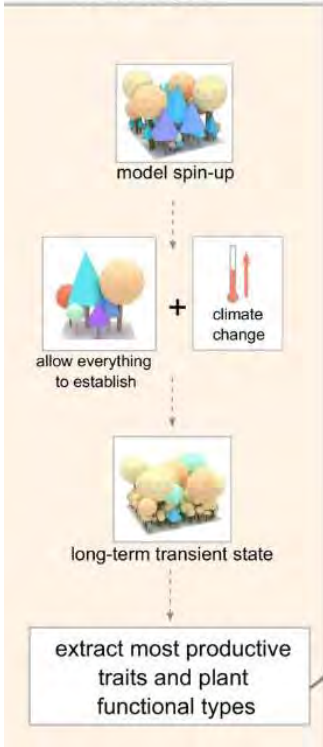


Van des Plas, F et al. (2018) Continental mapping of forest ecosystem functions reveals a high but unrealised potential for forest multifunctionality. *Ecology Letters*, 21, 31-42

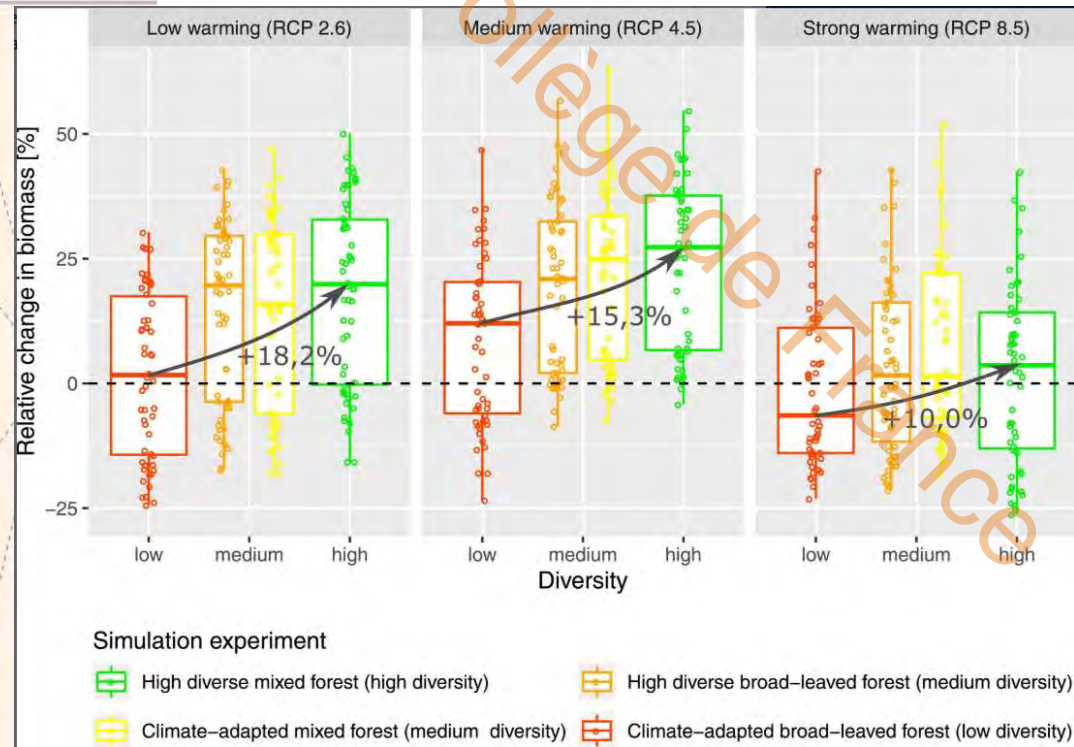
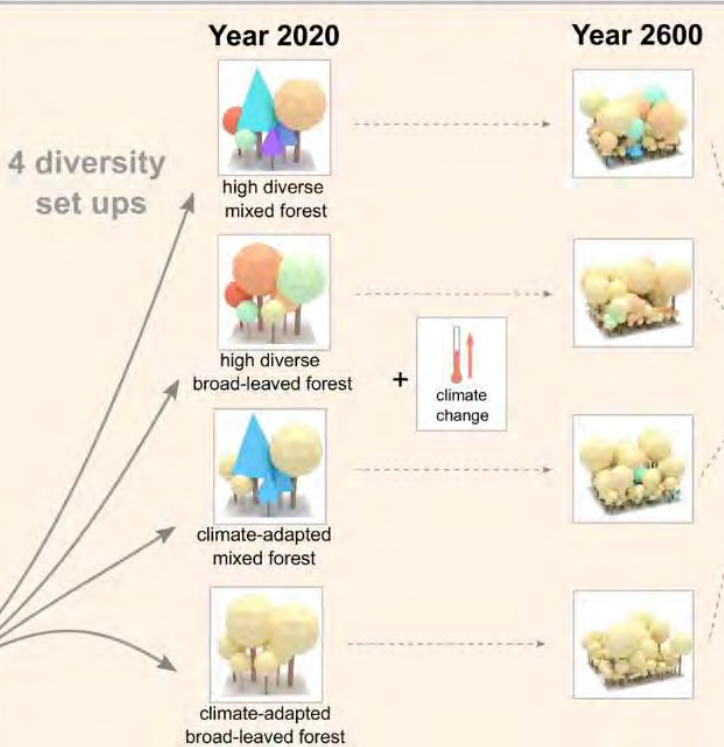
# Scénarios d'adaptation au changement climatique



## ① Identify best suited functional leaf traits

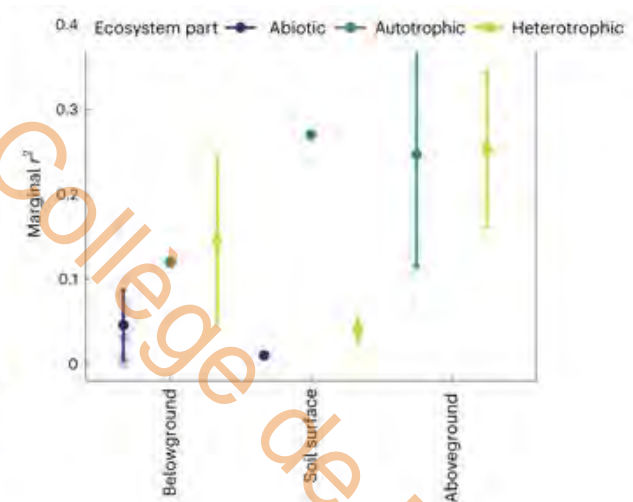
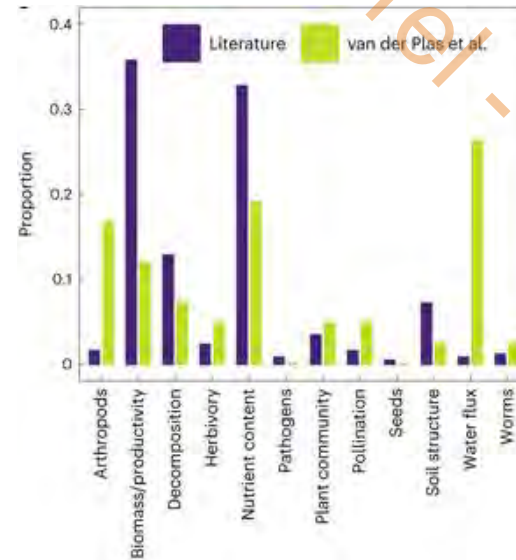


## ② Conduct simulations with different levels of functional diversity and degrees of best suited functional leaf traits



Billing, M et al. (2024) 'How to adapt forests?'—Exploring the role of leaf trait diversity for long-term forest biomass under new climate normals. *Global Change Biology*, 30, e17258

# Recul sur 20 ans de recherche Est-ce que ça marche?



Réanalyse de 100 publications expérimentation Jena

- Faible proportion de la variation des fonctions écosystémiques expliquée par les traits fonctionnels (5-10%)

- Sélection de fonctions
  - Biais vs. bibliographie - cycles biogéochimiques (aérien)
  - Interactions trophiques (sol)
- Approche statistique vs. mécanismes !

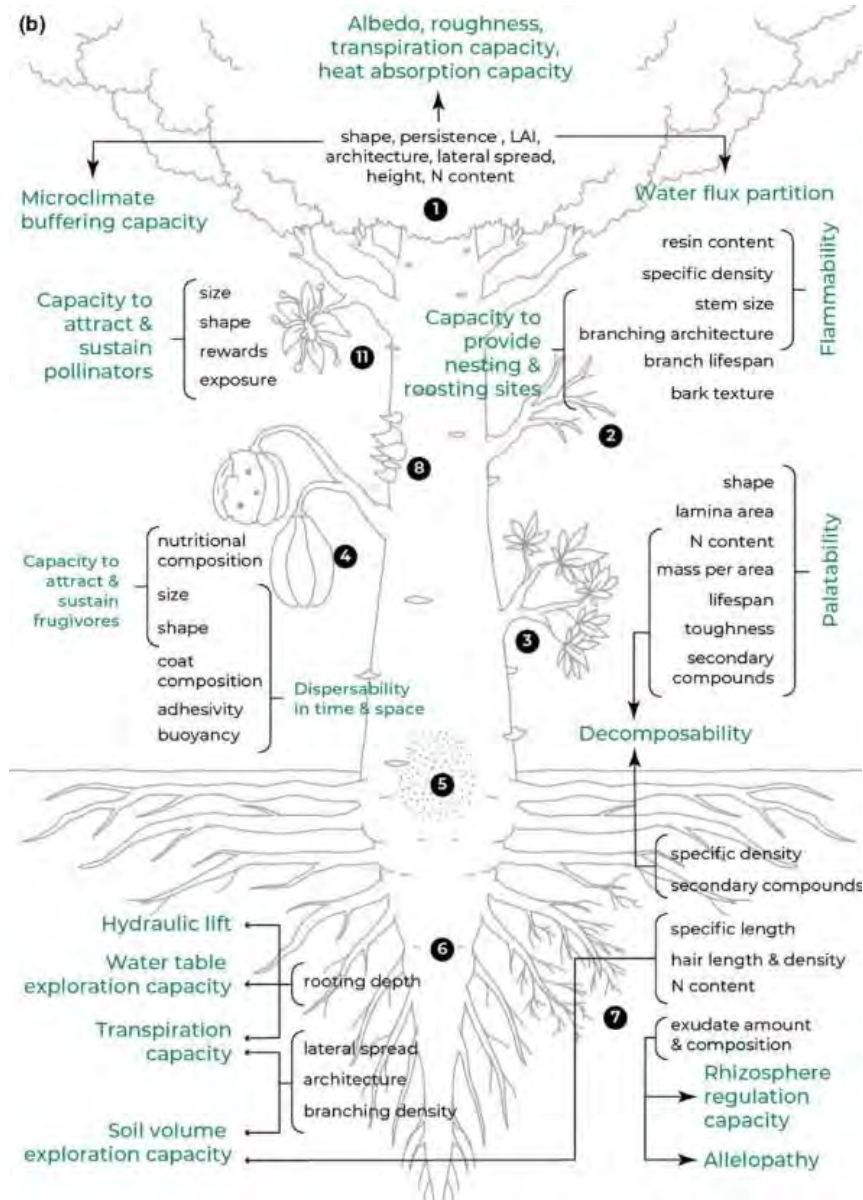
*van der Plas, F et al. (2020) Plant traits alone are poor predictors of ecosystem properties and long-term ecosystem functioning. Nature Ecology & Evolution, 4, 1602-1611*

