

# MEMENTO PRATIQUE

Résumé des connaissances indispensables pour une bonne pratique de l'agriculture biologique

## LES ORGANISMES DU SOL : les « outils » de l'agriculteur

### Fonctions

Les Isopodes, Décapodes, Rotifères, Tardigrades, Myriapodes, Collemboles, larves de Coléoptères, larves de Diptères, Acariens des sol, vers de terre, nématodes, bactéries et champignons microscopiques représentent des milliers d'espèces d'organismes vivants ou végétaux qui participent de manière cruciale à l'alimentation des plantes et à l'amélioration des qualités physiques et chimiques des sols.

**Les diverses communautés microbiennes jouent un rôle majeur dans un grand nombre de domaines :**

- (i) la biodégradation et minéralisation des matières organiques et la production de nutriments. Elles sont fondamentalement impliquées dans la production des formes assimilables de l'azote, du phosphore, du soufre, du fer et la libération d'éléments nutritifs (potassium, calcium, magnésium...)
- (ii) les réactions d'oxydoréduction, de méthylation, de déméthylation qui déterminent directement les changements d'état de nombreux éléments majeurs ou en traces et de radionucléides (carbone, azote, soufre, fer, manganèse, mercure, sélénium, chrome, arsenic)
- (iii) le fonctionnement des cycles biogéochimiques : C, N, P, S, Fe . . . dont elles régulent et déterminent même totalement certaines étapes ; le couplage de cycles

biogéochimiques (par exemple, C et N; C et Fe , C - Fe - S et éléments en traces associés. . .)

(iv) la production de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O. . .) et la qualité de l'atmosphère

(v) l'altération et la néoformation de minéraux

(vi) les changements de conditions acido-basiques et oxydoréductrices du milieu

(vii) la formation d'associations bénéfiques (ou non) avec les racines des plantes, la faune du sol : associations rhizosphériques symbiotiques ou non symbiotiques améliorant la nutrition végétale, associations synergiques avec les divers animaux du sol : lombrics, termites, collemboles améliorant l'humification, la structure du sol, etc...

(viii) la qualité des eaux : épuration par biodégradation des composés organiques d'origine naturelle ou anthropique ou par biosorption ou bioaccumulation de métaux, . . . mais aussi dégradation par acidification des eaux par production d'acides (par exemple, nitrique, sulfurique. . .)

(ix) la qualité et le rendement des productions végétales

(x) le traitement des pollutions organiques et minérales, déchets...

(xi) le traitement de matières premières (extraction-accumulation de métaux, élimination de substances indésirables. . .)

## Les animaux

- brassent le sol,
- creusent des tunnels,
- broient les particules végétales,
- malaxent dans leurs intestins ces particules avec les minéraux,
- posent des filets aux mailles mycéliennes de plusieurs kilomètres de long pour tenir les particules du sol entre elles,
- créent des usines de traitements chimiques pour fixer l'azote atmosphérique ou extraire les minéraux des roches,
- créent des hyphes-pipelines pour apporter directement à l'intérieur des plantes les éléments produits par le réseau trophique hors de portée des racines...

## D'autres intervenants plus petits

- réduisent en bouillie toutes les matières mortes
- en extirpent les ions, les cations
- et jouent allègrement avec tous ces éléments pour recomposer des molécules alimentaires ou antibiotiques.

## Les organismes vivants du sol

TYPES D'ORGANISMES	NOMBRE PAR KILO DE COMPOST	DURE DE VIE
<b>Bactéries</b>	1.000.000.000 à 10.000.000.000	<b>30 mn</b>
<b>Actinomycètes</b>	1.000.000 à 100.000.000	<b>8 jours</b>
<b>Champignons</b>	10.000 à 1.000.000	<b>8 jours</b>

<b>Algues</b>	10.000.000	<b>qq heures</b>
<b>Virus</b>	Indéterminé	<b>qq heures à 15 jours</b>
<b>Protozoaires</b>	Jusque 5.000.000.000	<b>6 heures</b>
<b>Vers de compost</b>	Jusque 1.000	<b>2 à 5 ans voir 10 ans</b>
<b>Collemboles</b>	10.000	<b>2 mois à 1 an</b>
<b>Autres insectes et larves</b>	2.000	<b>Qq heures à pl. années</b>
<b>Acariens</b>	10.000	<b>2 à 3 mois</b>
<b>Crustacés (cloportes)</b>	Jusque 1.000	<b>2 à 3 ans</b>
<b>Gastéropodes (escargots, limaces)</b>	<b>20</b>	<b>Escargot 5 à 10 ans Limace 1 an</b>

### **LE SOL VIVANT**

La macrofaune et les micro-organismes jouent un rôle fondamental dans la vie d'un sol. Ils sont indispensables à sa formation : altération de la roche mère, décomposition de la matière organique, processus de minéralisation et de formation d'humus, bioturbation, etc...

Ils jouent également un rôle clef dans la formation et la stabilité des agrégats du sol et donc de sa structure.

La microflore (bactéries, mycorhizes, trichodermes, etc.) est aussi fondamentale pour l'alimentation des plantes :

- . minéralisation de la matière organique ;
- . fixation d'azote atmosphérique ;
- . solubilisation des éléments minéraux par oxydation ou chélation, ce qui les rend assimilables par les plantes ;
- . extraction d'éléments nutritifs du sol peu mobilisables (modification du pH et du potentiel redox, augmentation de la surface d'interception par les mycorhizes, etc...

## PRODUCTION DES MINÉRAUX ASSIMILABLES

Les micro-organismes (bactéries et champignons) sont les agents essentiels de la production de nutriments pour les micro-organismes eux-mêmes et les végétaux.

### **Les Micro-organismes biodégradent et minéralisent les matières organiques**

- restitués par les résidus des cultures,
- les débris végétaux et microbiens,
- les apports de biomasses racinaires et foliaires des plantes fertilisantes,
- les engrais verts,
- les plantes compagnes,
- les fumiers,

- les BRF,
- les paillis divers,
- les tourteaux,
- les drèches,
- les résidus de tailles,
- etc...

