



Quelles pratiques de
fertilisation
pour accompagner la **diversité**
des systèmes de culture ?



Mieux comprendre les interactions sol-plante pour construire des agrosystèmes fertiles et durables

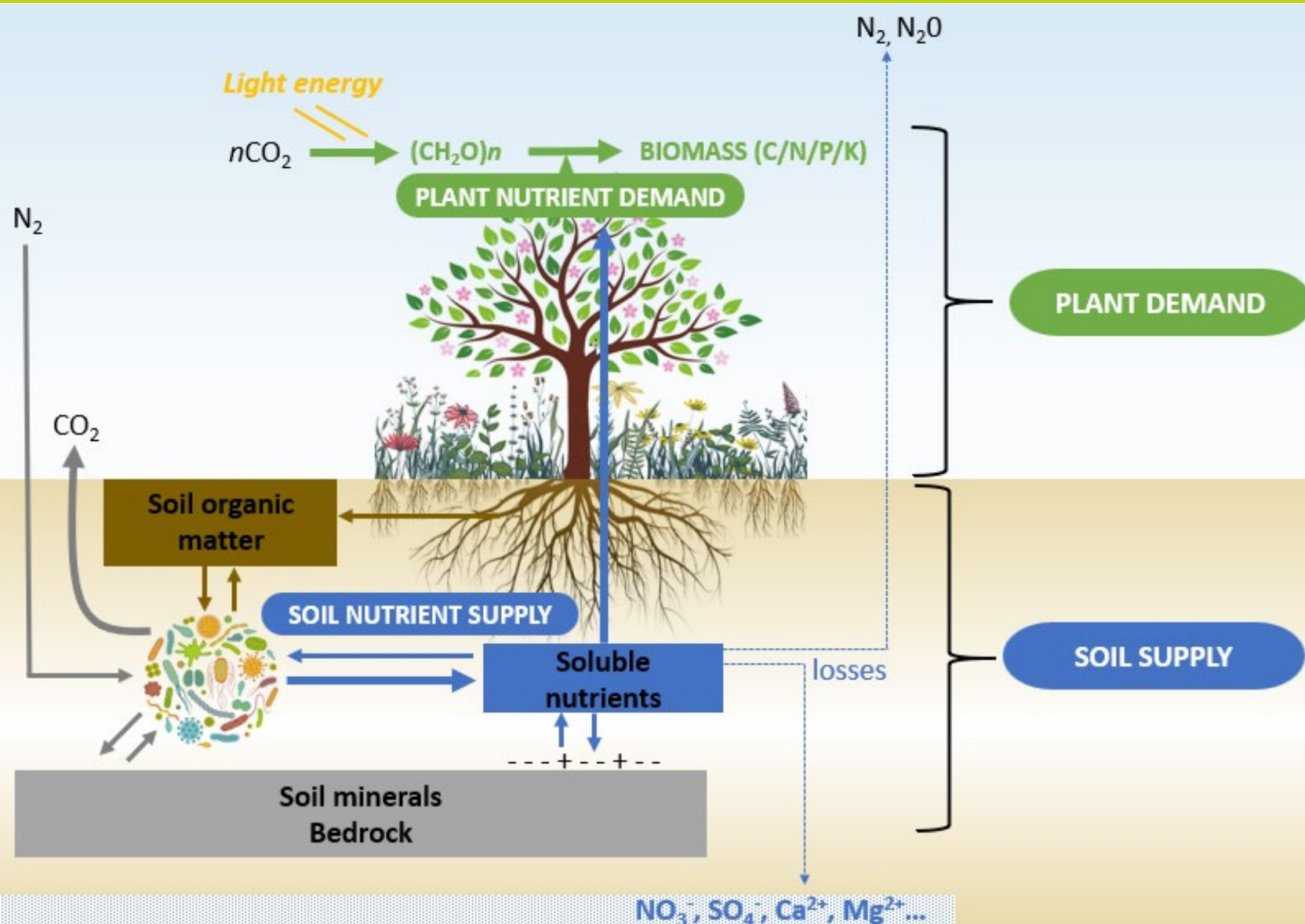
Sébastien FONTAINE

Unité de recherche sur les prairies

INRAE Clermont-Ferrand



Enjeux de synchroniser l'offre à la demande



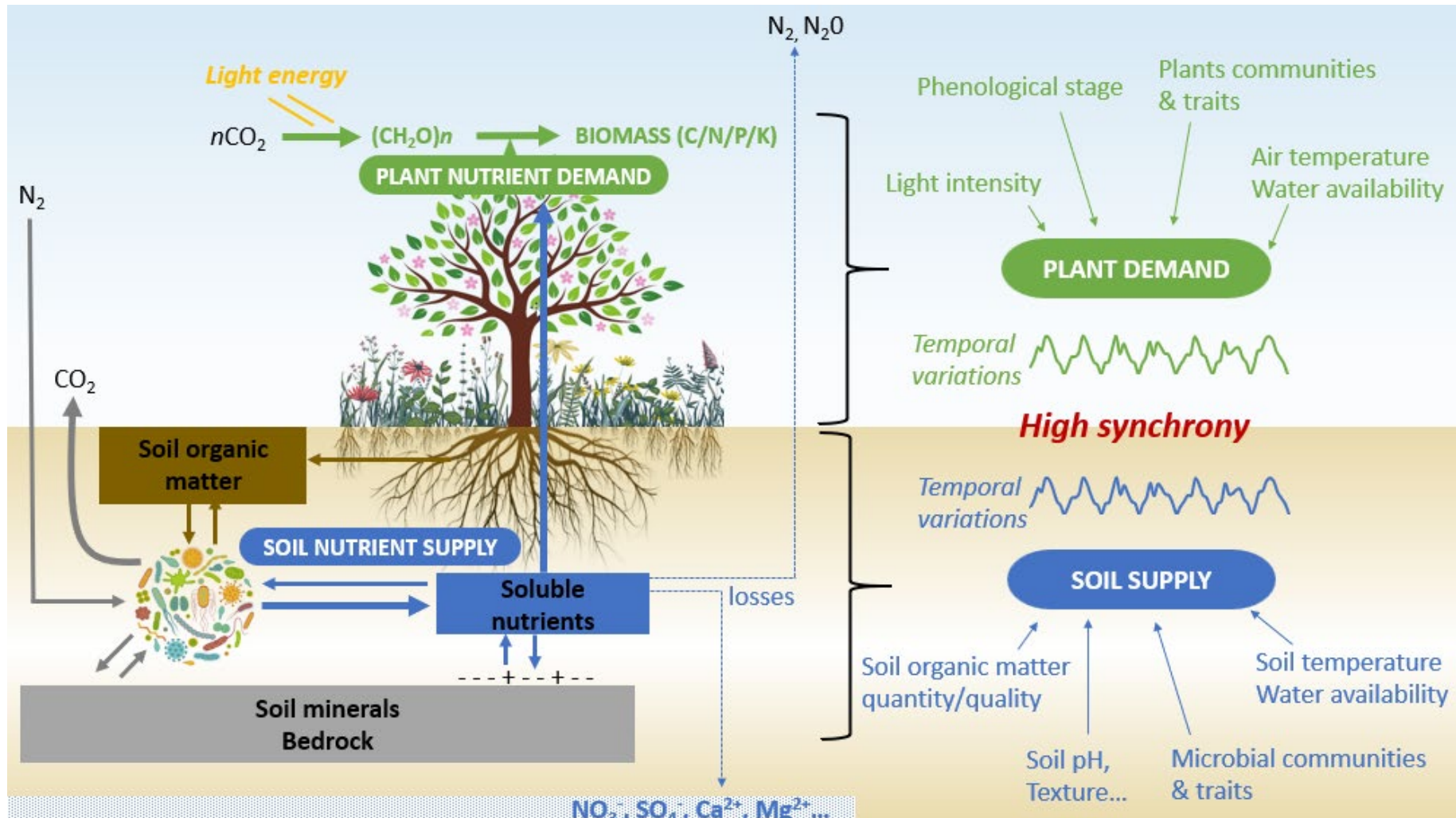
SYNCHRONIE OFFRE-DEMANDE:

- 1) *Maximisation de la production*
- 2) *Minimisation des pertes*
- 3) *Construction réserves organiques*



Complexité de synchroniser l'offre à la demande

30 ans



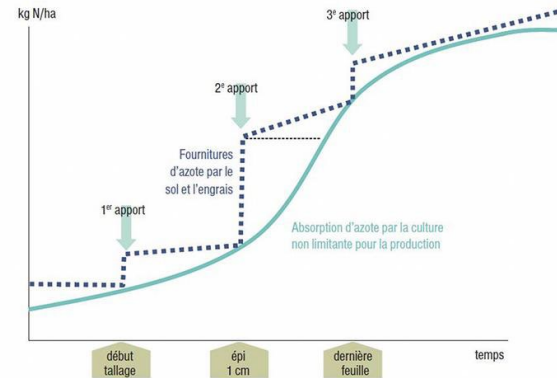


Synchroniser la fertilisation à la demande: des technos lourdes et avec certaines limites

30 ans

- Synchroniser dans le temps:
- Synchroniser dans l'espace

Les besoins en azote explosent à la reprise de végétation