*Hagan, JG et al. (2023) Plant traits alone are good predictors of ecosystem properties when used carefully. Nature Ecology & Evolution*

# Principales limites des études publiées

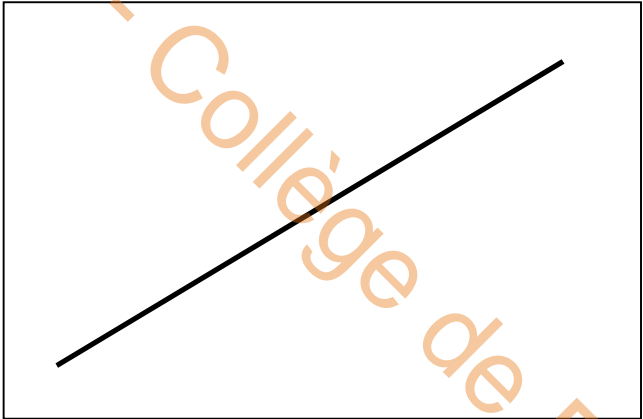
- Dispositifs expérimentaux
  - Effet des facteurs abiotiques en conditions naturelles : traits de réponse
  - Amplitude des gradients de facteurs environnementaux
- Quantification des traits
  - Facilité vs. pertinence
  - Variabilité intraspécifique
  - Echelle de la plante vs. traits spécifiques
- Exploration statistique vs. mécanismes





Analyse critique: choix des traits  
 Le spectre d'économie: couteau suisse ou arbre qui cache la forêt?  
 Intégration au niveau du phénotype

Processus  
fonctionnel

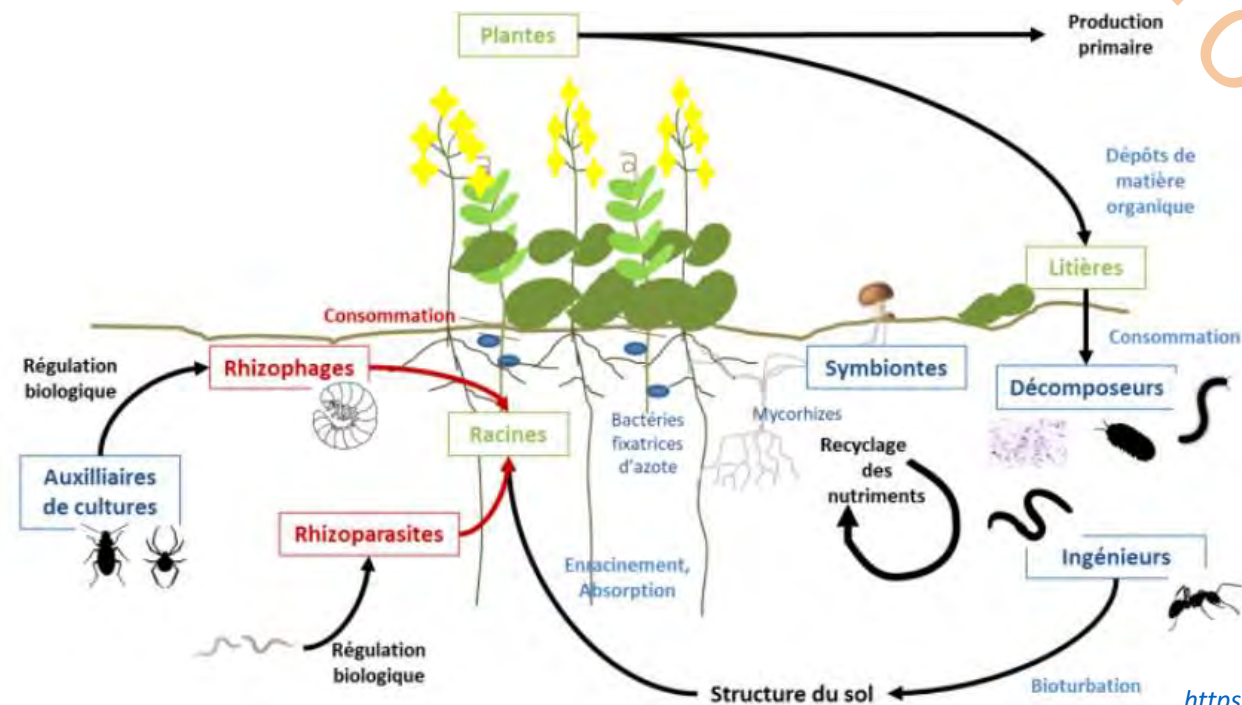


Trait



Díaz, S. (2025) Plant functional traits and the entangled phenotype. *Functional Ecology*, 39, 1144-1159

# Les traits fonctionnels pour comprendre et prédire les fonctions au-delà des plantes

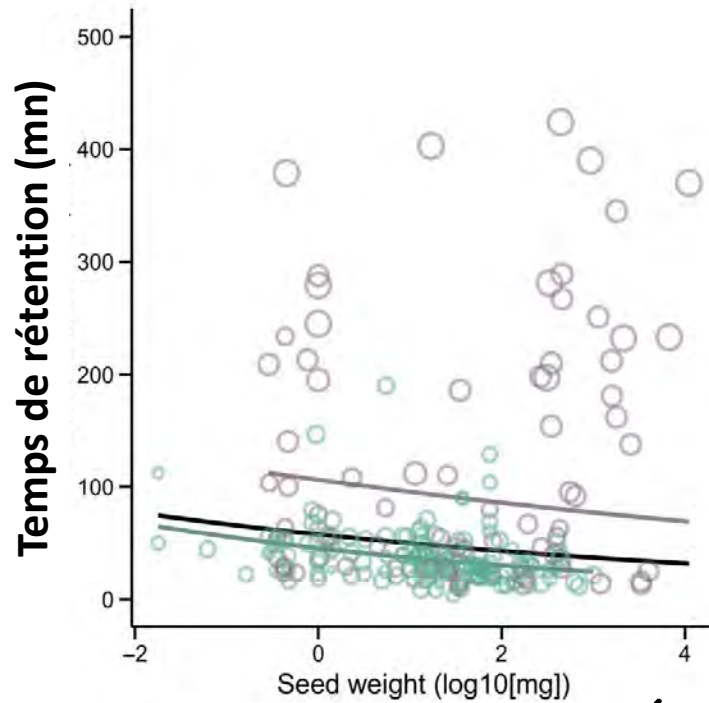


© Marine Zwick

<https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/production-agricole-agrosystemes/faune-du-sol-et-production-vegetale>

Les plantes interagissent avec de nombreux groupes trophiques aériens et souterrains dans leur fonctionnement et celui de l'écosystème

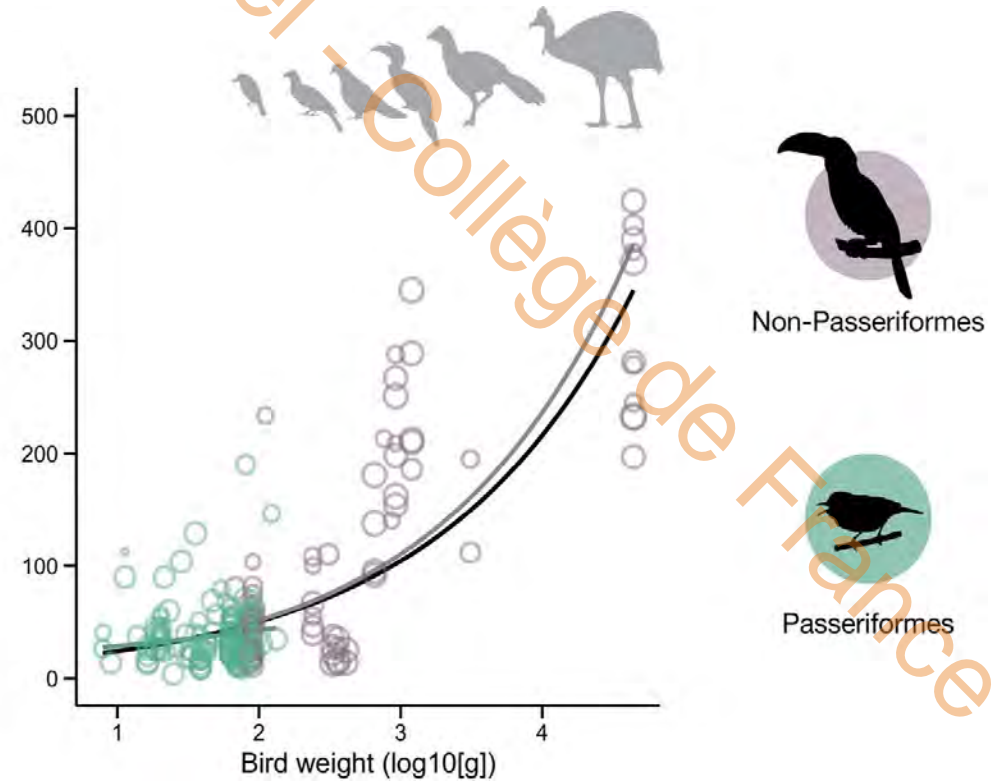
# Alignement des traits entre niveaux trophiques



