

# Microcosmos sous nos pieds

Le sol recèle une ressource que les chercheurs commencent à décrypter : les bactéries, une véritable usine chimique au service de l'alimentation des plantes. C'est sans doute la clé d'une future agriculture productive mais respectueuse de l'environnement.

Par Loïc Chauveau

**L**A VIE SUR TERRE... C'EST DES-SOUS qu'elle se passe ! Les sols recèlent une vie foisonnante, diverse, généreuse. Des millions d'animaux, des tonnes de champignons, des milliards de bactéries fouissent, transforment, enrichissent ces 30 premiers centimètres de la surface de la planète vitaux pour toutes les espèces végétales et animales. La glèbe contient ainsi la plus grande richesse biologique de tous les milieux terrestres. Et pourtant, trop méconnue, elle est très peu

respectée. « Songez que dans un seul gramme de terre de nos latitudes européennes on compte de 100 millions à un milliard de bactéries et de un à trois mètres de mycélium de champignons ! Au total, les animaux qui vivent sous l'herbe d'un hectare de prairie pèsent plus lourd que les dix vaches qui paissent au-dessus », s'émerveille Philippe Lemanceau, directeur du département Environnement et agronomie à l'Institut national de la recherche agronomique (Inra) de Dijon. Une partie de ce monde

**2,5 tonnes de bactéries** pour 1 hectare de prairie.

grouillant nous est familière : vers de terre, collemboles, coléoptères, fourmis, diptères constituent des signes visibles et reconnus d'un sol « vivant ». Mais au sein de ce « microcosmos », c'est surtout le rôle des innombrables familles microbiennes que les scientifiques découvrent peu à peu. Le monde bactérien apparaît comme une usine chimique au service de l'alimentation des plantes : il dégrade la matière organique qu'elles ne peuvent assimiler directement en élé-

ments minéraux comme le nitrate que les racines peuvent alors « ingérer ». En contact avec l'atmosphère, il filtre les eaux, stocke le carbone de l'air et limite la prolifération des organismes pathogènes potentiellement nuisibles aux plantes et aux hommes. Surtout, les premières plongées génétiques sur des champs « témoins » ont montré que chaque intervenant tient un rôle précis dans cette chaîne.

Ainsi, les protéobactéries ou planctomycètes (bactéries aquatiques) participent à la minéralisation de la matière organique, les firmicutes (bactéries à Gram+) luttent efficacement contre les bactéries pathogènes et les bactéroïdes ou actinobactéries procèdent au stockage du carbone dans le sol. Et ce n'est qu'un tout début ! Si aujourd'hui le décryptage de l'ADN dans les terres ne permet de différencier que 1500 espèces, « nous visons demain un échantillonnage de 15 000 espèces », prévoit

Lionel Ranjard, écologue à l'Inra de Dijon. Les expérimentations en laboratoire et les essais en plein champ menés depuis le début des années 2010 ont confirmé l'importance de cette activité bactérienne. « Nous avons vérifié que cette biodiversité microbienne était bien synonyme de fertilité et de santé pour les plantes et que son abondance et sa diversité étaient bien un facteur de résistance des sols aux dégradations », poursuit Lionel Ranjard.

**Des différences notables selon les régions climatiques**  
Pour ce faire, les chercheurs ont dilué dans des proportions variables les populations de bactéries d'un même échantillon. Ils ont ainsi démontré que l'appauvrissement en micro-organismes provoquait une réduction de la minéralisation de la matière organique et induisait une croissance plus lente des plantes. L'inoculation de la bactérie *Listeria monocytogenes* dans ces pots expérimentaux a également démontré qu'une grande biodiversité est plus efficace pour limiter les populations de pathogènes

## 15 000 espèces de bactéries à découvrir

### DÉGRADATION ET RECYCLAGE

**Protéobactéries** Cette famille bactérienne occupe près de 20 % de la biodiversité des sols. Elle remplit un rôle de dégradation de la matière organique, de recyclage des pathogènes et intervient dans la transformation de l'azote en nitrate.