### Les micro-organismes produisent

- CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, HPO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> PO<sub>4</sub>. . .,
- ils mettent à la disposition d'eux-mêmes et des plantes, les éléments nécessaires à leur nutrition phosphorée, azotée, soufrée. . .
- ils complètent en contribuant à la libération d'éléments majeurs (calcium, magnésium, potassium, . . .)
- et d'oligo-éléments (fer, manganèse, cuivre. . .)

L'intervention des micro-organismes est fondamentale.

Pratiquement, l'ensemble des communautés microbiennes sont impliquées dans les processus de minéralisation aérobie et anaérobie.

### Action sur la structure du sol

La présence des organismes du sol est capitale pour fabriquer la structure des sols

- (i) formation des micro-agrégats : par leurs activités directes de productions constantes d'enzymes digestives extracellulaires à l'origine d'un gel agglutinant ou de substances protectrices aux effets hydrophobes
- (ii) formation des macro-agrégats : par les hyphes des champignons et des mycorhizes qui enserrant les particules du sol
- (iii) alimentation du C.A.H : par les résultats de leur activités biochimiques de décomposition des matières organiques. Celles-ci aboutissent à l'humification, la minéralisation et l'enrichissement de la solution du sol en éléments structurant le complexe argilo-humique.

- (iv) **dégradation des roches-mères** : par l'action combinée des acides et enzymes des humus formés suite à l'activité des bactéries et des champignons, des exsudats racinaires et des enzymes libérés par les micro-organismes, les roches-mères se désagrègent lentement et les particules arrachées (oligo-éléments minéraux) sont immédiatement chélatés par les substances chélatantes issues des matières organiques... et assimilées par les plantes.

Les plantes, la mésofaune et la microfaune, les bactéries et les champignons font évoluer en permanence le contenu et la structure des sols par leurs exsudations (racines), les gels bactériens et fongiques, leur respiration, leur production d'acides organiques, l'oxydation des matières organiques, le contrôle de l'eau et de l'atmosphère des sols, en favorisant les phénomènes de polymérisation et de condensation aboutissant aux matières humiques, par les absorptions différentielles en éléments nutritifs, etc...

Cette mécanique exceptionnelle a besoin d'être alimentée en permanence pour ne pas puiser dans les réserves du sol et entamer un phénomène de décroissance.

L'ensemble du réseau trophique du sol défait les liens moléculaires que la photosynthèse a construits et libère, après les avoir ingérés pour s'en nourrir, les éléments basiques de la vie qui seront donc à nouveau disponibles pour une transformation photosynthétique par les plantes

Composition moyenne d'une terre arable sur 20cm à l'hectare : 2000m <sup>3</sup>	Quantités/ha
tonnage de terre	3400 t

<b>40% air et solution</b>	<b>1300t reste 2100t de matériaux</b>
<b>2% d'humus stable sur 2100t</b>	<b>42 t</b>
<b>3 à 5% de matière organique sur 2100t</b>	<b>63 à 105 t</b>
<b>60% de silice (contenu moyen d'une terre)</b>	<b>1200 t</b>
<b>2% de minéralisation annuelle de l'humus</b>	<b>0.85t à 1 t (850kg à 1000 kg)</b>
<b>30 à 35% du poids de terre en minéraux</b>	<b>630t à 735t</b>
<b>Organismes vivants</b>	<b>0 à 6 t (avec ou hors vers de terre selon les auteurs)</b>

## BESOIN DES PLANTES

Les plantes sont constituées, en moyenne

- à 80% d'eau (jusqu'à 97%)
- à 19% des composants tirés de l'atmosphère (carbone-oxygène-hydrogène)
- à 1% des minéraux qu'elles puisent dans le sol (azote compris)

Le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote sont les éléments majeurs de la constitution des tissus végétaux.

A côté du C, H, O, N cinq autres macroéléments entre dans cette composition à des doses encore importantes. Ces éléments sont absorbés par les racines, en provenance directe du sol et issus des mécanismes d'extraction par les microorganismes.



### Les racines servent

- à puiser l'eau (80% à 97%)
- et le 1% du poids total des besoins en minéraux des plantes.

### Tableau récapitulatif des éléments constitutifs des végétaux

**Éléments en provenance de l'atmosphère** : 19% du poids humide (92 à 98% du poids sec des plantes)

⇒ carbone, oxygène, hydrogène, azote

**Éléments provenant du sol** : 1% du poids humide (2 à 5 % du poids sec des plantes)

⇒ **12 éléments vitaux** dont

- 10 constitutifs : phosphore, calcium, magnésium, soufre, fer, bore, manganèse, cuivre, zinc, molybdène
- 1 non constitutif : potassium

⇒ **18 oligo-éléments** aux rôles accessoires ou encore mal connu dont

- 14 constitutifs : cobalt, sélénium, silicium, iode, aluminium, strontium, baryum, vanadium, étain, nickel, chrome, beryllium, brome, fluor
- 4 non constitutifs: césium, sodium, rubidium, lithium

Tableau des % moyens en éléments dans les plantes

<b>Principaux éléments</b>	<b>Teneur en % du poids total</b>
<b>Eau</b>	<b>80 à 95</b>
<b>Poids sec</b>	<b>5 à 20</b>
	<b>Teneur en % du poids sec</b>
<b>Azote</b>	<b>0.5 à 4</b>
<b>Oxygène</b>	<b>44</b>
<b>Hydrogène</b>	<b>6</b>
<b>Carbone</b>	<b>45</b>
<b>Calcium</b>	<b>0.1 à 3</b>
<b>Magnésium</b>	<b>0.1 à 0.9</b>
<b>Phosphore</b>	<b>0.1 à 0.9</b>
<b>Potassium</b>	<b>0.2 à 2.5</b>
<b>Soufre</b>	<b>0.1 à 0.5</b>
<b>Fer</b>	<b>0.05</b>
<b>Silicium</b>	<b>traces</b>
<b>Aluminium</b>	<b>traces</b>
<b>Sodium</b>	<b>0.1 à 0.9</b>
<b>Chlore</b>	<b>0.01 à 0.9</b>
<b>Manganèse</b>	<b>0.05</b>
<b>Bore</b>	<b>0.05</b>
<b>Zinc</b>	<b>0.002</b>
<b>Cuivre</b>	<b>0.002</b>
<b>Molybdène</b>	<b>0.0001</b>

## ROLE DE LA RHIZOSPHERE

La rhizosphère correspond :

- aux parties des sols sous l'influence des racines des plantes
- aux micro-organismes, symbiotiques et non symbiotiques
- à la faune associée

Les racines exercent :

- des effets mécaniques
- prélèvent des nutriments
- produisent et libèrent des composés organiques
- produisent et libèrent des minéraux solides, liquides, gazeux

Le sol fournit :

- l'eau
- les nutriments
- le support solide

Dans de telles conditions de milieu, les organismes vivants (racines-micro-organismes-faune) interagissent entre eux et avec les constituants organiques et minéraux des sols.