JUBIL[®]
INRA - ITCF



- 50% de l'N apporté n'est pas utilisé par la culture -> pollutions de l'eau et l'air (N₂O), pertes financières
- Technos peu adaptées au bio, fertilisation organique, mélanges d'espèces...



Comment l'offre du sol s'ajuste à la demande dans les milieux naturels?

30 ans

Synthèse de 30 ans
d'avancées en écologie,
biogéochimie et
agroécologie

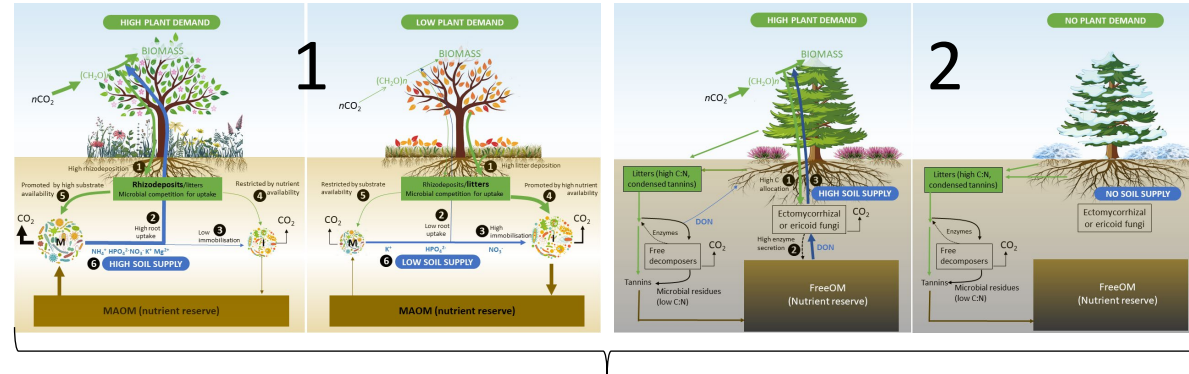
- Quel niveau de synchronie dans les milieux naturels?
- Quelles structures écologiques favorisent la synchronie?
- Quels pratiques/itinéraires techniques promouvant la synchronie ?



Fontaine et al 2023 GCB

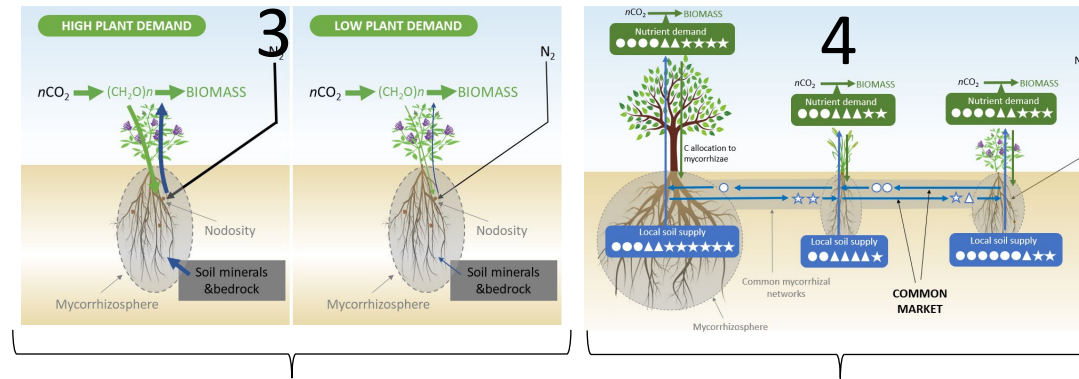


4 systèmes de synchronie



Réserves organiques de nutriments

! Dans la nature, les plantes se nourrissent sur des flux de N qui s'ajustent aux besoins
Pas de stock d'N soluble, pas de pertes !