Masse des graines



Masse des oiseaux



Non-Passeriformes

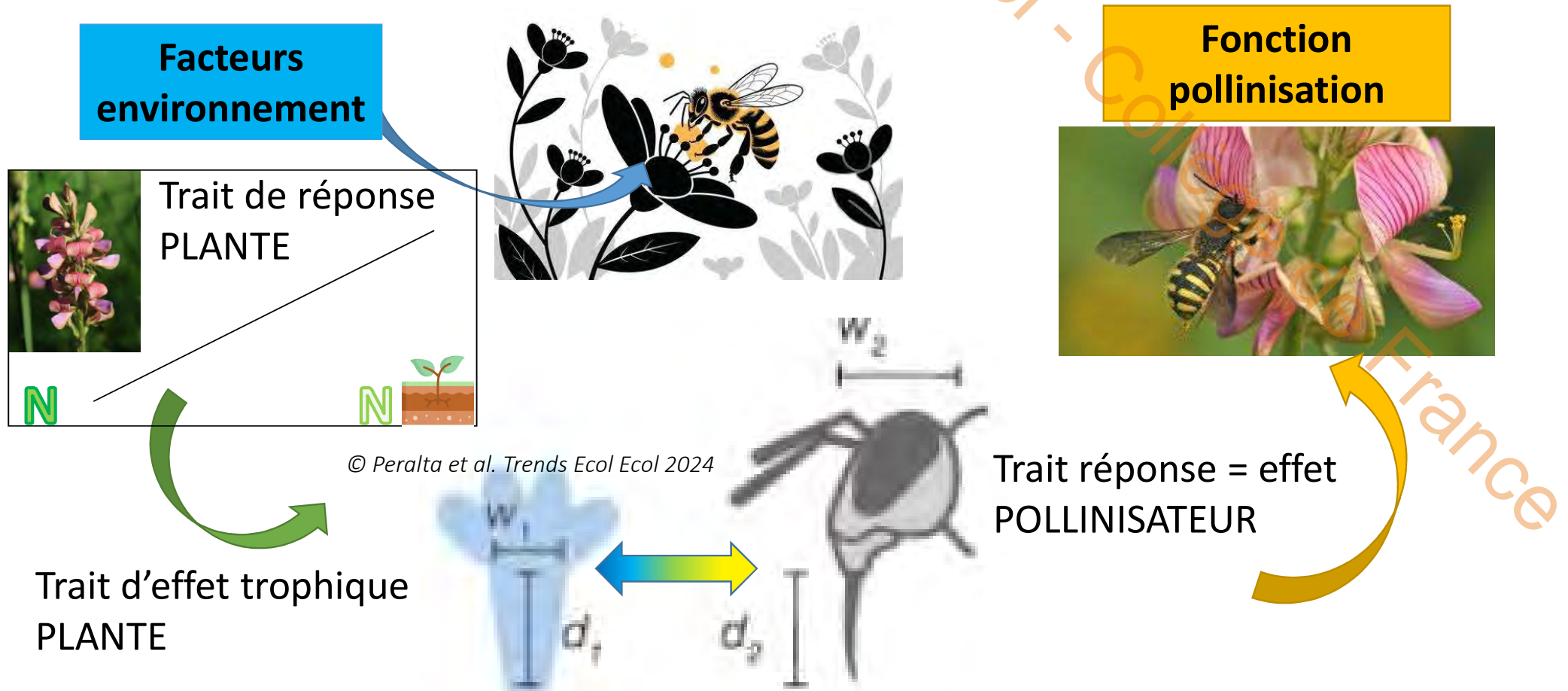


Passeriformes



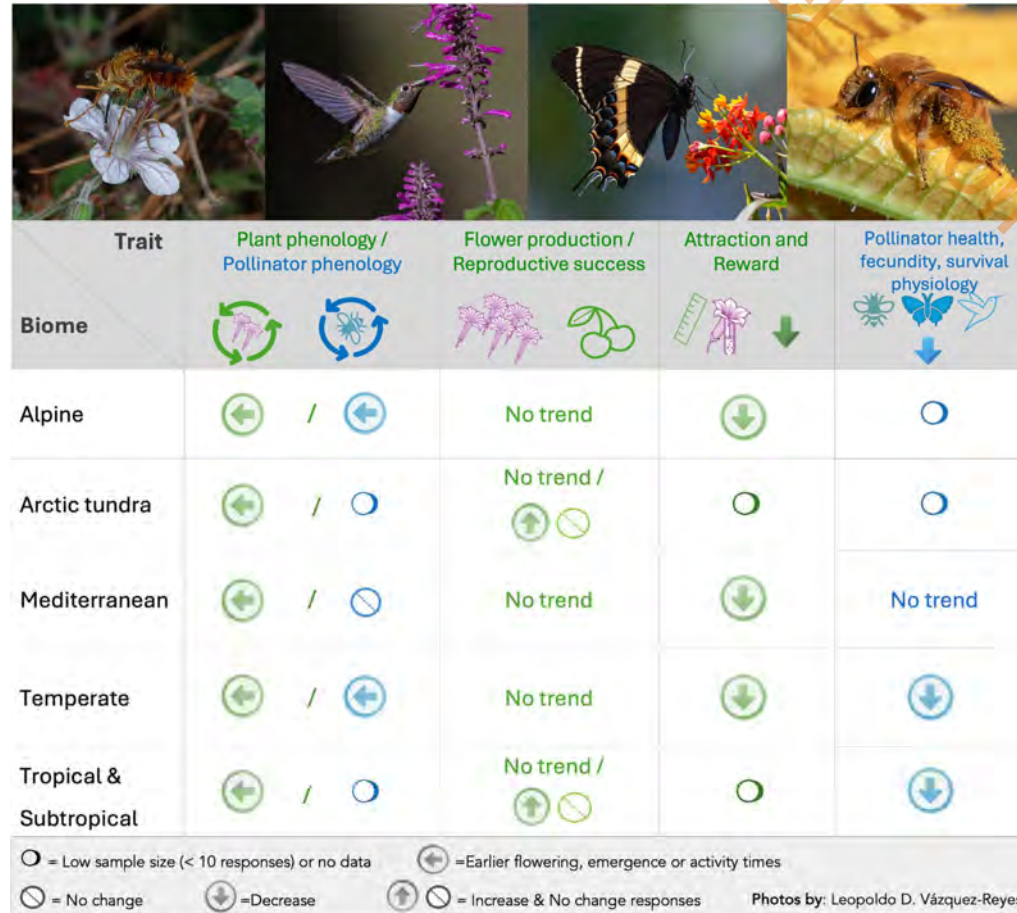
Bracho-Estévez, C.A., et al. (2024) Plant traits determine seed retention times in frugivorous birds: Implications for long-distance seed dispersal. *Functional Ecology*, 38, 2247-2260

# Prédire les fonctions sur la base des traits fonctionnels au-delà des plantes



Lavorel, S et al. (2013) Linking functional traits of plants and other trophic levels for the quantification of ecosystem services. *Journal of Vegetation Science*, 24, 942-948

# Les traits fonctionnels pour expliquer les implications du changement climatique ?

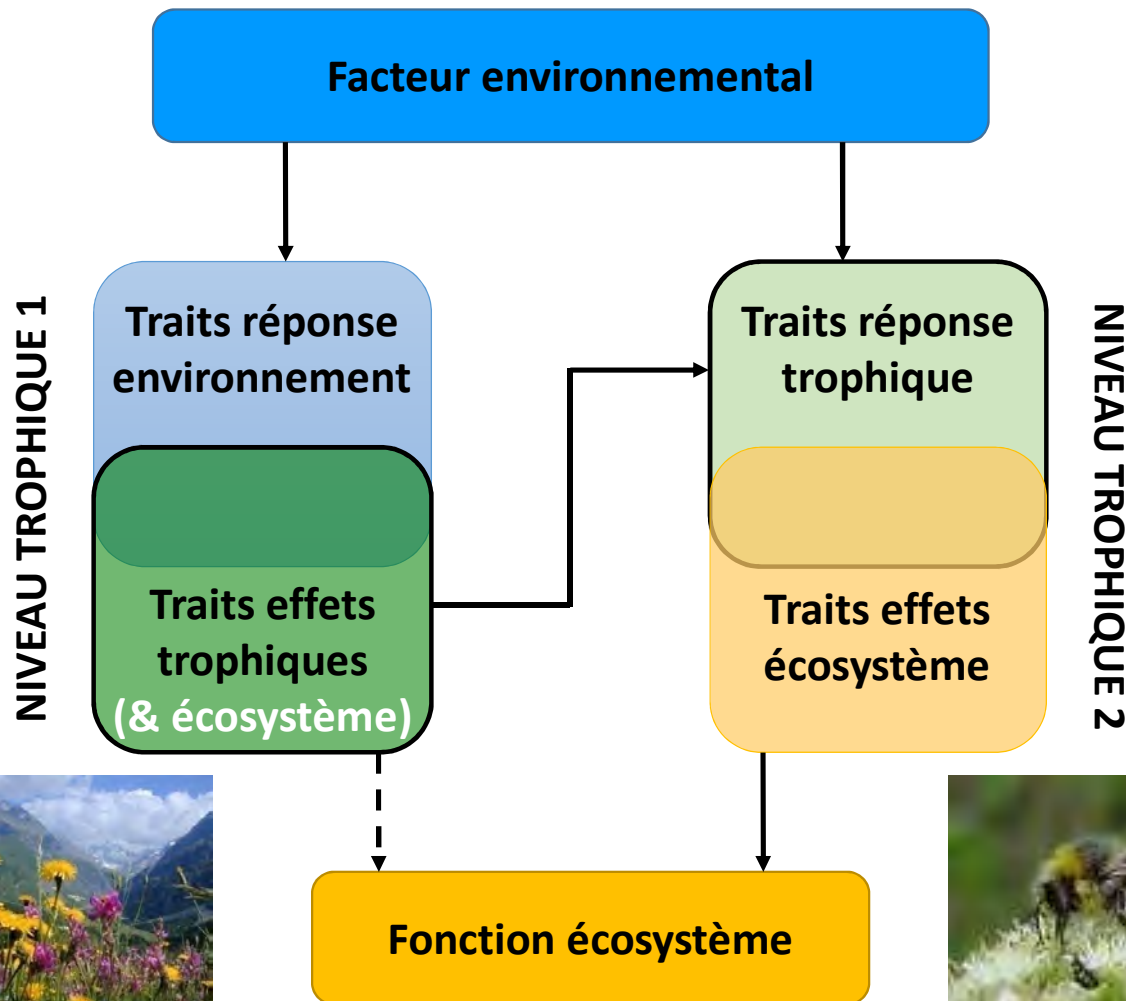


Décalages phénologiques entre plantes et pollinisateurs

Espèces végétales avec des fleurs moins attractives

Martén-Rodríguez, S et al. (2025) Untangling the Complexity of Climate Change Effects on Plant Reproductive Traits and Pollinators: A Systematic Global Synthesis. *Global Change Biology*, 31, e70081

# Une extension du modèle réponse - effets aux communautés multi-trophiques



## Éléments conceptuels:

- Relations traits – fonction au sein de chaque niveau trophique
- Interactions biotiques entre niveaux trophiques

