



## Compte Rendu de l'audition

Marc-André Selosse est professeur au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris. Son parcours académique d'excellence débute par son admission à l'École Normale Supérieure, suivi par l'obtention de l'agrégation en sciences naturelles. Expert reconnu de la vie souterraine, il a consacré sa thèse de doctorat, soutenue en 1998, à *l'Étude de populations de champignons basidiomycetes ectomycorhiziens du genre laccaria, introduits ou spontanés, sous douglas (pseudotsga menziesii)*. Il possède également une formation d'ingénieur forestier qui lui confère une vision transversale des écosystèmes et s'est impliqué dans la diffusion du savoir à travers la chaire alimentation de l'UNESCO à Montpellier.

### Le rôle vital de la biologie des sols

La **fertilité d'un sol** n'est pas un simple processus mécanique, mais une **propriété du vivant** issue de **l'interaction complexe entre la roche mère et les micro-organismes**. Ces derniers attaquent la matière organique par des **processus acides et enzymatiques** pour **libérer des nutriments essentiels comme le phosphate** et assurer la **fixation de l'azote** directement dans le sol.

Au cœur de ce système, **les champignons microscopiques** constituent le **maillon final indispensable à la nutrition végétale** : en s'insérant dans les racines pour former une symbiose mycorhizienne, ils permettent à neuf plantes sur dix **d'exploiter les ressources du sol** qu'elles ne pourraient atteindre seules (elle augmente considérablement sa capacité d'absorption de l'eau et des sels minéraux, notamment le phosphore). En échange de cette aide au pompage des minéraux, la plante fournit aux champignons les sucres issus de sa photosynthèse, créant un réseau d'interdépendance systémique. La **mycorhize** (du grec *mykes*, champignon, et *rhiza*, racine) peut ainsi se définir comme une **association symbiotique** contractée **entre les racines** d'une plante et un **champignon** du sol.

Malheureusement, ce **rôle crucial** n'est plus rempli de manière optimale car **la vie des sols** est **profondément altérée** par des pratiques telles que l'usage intensif de pesticides et d'engrais minéraux, le surpâturage ou encore la salinisation. L'effondrement résultant de cette symbiose et de la dynamique microbienne du sol entraîne une dégradation des services écosystémiques majeurs, notamment une baisse drastique de la fertilité naturelle et une perte de la capacité de rétention d'eau des sols. Cette déstructuration biologique rend les terres plus vulnérables aux agressions extérieures, comme les inondations ou l'érosion, car le sol perd la cohérence que lui apporte normalement la biodiversité microbienne et fongique.

### Impact des pollutions et enjeux de santé publique

Le **cadmium** est un métal lourd et un contaminant mobile présent naturellement dans le phosphore minier, notamment celui importé du Maroc pour la fabrication d'engrais minéraux. Si, en l'état actuel des connaissances, il n'a que **peu d'impact direct sur le fonctionnement biologique des micro-organismes** du sol, il s'insère insidieusement dans la **chaîne alimentaire** en étant absorbé par les racines des plantes cultivées, comme les céréales ou les pommes de terre, pour finir par s'accumuler durablement dans l'organisme des consommateurs humains et non-humains. Cette **bioaccumulation** représente un **enjeu de santé publique** majeur puisqu'on estime aujourd'hui que le cadmium est responsable, notamment de 23% à 25% des cas d'ostéoporose chez les femmes de plus de 55 ans, en plus de sa toxicité rénale, hépatique et de

son **caractère génotoxique et cancérigène** avéré. La solution technique pour briser ce cycle réside dans la « **décadmiumisation** » des phosphates, une opération de purification dont le surcoût est dérisoire à l'échelle de la consommation, ne représentant que 0,1% du prix final du blé.