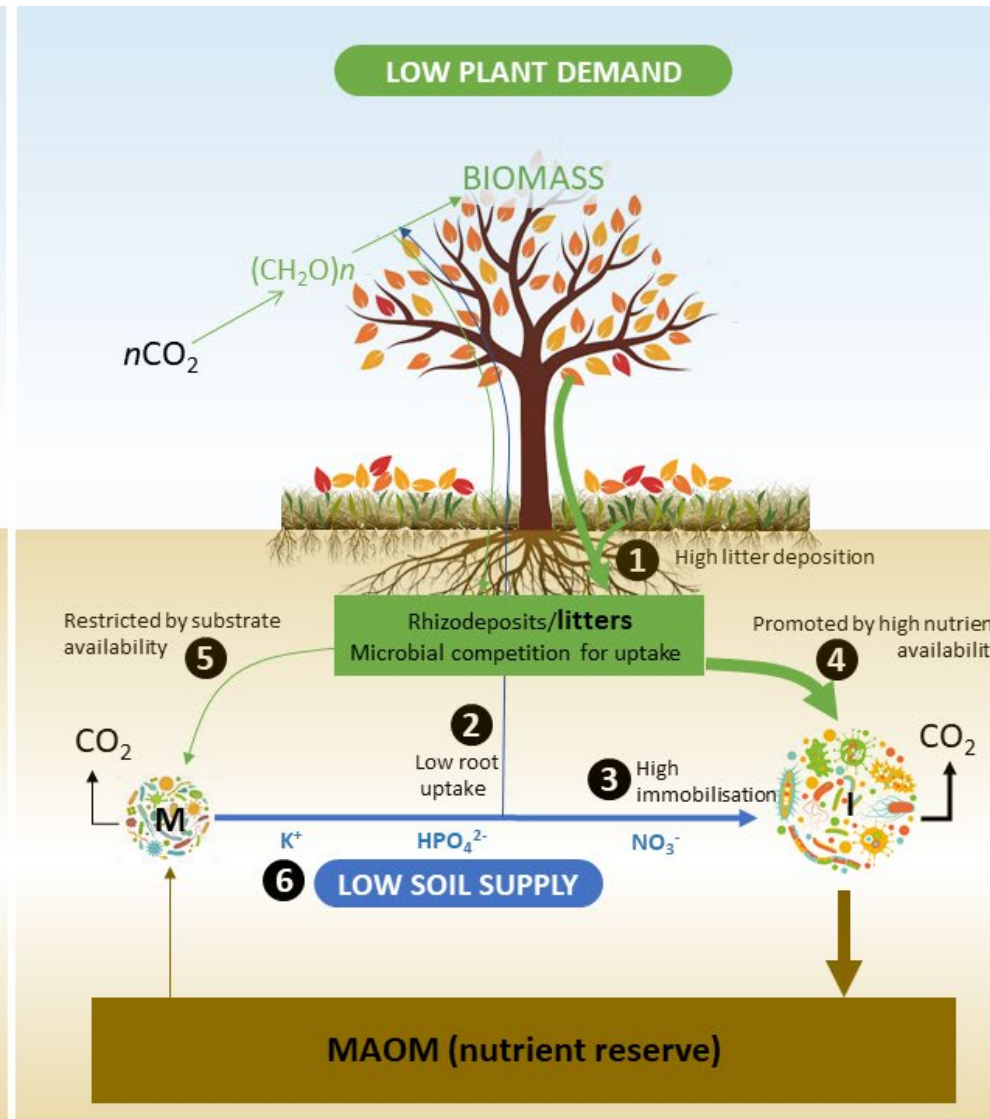
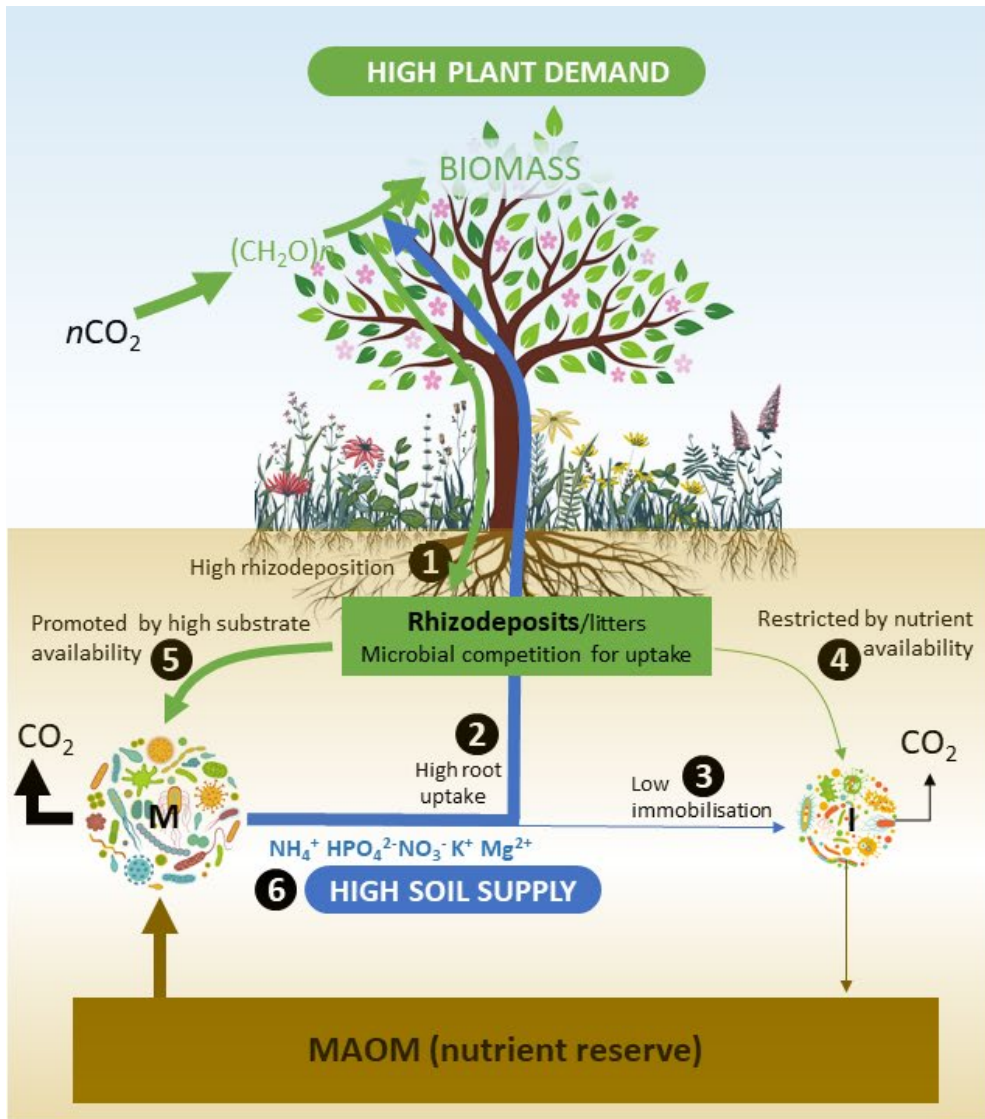
Réservoirs inorganiques de nutriments