## Hypothèse: alignement des traits pour les interactions biotiques

- Les traits du niveau 1 affectent le niveau 2
- La réponse du niveau 2 peut être reliée à ses traits

Lavorel, S et al. (2013) Linking functional traits of plants and other trophic levels for the quantification of ecosystem services. *Journal of Vegetation Science*, 24, 942-948

# Nombreux traits impliqués dans les relations plantes - arthropodes aériens

## TRAITS D'EFFET PLANTES

### Traits liés aux ressources

Types de ressources

Attractivité

Accessibilité

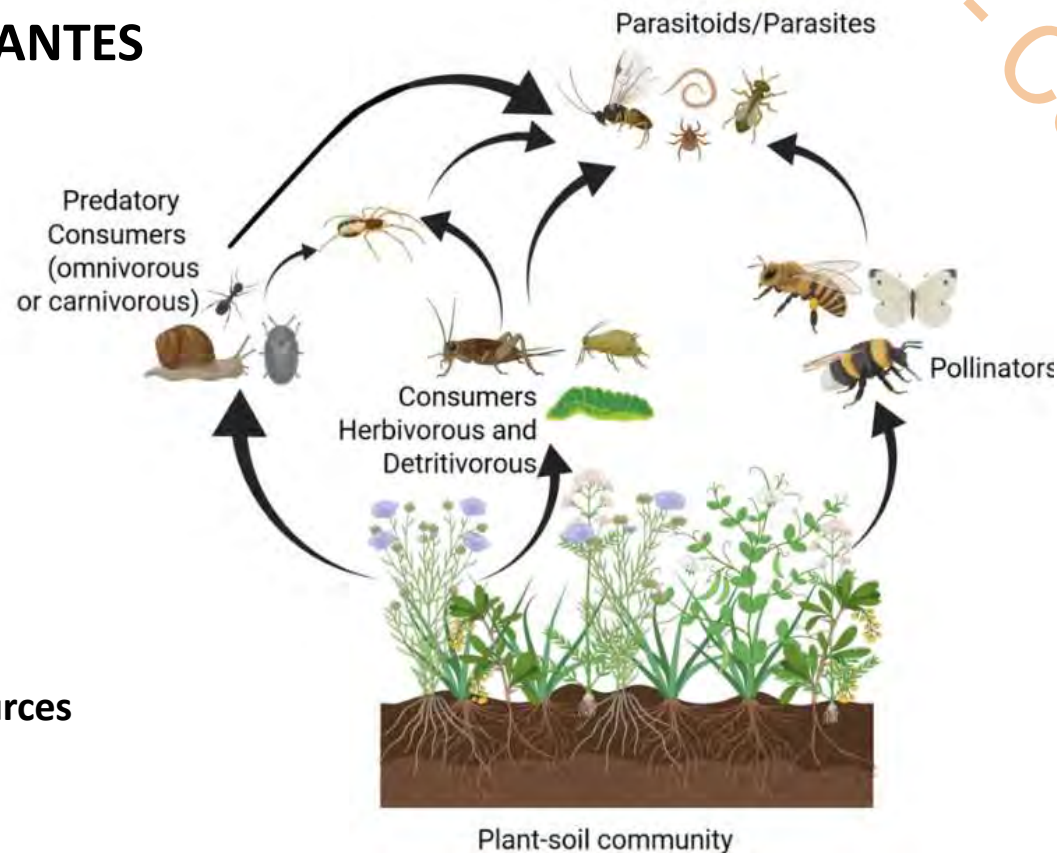
Qualité nutritionnelle

Phénologie

### Traits non liés aux ressources

Habitat physique

Modification microclimat



© Sara Leonhardt, Technische Universität München

## TRAITS REPONSE ARTHROPODES

### Traits liés aux ressources

Groupe trophique et besoins nutritifs à différents stades de vie

Préférences nutritionnelles et capacités (ex. pièces buccales)

Taille / morphologie (ex. tête)

Phénologie

### Traits non liés aux ressources

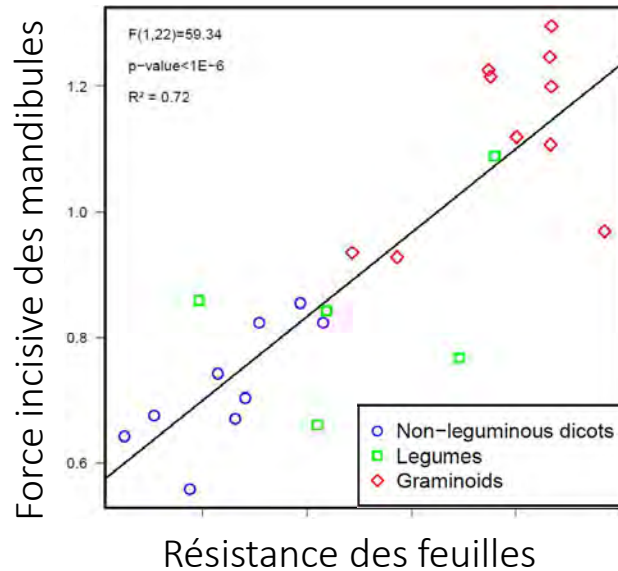
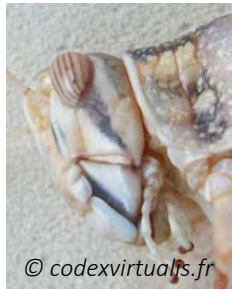
Mobilité, comportement

Préférences écologiques

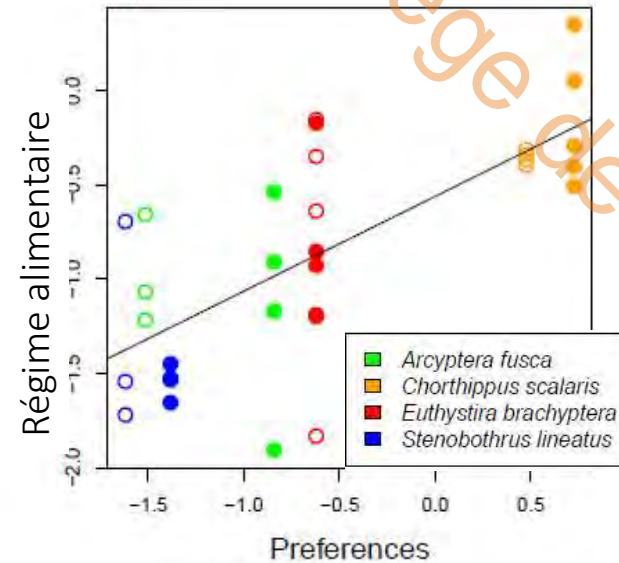
D'après Gardarin, A et al. (2018) Understanding plant–arthropod interactions in multitrophic communities to improve conservation biological control: useful traits and metrics. *Journal of Pest Science*, 91, 943-955

# Régimes alimentaires des invertébrés herbivores généralistes

La résistance mécanique des feuilles **des espèces** influence les choix alimentaires des criquets selon la force incisive de leurs mandibules



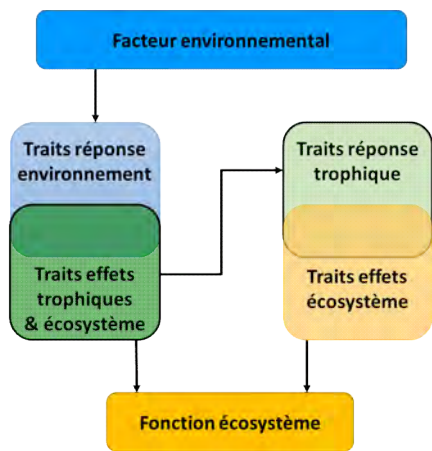
Ajustement entre traits foliaires des plantes consommées en conditions contrôlées (préférences) et des plantes consommées *in natura* (régime alimentaire)



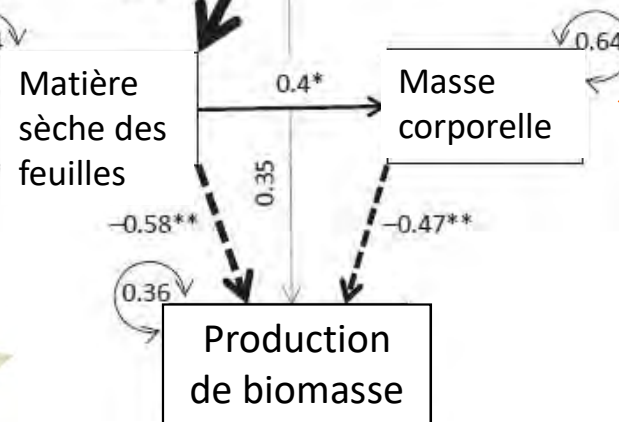
Ibanez, S et al. (2013) Biomechanical traits influence preferences of grasshoppers feeding on plants. *Functional Ecology*, 27, 479-489

Ibanez, S et al. (2013) Plant functional traits reveal the relative contribution of habitat and food preferences to the diet of four subalpine grasshoppers. *Oecologia*, 173, 1459-1470

# Effets en cascade des interactions trophiques sur de fonctionnement de l'écosystème



Teneur en fibres:  
 → Résistance mécanique  
 → Valeur nutritive

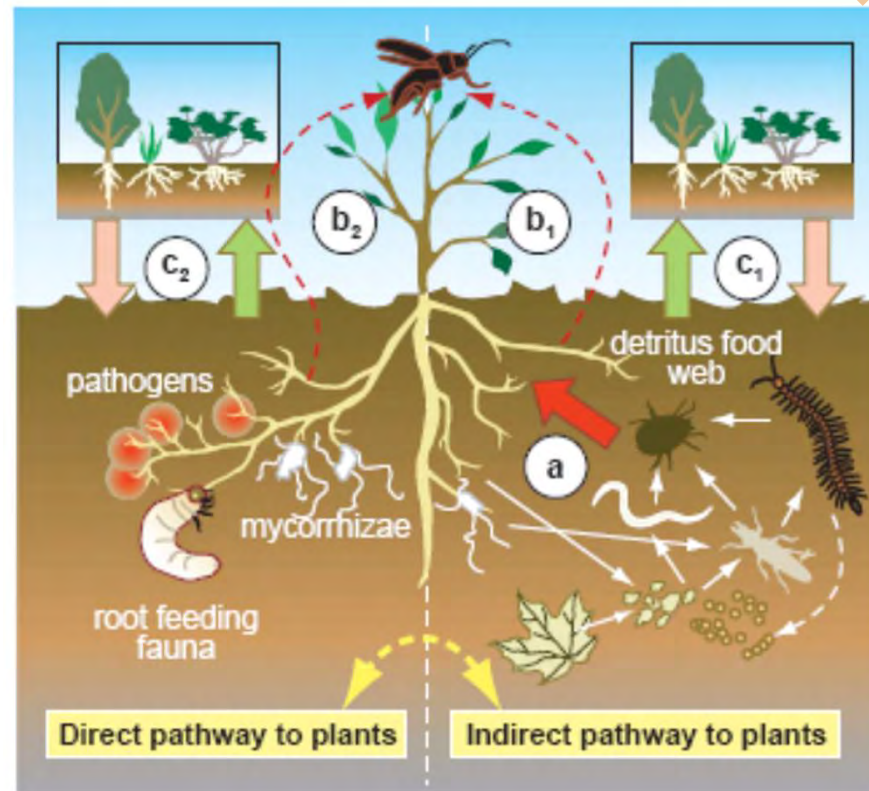


Taille des mandibules



Moretti, M et al. (2013) Linking traits between plants and invertebrate herbivores to track functional effects of environmental changes. *Journal of Vegetation Science*, 24, 949-962