La rhizosphère est

- une niche écologique qui éveille et stimule les diverses activités microbiennes qui participeront très significativement au fonctionnement du cycle de nutriments majeurs et des oligo-éléments carbone, azote, phosphore, sélénium, fer, . . . et aux transformations qui conduiront à des transferts vers les plantes, les eaux, l'atmosphère.
- le théâtre de processus de transformation de minéraux intervenant dans le cycle des éléments associés au cycle de l'eau et dont les acteurs et leurs jeux sont encore bien mal connus.

Le système racinaire des plantes est la base de la fertilisation en profondeur.

Culture	Profondeur d'enracinement	Culture	Profondeur d'enracinement
Agrumes	100-120	Lin graine	50-70
Aubergine	75-120	<b>Lupin P</b>	<b>90-120</b>
Avoine	90-150	<b>Luzerne P</b>	<b>90-180</b>
Avoine d'hiver	90-100	<b>Mélicot P</b>	<b>90-180</b>
<b>Betterave sucrière</b>	<b>90-120</b>	Moutarde	90-120
<b>Blé dur</b>	<b>90-120</b>	Oignon	100-120
<b>Blé tendre de printemps</b>	<b>90-120</b>	Olives	100-150
<b>Blé tendre d'hiver</b>	<b>90-120</b>	Orge de printemps	90-120
Cannes à sucre	75-180	<b>Orges d'hiver</b>	<b>180-200</b>
<b>Carthame P</b>	<b>180-300</b>	<b>Phacélie</b>	<b>80-160</b>
<b>Chicorée P</b>	<b>90-120</b>	Poivrons	40-100
<b>Colza d'hiver P</b>	<b>90-150</b>	Pomme de Terre consom.	30-50
Concombre	75-125	Pomme de Terre fécule	30-75
culture maraichère	30-60	<b>Radis huileux et fourrager P</b>	<b>60-150</b>
Endives	90-120	Raisin	75-180
Epinard	30-50	<b>Sainfoin</b>	<b>200-400</b>
<b>Fève de soja</b>	<b>60-125</b>	<b>Seigle</b>	<b>90-120</b>
Fraises	20-30	<b>Sorgho grain</b>	<b>80-180</b>
Grosses carottes P	30-50	Tabac	45-90
Haricot	30-50	Tomate	50-100
Herbages	60-100	Tournesol	50-70
<b>Légumineuses</b>	<b>50-125</b>	Verger	100-200
Lin fibre	50-70	Vigne	100-250

## Les profondeurs d'enracinement

**permettent d'ameublir et amender le sol au-delà de la couche arable**

**permettent une descente de l'activité microbienne**

**permettent à la rhizosphère de travailler à l'amélioration de la structure du sol sur le maximum d'épaisseur**

**donnent aux réseaux édaphiques des accès directs au sous-sol comparables aux galeries verticales des lombrics**

**permettent de gérer l'humidité du sol**

**la récupération des éléments lessivés**

**augmentent les zones de prospection pour la chélation des oligoéléments tirés des roches-mères.**

### **Plantes à action racinaire importante**

---

- **betteraves**
- **carthame**
- **chicorée**
- **colza**
- **consoude**
- **éleusine**
- **lupin**
- **luzerne**
- **mélilot**
- **Mil**
- **Miscanthus**
- **navets longs**
- **orge**
- **phacélie**
- **radis chinois**
- **radis huileux**
- **sainfoin**
- **seigle**

- 
- sorgho
  - trèfle incarnat
  - trifolium
  - vesces

### Répartition du système racinaire en fonction de la profondeur

Profondeur en cm	Système à chevelu court	Système à chandelier moyen	Système à chandelier profond	Système à pivot moyen	Système à pivot profond
0-20	65%	65%	57%	5%	4%
20-40	25%	13%	12%	20%	5%
40-60	10%	10%	10%	65%	20%
60-80		10%	9%	10%	60%
80-100		2%	8%		8%
100-200			4%		3%

## LA FERTILISATION EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

La décomposition des matières organiques est la base du raisonnement de la fertilisation en agriculture « biologique ».

Tous les atomes des éléments présents sur terre sont invariables depuis plus de 10 milliards d'années. Si les molécules sont synthétisées par les organismes vivants, puis détruites en fin de vie, les atomes demeurent.

C'est par ce processus naturel de réorganisation que les éléments constitutifs des matières végétales formés de molécules complexes sont décomposés, cassés, brisés, jusqu'aux cations et anions permettant la constitution de nouveaux assemblages, en l'occurrence des nouvelles plantes ou parties de plantes (fruits, fleurs, branches) en vue des récoltes.

Ces apports organiques ne sont pas les seules sources de minéraux pour la constitution des tissus végétaux.

## SOURCE DES MINÉRAUX POUR L'ALIMENTATION DES PLANTES

- (i) les M.O.F apportées par l'agriculteur sous forme de litières et décomposés par les micro-organismes telluriques
- (ii) la capacité des réactions chimiques des microorganismes à solubiliser les roches mères et les matières solides du sol
- (iii) la capacité des réactions chimiques des microorganismes à extraire des argiles les minéraux immobilisés
- (iv) la capacité de nombreuses bactéries à fixer l'azote atmosphérique
- (v) la particularité des champignons mycorhiziens à mettre également à la disposition de la plante associée des formes de phosphore généralement mal utilisées par les végétaux supérieurs en utilisant les phosphatases afin d'hydrolyser les esters de phosphate

présents dans le sol : phytate, polyphosphates, acides nucléiques

- (vi) la capacité des champignons à stocker le phosphate, l'azote et les autres minéraux pour les transférer à mesure de la demande de la plante (250kg environ de minéraux purs/ha/an)
- (vii) avec les polymères phosphorylés, les granules de vultine et les granules de polyphosphates riches en phosphore et en cations métalliques ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ) contenus dans les bactéries, levures et champignons libérés à leur mort
- (viii) la capacité des champignons mycorhiziens d'absorber l'azote minéral et certaines formes d'azote organique (acides aminés, peptides et protéines) et de le transporter par l'intermédiaire du mycélium vers les cellules de la racine
- (ix) toutes les autres réactions biogéochimiques découlant de l'activité animale, floristique et fongique
- (x) les dépôts atmosphériques naturelles (phénomènes de G. Ingham) notamment en azote, phosphore, potasse et toutes les dépôts dues à la pollution automobile et industrielle qui apporte des quantités désordonnées de minéraux (soufre, métaux lourds, oligoéléments, sels et chlore en aérosols marins) solubilisées par les pluies et qui représentent plusieurs dizaines de kg/ha/an selon les localités