Parallèlement, les sols subissent une **pollution diffuse par les pesticides** qui touche désormais plus de 90% des terres en France, créant un **environnement toxique pour la biodiversité souterraine**. Contrairement au cadmium qui vise principalement la santé des utilisateurs finaux, ces substances chimiques agissent comme des « **balles perdues** » qui frappent des **organismes non ciblés**, tels que les **champignons mycorhiziens** et les **bactéries** pourtant essentielles à l'équilibre et à la nutrition des plantes. Cette **toxicité systémique** est aujourd'hui aggravée par l'émergence de nouvelles menaces comme les microplastiques, formant un cocktail de polluants qui **altère la santé globale des écosystèmes** et se propage jusqu'aux **nappes phréatiques**.

### Facteurs de dégradation et biodiversité

Selon une étude de synthèse publiée récemment dans la revue *Nature* couvrant 26 pays européens, 63 pesticides et 373 sites, les facteurs déterminant la vie des sols suivent une hiérarchie précise où la roche mère arrive en tête, suivie de l'usage des pesticides, du climat, puis des activités humaines telles que le labour. **Deux causes majeures se coudoient ainsi en tête : la chimie du sol et les pesticides**. Les autres facteurs, comme le climat, se situent bien en dessous car **les pesticides sont faits pour tuer et les organismes du sol en sont biologiquement proches**. On observe également des effets collatéraux préoccupants pour la vie du sol : certaines substances comme le **glyphosate s'avèrent nocives pour les champignons** alors qu'elles ne les ciblent pas initialement.

Pour évaluer précisément l'état de cette vie souterraine et son évolution ces 20-30 dernières années, les scientifiques s'appuient notamment sur l'**Atlas des bactéries du sols de France** et l'**Atlas des champignons de France (INRAE Dijon)**. Les chercheurs prennent en compte plusieurs indicateurs complémentaires : le nombre d'individus présents par unité de surface, la diversité génétique au sein d'une même espèce, ou encore la richesse de la communauté de **microbes**. Un seul kilo de sol peut en effet héberger **plusieurs milliers d'espèces de bactéries** différentes. Cette immense diversité inclut aussi bien des **microbes** « positifs », capables de fixer l'azote ou d'altérer la matière organique pour nourrir les plantes, que des agents potentiellement pathogènes (comme ceux responsables du tétanos pour l'homme).

Ces indicateurs permettent donc de distinguer deux mesures fondamentales pour évaluer la biodiversité : l'abondance (le nombre d'individus) et la richesse (le nombre d'espèces). Premièrement, le **nombre d'individus de chaque espèce s'étudie avec la diversité génétique**. Cette diversité intraspécifique mesure les variations entre les individus d'une même espèce. Deuxièmement, le **nombre d'espèces présentes dans un milieu définit la diversité spécifique**, laquelle désigne la variété des espèces d'un milieu.

À cet égard, les données scientifiques révèlent ici que **l'activité agricole fait s'effondrer la population microbienne (la quantité d'individus), mais peu d'espèces disparaissent totalement** à l'échelle nationale. Alors que le **nombre d'individus est dicté par l'action de l'homme, le nombre d'espèces dépend** surtout de **facteurs immuables** comme l'acidité et la roche mère. En revanche, c'est la diversité génétique au sein d'une même espèce, garante de l'adaptation de l'écosystème, qui subit l'érosion la plus forte. L'impact de l'agriculture intensive

est donc massif puisque, **en termes de quantité d'individus, les zones agricoles sont en queue de peloton** derrière les forêts et les pâtures, la viticulture et l'arboriculture, représentant le minimum biologique.

Toutefois, la distinction entre le volume de vie et la diversité des espèces explique pourquoi la **résilience biologique** reste possible. **Le labour étant la principale contrainte**, son arrêt permet une remontée rapide de la **biomasse microbienne de l'ordre de 20 %**, car les individus restants se multiplient dès que l'habitat est préservé. À l'inverse, le **nombre d'espèces ne remonte que de 2 %** puisque la majorité d'entre elles étaient déjà présentes mais en très faible quantité.

