

## **De GenoSol à GenoBiome, mise en place d'une structure analytique pour évaluer l'état biologique du sol**

Lionel RANJARD, Samuel Dequiedt, Pierre-Alain Maron, Anne-Laure Blieux.  
UMR Agroécologie-plateforme GenoSol, centre INRA Dijon

### **I- Introduction - Contexte scientifique et enjeux sociétaux.**

D'un point de vue écologique, le sol représente l'un des plus importants réservoirs de diversité biologique de notre planète et surtout l'un des derniers remparts pour cette biodiversité. Il est aussi le lieu de nombreux processus biologiques et écologiques et fournit donc un nombre important de services écosystémiques résultant de la complexité des assemblages taxonomiques et fonctionnels des communautés indigènes et des interactions entre les organismes. Parmi les services écologiques, sociaux et économiques identifiés, le rôle du sol en tant que réservoir de biodiversité est maintenant bien identifié au même titre que son rôle dans l'épuration des eaux de surface, le recyclage des éléments minéraux (fertilité du sol), le stockage du carbone (en tant que puits de CO<sub>2</sub> atmosphérique), ce dernier point étant en relation directe avec les changements climatiques et la notion de productivité végétale.

Le sol représente avant tout pour l'homme un support de construction et de production agricole. Sa surexploitation depuis le développement de l'agriculture intensive et de l'industrialisation a mené à une érosion significative de sa biodiversité et par là même des fonctions et services remplis par cette biodiversité. En effet, Loreau et collaborateurs ont défini en 2000 le concept d' « assurance écologique » qui démontre que la capacité d'un sol à remplir de façon pérenne ces fonctions environnementales ou agronomiques est fortement reliée à son niveau de biodiversité. Il en résulte une prise de conscience où la notion de sols valorisés essentiellement en termes de productivité maximum est peu à peu remplacée par celle d'un écosystème « piloté de manière à fournir durablement diverses catégories de biens et de services précisément qualifiés ».

Dans ce contexte, il devient donc urgent de fournir aux utilisateurs des sols les moyens d'évaluer l'état biologique de leur support de production et l'impact des pratiques associées (agricoles, industriels). Parmi les organismes indigènes des sols, les communautés microbiennes (bactéries et champignons) sont les plus importantes en densité ( $10^6$ - $10^9$  individus/g de sol), en diversité ( $10^3$  à  $10^6$  espèces/g de sols) et aussi quant à leur implication dans le fonctionnement biologique des sols. Par conséquent, l'état biologique d'un sol sera fortement dépendant du niveau d'abondance et de diversité des communautés microbiennes indigènes.

Les communautés microbiennes du sol sont difficiles à caractériser. Ceci s'explique par une accessibilité plus ou moins importante des populations au sein d'une matrice hétérogène et structurée mais aussi par leur densité et diversité très importantes qui rendent difficile à résoudre l'information obtenue. Toutefois, grâce aux avancées méthodologiques qui ont eu lieu depuis une quinzaine d'années, les études d'écologie microbienne bénéficient maintenant d'une automatisation des outils moléculaires (extraction d'ADN, caractérisation du polymorphisme de l'ADN, séquençage haut débit, métagénomique, métaprotéomique...) permettant la caractérisation des ressources génétiques microbiennes (diversité taxonomique, potentiel génétique et fonctionnel) des sols en moyen débit.

Dans ce contexte, l'UMR Agroécologie de l'INRA de Dijon a créé en 2008 la plateforme « GenoSol » ([http://www.dijon.inra.fr/plateforme\\_genosol](http://www.dijon.inra.fr/plateforme_genosol)), dont l'objectif est de fournir une structure logistique et technique assurant l'acquisition, la conservation, la caractérisation et la mise à disposition des ADN métagénomiques de sols issus d'échantillonnages de grande

envergure (plusieurs centaines à plusieurs milliers de sols correspondant à de grandes échelles spatiales et/ou temporelles) (Ranjard et al., 2009). Ces analyses doivent permettre i) de combler le déficit d'approches globales et sans *a priori* qui permettront d'évaluer la contribution des facteurs environnementaux dans l'évolution des sols à long terme, ii) une meilleure connaissance, gestion et valorisation de la biodiversité et iii) une meilleure « finalisation » des résultats obtenus par la traduction de ces ressources génétiques en services écosystémiques dans le souci d'un usage durable des sols.