La fertilisation biologique se calcule sur **un seul grand principe de base** :

**Apporter la nourriture aux organismes vivants du sol pour entretenir le réseau édaphique et les chaînes trophiques telluriques qui permettent d'agir dans trois directions :**

- (i) sur les qualités physiques du sol : porosité, capacité de rétention en eau, structure dépendant du CAH, de la CEC, du taux d'humus stable, etc...
- (ii) sur les qualités biologiques du sol : développement de la mésofaune, de la microfaune, de la microflore avec une attention toute particulière pour les bactéries (fixation de l'azote atmosphérique) et les champignons (décomposition de la lignine et



de la cellulose) aux fins d'obtenir toutes les conséquences intrinsèques à leurs activités (décrites dans la première partie de ce traité)...

- (iii) sur les qualités chimiques du sol : mise à disposition des éléments minéraux contenu dans les matières organiques, prélèvement des minéraux des roches constitutives du sol, compensation des éventuelles exportations minérales par les récoltes, compensation de l'humus annuellement minéralisé, fixation de l'azote atmosphérique, etc...

La fertilisation biologique d'un sol est une et indivisible et se raisonne à l'année

**L'apport de M.O. se fait par culture in-situ ou par déversement sur le sol de matières provenant de l'extérieur.**

La litière de surface est la solution la plus généreuse en effets bénéfiques :

- Maintien de l'humidité,
- Contrôle des adventices,
- Aliment pour vers de terres,
- Abris pour les animaux décomposeurs
- Abris pour les insectes aptères régulateurs de limaces et d'escargots,
- rapidité des opérations techniques (économie des passages d'engins, etc...)

## REINTRODUIRE LA VIE MICROBIENNE DANS LES SOLS

- par des apports de M.O. extérieurs (fumiers, pailles, BRF, etc...)
- par la culture in-situ de biomasses foliaires et racinaires à incorporer

## PLANTES A CULTIVER IN-SITU

### Apport de M.S. en biomasse foliaire/ha par culture

Espèces végétales	Quantités de M.S. produites
<b>miscanthus</b>	15t MS/ha
<b>chanvre :</b>	7 à 10 t de paille
<b>Herbe du Soudan (hybride du sorgho) :</b>	10 à 20t de MS/ha
<b>Moha :</b>	5 t de MS/ha
<b>Blé :</b>	10t de paille/ha
<b>Brome :</b>	15 à 20t/ha de M.S.
<b>lin :</b>	9t de paille ha
<b>sorgho :</b>	5 à 10t de MS selon mode de culture + 4t

	de MS racinaire/ha
<b>Colza</b>	8 à 10 t de MS/ha
<b>Maïs :</b>	5 à 6t de cannes
<b>Eleusine :</b>	5t de MS/ha + 4 t de MS racinaire/ha
<b>Mélilot :</b>	2 à 4t en première année, 4 à 8t en deuxième année

### Apport de matières « vertes » par cultures spécifiques

Plate-forme de comparaison de couverts et mélanges à Ambon (56)

(En trois mois de culture)

Couverts et mélanges de couverts	Rendements vert en kg/ha
<b>Avoine</b>	5420
<b>Ray-grass d'Italie</b>	9500
<b>Phacelie</b>	32160
<b>Moutarde</b>	24220
<b>Fenugrec</b>	10200
<b>Trèfle souterrain</b>	9290
<b>Cynara</b>	8740
<b>Pois de senteur</b>	19900
<b>Moha</b>	15400
<b>Témoins (salissure et repousses)</b>	3850
<b>Choux fourrager</b>	17700
<b>Navette (Jupiter)</b>	17700
<b>Radis fourrager</b>	36800

<b>Sorgho/radis fourrager</b>	42500
<b>Colza fourrager</b>	24340
<b>Tournesol/colza/pois/vesce</b>	30330
<b>Seigle/vesce</b>	18100
<b>Tournesol/sarrasin/vesce/phacélie/lin</b>	33860
<b>Tournesol/haricot rame/phacélie</b>	46250
<b>Tournesol/radis/lupin/lin</b>	46450
<b>Seigle/phacélie</b>	13450
<b>Tournesol géant/phacélie</b>	49280

La diversité est un facteur déterminant en faveur de la production de biomasse : un mélange produira toujours plus qu'une espèce solitaire.

### **Conception des mélanges.**

---

Les mélanges doivent donner place à la diversité et la créativité.

Il n'existe donc pas un cocktail type mais de multiples combinaisons. Cependant pour de bons résultats, il convient de respecter trois règles :

→ associer des plantes au développement végétatif différent qui vont plutôt se compléter dans l'utilisation de l'espace plus que se concurrencer. À l'instar de la forêt, il faut combiner des plantes élancées, des plantes plus buissonnantes, des plantes grimpantes et enfin des plantes rases. De plus, il y a de grandes chances que ce développement aérien corresponde au même schéma d'utilisation du sol.

→ adapter la densité de chacune des espèces présentes afin d'éviter une surdensité ou une trop forte concurrence qui ne permet pas le développement harmonieux et optimal des plantes présentes : ceci entraîne plutôt un résultat opposé en matière de production de biomasse. Le plus simple est de diviser la dose de semis en fonction du pourcentage de représentativités choisies dans le mélange.

→ ne pas hésiter à tester un maximum d'associations car des plantes peuvent être antagonistes comme d'autres s'associer positivement.