## **Recommandations pour une gestion durable des sols**

Pour **restaurer la santé des sols et sortir de la dépendance aux intrants chimiques**, Monsieur Selosse propose de « dézoomer » et d'adopter une **approche systémique** reposant sur l'empilement de quatre leviers complémentaires. Cette stratégie permet de restaurer un **cycle vertueux où le sol retrouve sa cohérence et sa capacité à auto-entretenir** sa fertilité sans dépendance excessive aux intrants, **tout en réduisant le nombre de passages de machines pour limiter le tassement.**

- **1. L'arrêt du labour cisailant**

Le labour conventionnel constitue l'une des pratiques les plus traumatisantes pour la biologie du sol car le **cisaillement mécanique de la charrue déchire les réseaux de champignons** et retourne brutalement les horizons biologiques. Alors que les **racines et les micro-organismes** sont **naturellement adaptés aux mouvements d'extension lente** à travers les pores du sol, ils ne survivent pas à cette **déstructuration mécanique de leur habitat**. L'arrêt de ce cisaillement permet une remontée rapide de la biomasse microbienne de l'ordre de **20%**, offrant au sol une meilleure structure qui limite le tassement lors des futurs passages de tracteurs. En **protégeant la structure physique des sols**, on permet au « catalogue » d'espèces déjà en place de **restaurer rapidement les services écosystémiques essentiels.**

- **2. La couverture végétale permanente**

Un sol ne doit jamais rester nu puisque l'exposition directe au soleil et à la pluie détruit sa couche superficielle et favorise l'érosion. Il est donc indispensable de généraliser l'usage des **cultures intermédiaires**, comme les « **pièges à nitrates** » (CIPAN), qui couvrent physiquement le sol pour empêcher le lessivage des nutriments vers les nappes phréatiques. En restant en place, **ces plantes injectent continuellement du carbone dans le sol via leurs racines, nourrissant** ainsi la **faune souterraine** même entre deux cultures principales tout en retenant la fertilité.

- **3. La priorité à la matière organique : passer d'une logique de « perfusion » chimique à une logique de « nourriture » biologique**

Il est nécessaire de passer d'une logique de « **perfusion** » **chimique** de la plante à une logique de « **nourriture** » **biologique** du sol en privilégiant les apports organiques. Cet apport doit se faire via la **valorisation de l'élevage**, par les excréments du bétail, et **l'intégration des biodéchets ménagers verts**. Monsieur Selosse alerte toutefois sur le **risque de la**

**méthanisation excessive** qui détourne cette matière organique pour produire de l'énergie au détriment de la structure des terres. **À l'inverse, l'excès d'engrais minéraux** solubles gave la plante et la pousse à abandonner ses symbioses avec les champignons mycorhiziens, ce qui **l'affaiblit** considérablement **face aux maladies et au stress hydrique**. Il faut donc veiller à ce que la **méthanisation** reste un **outil de gestion des déchets** et non une pratique qui appauvrit la structure physique et biologique des terres cultivées.

- **4. L'aménagement paysager et la diversité culturelle**

La réduction des pesticides, qui touchent aujourd'hui plus de **90 % des sols français**, nécessite de repenser l'architecture des parcelles et la diversité des cultures. L'aménagement du paysage constitue un levier de protection puissant : l'implantation de **haies** est primordiale car elles agissent comme des **barrières biologiques** capables de réduire de **80 % la propagation des maladies** (notamment les spores de champignons parasites) d'une parcelle à l'autre, tout en luttant efficacement contre l'érosion des terres.

Pour sortir de la dépendance aux intrants chimiques, il est essentiel d'augmenter **l'hétérogénéité des cultures**, tant par **l'allongement des rotations sur 7 à 8 ans** que par la **diversité intra-parcellaire**. Cela peut se traduire par le mélange de céréales et de légumineuses ou la pratique de cultures par bandes, comme l'association du colza et de l'orge. Ces pratiques augmentent la résilience naturelle des plantes, à l'image des variétés sélectionnées pour leur résistance au mildiou.