Marché commun



1. Système basé sur les matières organiques liées au minéraux

20



Flux N : 500-1000 kg ha⁻¹an⁻¹
Flux P: 40-500 kg ha⁻¹an⁻¹

Booth et al 2005
Wanek et al 2019



Pratiques favorisant ce type de synchronie



Maintien d'un couvert végétal permanent



Maintien d'un C/N de la biomasse élevé

Lessivage N -70%
Stock C sol +15%
Emissions N2O -85%

Sélection nouvelles espèces/variétés



plantes pérennes

blés à forte exsudation

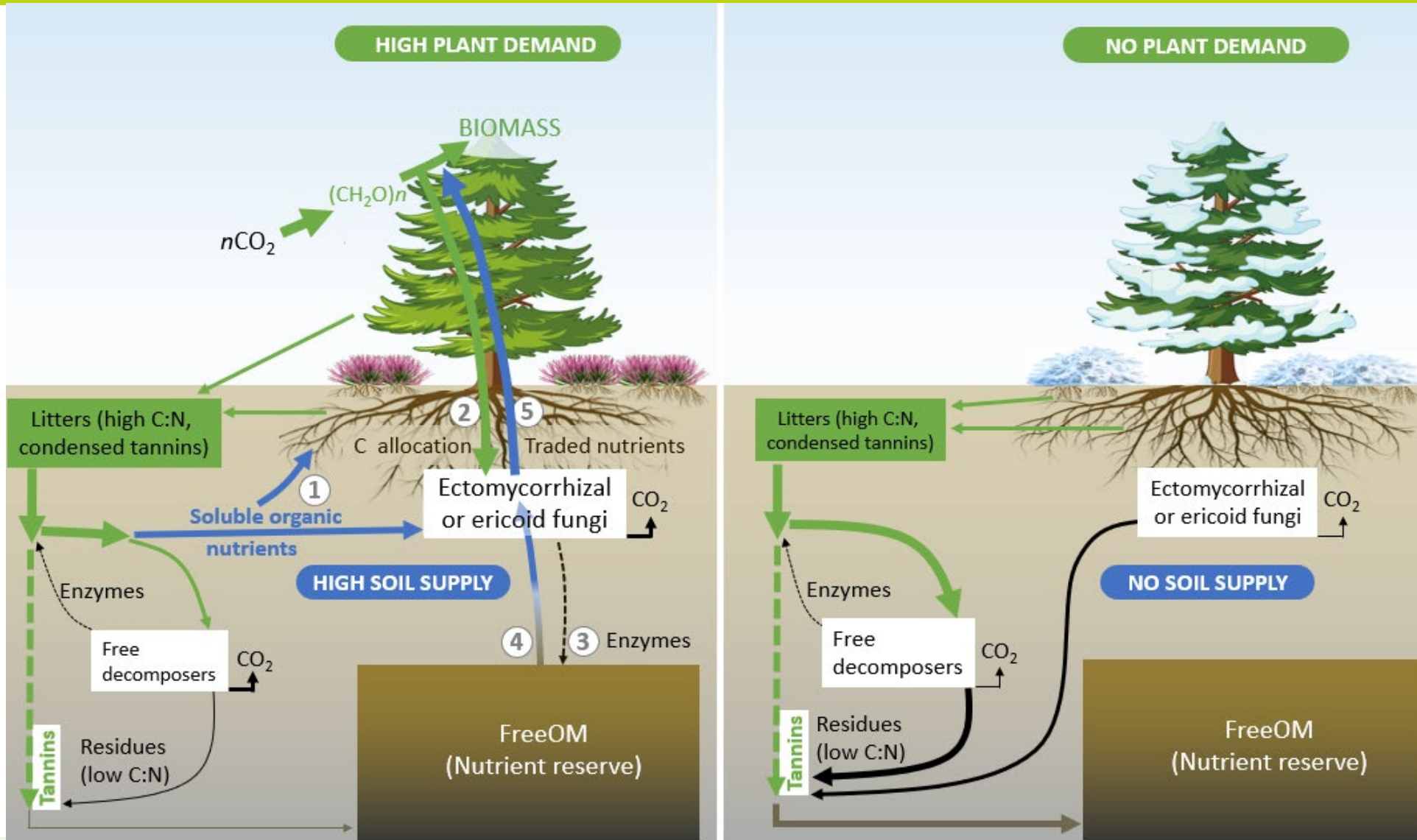
Recyclage nutriments organiques





2. Système basé sur les matières organiques libres (horizon organique)

30 ans





Pratiques favorisant ce type de synchronie



Insertion de plantes conservatives



Recyclage nutriments organiques

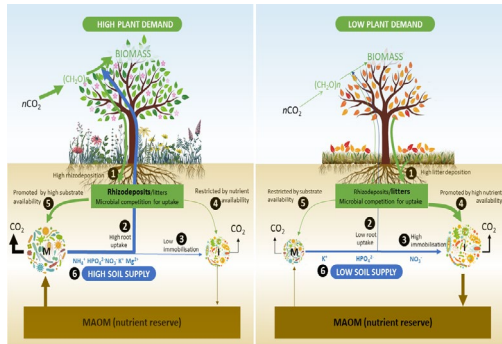




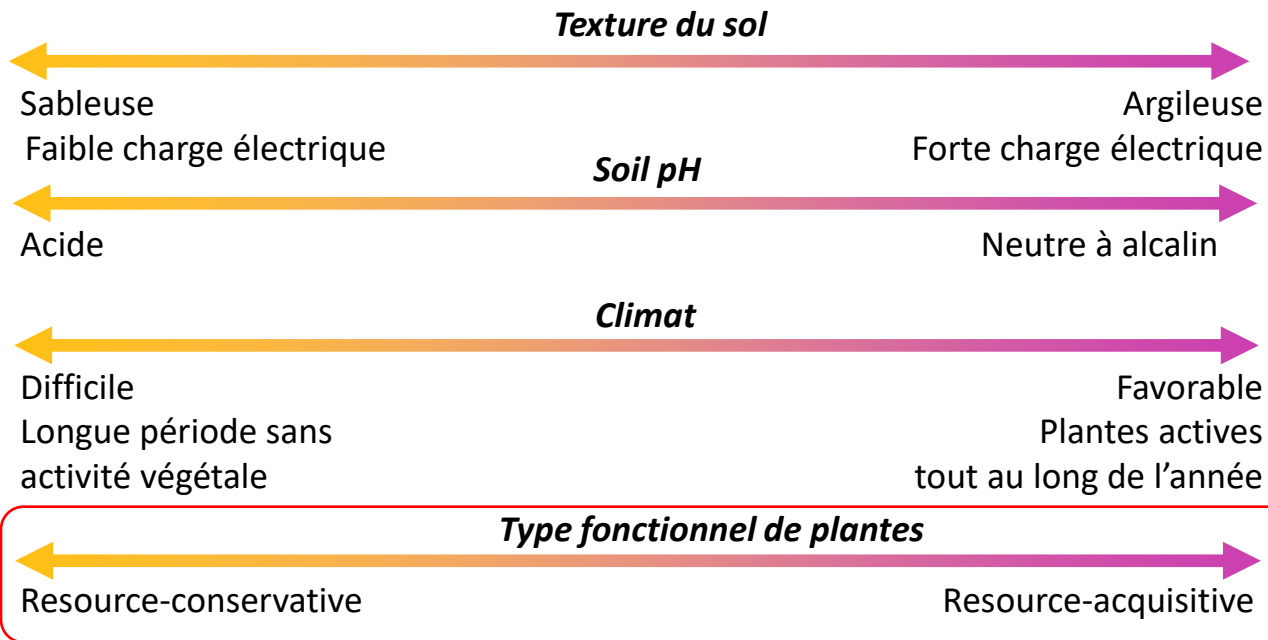
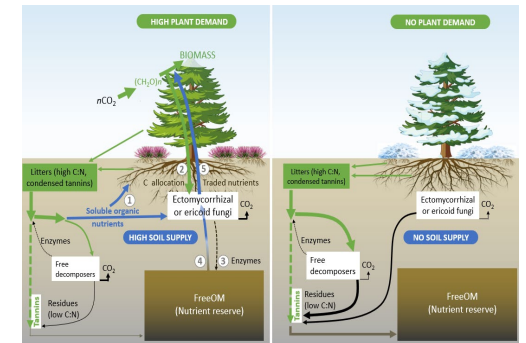
S'adapter aux conditions locales



