

# Débloquer l'autofertilité et la résilience des sols

Cécile Tartera – agronome chez Groupe ProConseil

## 1. Le sol vivant : comment les plantes le structurent

La plante structure et nourrit le sol. Elle agit à travers trois mécanismes physiques et biologiques complémentaires :

### 1.1 Couverture du sol : stabilisation physique

- **Couvert protecteur** : protection mécanique contre l'érosion par impact des gouttes de pluie et contre le dessèchement de la surface.
- **Enchevêtrement racinaire** : les racines stabilisent physiquement les agrégats du sol et créent un réseau de canaux.
- **Colle biologique** : les exsudats racinaires (sucres) libérés lors de la photosynthèse nourrissent les bactéries, qui produisent un gel mucilagineux. Ces mêmes sucres alimentent les mycorhizes, qui produisent la glomaline (complexe de protéines). Ces deux substances, combinées au mycélium, contribuent à la stabilité structurale des agrégats.

### 1.2 Gestion de l'eau par la porosité

- **Macropores** : canaux d'infiltration rapide créés par les grosses racines. L'eau y circule mais n'y est pas retenue.
- **Micropores** : créés par les radicelles, les hyphes fongiques, les cycles humidité-séchage et gel-dégel et les racines fines. Ces réservoirs retiennent l'eau capillaire que les racines peuvent prélever en période de déficit hydrique, accès rendu possible grâce à l'ampleur du réseau mycorhizien.

### 1.3 Les PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria)

Ces bactéries de la rhizosphère remplissent quatre grandes fonctions :

- **Nutrition des plantes** : fixation de l'azote atmosphérique et solubilisation du phosphore ; mobilisation d'autres éléments peu mobiles comme le fer et le potassium.
- **Production d'hormones végétales** : auxines (croissance racinaire), gibbérellines et cytokinines (division cellulaire).
- **Phytoprotection** : occupation de l'espace rhizosphérique limitant l'implantation des pathogènes ; sécrétion de substances antibactériennes et antifongiques et activation des défenses naturelles de la plante.
- **Résistance aux stress abiotiques tels que** salinité, déficit hydrique, sécheresse.

### 1.4 Les mycorhizes

Plus de 85 % des plantes vasculaires vivent en symbiose avec un champignon mycorhizien. En plus des bénéfiques similaires aux PGPR, les mycorhizes apportent :

#### 1. Nutrition des plantes

- Absorption des éléments peu mobiles (phosphore, Zn, Cu, etc.)
- Accès à l'eau

#### 2. Phytoprotection

- Compétition avec les microbes pathogènes
- Activation des défenses naturelles de la plante

#### 3. Résistance aux stress abiotiques

- Aident la plante à mieux gérer le stress hydrique
- Réduisent les effets du sel ou des métaux lourds

#### 4. Structure du sol

- stabilisation des agrégats avec la glomaline

#### 5. Stockage de carbone

#### 6. Communication entre plantes et échanges de nutriments

## 2. La chaîne alimentaire du sol

**Principe fondamental** : les plantes vertes sont les seuls à fixer le carbone de l'air grâce à l'énergie lumineuse (photoautotrophes). Les organismes du sol sont hétérotrophes — ils dépendent des apports de la plante. La matière organique ne nourrit pas directement les plantes : elle nourrit les décomposeurs, qui initient une chaîne alimentaire complexe dont la plante est le bénéficiaire indirect.

**Trois groupes fonctionnels structurent cette chaîne :**

- **Macrofaune (> 10 mm)** : vers de terre, fourmis, araignées = fragmentation mécanique de la matière organique.
- **Mésafaune (0,2–10 mm)** : acariens, collembolles = fragmentation fine et ingestion.
- **Microfaune (< 0,2 mm)** : bactéries, champignons, nématodes, protozoaires, archées, levures, algues = dégradation chimique et recyclage des nutriments.

Les trois étapes enchaînées sont : **fragmentation** (par la macrofaune et mésafaune) → **dégradation chimique** (bactéries, actinomycètes, champignons) → **recyclage des nutriments** (nématodes, protozoaires prédateurs).

*Le sol abrite environ ¼ de la biodiversité de la planète. L'agriculteur est, en ce sens, un éleveur de la vie du sol.*

## 3. Les effets du travail du sol

- **À court terme** : décompaction apparente, oxygénation, accélération de la minéralisation, destruction des adventices, préparation d'un lit de semences.
- **À long terme** : pulvérisation de la structure, effondrement des galeries de vers de terre, section des hyphes fongiques, réduction de la connectivité hydraulique, augmentation du compactage global.

Si l'on abandonne le travail du sol, comment assurer ces fonctions (décompaction, minéralisation, lit de semences) en utilisant des processus naturels ? C'est l'objet des pratiques agroécologiques.