Source : Frédéric THOMAS Magazine Technique Culturelles Simplifiées

## RESUME :

### Les différentes sources d'azote

- (i) les remontées de nitrate par l'eau de capillarité en période sèche. Elles sont de l'ordre de 10 à 30 kg/ha/an
- (ii) L'azote des mécanismes d'Ingham (1950): de l'ordre de 30kg/ha/an
- (iii) Les mécanismes démontrés par Lebedjantzef (1924) et Rossi (1947) : de l'ordre de 25kg/ha/an
- (iv) Les bactéries fixatrices d'azote atmosphériques : près de 40 kg/ha/an
- (v) Nitromonas et Nitrobacter : environ 50 à 60 kg/ha/an
- (vi) Les retenues dans la biomasse bactérienne : 225 kg/ha/an

- (vii) **Les retenues dans la biomasse fongique : 200 kg/ha/an**
- (viii) **L'azote apporté par les pluies : une moyenne de 15 kg/ha/an**
- (ix) **L'azote issu de la minéralisation des M.O. en réserve : 200kg à 600 kg/an**
- (x) **L'azote apporté par la minéralisation de l'humus : 50 à 90kg/ha/an**
- (xi) **L'azote apporté par la minéralisation des plantes de la litière fertilisante : 12.5/ha/an**

**Un sol agricole biologiquement performant met à disposition des cultures environ 600 à 800 kg d'azote minéral/an/ha, voire une tonne, largement de quoi compenser les prélèvements azotés des plantes les plus voraces.**

## MATIERES ORGANIQUES EN APPORTS EXTERIEURS

**Aliments cellulosiques et ligneux dit 'brun' : vendus en sac, big-bag et vrac**  
(granulés compressés, tourteaux, pailles broyées, sons...)

- paille de miscanthus
- paille de lavande (propriété insecticide)
- paille de lin (néfaste aux limaces)
- paille d'orge
- paille de froment
- paille de blé broyée ou défibrée
- paille de chanvre pour plantes repiquées (propriété herbicide)
- rafles de maïs
- rafle de raisin
- tourteau de tournesol (35% de cellulose/lignine)
- tourteau de ricin
- tourteau de soja
- drêches de brasserie déshydratées
- drêches de blé déshydratées
- Son de blé en pellets
- Pulpe de betterave en pellets
- Pellets de bois : souvent du résineux, ne pas dépasser 20% du poids global des apports en intrants organiques
- BRF des entreprises espaces verts locales
- Fibre de peuplier
- Copeaux de bois standardisés (litière pour chevaux)
- Composts divers
- Déchets verts compostés par les entreprises de collectes municipales

- Fumiers divers
- Etc...

### Aliments azotés dit 'verts'

- Alfalfa (consoude, algues, betterave)
- Luzerne déshydratée (tout de même 26 à 30% de cellulose)
- Des mélanges maïs/luzerne en granulés
- Des mélanges de légumineuses et céréales immatures
- Pulpe d'olive en pellets
- Etc...

Il faut veiller à adopter le rapport

- 2/3 'aliments bruns'
- 1/3 'aliments verts'

à chaque apport pour favoriser aussi bien l'attaque des bactéries que des champignons.

INCORPORATION ou LITIÈRE ?

Le travail du sol pour incorporer la M.O. n'est pas nécessaire.

L'ameublissement du sol est le travail

- des systèmes racinaires,
- des microorganismes
- des vers de terre.

**La principale raison des M.O. est l'alimentation des organismes vivants du sol et les impacts de leurs activités, en association avec les racines vivantes, sur la structure et la chimie du sol qui les abrite.**

La décomposition et de la transformation des matières végétales par des processus biotiques et abiotiques constituent un compartiment majeur du cycle terrestre du carbone. Les métabolites issus de cette transformation sont impliqués fondamentalement dans d'autres processus et fonctions d'un grand intérêt:

- les cycles des éléments majeurs et en traces et des nutriments organiques et minéraux (carbone, azote, phosphore, soufre, fer, potassium, calcium, magnésium...) pour les micro-organismes, les plantes, les animaux
- les sources et les stocks d'énergie (produits organiques et minéraux, donneurs et accepteurs d'électrons) pour les micro-organismes
- la réactivité chimique et physicochimique des sols par leurs implications dans les phénomènes d'échange, de complexation, de réduction, d'oxydation...
- la rétention de métaux toxiques et de produits organiques contaminants
- les propriétés physiques comme l'organisation et la structure des sols, leurs caractéristiques hydrauliques, l'aération et la réserve utile en eau...

Les matières organiques, qui constituent une source de carbone, d'énergie et de nutriments pour les organismes vivants du sol, faune et micro-organismes, sont biodégradées, biotransformées et biominéralisées par des processus biochimiques du réseau trophique où



les bactéries et les champignons sont les acteurs déclenchant des ultimes réactions chimiques aboutissant à la minéralisation.

## LES LIMACES

Il faut avoir une approche globale dans le contrôle de la limace.

Le non-travail du sol et la reconstitution d'un environnement favorable ont un impact dépressif significatif sur les populations de limaces, au printemps et à l'automne.

### **Quelques règles simples avant que le sol ait retrouvé un parfait fonctionnement :**

- a. La parcelle doit intégrer le territoire : en fournissant un abri et de l'alimentation à la faune sauvage, les couverts, les haies et les bandes enherbées permettent la préservation des insectes prédateurs Larves de nombreux insectes qui mangent les œufs, Carabes (larves et adultes), staphylins (larves et adultes), vers luisants, canards, chouette effraie, crapaud, grive, hérisson...
- b. Les stratégies de semis : la précocité du semis à l'automne et au printemps permet de réduire les attaques de façon significative. Un semis plus profond des céréales d'hiver.
- c. la pratique des couverts végétaux permet la gestion de la faune prédatrice insectes prédateurs : coléoptères carabes, staphylinides, lampyrides, grand hydrophyle brun, etc...
- d. Sélectionner des couverts capables de contrôler les attaques de limaces : l'utilisation des propriétés de certaines plantes est un moyen de contrôle efficace les premières années (l'acide cyanhydrique de certains trèfles ou encore la moutarde ont un effet répulsif sur les limaces, au même titre que le persil, le cerfeuil, le tagète ou le cassis).
- e. Favoriser le broyage fins des couverts (moins de 5 cm), résidus, cultures fertilisantes les premières années.
- f. La réalisation de sillons correctement fermés et rappuyés évite les premières attaques dans la ligne de semis. Les limaces se cantonnent à l'inter rang et consomment plutôt les résidus et le couvert.

