

La lettre de la Fondation Pierre Vérots

POUR L'ETUDE ET LA PRESERVATION DE LA FAUNE ET DE LA FLORE DE LA DOMBES
déclarée d'utilité publique par décret du 13 juin 1984

LE MOT DU PRÉSIDENT

L'opinion publique a souvent confondu la préservation de la biodiversité et la conservation des espèces menacées ; en vérité, c'est l'ensemble de la faune et de la flore qu'il convient de préserver, non seulement dans les lieux symboliques comme les parcs nationaux et les réserves naturelles mais encore dans les milieux naturels ordinaires dans lesquels nous vivons.

L'enjeu, c'est, bien sûr, la variété des espèces mais aussi une meilleure conscience des services rendus à l'homme par la biodiversité et les écosystèmes. Or, la biodiversité décline et nous en sommes, sans doute, les premiers responsables, mais peut-être n'examinons nous que la biodiversité visible d'un œil profane. Ce numéro de la lettre a pour objet de vous présenter la biodiversité invisible, son importance et sa complexité. C'est au fond de l'inconnu que nous plongeons aujourd'hui, pas seulement pour trouver du nouveau mais pour mieux comprendre cette richesse insoupçonnée et son rôle dans la conservation de la biodiversité.

Jean-François MAHÉ

UNE PART INCONNUE DE LA BIODIVERSITÉ : LES MICROBES DES SOLS

é d i t o r i a l

Le sol est un des trois facteurs essentiels à la vie avec l'air et l'eau. Si toute une série d'étude ont été réalisées et des normes environnementales définies pour l'air et l'eau, ce n'est pas encore le cas pour les sols. Et pourtant, ce sont des milieux vivants qui ne servent pas uniquement de support physique à la végétation spontanée ou aux cultures. En effet, une cuillère de terre de jardin peut contenir jusqu'à un million d'organismes répartis entre plusieurs milliers d'espèces différentes avec, des plus petits aux plus gros : microbes, champignons, protozoaires, nématodes, acariens, collemboles, insectes, vers de terre et végétaux. Le sol participe aussi à la filtration et au stockage de l'eau et des polluants. Il stocke aussi du carbone et de nombreuses molécules nécessaires à la vie des plantes comme l'ammonium, les nitrates ou les phosphates.

Pour appréhender la biodiversité d'un milieu, il ne suffit pas de réaliser un inventaire des espèces mais bien d'avoir une approche globale du vivant : microorganismes, animaux et végétaux ; cette approche intègre les trois niveaux que sont les gènes, les espèces et les écosystèmes.

On estime aujourd'hui à 1,8 million le nombre d'espèces différentes référencées, c'est-à-dire décrites, nommées et classées par les spécialistes, les taxonomistes animaux et végétaux. Mais cette valeur est sans doute loin de la réalité. En effet, il y a deux biodiversités. Celle visible dont parle les médias : l'ours blanc ou une belle orchidée et la non visible, des sols, des eaux douces et des océans et dont on découvre tous les jours de nouvelles espèces.

On décrit actuellement environ 15.000 nouvelles espèces visibles chaque année. L'estimation des espèces visibles à l'œil nu (possédant un vrai noyau dans leurs cellules et appartenant aux eucaryotes) est beaucoup plus grande : de 2 à 100 millions suivant les extrapolations et les auteurs. Opposées aux espèces eucaryotes (animaux, végétaux, champignons), il y a le monde largement inconnu des procaryotes. C'est celui où l'ADN n'est pas contenu dans un vrai noyau comme chez les bactéries et les virus, structures observables seulement à l'aide de différents types de microscopes. On évalue leur nombre à des valeurs sans commune mesure avec celles des organismes visibles. Dans leur cas, on parle de plusieurs centaines de milliers à plusieurs milliards de microbes par gramme de sol, même si la notion d'espèce est ici plus délicate à définir. En effet, seuls les microbes cultivables sur milieux de culture ou colorables à l'aide de teintures particulières ont été identifiés en tant que taxons ou "espèces", notamment ceux intéressant le monde médical ou vétérinaire ou encore les applications agro-alimentaires. Les nouvelles technologies de l'ADN permettent aujourd'hui de faire progresser les connaissances de ce monde microbien encore largement ignoré et porteur d'avenir comme la découverte de nouveaux antibiotiques ou d'autres applications comme l'épuration

Vue estivale
des bâtiments de
la Fondation depuis
la roselière à typhas
(ou massettes) en
bordure nord-est de
l'étang Praillebard,
remis en eau en 1999
après une période



Quelques programmes nationaux de recherche comme GESSOL pour l'ADN des sols coordonné par l'ADEME pour définir des bio-indicateurs de la qualité des sols sont déjà engagés.