Synchronie 1



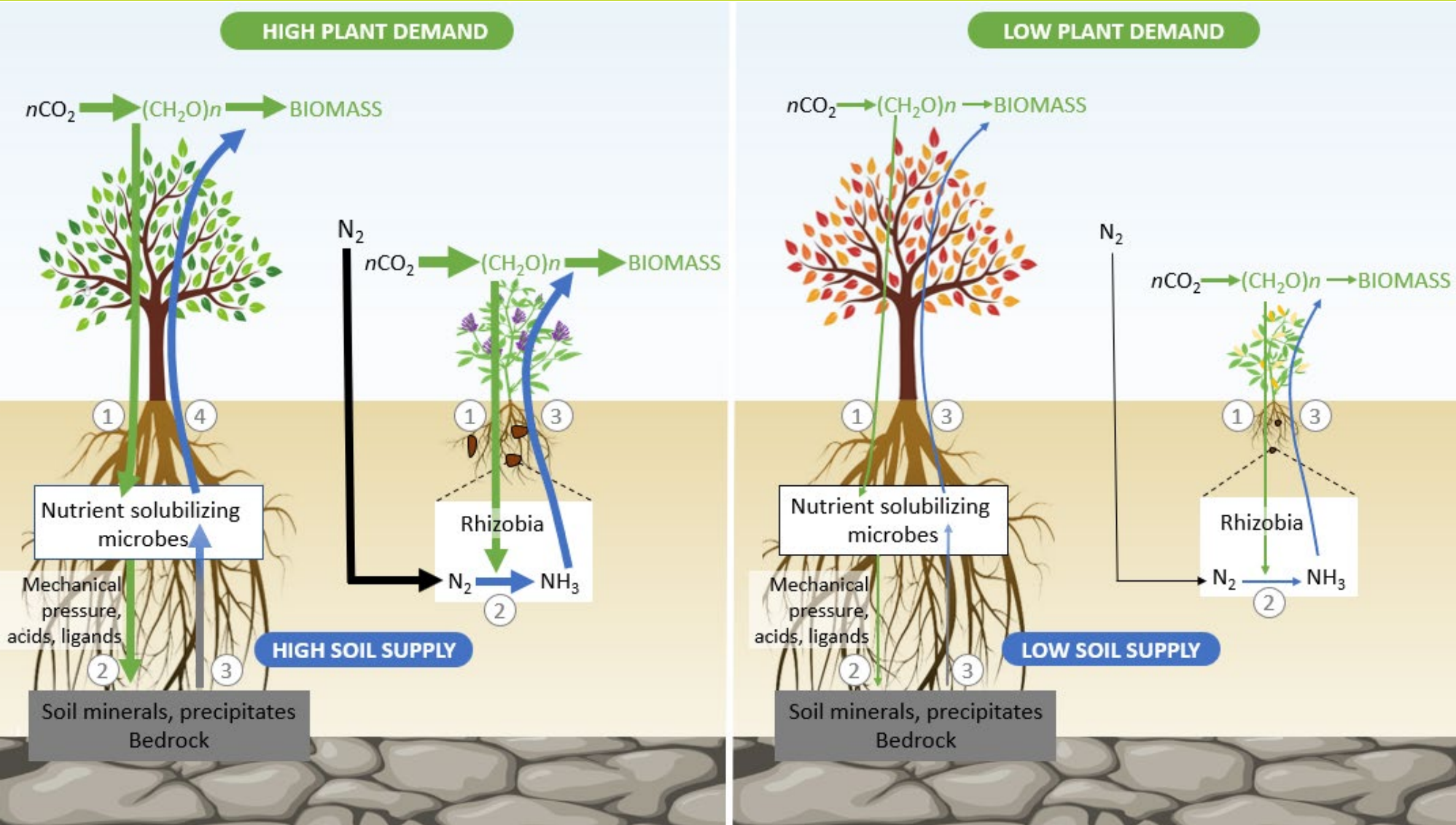
Synchronie 2





3. Système basé sur l’N atmosphérique et les nutriments des roches

30 ans



Flux N : 100-300 kg ha⁻¹an⁻¹
 Flux P : 1-60 kg ha⁻¹an⁻¹



Pratiques favorisant ce type de synchronie



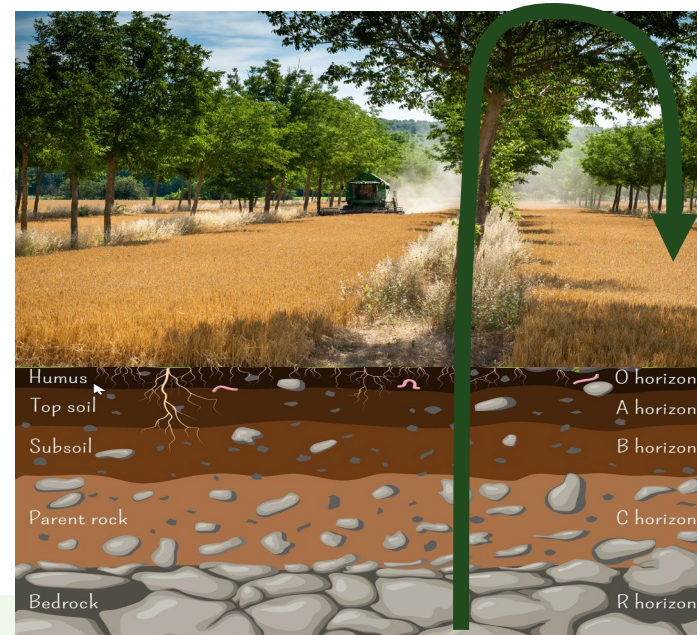
Insertion de légumineuses



Agroforesterie

Fertilisant N -55%
Fertilisant P -12%

Sélection de plantes solubilisant les minéraux (P inorganique)



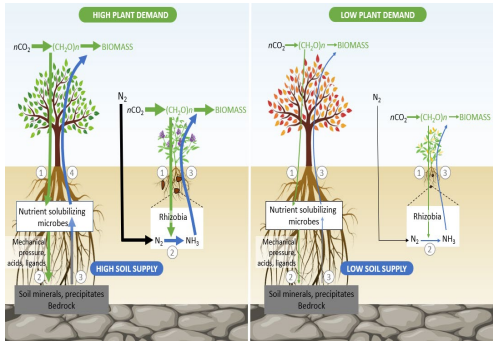
Ascenseur à nutriments



S'adapter aux conditions locales



Synchronie 3

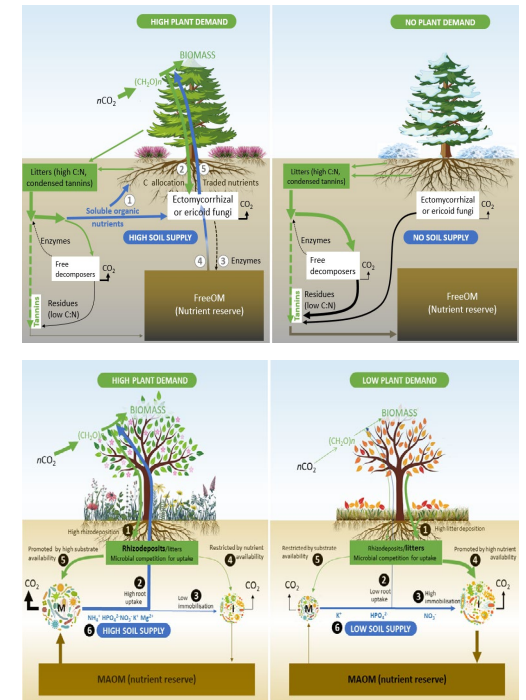


← **Richesse en nutriments de la roche/minéraux** →
Fort Faible

← **Profil de sol** →
Peu profond Affleurement roche mère Profond Riche en MO

← **Proportion of legumes** →
Fort Faible

Synchronie 1,2





Reconcevoir le concept de fertilité



Définition historique

- Capacité inhérente des sols à soutenir à soutenir une production en fournissant des nutriments en quantité suffisante et dans les bonnes proportions