Au final, cette stratégie **d'empilement des solutions** diminue les coûts pour l'agriculteur et préserve la santé humaine en limitant le transfert de polluants vers les populations riveraines.

### **Leviers agronomiques et enjeux économiques**

Sur le plan financier, le système actuel génère des **externalités massives** : selon la FAO et l'ITAB, pour chaque euro dépensé en nourriture, la société supporte **un à deux euros de coûts cachés** liés aux dégradations environnementales et sanitaires. À titre d'exemple, le coût de dépollution de l'eau potable a entraîné une hausse du prix de l'eau de **16 % en seulement deux ans**. Des **solutions économiques** existent pour soutenir les agriculteurs dans cette transition, comme les **aides à la conversion en bio** dans les zones de captage ou des dispositifs d'assurance (testés par l'INRAE) pour couvrir les éventuelles pertes de rendement liées à la baisse des pesticides.

De plus, la **gestion biologique des sols** offre une réponse majeure au défi climatique via le stockage de carbone dans la matière organique, conformément à l'initiative internationale **4 pour 1000**. Cette dernière consiste à augmenter chaque année de **0,4 %** (soit 4 pour 1000) le stock de carbone dans les sols du monde entier afin de compenser les émissions anthropiques de gaz à effet de serre tout en améliorant la fertilité des terres et la sécurité alimentaire.

### **Enjeux climatiques et perspectives d'avenir**

Monsieur Selosse insiste sur le fait que **le sol constitue un levier majeur et sous-exploité pour la lutte contre le réchauffement climatique** grâce à sa **capacité phénoménale de stockage du carbone**. La matière organique du sol représente un **réservoir de carbone deux fois plus important que celui de l'atmosphère**.

Cette **méthode de stockage** présente un avantage stratégique : **elle ne crée aucune préemption sur l'aménagement futur de l'espace**. Contrairement à la reforestation, où la moitié du carbone est stockée dans le bois (rendant l'espace intouchable sous peine de libérer le CO<sub>2</sub>), **l'enrichissement des sols agricoles en matière organique** permet de **séquestrer le carbone pendant environ 100 ans** tout en améliorant immédiatement leur fonctionnement biologique. En redonnant de la cohérence et de la nourriture au sol, on assure sa fertilité sans bloquer l'utilisation du territoire.

Cependant, le chercheur met en garde contre une vision purement comptable de cette ressource : si la **méthanisation** est souvent mise en avant comme une **solution de transition énergétique**, elle **peut s'avérer contre-productive** pour le sol si elle est pratiquée de manière excessive. En détournant la matière organique vers la production de gaz, on risque de priver la terre de la structure physique et de la nourriture biologique nécessaires à sa résilience. La méthanisation ne doit pas, en effet, entrer en concurrence avec le retour de la matière organique au champ, au risque d'appauvrir durablement la structure du sol et d'en dégrader la résilience biologique. De même, pour que ce stockage soit efficace, il est crucial de **ne pas mélanger les biodéchets avec les ordures ménagères générales**, afin de garantir une matière organique de qualité.

Bien que le passage au bio ou à l'agroécologie puisse paraître coûteux face aux enjeux de rentabilité immédiate, c'est une **solution bien moins onéreuse pour la société** que le maintien du système actuel sous perfusion. En **redonnant de la cohérence au sol** et en évitant de le « vider » par des pratiques comme la méthanisation industrielle non raisonnée ou autres, on restaure une **valeur patrimoniale** et une **sécurité alimentaire durable**. **Les solutions existent déjà** et il ne tient qu'à nous de **généraliser** ces pratiques pour éviter que le problème ne s'aggrave davantage.

En conclusion de son intervention, Monsieur Selosse souligne qu'il sera ravi d'être tenu au courant de la suite et se propose d'apporter à nouveau son aide pour les futurs travaux de **l'Assemblée de la Terre – France**.