On peut aussi signaler ECOMIC réalisé par les chercheurs en microbiologie des sols de Dijon pour constituer des cartes de distribution d'abondance et de diversité des microorganismes telluriques à l'échelle du territoire national ou encore Terragenome dont il est question plus loin dans cette lettre.

Le sols des étangs, plus ou moins régulièrement mis en assec, n'a pas encore été étudié. Les étangs de la fondation pourraient, à ce titre, servir de terrain de choix pour de telles expérimentations d'autant qu'ils sont indemnes de tout traitement lié à l'activité humaine.

Christian DUMAS

Professeur émérite à l'Ecole Normale Supérieure de Lyon, membre de l'Académie des sciences
Président du Comité scientifique de la Fondation Pierre Vérois



Une autre vue, cette fois-ci hivernale et sous le givre, des locaux de la Fondation depuis la jonchaie en bordure sud-ouest de l'étang Praillebard.

Approches métagénomiques

dossier

L'activité microbienne du sol est capitale à la vie sur notre planète, les microorganismes telluriques étant des acteurs majeurs des grands cycles bio-géochimiques terrestres dont notamment ceux du carbone et de l'azote. La fertilité et inversement la désertification des sols dépendent fortement de la présence et des activités que réalisent bactéries, archaeae, eucaryotes microscopiques des sols. Ces microbes recèlent également un potentiel considérable de fonctions utiles à l'homme,

pour sa santé (nouveaux médicaments), celle de son environnement (traitement des pollutions chimiques des sols, bioremédiation), son alimentation (amélioration de la croissance des plantes, protection contre les pathogènes).

Paradoxalement et en dépit de l'importance qu'ils représentent on ne connaît encore que très mal les communautés de microorganismes des sols, leur diversité tant au niveau taxonomique que fonctionnel, la façon dont ils s'adaptent et évoluent, comment ils interagissent entre eux et avec leur environnement. En comparaison avec les autres domaines du vivant (animaux, plantes) pour lesquels les activités humaines menacent la diversité, la vulnérabilité des microorganismes aux différents types de perturbations auxquels ils peuvent être confrontés reste totalement inconnue. Sont-ils eux aussi menacés par l'érosion de la biodiversité, dans quelle mesure la redondance de fonctions entre différents taxons bactériens permet-elle de compenser cette possible érosion populationnelle, les mécanismes de résilience tant taxonomique que fonctionnelle sont-ils suffisamment puissants pour maintenir un fonctionnement optimal des écosystèmes lorsque ceux-ci sont soumis à des stress comme lors du changement d'utilisation des terres ou en réponse aux changements climatiques ?

Ces problématiques, déjà d'actualité, vont prendre une importance considérable dans un futur proche.

La difficulté rencontrée pour répondre aux différentes questions concernant le

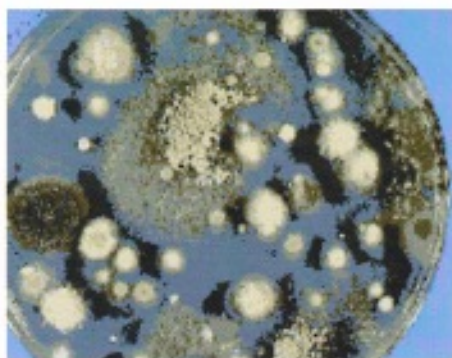
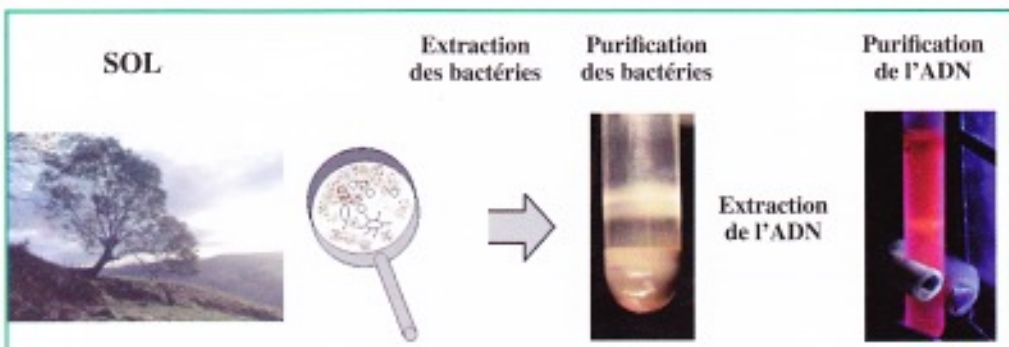