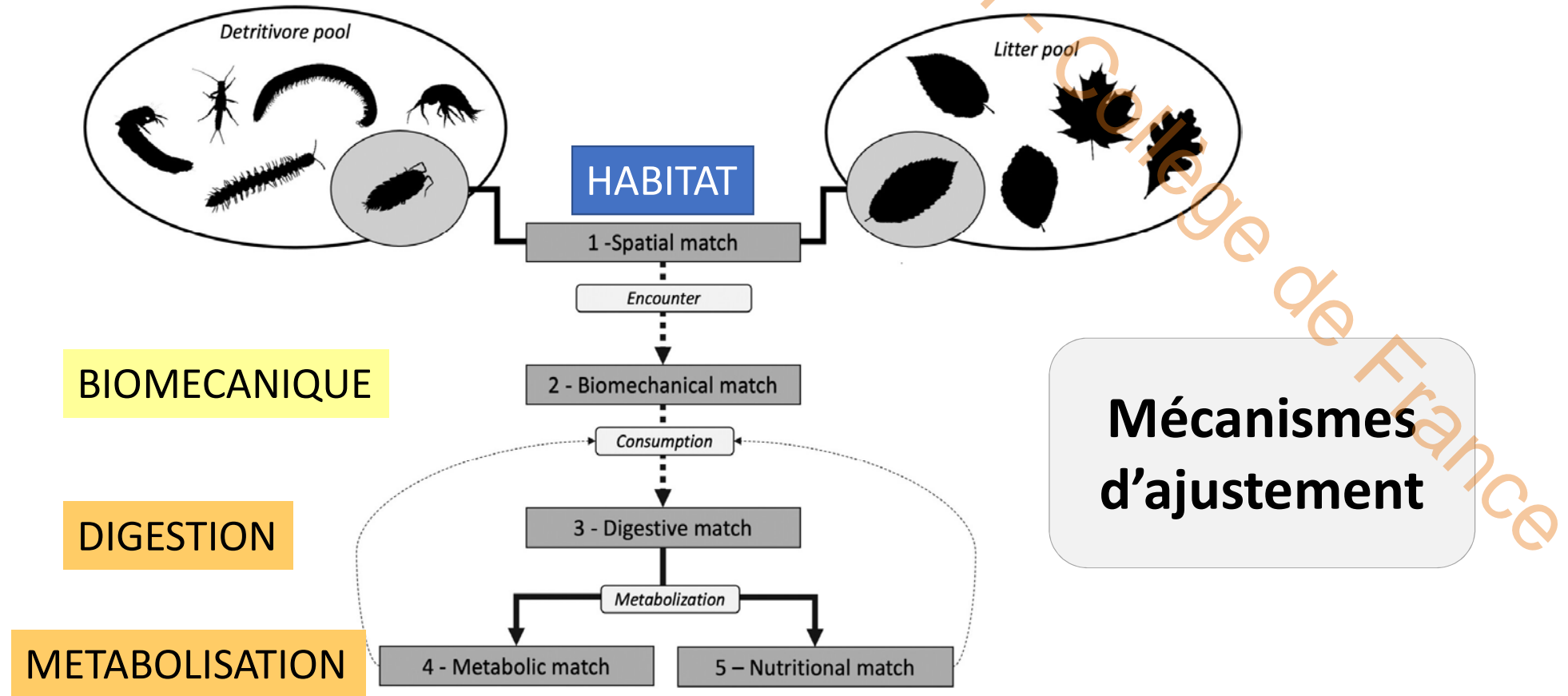
# Relations fonctionnelles complexes entre les plantes et les sols via les organismes des sols



➤ Recherche des traits et des mécanismes d'interaction

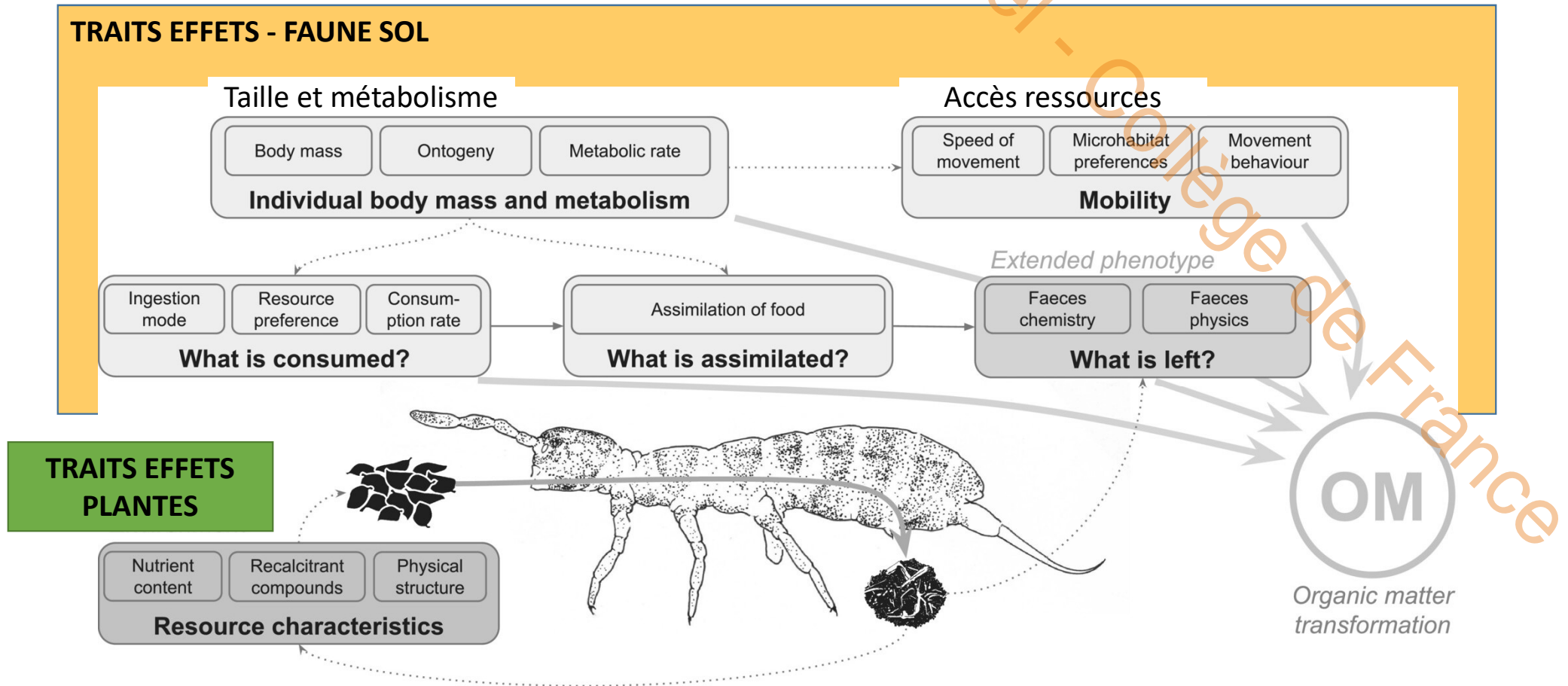
Wardle, DA et al. (2004) Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304, 1629-1633.

# Réponses des décomposeurs Méso- et macrofaune du sol



Marchand, T et al. (2024) The Detri<sup>2</sup>match conceptual framework: Matching detritivore and detritus traits to unravel consumption rules in a context of decomposition. *Functional Ecology*, 38, 2084-2098

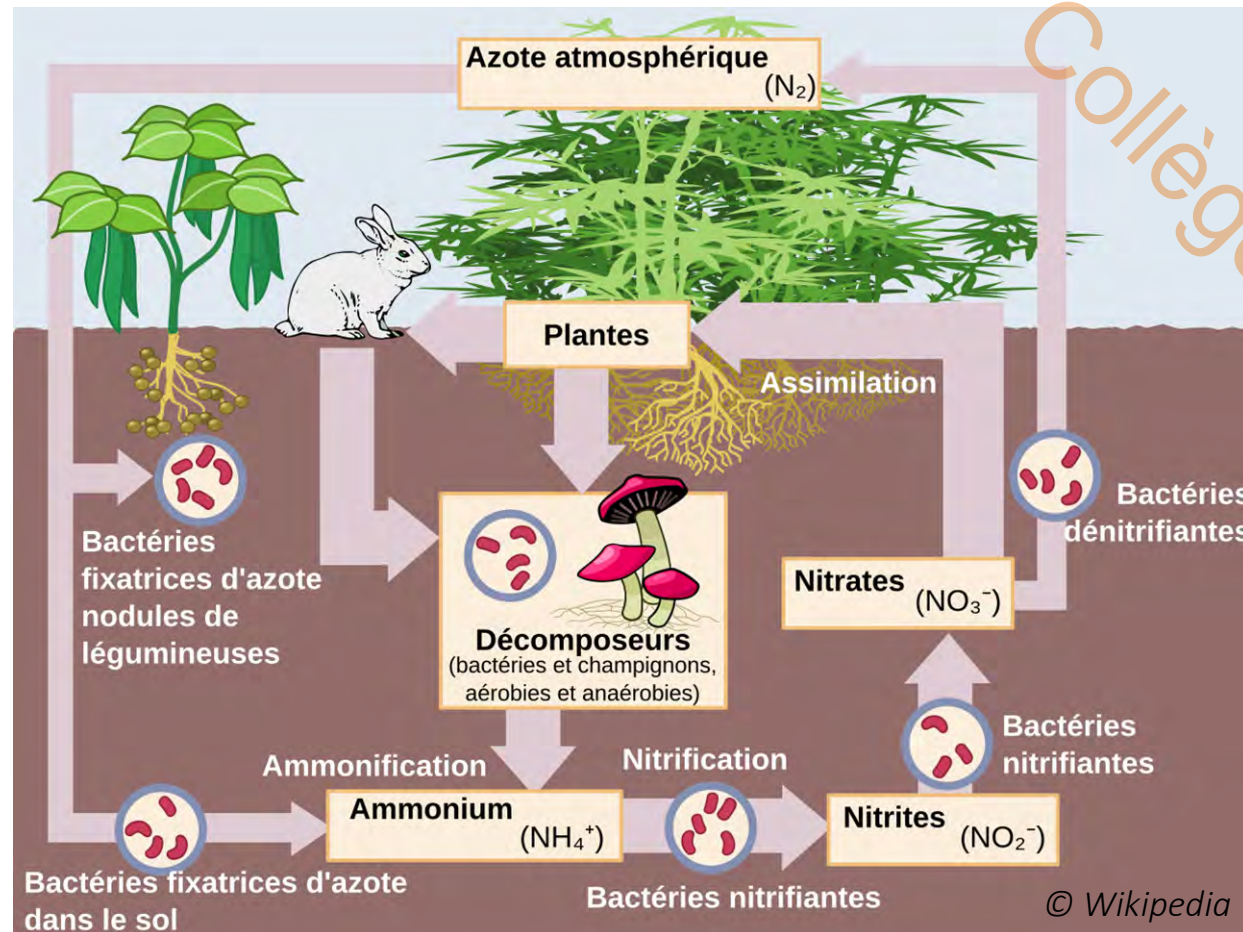
# Effets sur la décomposition de la matière organique