Ce que nous dit la synchronie

- La plante contrôle la quantités et la proportion des nutriments fournis par le sol
- Des systèmes écologiques ajustent l'offre à une demande fluctuante des plantes
- La **fertilité est une propriété émergente** des interactions sol-plante

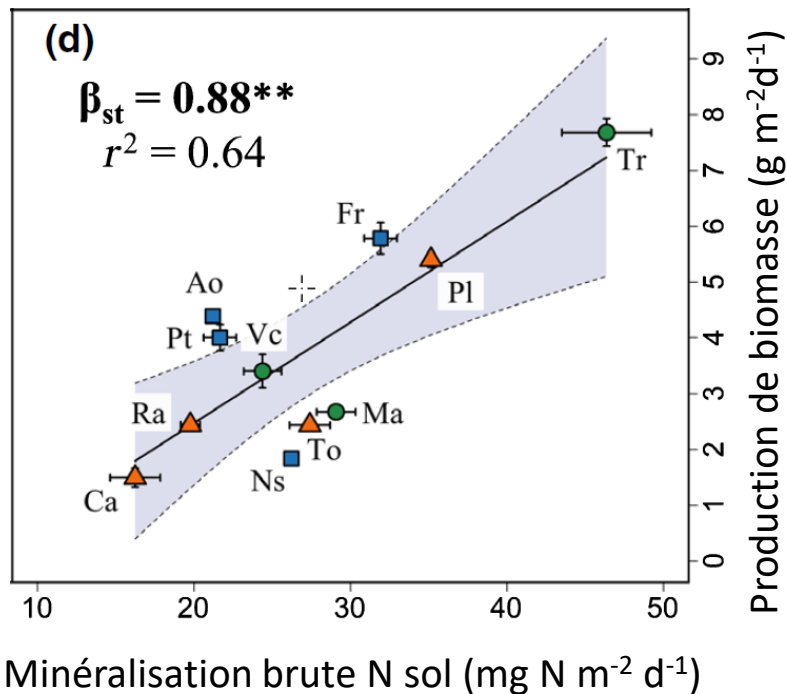


Conséquences pratiques



Un même sol peut soutenir des niveaux de production très différents

Comparaison de 12 espèces fourragères



Nouvelle approche pour concevoir des agrosystèmes durablement productifs adaptés aux conditions locales

- 1) Caractériser les conditions pédoclimatiques
- 2) Identifier la combinaison de systèmes de synchronie
- 3) Translater en itinéraires techniques

Fontaine et al 2023 GCB

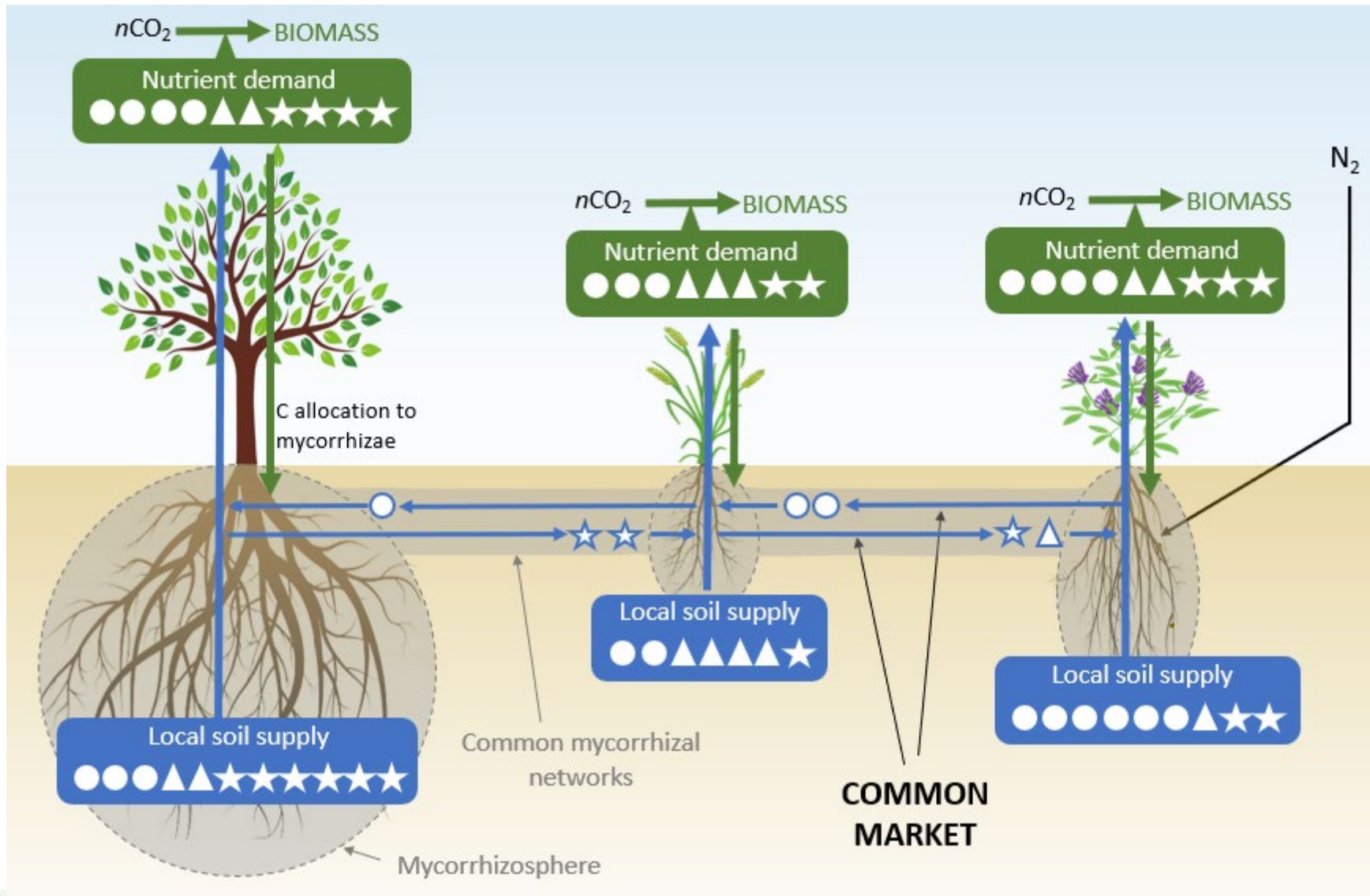


Quelles pratiques de
fertilisation
pour accompagner la **diversité**
des systèmes de culture ?