### FERTILISATION

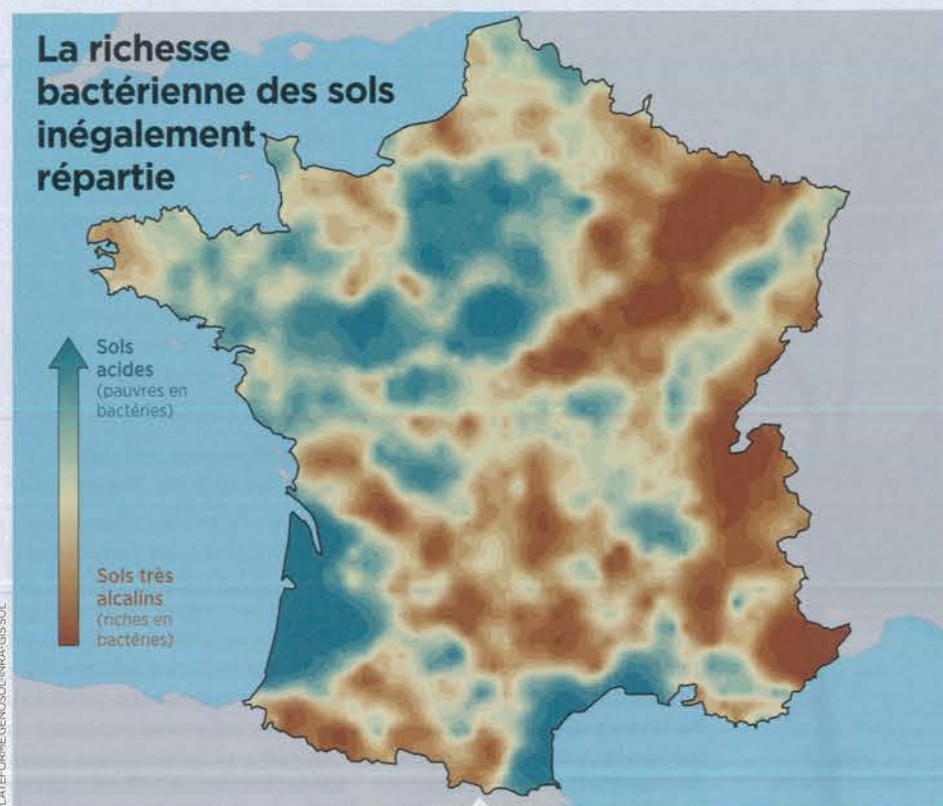
**Firmicutes** Elles possèdent 11 % de la biodiversité. Elles jouent un rôle important dans la fertilité des sols et la lutte contre les pathogènes comme les salmonelles. Cette famille est aussi présente dans le microbiote intestinal de l'homme.



### STOCKAGE DE CARBONE

**Actinobactéries** Elles n'occupent que 3 % de la biodiversité. Elles dégradent la matière organique, recyclent les éléments minéraux et interviennent dans le stockage du carbone dans le sol, rôle crucial pour son bon fonctionnement comme « puits » de carbone.





► potentiellement toxiques pour l'homme. Restait à savoir si l'abondance et la diversité microbiennes varient selon la composition physico-chimique des sols, leur usage (agriculture, élevage, forêt) et le climat. C'est désormais chose faite depuis décembre 2014 où le programme Eco-Finders, regroupant 23 organismes de recherches européens et coordonné par Philippe Lemaire, a réalisé l'analyse génétique de 81 échantillons représentatifs des grandes régions climatiques de notre continent. Les résultats ont bien mis en exergue des différences notables, les terres cultivées montrant une bonne biodiversité en dépit des craintes émises sur les conséquences des épandages massifs de pesticides et d'engrais chimiques. Nulle part, y compris dans les régions d'agriculture très intensive, n'a été constatée l'existence de sols « morts » où

**Les terres alcalines** (prairies, forêts mélangées, polycultures...) sont riches en bactéries tandis que les sols acides (vignes, vergers, monocultures...) sont pauvres.

la vie bactérienne aurait été éradiquée. C'est une première bonne nouvelle : malgré une exploitation irraisonnée, les organismes générateurs de fertilité persistent. Augmenter leur efficacité est donc possible partout. Ce qui permettrait de diminuer les doses de pesticides et d'engrais. En France, les chercheurs de l'Inra de Dijon sont allés beaucoup plus loin dans le détail en s'appuyant sur un réseau unique au monde mis en place en 2001, le réseau de la mesure de la qualité des sols, (RMQS) qui regroupe 2200 points de collecte constituant une grille de 16 km de côté quadrillant tout le territoire métropolitain. Tous les types d'occupation des espaces naturels, cultivés ou artificialisés sont représentés. Ils ont ainsi pu montrer que les niveaux de diversité entre populations sont importants quel que soit le milieu mais varient bien selon l'usage des

terres et leur texture. « Nous avons pu établir une carte de France montrant que les compositions limono-calcaires très alcalines recèlent la plus grande abondance, alors que les sols acides comme ceux des Landes sont les plus pauvres », détaille Lionel Ranjard (voir la carte ci-contre). En établissant une moyenne de vie bactérienne exprimée en microgrammes d'ADN présents dans un gramme de sol, la plateforme Genosol de l'Inra de Dijon, créée en 2008, a quant à elle été capable de hiérarchiser les terres les plus riches. Ainsi, les prairies arrivent en tête, devant les forêts aux essences mélangées et les champs où les rotations se font sur plusieurs cultures. Lanternes rouges : les vergers et les vignes.