Bonfanti, J et al. (2025) Linking effect traits of soil fauna to processes of organic matter transformation. *Functional Ecology*, 39, 446-461

# Recyclage des nutriments

## Microorganismes des sols



S. Lavoirel - Collège de France

**PLANTE**  
Traits effets trophiques & écosystème

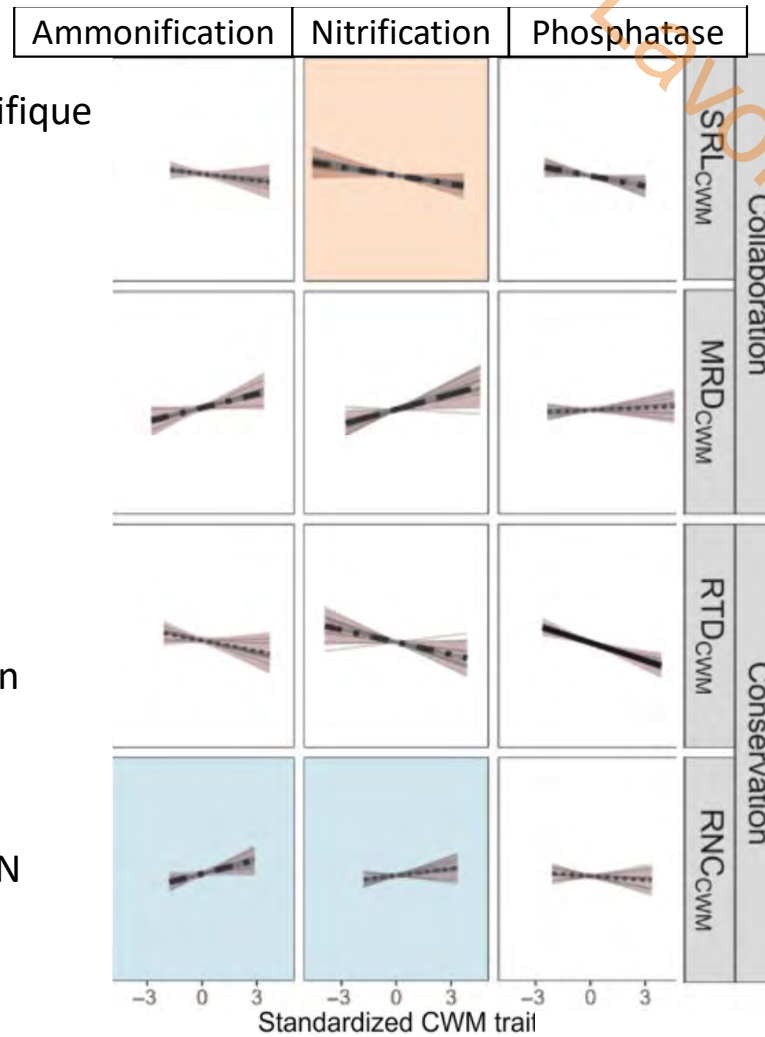
Fonction écosystème

Longueur spécifique (L/masse)  
➤ exploration

Diamètre  
➤ mycorhizes

Densité  
➤ conservation

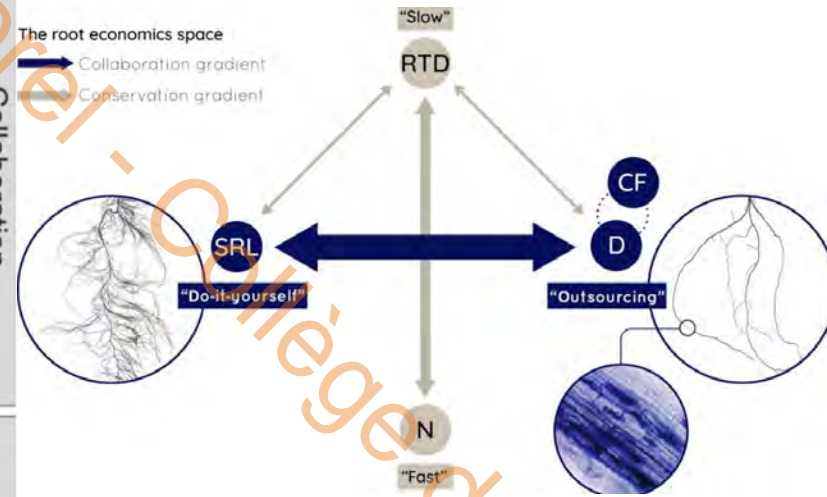
Concentration N  
➤ exploitation



Evidence for effect: ..... No effect    - - - - Moderate    - - - - Strong    - - - - Very strong

Hypothesis: [ ] No hypothesis    [ ] Negative slope hypothesized    [ ] Positive slope hypothesized

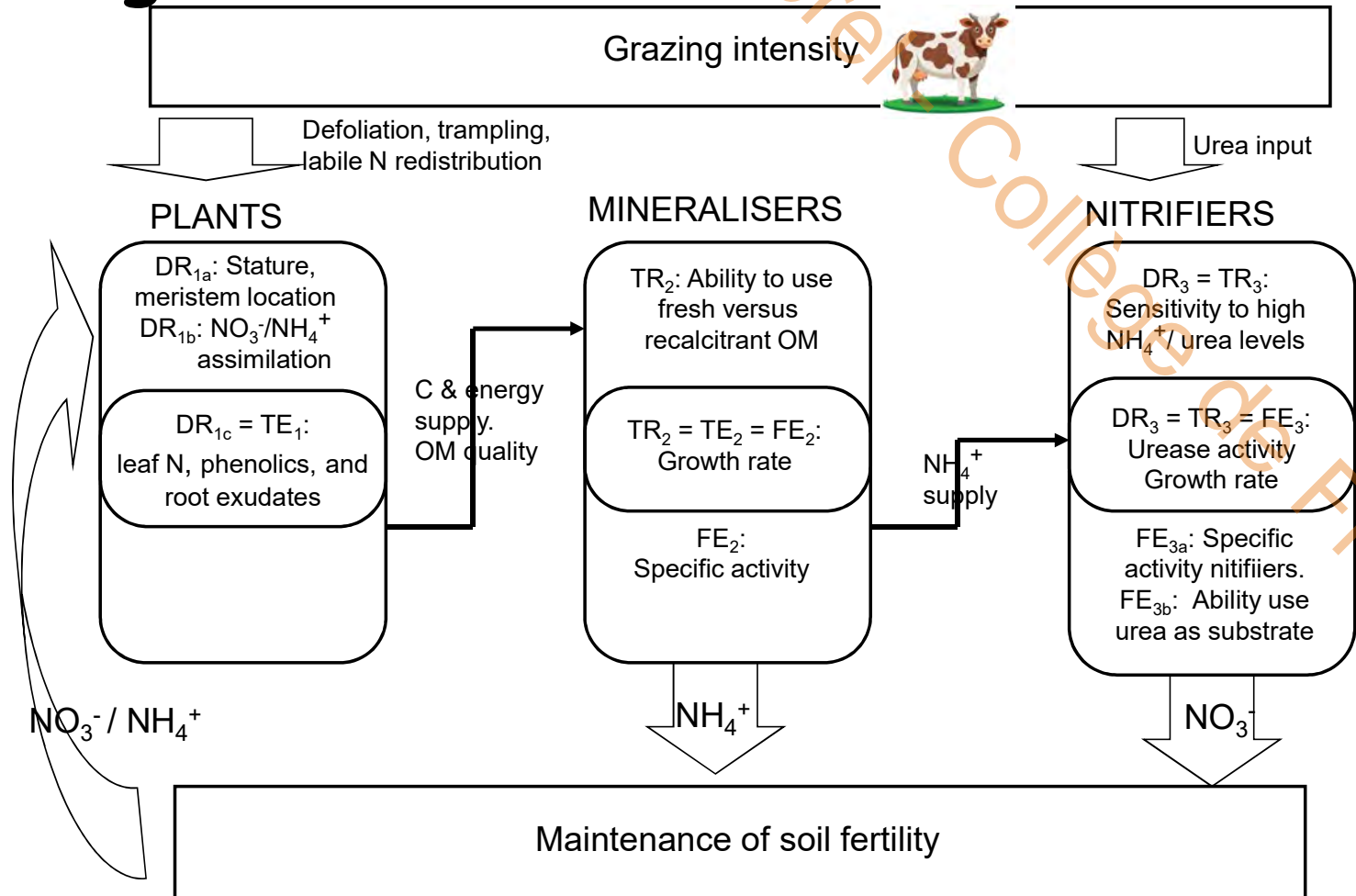
Bergmann, J et al. Science Advances (2020)



Barry, KE et al. (2025) Rooting for function: community-level fine-root traits relate to many ecosystem functions. *New Phytologist*, 248, 3221-3239