- g. Paille de lin, chanvre, seigle sur lesquelles les limaces n'aiment pas se déplacer
- h. Diversité des mélanges de couverture, cultures intermédiaires pour permettre un dynamisme des populations d'insectes prédateurs de limaces qui se nourrissent toute l'année des larves et des insectes présents dans les parcelles
- i. Eventuellement traiter avec une préparation à base de nématodes *Phasmarhabditis hermaphrodita*, qui bénéficie d'une AMM (autorisation de mise en marché en France)
- j. En dernier recours : positionner un hélicide de la famille des carbamates avec un micro-granulateur dans la ligne de semis (maïs, soja, tournesol) contre les limaces noires souterraines. Cette protection sera complétée par un hélicide en surface de la famille des métaldéhydes en cas de graves attaques

## EVITER LES HERBICIDES

(47% des traitements en France)

- par la couverture permanente du sol qui alimente les organismes
- par le semis direct sous la litière
- par la plantation de jeunes plants plutôt que le semis (maraichage)
- par des germinations rapides qui permettront à la culture de prendre le pas sur les adventices
- par la prégermination systématique en salle des graines à levée de dormance longue (trempage à l'eau claire ou dans une décoction d'ail à 10% par exemple) pour une levée plus rapide : gagner 5 à 20 jours de prélevée avant le semis, surtout en maraichage traditionnel où la couverture permanente du sol est difficile à utiliser du fait de la finesse de certaines graines, est très utile pour l'installation rapide de la

culture et déjouer la levée des adventices

- par le bon semis qui positionne les graines à la bonne profondeur et les fait bien adhérer au sol : importance du semoir et de la préparation du lit de semence, du tassement après semis
- par le bon choix des variétés en fonction de la période de semis pour une installation rapide et parfaite de la culture: passer beaucoup de temps à éplucher les catalogues des semenciers européens, bien se fixer ses objectifs de commercialisation : légumes frais primeurs, de saison, tardifs, polyculture pour vente directe ou GMS, spécialisation pour conserverie, surgélation, groupement de producteurs permettant des diversifications au niveau des entreprises... Le choix des espèces et des variétés à cultiver est le moment le plus important de l'année car il implique le planning des cultures (sur 365 jours impérativement), le raisonnement des espaces, la gestion des M.O. pour la fumure et l'entretien des microorganismes (achats des matières premières ou cultures in-situ, paillage ou enfouissement, semis direct ou plantation de jeunes plants achetés ou semés en pépinière...)
- par l'inoculation mycorhizienne des graines qui accélèrera l'installation tellurique et aérienne de la culture

## EVITER LES INSECTICIDES ET LES FONGICIDES

(24% et 26% des traitements en France)

- par le respect et l'élevage des organismes des sols qui exprimeront toutes les panoplies enzymatiques et métaboliques qui leurs sont propres et favorables aux cultures ainsi que celles, biochimiques dérivées et incontrôlables par eux, qui s'enclencheront à partir de leurs impulsions enzymatiques et qui influenceront la structure et la chimie des sols, donc par réaction l'amélioration des conditions environnementales telluriques, la croissance des cultures
- par le respect et l'élevage des insectes dans les bandes herbeuses, les haies, les bandes fleuries, les barrières naturelles, etc... qui favoriseront sur l'exploitation la présence de nombreux insectes entomophages régulant les populations indésirables
- par l'apport permanent de M.O. à faire décomposer par les organismes telluriques pour en assurer la présence maximum et la pleine expression enzymatique
- par le décompactage naturel du sol et l'enrichissement en M.O. en profondeur à l'aide des systèmes racinaires des cultures ou des plantes compagnes
- par la diversité et le rapport 2/3 – 1/3 des biomasses foliaires ligneuses (paille, compost, BRF...) et herbacée (jeunes feuilles, légumineuses, engrais verts, céréales avant maturité...) qui influencera la diversité bactérienne et fongique du sol
- par la diversité et la rotation des espèces présentes sur l'exploitation et dans l'environnement proche : éviter les monocultures à l'échelle des paysages qui sont de vraies incitations à l'envahissement par des champignons ou des insectes

phytophages, par l'observation attentive des améliorations à apporter aux sols (décompactage profond, structure grumeleuse en surface, excès d'eau...) ou à l'environnement des parcelles, à l'exposition et l'implantation des cultures sur les diverses parcelles, aux outils de travail (préparateur du sol, semoir, sarclours, pneumatique des tracteurs, matériel de récoltes, organisation des postes de travail, laveuse de légumes, botteleuses, lieuses, ensacheuses, etc...)

## MEILLEURE ORGANISATION DU TRAVAIL

- Occuper le sol avec des cultures 365j/an
- Ne jamais laisser une parcelle à l'abandon : semer des mélanges de plantes à fortes biomasses entre deux cultures commerciales
- Organiser des récoltes rapides et changer de culture du jour au lendemain pour ne pas perdre les avantages liés à l'activité des auxiliaires telluriques
- semer deux, ou trois variétés à productions échelonnées au lieu d'une seule
- diviser les parcelles pour récolter rapidement une surface donnée
- intercaler des bandes fleuries, des bandes enherbées, des haies.