## II- La plateforme GenoSol de l'INRA de Dijon

La plateforme GenoSol s'articule autour de trois activités principales:

- un **Centre de Ressources Métagénomiques Microbiennes** national sur les sols qui a pour but de stocker et conserver les ressources génétiques (sols et ADN) et de les mettre à disposition de la communauté scientifique.
- une **plateforme technique** permettant le développement et la veille technologique sur les méthodes d'extraction des acides nucléiques des sols et les outils de caractérisation des ressources génétiques microbiennes (génotypage, pyroséquençage, métagénome, métaprotéome, mesure d'activité...).
- un **Système d'Information Environnementale** (SIE) centré sur le développement de la base de données «-MicroSol-database©-» qui permet d'une part de gérer le conservatoire et la traçabilité de ses échantillons et, d'autre part de stocker et d'analyser les données de caractérisation métagénomique des sols (taxonomique, fonctionnelle).

La plateforme GenoSol, pour ses activités de conservatoire et de SIE, est articulée avec le conservatoire Infosol de l'INRA d'Orléans qui propose les services de mise à disposition des ressources physico-chimiques des sols (Carbone, azote, pH, polluants ...) avec des échantillons de taille plus importante. Sur les 8000 sols stockés au sein du conservatoire GenoSol environ 3000 sols sont communs et partagés avec ceux d'Infosol. Ces deux conservatoires sont destinés à des communautés scientifiques et professionnelles différentes (science du sol pour INFOSOL et biologie/écologie pour GenoSol).

A ce jour, le conservatoire GenoSol est une initiative unique en Europe de par la particularité (ressources métagénomiques microbiennes des sols (RMM)) et l'ampleur de ses collections (8000 RMM sols en conservation au 1<sup>er</sup> janvier 2013). Ces RMM consistent en une double conservation, i) les sols eux-mêmes, séchés et stockés à -40°C et qui représentent la meilleure façon de conserver à long terme les RMM ex situ et qui donnent aussi la possibilité d'en réextraire de novo avec de nouveaux protocoles et ii), les RMM elles mêmes (ADN de sol) à -30°C. Ce conservatoire est stratégique car il renferme des RMM sols des sites expérimentaux et d'observatoires des écosystèmes terrestres de différents instituts (INRA, CNRS, IRD, CIRAD, Université) et réseaux de surveillance nationaux gérés par les instituts et agence de recherche, des instituts techniques agricoles, des chambres d'agriculture et des réseaux d'exploitants agricoles. A l'échelle internationale, la plateforme est accréditée pour accueillir des échantillons de sols venant de pays à risques sanitaires avec une procédure de confinement.

A l'échelle européenne, le conservatoire gère les échantillons des « Long Term Observatory » et du transect Européen conduits dans le projet Ecofinder (FP7) avec 23 partenaires européens. Ces échantillonnages ont été mis en place par des projets de recherche à l'échelle nationale (ANR, ADEME, CASDAR...) et internationale (FP7) et leur centralisation et mise à disposition facilitent la mise en place de nouveaux projets de recherche qui s'appuie de nouveau sur ces réseaux (projet EU ECOSCAPE soumis). Pour autre exemple, le projet ECOMIC-RMQS a

permis de mettre en place une stratégie d'analyse des communautés microbiennes sur plus de 2200 sols à l'échelle de la France et la réussite de cette initiative et la centralisation des échantillons et données au sein du conservatoire GenoSol a permis la mise en place de plusieurs autres projets portant notamment sur l'aspect sanitaire ou le fonctionnement biologique des sols français (projet ANR CES, Agrobiosphère, ANSES...).