Merci !



Synchronie basée sur un marché commun





Pratiques favorisant ce type de synchronie



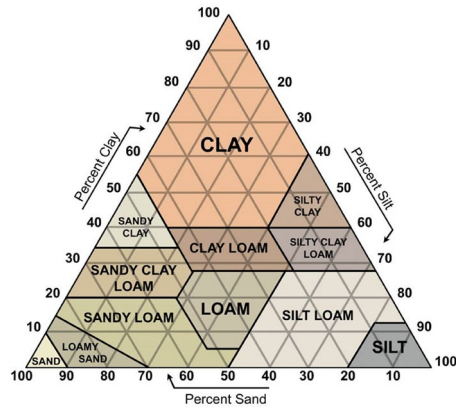
Mélanges d'espèces végétales avec des besoins en nutriments et des stratégies d'acquisition complémentaires



Biomasse production +22-30%
Prélèvement P +24%
Prélèvement N +22%
Carbone du sol +26-40%



Step 1 : characterizing the local pedoclimatic content

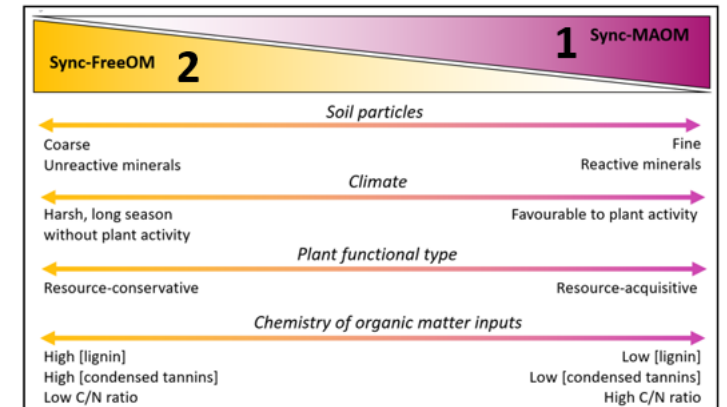
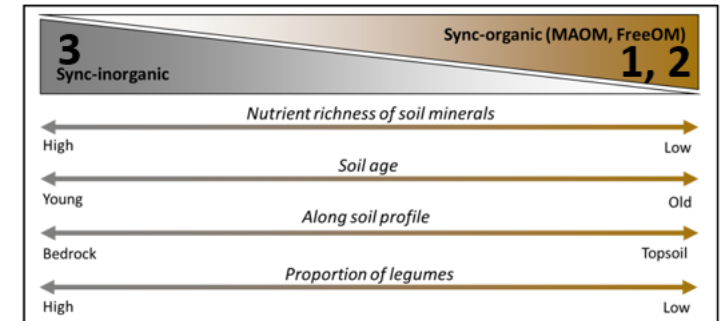


Soil texture, pH
Soil mineral reactivity



Evapotranspiration
Rainfall
Extremes temperatures

Identify the more adapted organization systems



Step 2 : installing the organization systems in agrosystems

On the POSTER, a magic table suggests how to install the targeted systems in agrosystem

Let's continue around a Riga Black Basalm !

Synchrony	Conditions of synchrony	Combination of practices to set up for promoting the targeted synchrony
Sync-MAOM	<ul style="list-style-type: none"> -Acquisitive plant species -Continuous activity of microbes M & I -Reserve of MAOM in soil 	<ul style="list-style-type: none"> - Use or genetically select acquisitive species with high C rhizodeposition rate - The C/N of plant species or organic residues must be high enough. Ideally, the different plant species have contrasting C/N ratios (a, c, j, k) - Maintain a continuous cover of active plants fueling microbes in energy (all pictures but e) - Recycle organic nutrients at local scale (farm-watershed) to preserve soil organic reserve on the long-term (d, e, f)
Sync-FreeOM	<ul style="list-style-type: none"> -Conservative plant species -Mycorrhizal fungi -Reserve of FreeOM in soil 	<ul style="list-style-type: none"> - Use or genetically select conservative species producing recalcitrant litter with reactive compounds (e, f)* - Amendment of recalcitrant organic residues harboring reactive compounds partly charged in organic nutrients (e) - Recycle organic nutrients at local scale (farm-watershed) to preserve soil organic reserve (d, e, f)
Sync-Inorganic	<ul style="list-style-type: none"> -Plant symbiosis with mycorrhizal fungi & N₂ fixing bacteria -Nutrients stored in bedrock, soil minerals and/or precipitates 	<ul style="list-style-type: none"> - Use or genetically select of species with strong capacity of mobilizing nutrients from rock and soil minerals - Use of plant with deep roots colonizing bedrock (g, h, i) - Use of legumes (a, c, k) - Inoculation with mixed mycorrhizal fungi & N₂ fixing bacteria in highly degraded soils
Sync-Market	<ul style="list-style-type: none"> -Plant species with complementary nutritional needs -Common mycorrhizal networks 	<ul style="list-style-type: none"> - Mix plant species with different nutrient acquisition strategies and carbon:nutrient ratios (a, c, l, j, k) - Promote perennial plants (f, g, h, l, k) and/or permanent plant cover (all pictures but e) to fuel mycorrhizae in energy-rich carbon - No or limited use of soil tillage (b) and pesticides to preserve mycorrhizae networks - Inoculation with mixed mycorrhizal fungi in highly degraded soils
Increasing overall synchrony	<ul style="list-style-type: none"> -Synchrony systems adapted to pedoclimatic context -Complementary synchrony systems -Plant plasticity & reserve 	<ul style="list-style-type: none"> - Analyzing the soil profile and climate, adapt the proportion of the different synchrony systems accordingly - Mixing plant species with different nutrient acquisition strategies (a, c, l, j, k) - Select crops species for their suitability to association - Promote perennial plants with high reserve and organ plasticity (f, g, h, l, j, k)