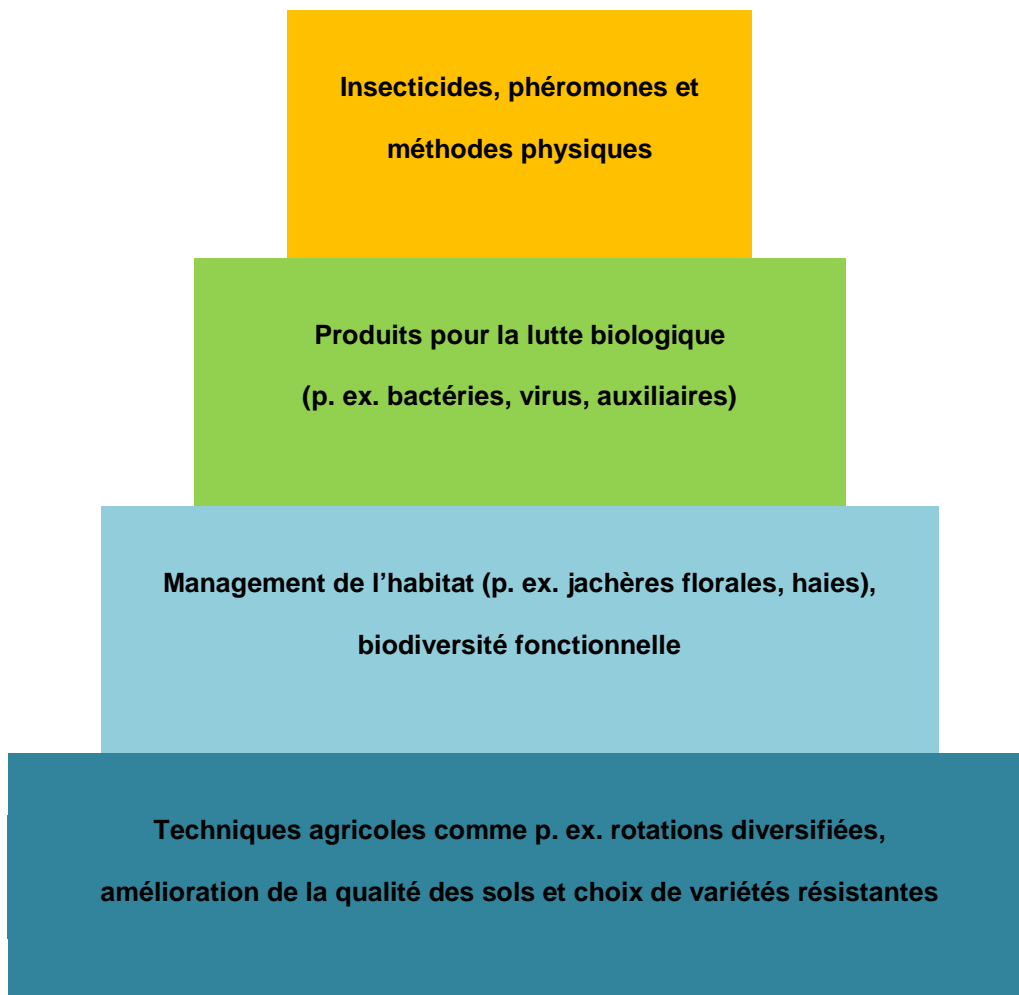
## BIOTRAITEMENTS PHYTOSANITAIRES

Le meilleur biotraitement est la prévention par l'application des règles de ce mémento

- culture des microorganismes pour bénéficier de leur système d'alerte et de défense (bactéries PGPR, champignons, mycorhizes...)
- présence permanente de M.O. sur le sol pour nourrir la diversité des organismes telluriques et de surface
- mise en place des habitats pour insectes auxiliaires (bandes fleuries, haies, zone enherbée...)

Les techniques agricoles et le management de l'habitat (développement des auxiliaires telluriques et aériens) forment la base de la stratégie phytosanitaire biologique et font partie

des mesures indirectes de régulation des ravageurs.



La pyramide échelonnée de la stratégie phytosanitaire de l'agriculture biologique

## LES PLANTES SE DEFENDENT

Les plantes ont développé une panoplie de stratégies physiques et chimiques (près de 100.000 métabolites secondaires) pour prévenir, entraver, stopper les tentatives de prédatons faites par les insectes.

### LES AUXILIAIRES POUR LE MAINTIEN DE L'EQUILIBRE

- 1000 à 2000 espèces courantes d'insectes prédateurs,
- des milliers d'espèces d'arachnides,
- des milliers d'espèces de bactéries et de champignons prédateurs d'insectes,
- des bactéries PGPR pour la veille sanitaire
- des nématodes
- des champignons

Tous ces auxiliaires sont naturellement présents dans le sol ou sur la phyllosphère des plantes cultivées en harmonie avec les Lois de la Nature.

La maladie reste une exception pour les cultures sur des terres reconverties à l'utilisation massive des organismes vivants telluriques et intégrées dans la diversité écologique.

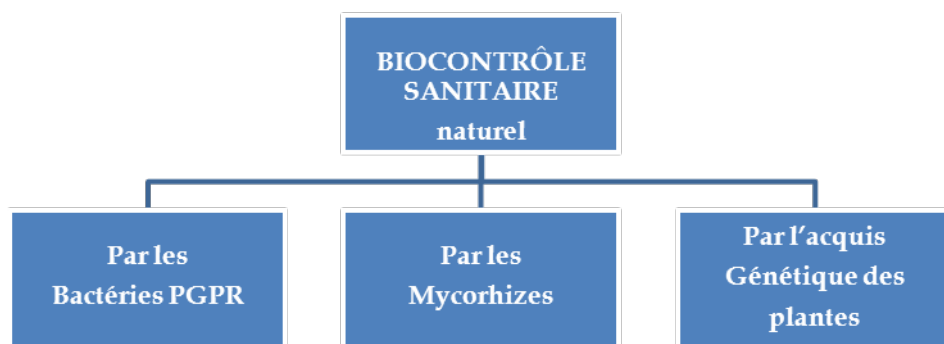
Si d'aventure le taux d'infection des cultures dépasse le seuil de tolérance et en cas d'attaques exceptionnelles, se reporter aux spécialités commerciales des biopesticides.

# LE BIO CONTROLE DES MALADIES

Le Contrôle des pathogènes des plantes se fait à 2 niveaux

1- Par contact direct entre les micro-organismes bénéfiques et micro-organismes pathogènes

2- par déclenchement des mécanismes de résistance des plantes grâce à des signaux moléculaires envoyés par les bactéries et les mycorhizes



Les aspects moléculaires intervenant à chacune des étapes de ce processus, sont

(i) la perception des éliciteurs bactériens par les cellules de la plante,

- (ii) la transmission d'un signal pour propager l'état induit dans tous les organes de la plante
- (iii) l'expression des mécanismes d'auto-défense proprement dits (mis en place par la plante) qui vont limiter ou inhiber la pénétration du pathogène dans les tissus infectés.