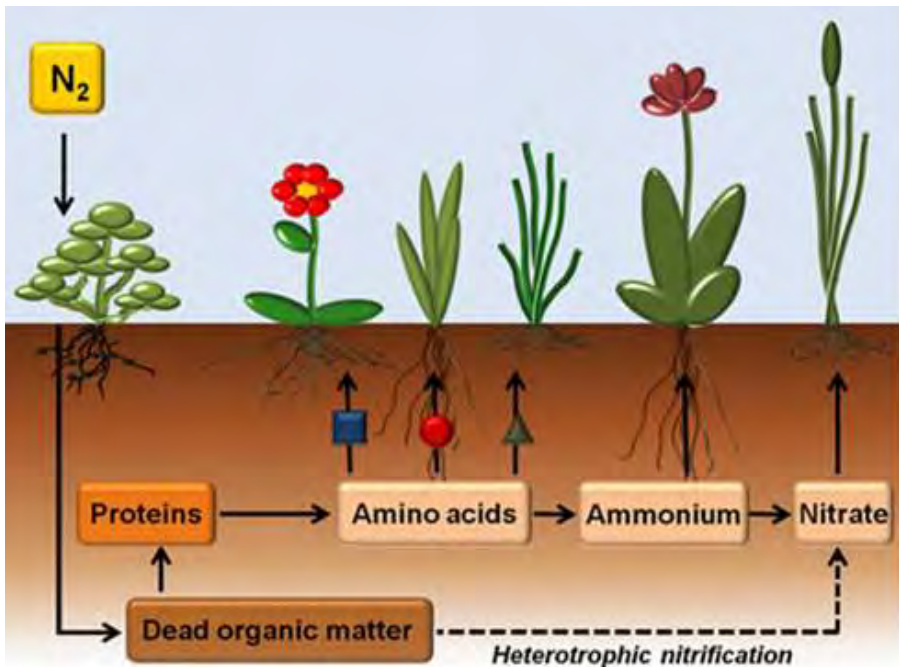
# Relations fonctionnelles plantes - microorganismes pour le recyclage de l'azote minéral

**Bien au-delà des effets directs des plantes**

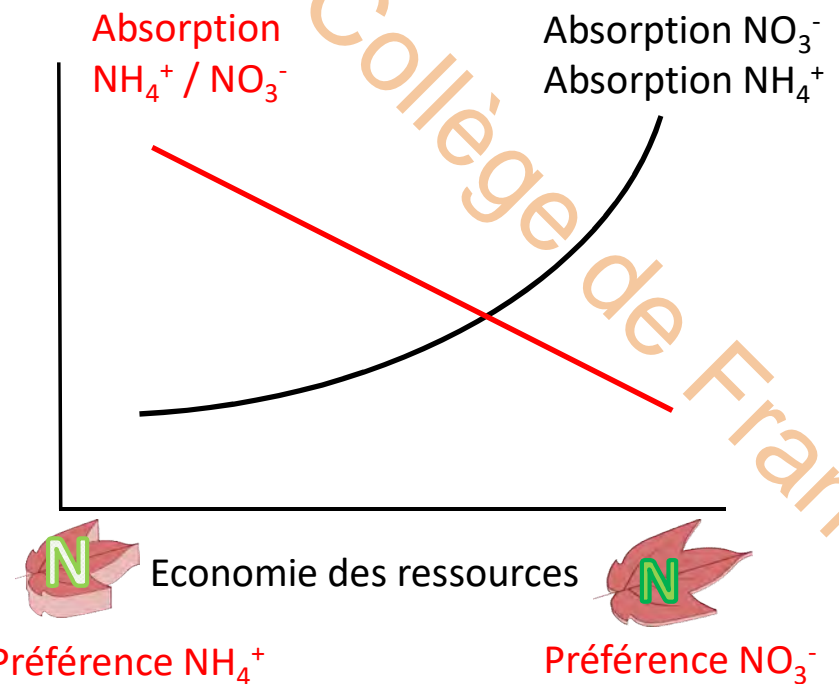


Lavorel, S et al. (2013) Linking functional traits of plants and other trophic levels for the quantification of ecosystem services. *Journal of Vegetation Science*, 24, 942-948

# Acquisition des formes d'azote par les plantes

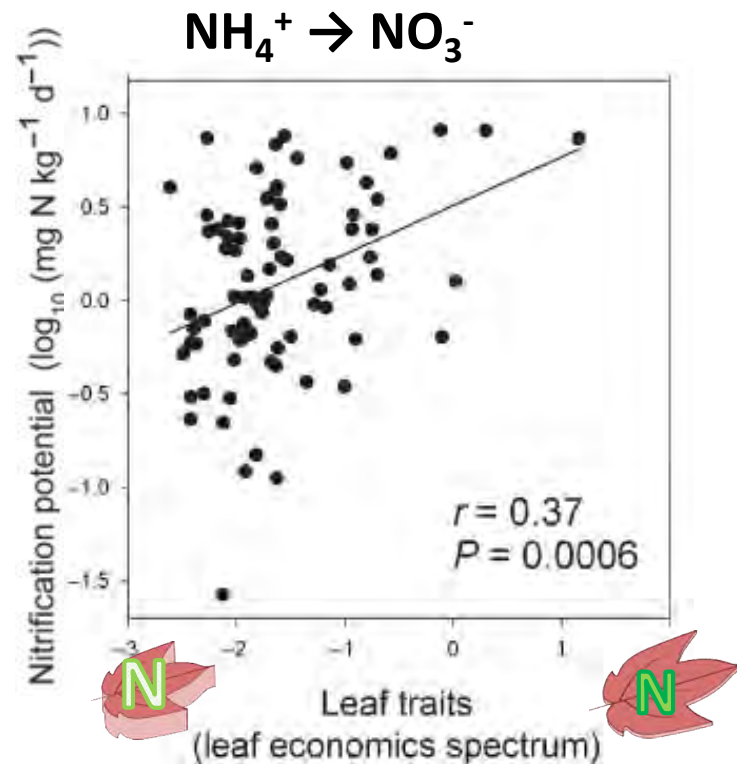
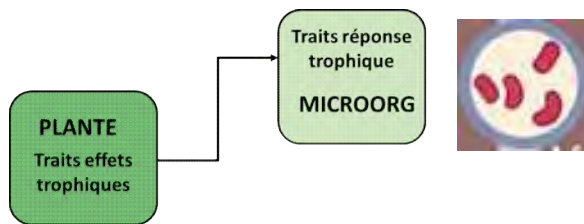


Eisenhauer, N. (2012) Aboveground–belowground interactions as a source of complementarity effects in biodiversity experiments. *Plant and Soil*, 351, 1-22



Legay, N et al. (2020) Studies of  $NH_4^+$  and  $NO_3^-$  uptake ability of subalpine plants and resource-use strategy identified by their functional traits. *Oikos*, 129, 830-841