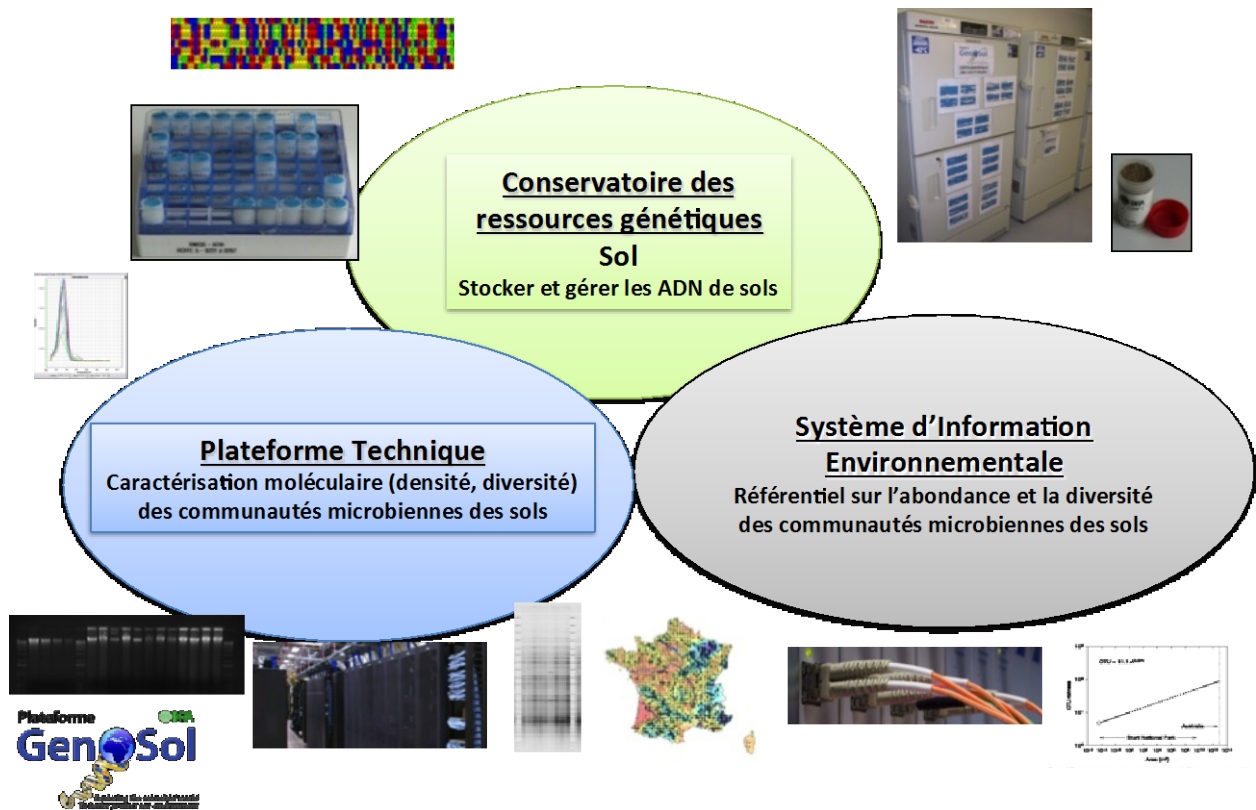
Les collections des RMM sols prennent donc de plus en plus un caractère stratégique par l'ouverture de ces échantillonnages à d'autres thématiques et équipes intéressées de près par la microbiologie des sols. Certaines collections pourraient être désignées comme patrimoniales et notamment celle du RMQS qui sera renouvelée tous les dix ans avec la possibilité de suivre l'évolution de l'état des sols à l'échelle de la France en fonction des changements globaux.

En 2012, la récente labellisation aux « investissements d'avenir » de la plateforme *via* le projet ANAEE-France va consolider la mise en place d'une offre de service au sein de la plateforme, dédiée à la conservation et à la caractérisation de la biologie des écosystèmes terrestres au sein d'un réseau national de sites expérimentaux de l'INRA et du CNRS et de différentes universités. Ce projet va renforcer l'attractivité de la plateforme et son rôle stratégique dans ce domaine. Le projet ANAEE-France s'inscrit dans le projet ANAEE à l'échelle européenne ce qui permettra aussi de renforcer le positionnement Européen de la plateforme.

La plateforme GenoSol a développé depuis sa création en 2008 une base de données sécurisée « Microsol Database® » (avec application Web) pour stocker et gérer les échantillons de sol et les données associées (à ce jour plus de 455 000 données). Dans ce contexte, la plateforme a acquis 3 serveurs (1 d'application, 1 de calcul et 1 de sauvegarde) et a développé des interactions directes avec l'équipe informatique de Centre, la cellule Eco-informatique et le CATI IOEA. Ce système d'information a été élaboré pour être interopérable avec d'autres bases de données environnementales ou microbiologiques (bdd Infosol...). Ce SIE permet de finaliser des référentiels sur l'abondance et la diversité microbienne des sols et c'est à ce titre qu'il a bénéficié d'une protection intellectuelle par l'INRA.

L'activité scientifique et technique de la plateforme est illustrée par le listing suivant :

- Acquisition de nouveaux sols en collection : 1333 nouveaux sols dans le conservatoire en 2012.
- distribution de RMM à des partenaires de la plateforme : 5880 depuis 2008
- flux analytique pour la caractérisation des RMM sols (2012) :
  - extraction ADN de sols : 2244
  - ADN sols génotypés : 1554
  - ADN sols passés en pyroséquençage : 1326
- nombre de personnes extérieures accueillies au sein de la plateforme (bac+2 à chercheur) depuis sa création : 39
- nombre de contrats de collaboration depuis sa création : 21
- nombre de contrats de collaboration soumis ou en cours de montage : 25
- nombre de publications de rangA cosignées par la plateforme depuis sa création : 20



*Illustration des activités de la plateforme GenoSol.*

### III- De GenoSol à GenoBiome

Depuis plus de deux ans la plateforme GenoSol fait face à une demande grandissante provenant i) soit d'industriels de l'agrofourmiture ou de l'environnement intéressés par des évaluations environnementales des produits qu'ils commercialisent ou des pratiques qu'ils appliquent, ii) soit par des utilisateurs des sols ou exploitants agricoles pour de petites prestations en termes d'analyses biologiques destinées à évaluer la qualité biologique de leurs sols. Ces demandes spontanées de la part du monde industriel et agricole mettent en évidence l'existence d'un marché pour les indicateurs développés au sein de la plateforme. Toutefois, la réalisation de prestations pour le monde industriel ou agricole n'entre pas dans les attributions de la plateforme, ce qui limite très fortement ses capacités à répondre à cette demande.