*Chaque opération culturale reste une décision de compromis que l'agriculteur prend en fonction de l'équilibre de son agroécosystème.*

## 4. Symbioses fondatrices : trois exemples

### **Le lichen – colonisation de la terre ferme**

Il y a 450 millions d'années, les algues (photosynthèse, minéraux dissous dans l'eau) et les champignons (dissolution des minéraux de la roche) se sont associés et la complémentarité de leurs fonctions leur a permis de coloniser la terre. Leur décomposition produit de l'humus, nourri les premiers décomposeurs et permis l'installation des plantes. C'est le modèle originel de la complémentarité inter-règnes.

### **La mycorhize – déjà traitée en section 2.3**

### **Rhizobium – fixation symbiotique de l'azote**

Ces bactéries fixent l'azote atmosphérique et sont hébergées dans les nodules racinaires, organes spécialisés des légumineuses. Le nodule crée un microclimat à très faible concentration en oxygène, conditions nécessaires à l'activité de la nitrogénase (enzyme de fixation de l' $N_2$ ). La plante fournit le carbone, la bactérie fournit l'azote assimilable. Avec cette symbiose, Rhizobium réalise à température ambiante et à pression atmosphérique ce que la fabrication d'engrais azotés minéraux par le procédé Haber-Bosch nécessite de faire à environ 450 °C et sous une pression pouvant atteindre 500 atmosphères.

*Ces exemples illustrent que la diversité est source de synergies.*

## 5. Biodiversité et résilience des agroécosystèmes

### 5.1 L'expérience de Jena (Allemagne, depuis 2002)

Résultats principaux de cette expérimentation à long terme sur la biodiversité végétale :

- Plus d'espèces végétales → pas toujours plus d'abondance, mais beaucoup plus de diversité microbienne dans le sol.

- Plus d'espèces végétales → plus de stockage de carbone et d'humus.
- L'activité microbienne accrue se traduit par une plus grande quantité de nitrate, acides aminés et ammonium.
- La diversité végétale augmente la diversité au sein de toutes les familles de la vie du sol, par complémentarité des niches rhizosphériques.

## 5.2 Concepts de biodiversité opérationnels

Notions de biodiversité : tient compte de la richesse (nombre d'espèces différentes) et de l'abondance.

- **Diversité alpha** : diversité moyenne des espèces dans un échantillon de sol (mesure locale).
- **Diversité bêta** : variation de la diversité d'un échantillon à l'autre, selon leur localisation. Plus forte dans les environnements complexes (forêt, agroforesterie) → corrélée à une meilleure résilience.
  - **Redondance fonctionnelle** : plusieurs organismes remplissent les mêmes fonctions dans des conditions différentes (pH, sécheresse, température). Cette redondance confère la stabilité des fonctions écosystémiques dans le temps et selon les aléas.

*Ces éléments montrent que la diversité est source de résilience.*

## 6. Tension de l'agroécologie

- **Agroécosystèmes agricoles** : simplifiés, potentiellement productifs à court terme, mais vulnérables (peu de redondance fonctionnelle).
- **Ecosystèmes naturels** : complexes, moins directement productifs, mais très résilients.

L'agriculture maintient artificiellement les systèmes dans un état juvénile, fragile. L'agroécologie est donc un compromis entre gagner en complexité sans perdre en productivité. **L'agroforesterie incarne cet équilibre idéal.**

## 7. Leviers pratiques

### 7.1 Diversité végétale dans le temps et dans l'espace

- **Dans le temps** : rotation des cultures, cultures de couverture en dérobée.
- **Dans l'espace** : bandes fleuries, couverts intercalaires, cultures associées, haies.
- **Plantes pérennes** : agroforesterie, prairies, semis sur couvert végétal vivant (SCV). Les racines pérennes créent le réseau biologique permanent sur lequel les cultures annuelles viennent se connecter.
- **Diversité spécifique, variétale et de cultivars** : dans les engrais verts, introduire des espèces peu cultivées habituellement dans les cultures commerciales, mélanger des variétés de graminées dans une prairie ou des cultivars dans un champ.

### 7.2 Biostimulants

Les biostimulants visent à renforcer les processus naturels de la vie du sol et des plantes. Les engrais verts peuvent eux-mêmes jouer ce rôle biostimulant. Leur effet sur les ennemis des cultures est indirect : en renforçant la capacité de résistance de la plante aux stress abiotiques (sécheresse, salinité), on lui permet de conserver de l'énergie pour sa croissance et sa production de biomasse. On ne contrôle pas l'ennemi directement : on stimule les défenses de la plante afin que les agresseurs, bien que présents, n'affectent pas significativement le rendement.