## Interactions directes Bactéries PGPR/Pathogène

L'**antibiose**: production de **substances bactéricides** et de **substances fongicides** pour éliminer la concurrence et production **d'antibiotiques** pour s'en protéger.

Plusieurs genres bactériens sécrètent des **métabolites toxiques pour les nématodes** : répulsifs- perte de repères – blocage du développement – paralysant – ovicides – larvicides.

Les toxines bactériennes agissent par contact à la différence des toxines fongiques qui agissent après ingestion.

Compétition pour l'espace et les nutriments

Compétition pour le fer et production de sidérophores

Les bactéries de la rhizosphère ont une importance capitale dans le maintien sanitaire des cultures, par antibiose ou **induction d'une résistance systémique** chez la plante en stimulant leurs défenses naturelles.



## Renforcement de la capacité défensive des plantes

Certaines souches de bactéries PGPR peuvent protéger les plantes d'une façon indirecte par **la stimulation de mécanismes de défense inductibles** dans la plante, ce qui peut rendre l'hôte beaucoup plus résistant à l'agression future par des agents pathogènes. Ce phénomène a été nommé «résistance systémique induite» (ISR, Induced Systemic Resistance)

### Les deux types de résistances systémiques

Les défenses mises en œuvre par les plantes ne se limitent pas aux seules réponses locales. Les plantes sont également capables de déployer des défenses systémiques, c'est-à-dire généralisées à l'ensemble de leurs tissus soit par elles-mêmes, soit par après alerte par des bactéries ou des champignons.

#### **1- La résistance systémique acquise ou SAR (Systemic Acquired Resistance)**

Cette résistance est stimulée à la suite d'une infection initiale par un pathogène avirulent.

Les plantes semblent donc être capables de mémoriser l'impact d'une première infection afin de se protéger face à une seconde infection. Généralement, ce type de résistance est accompagné de l'accumulation d'acide salicylique (SA) et de protéines liées à la pathogénicité.

#### **2 - La résistance systémique induite ou ISR (Induced Systemic Resistance)**

Cette résistance est stimulée par certaines rhizobactéries non-pathogènes (PGPR). Ces rhizobactéries sont capables de réduire une maladie à travers la stimulation de mécanismes de défense inductibles chez la plante.

Loin d'être aussi parasites qu'on pourrait le penser, les champignons endophytes (c'est-à-dire qui croissent à l'intérieur des feuilles de plante) seraient capables de défendre leur hôte contre différentes maladies.

Plante et champignon vivent en symbiose mutualiste et l'association confère à la plante, dans certaines conditions/

- une résistance accrue à divers stress d'ordre abiotique d'une part (sécheresse, carence du sol en azote)
- une résistance **biotique** aux attaques par les ravageurs, insectes, nématodes, prédation par les animaux herbivores
- Ces effets sont liés à la synthèse par le champignon, à l'intérieur de la plante, d'une large série de **mycotoxines** dont les représentants majeurs sont l'ergovaline et lolitrem B (dangereux pour les mammifères) et la péramine exerçant un effet toxique et répulsif puissant vis-à-vis des insectes.
- un meilleur taux de photosynthèse grâce aux minéraux absorbés avec accroissement des exsudats racinaires
- un changement de l'activité microbienne autour des racines impliquant une diminution des maladies dans le sol : c'est le bio-contrôle des maladies.
- La synthèse des antibiotiques
- la formation des tanins
- la flore microbienne dans le manteau fongique qui augmente le pouvoir défensif des plantes contre les pathogènes contenus dans le sol.

## ACTIVITE SANITAIRE DES BACTERIES VIS-VIS DES PLANTES

- Les bactéries produisent des métabolites antifongiques ou antibiotiques très

**puissants qui inhibent directement la croissance des pathogènes dès leur contact avec les tissus des plantes.**

- Les souches de *B. subtilis* produisent une variété de métabolites antifongiques puissants et variés.
- Les *Pseudomonas*, principalement l'espèce *P. fluorescens* réduisent l'incidence des maladies racinaires et inhibent la croissance d'un grand nombre d'agents phytopathogènes.
- Les bactéries aérobies dominent très facilement et farouchement pour l'acquisition du fer au détriment des champignons qui le captent plus difficilement et ne peuvent pas se développer. Les champignons pathogènes sont ainsi dominés. Les mycorhizes bénéfiques ont d'autres sources de nourriture.
- De nombreuses souches bactériennes développent une capacité à induire les mécanismes de défense chez la plante. : on l'appelle la résistance systémique induite (ISR). La stimulation de l'ISR est systémique ce qui fait que la protection s'exprime vis-à-vis de pathogènes qui attaquent les racines mais elle peut aussi réduire l'infection par des pathogènes actifs exclusivement sur les feuilles, les fleurs ou les fruits.
- Dans la plupart des cas d'inhibition, le facteur déterminant est la production d'antibiotiques qui agissent directement sur l'agent pathogène
- Plus d'une soixantaine de dérivés ont été décrits pour leurs activités antimicrobiennes, antivirales, antihelminthiques, phytotoxiques, cytotoxiques et antioxydantes.
- Les *Pseudomonas* spp. productrices de DAPG peuvent supprimer une large gamme d'agents phytopathogènes, incluant bactéries, champignons et nématodes.
- Ces bactéries de la rhizosphère sont reprises sous le terme PGPR (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria). La plupart des souches bactériennes exploitées comme biopesticides appartiennent aux genres *Agrobacterium*, *Bacillus* et *Pseudomonas*
- L'antibiose est le mécanisme le plus connu et peut-être le plus important utilisé par les PGPR pour limiter l'invasion de pathogènes dans les tissus de la plante hôte. Il consiste en une inhibition directe de la croissance du pathogène via la production de métabolites aux propriétés antifongiques et/ou antibiotiques
- Certaines souches de PGPR des genres *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Paenibacillus*, *Rhodobacter*, *Azospirillum* ont récemment été décrites pour leurs effets directs positifs sur la croissance des plantes et l'augmentation du rendement de la culture [(fixation d'azote (N<sub>2</sub>) et la solubilisation d'oligoéléments tels que le phosphate (P), inhibition de la synthèse d'éthylène par la plante, la synthèse des phytohormones ou de vitamines].