C'est dans ce contexte que se développe "GenoBiome", une « business unit » adossée à la plateforme GenoSol et dont la principale mission sera de gérer ces partenariats avec les industriels de l'agrofourmiture et de l'agroenvironnement mais aussi de répondre à la demande de petites prestations par les exploitants agricoles et autres utilisateurs de sols. Pour cela, l'activité de GenoBiome s'appuiera sur un véritable tableau de bord analytique de la biologie des sols qui constituera une référence pour l'évaluation de la qualité biologique des sols sur la base des bioindicateurs (densité/diversité/activité des communautés microbiennes) développés par la plateforme GenoSol. GenoBiome représente donc une prolongation finalisée des activités techniques, scientifiques et logistiques de la plateforme GenoSol. A ce titre, elle bénéficie dans sa phase d'émergence d'un appui technique et d'un transfert technologique afin d'exploiter les derniers développements de la recherche en biologie du sol et de les mettre à la disposition des

utilisateurs des sols. L'originalité de GenoBiome repose sur le fait que peu de laboratoires proposent des analyses biologiques des sols à l'échelle nationale et européenne. Par ailleurs, les structures existantes utilisent des techniques anciennes peu standardisées et surtout ne possèdent pas de référentiels d'interprétation aussi riches que ceux de la plateforme GenoSol, ce qui limite leur champ d'exploitation. En retour, la plateforme GenoSol bénéficiera d'un jeu de données très important pour alimenter sa base de données sur les sols et ainsi améliorer son référentiel d'interprétation (à l'image de la BDAT à l'INRA d'Orléans, unité INFOSOL).

#### **Objectifs et missions :**

- Développer et appliquer des outils de bioindication de l'état biologique du sol et de l'environnement.
- Fournir un diagnostic de l'état biologique des sols grâce au référentiel MicroSol mis en place au sein de la plateforme GenoSol (licence d'exploitation exclusive).

#### **Partenaires pour la mise en place et la gestion de GenoBiome :**

Le développement de GenoBiome a initialement été soutenu par Welience Agroenvironnement, ainsi que le Conseil Régional de Bourgogne et le Grand Dijon. Actuellement, GenoBiome reçoit également le soutien d'INRA Transfert. Ces 2 structures amènent un environnement administratif et logistique pour la gestion de GenoBiome.

Dans sa phase d'émergence GenoBiome sera hébergé par la plateforme GenoSol au sein de l'UMR Agroécologie et bénéficiera donc de ses moyens techniques et logistiques.

#### **Services proposés :**

Plusieurs services sont proposés par GenoBiome :

- La prestation individuelle, c'est-à-dire la mesure des indicateurs microbiens par des outils de biologie moléculaire et la comparaison aux référentiels aboutissant au calcul d'indices d'impact et de qualité microbiologique des sols et de l'environnement en termes de patrimoine biologique, d'état sanitaire, de stabilité biologique et de recyclage des éléments minéraux. Le résultat est rendu sous la forme d'un bulletin synthétique d'analyse.
- La prestation sur mesure : dans ce cas, un projet est construit en collaboration entre le client et GenoBiome, et une stratégie d'échantillonnage et d'analyses est définie afin de répondre à une problématique donnée. Les résultats sont alors donnés sous la forme d'un rapport qui répond de manière précise à la question posée.

#### **Marchés potentiels :**

Toutes les sociétés et les professionnels en lien avec le sol peuvent trouver un intérêt dans la mesure des indicateurs proposés par GenoBiome. Ces services peuvent en effet concerner des industriels de l'agrofourmiture qui souhaitent tester l'impact de leur produit sur les communautés microbiennes des sols, des gestionnaires de sites pollués qui veulent suivre la réhabilitation des sites, mais également des utilisateurs de sols comme les exploitants agricoles qui ont besoin d'une évaluation plus fine de la qualité biologique de leurs sols pour adapter leurs pratiques agricoles.

D'après les études de marché effectuées auprès des exploitants agricoles, environ la moitié de ceux interrogés sont intéressés par ce type d'analyse. Un effort de communication important ainsi qu'un rendu de résultat synthétique et valorisable seront des clés de la réussite de la conquête de ce marché, qui pourra être approché à la fois de façon direct ou par l'intermédiaire

des coopératives, des instituts techniques ou des laboratoires qui proposent déjà d'autres analyses de sols.



*Illustration des prestations GenoBiome*