# Effets trophiques des traits fonctionnels des plantes sur les microorganismes des sols

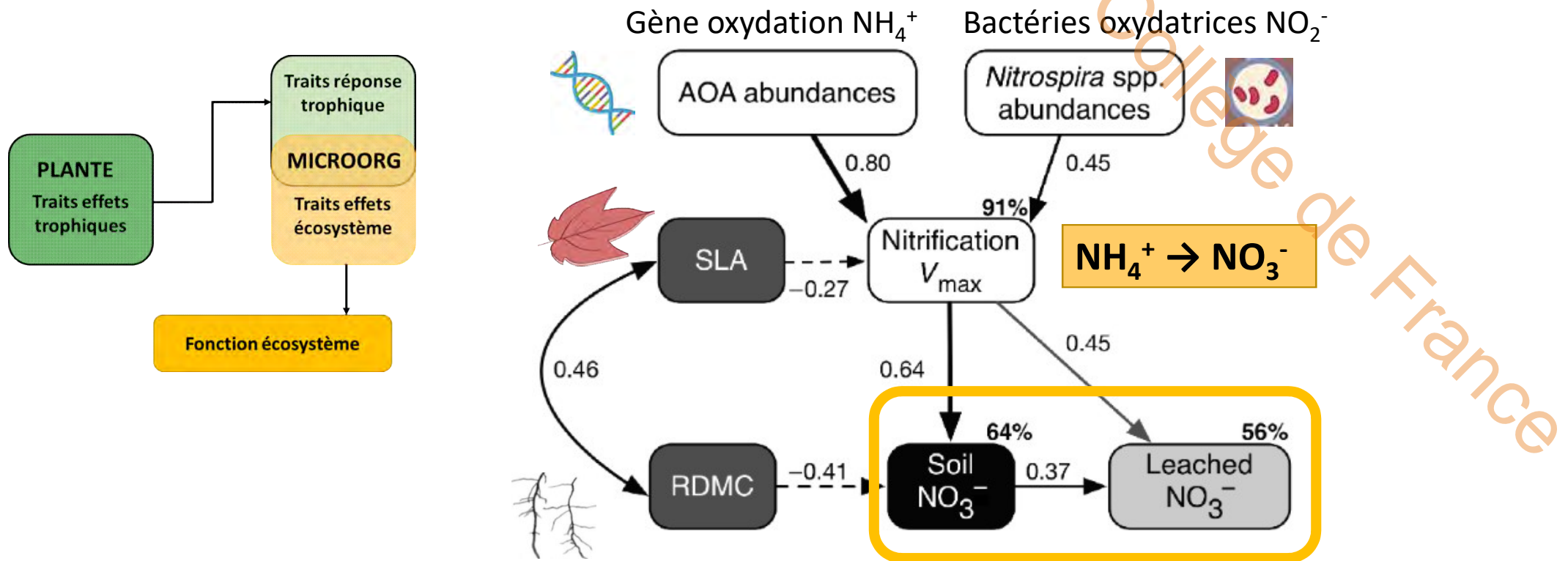


Préférence  $\text{NH}_4^+$

Préférence  $\text{NO}_3^-$

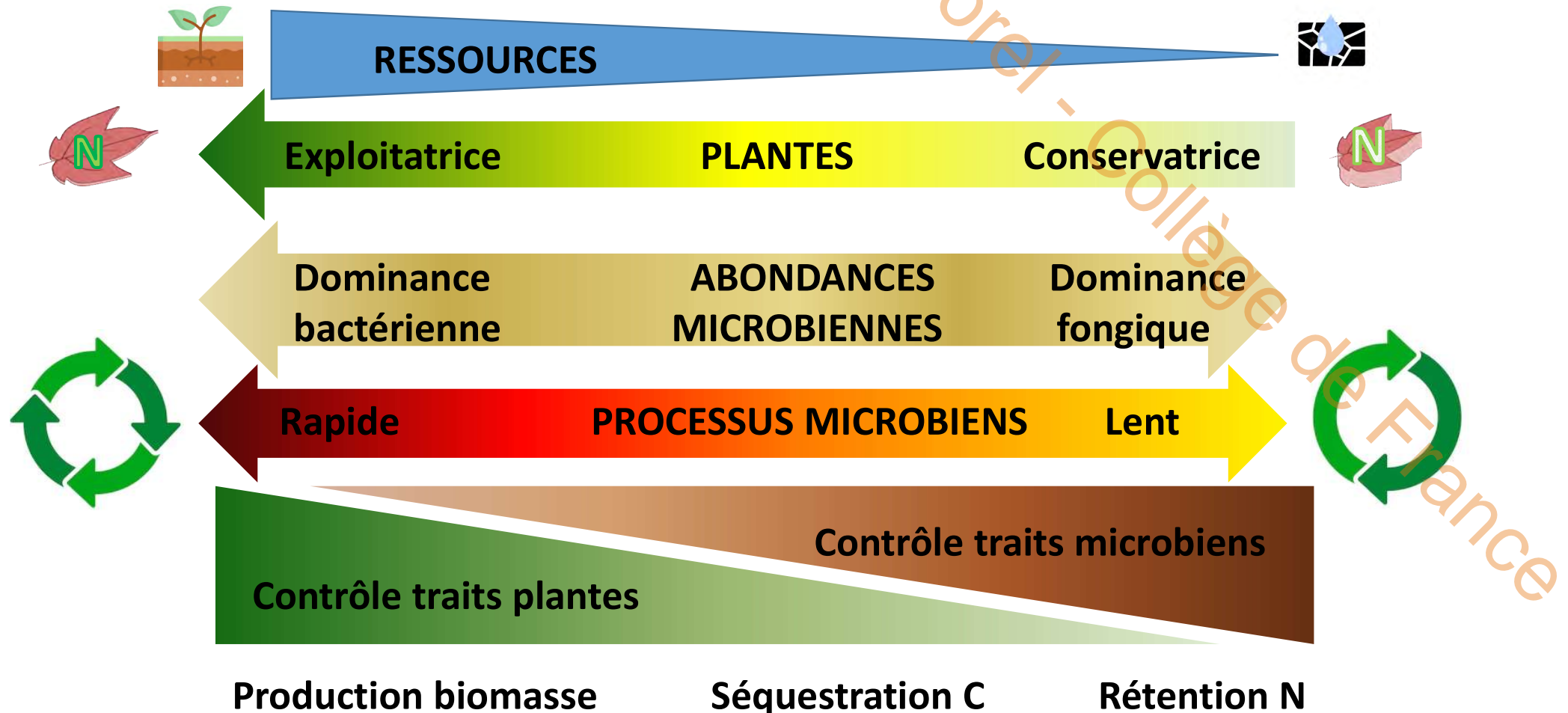
Laughlin, D.C. (2011) Nitrification is linked to dominant leaf traits rather than functional diversity. *Journal of Ecology*, 99, 1091-1099

# Effets couplés des traits des plantes et des bactéries sur le recyclage de l'azote



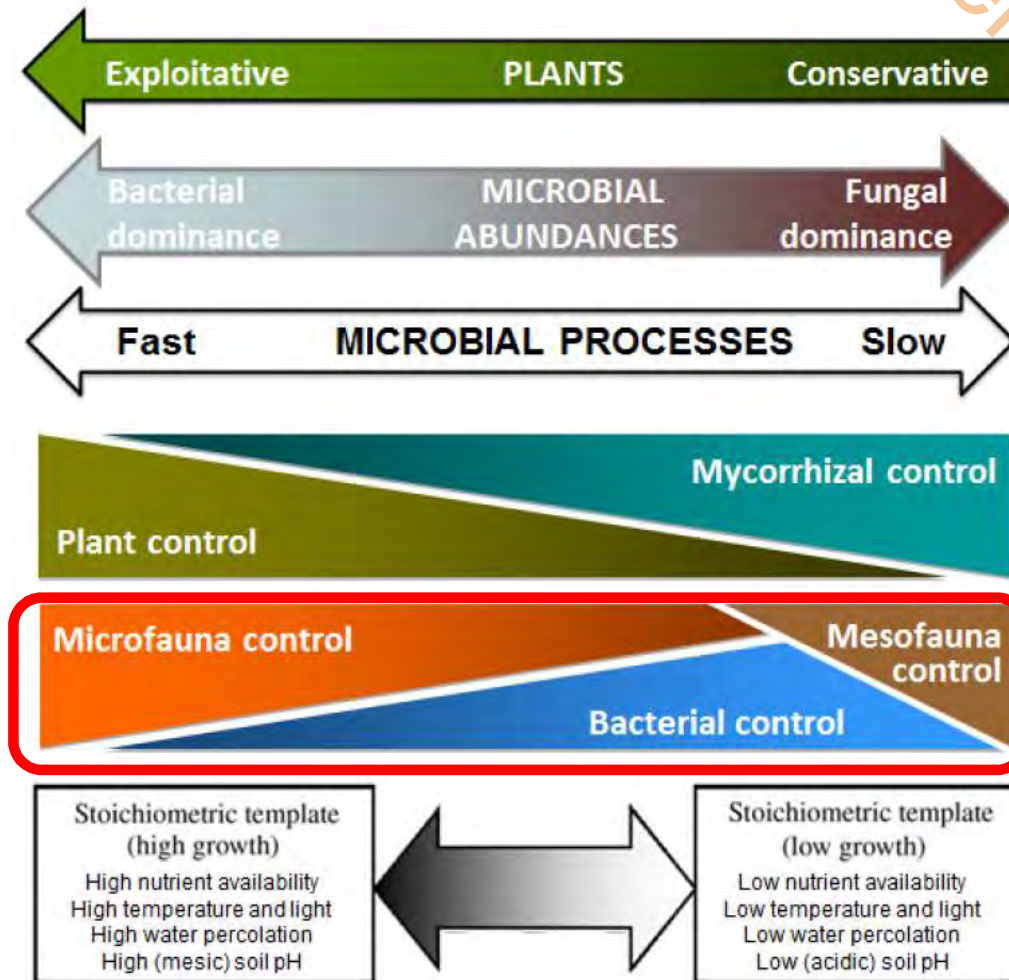
Pommier, T et al. (2018) The added value for nitrogen-related service of considering key microbial contributions in mountain grasslands. *Journal of Applied Ecology*, 55, 49-58

# Continuum de fonctionnement de l'écosystème



Grigulis, K et al. (2013) Combined influence of plant and microbial functional traits on ecosystem processes in mountain grasslands *Journal of Ecology*, 101, 47-57. Lavorel, S & Grigulis K (2012) How fundamental plant functional trait relationships scale-up to trade-offs and synergies in ecosystem services. *Journal of Ecology*, 100, 128-140

# Extension du modèle aux réseaux trophiques du sol

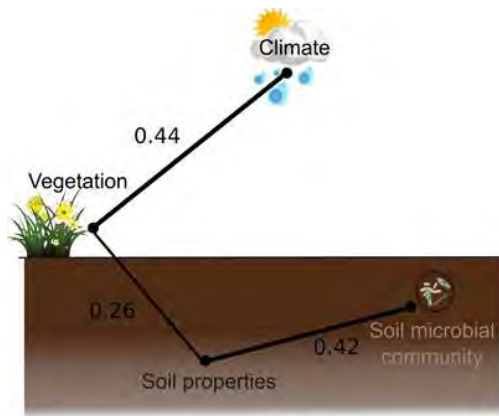


Mulder et al. *Advances in Ecological Research* 2013

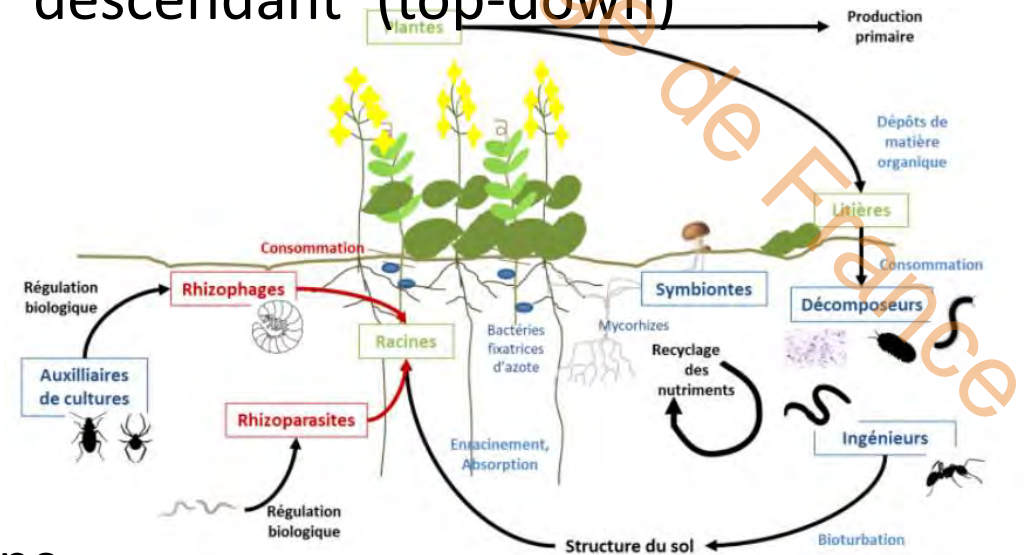
# Promesses et limites du modèle



- Corpus en cours d'investigation
- Contrôle primaire par les contraintes environnementales – selon l'échelle et les contrastes
- Modèle 'ascendant' (bottom-up) vs. 'descendant' (top-down)



Weil, S-S et al. (2021)  
*Journal of Biogeography*



© Marine Zwick

- Effets directs, indirects et rétroactions
- Dilution des effets le long des réseaux trophiques

# Synthèse

- Les traits fonctionnels des plantes permettent de faire le lien entre les changements environnementaux (gestion, climat...) et les cycles biogéochimiques.
- Ils participent aussi aux liens trophiques au sein des écosystèmes
- Une approche prometteuse pour les fonctions plus complexes, notamment dans les sols, mais avec ses limites
- Un thème de recherche fertile, à poursuivre avec une attention aux mécanismes et aux mesures de traits fonctionnels pertinentes

**Merci**

**COLLÈGE  
DE FRANCE**

— 1530 —



**Sandra LAVOREL**

CHAIRE ANNUELLE BIODIVERSITÉ ET ÉCOSYSTÈMES

La chaire annuelle Biodiversité et écosystèmes bénéficie  
du soutien de la Fondation Jean-François de Clermont-Tonnerre.



**Fondation  
Jean-François  
de Clermont-Tonnerre**

S. Lavoirel - Collège de France