#### 10 000 échantillons ont déjà été congelés et stockés

Une fois étudiés, tous ces prélèvements rejoignent la « banque » de Genosol où ils sont congelés. Ce lieu, qui stocke aujourd'hui 10 000 échantillons, conserve ainsi la mémoire de la biodiversité locale dont on pourra ensuite mesurer l'évolution au cours des décennies à venir. C'est un véritable outil agronomique qui est en cours d'élaboration. Les agriculteurs des pays développés procèdent d'ailleurs déjà en routine à des mesures de qualité de leurs terres en faisant analyser la structure du sol (porosité, état de surface, circulation de l'eau), les reliquats en azote, en phosphore et en potassium — indicateurs de fertilité — ainsi que sa composition physico-chimique (texture, pH). « Demain, nous pourrions y ajouter le patrimoine biologique comme nouvel indicateur de fertilité, de durabilité et de capacité à rendre des services écologiques comme le stockage du CO<sub>2</sub> », poursuit Lionel Ranjard. Les mesures effectuées en plein champ ont aussi permis de comparer l'effet des pratiques agricoles

#### THERAPEUTIQUE

### La terre nourricière est aussi guérisseuse

Sur 100 000 à un million d'espèces, il y a de grandes chances que certaines cachent des vertus thérapeutiques. L'humus a ainsi déjà produit deux antibiotiques célèbres, la pénicilline et la vancomycine. D'autres découvertes devraient intervenir, notamment grâce à l'augmentation de la puissance des outils génomiques qui permet d'élargir le nombre des espèces décrites dont on pourrait synthétiser la structure. Avec son programme « Drugs from dirt » (« médicaments de la terre » [www.drugsfromdirt.org](http://www.drugsfromdirt.org)) lancé en janvier 2015, l'université Rockefeller (États-Unis), pousse une autre idée. L'équipe de



Analyse d'un échantillon de sol « exotique » à l'université Rockefeller, à New York. Le but : trouver des bactéries rares.

Sean Brady lance un appel aux citoyens du monde entier pour qu'ils envoient des échantillons provenant de lieux particuliers (voisinages de volcans, grottes, îles) qui pourraient contenir des bactéries adaptées à ces lieux rares. Les chercheurs annoncent déjà quelques espoirs sérieux. Un échantillon provenant de l'État du Nouveau-Mexique a livré des composés similaires à l'époxomicine, molécule utilisée dans des anticancéreux. Et du sud-ouest des États-Unis pourrait émerger une molécule similaire à la rifamycine, un antibiotique efficace notamment contre la tuberculose ou la lèpre. Les brevets sont en cours.

sur la biodiversité microbienne. Faut-il labourer ou pratiquer le semis sans labour ? Et quels sont les effets réels des cultures d'hiver destinées à piéger le nitrate en excès ? Les résultats sont surprenants. Ainsi, en aérant l'humus sur 20 centimètres, le labour multiple les niches écologiques des bactéries et favorise leur diversité. En revanche, il détruit les mycéliums des champignons et stimule les populations de pathogènes. À l'inverse, le semis direct sans labour ne favorise pas la diversité des bactéries mais augmente les populations de micro-organismes impliqués dans la fertilité, préserve la diversité des champignons et facilite leur action sur la dégradation de la matière orga-

nique. C'est ainsi que les chercheurs tracent les contours d'une future agriculture productive mais respectueuse de l'environnement. Elle préconise l'utilisation de semis direct, impose des rotations annuelles d'au moins cinq cultures dont des légumineuses, et promeut l'agroforesterie qui favorise la mixité des plantes sur les parcelles en y plantant des arbres.

#### Il manque une politique de protection des sols

Quelques techniques simples, mais encore peu répandues, qui permettent de réduire drastiquement l'usage de pesticides et d'engrais chimiques. Cette meilleure connaissance de la vie

intime régnant sous nos pieds devrait en toute logique amener à une gestion plus respectueuse de ce capital vital. Car aujourd'hui, les sols ne bénéficient pas d'une protection à la hauteur de leur importance. L'agriculture se préoccupe désormais en priorité de la productivité des plantes en leur apportant ce dont elles ont besoin sans tenir compte du substrat sur lequel elles poussent. L'industrie ne fait pas face à ses responsabilités en matière de pollution des sites qu'elle occupe. Et les aménageurs mangent tous les ans 1000 km<sup>2</sup> de la surface de l'Europe. En France, pas moins de 600 km<sup>2</sup> sont artificialisés chaque année par la construction de logements ou de zones d'activités et la création de nouvelles infrastructures. Devant cette situation, l'Union européenne a commencé en 2006 à élaborer une directive sur la protection des sols. La démarche n'a jamais abouti. Les lobbys industriels, agricoles et économiques ont obtenu qu'elle soit... enterrée. ■



« Le patrimoine biologique pourra constituer un indicateur supplémentaire de fertilité et de durabilité »

Lionel Ranjard, écologue à l'Institut national de la recherche agronomique, à Dijon.