Figure 1
Approche traditionnelle en microbiologie : Quelques grammes de sol sont dilués dans un peu d'eau et étalés sur un milieu nutritionnel en boîte de Petri. Après quelques heures d'incubation les cellules présentes dans la suspension vont se diviser et se multiplier pour donner des colonies visibles à l'œil nu. La diversité biologique du sol apparaît déjà très importante mais est fortement sous-estimée puisque moins de 0,1 % des bactéries du sol peuvent développer de telles colonies.

monde microbien tient au fait que les communautés microbiennes des sols, qui représentent le plus important réservoir de biodiversité demeurent largement méconnues, inexplorées et donc sous-exploitées. La raison majeure en est que seule une infime proportion de ces organismes peut être cultivée *in vitro* c'est-à-dire capables de former des colonies sur des milieux de culture solidifiés (figure 1). Pour le sol, plus de 99,9 % des bactéries sont récalcitrantes à la culture *in vitro* et sont restées, depuis Pasteur, totalement ignorées. La jeune discipline qu'est la « microbiologie » s'est développée sur l'étude de quelques microorganismes modèles, la plupart liés au milieu médical, n'accordant que peu d'importance à son volet environnemental.

C'est avec le développement conjoint des approches métagénomiques, c'est-à-dire basée sur l'extraction directe de l'ADN bactérien du sol sans étape de mise en culture préalable et des nouvelles méthodes de séquençage à très haut-débit, qu'une véritable analyse du potentiel génétique des communautés microbiennes peut aujourd'hui être efficacement initiée (figure 2). L'information produite permettra de révéler progressivement toute la diversité de ce monde microscopique, son mode d'évolution et

Figure 2
Approche métagénomique : Les bactéries ne sont plus cultivées sur des milieux de culture mais extraites du sol pour être traitées jusqu'à l'obtention d'une solution d'ADN qui représente la totalité de l'information génétique des génomes des microorganismes du sol. Cette solution d'ADN, le « métagénome » sera utilisé pour déterminer par différentes approches notamment le séquençage à très haut débit, la diversité (qui est là ?) et les fonctions (que peuvent-ils faire ?) de la communauté. Au niveau industriel, cette ressource génétique peut être utilisée pour découvrir de nouvelles enzymes ou de nouveaux médicaments (antibiotiques) grâce à quelques bactéries « domestiquées » qui pourront exprimer



ues pour l'étude de la microflore du sol

d'adaptation, les interactions qui régissent tant le développement des différentes populations que les fonctions que chacune peut réaliser séparément ou en associations.

Un tel projet est cependant d'une ampleur considérable si l'on considère que les 10 milliards de cellules bactériennes colonisant chaque gramme de sol se répartissent en plusieurs dizaines voire centaines de milliers d'espèces différentes. De plus, seules quelques centaines d'espèces bactériennes sont dominantes tandis que l'extrême majorité de la diversité est constituée d'espèces ne comprenant qu'un nombre très limité de cellules. Celles-ci n'en sont pas moins très importantes pour le fonctionnement biologique du sol.

Seule une large mobilisation de la communauté scientifique internationale semble donc en mesure de permettre de relever un tel défi qui nécessite de plus une collaboration étroite entre scientifiques spécialistes de microbiologie, d'écologie microbienne, de biologie moléculaire, de bioinformatique mais aussi de chimie et de physique du sol.

Le projet « Terragenome » 1 a pour objectif de fédérer la communauté scientifique internationale en vue de réaliser le séquençage complet du métagénome (l'ensemble des génomes bactériens) d'un sol de référence. Celui-ci a été soigneusement sélectionné non pas sur des considérations pédo-agronomiques mais sur le consensus international que la station agronomique expérimentale britannique de Rothamsted a réuni autour de la parcelle « Park Grass » grâce aux informations agro-pédo-climatologiques accumulées



Figure 3
Une parcelle à Rothamsted en Angleterre a été choisie par le consortium international « Terragenome » pour séquençer la totalité des génomes des bactéries de son sol. Cette station agronomique, créée il y a plus d'un siècle et demi a fait l'objet de très nombreux travaux aux niveaux agronomiques, pédologiques, microbiologiques. Elle était de ce fait le meilleur candidat pour fédérer la

communauté internationale autour d'un tel projet. De plus, le fait que les scientifiques britanniques aient régulièrement prélevés et conservés des échantillons va permettre aux chercheurs de « Terragenome » d'étudier par quels mécanismes fonctionnent les processus d'évolution et d'adaptation microbienne dans le sol.

tout au long des cent cinquante années d'étude de cette parcelle (figure 3). Les travaux de « Terragenome » ont commencé en 2009 dans le cadre d'une collaboration étroite entre des équipes françaises, anglaises et américaines et ont déjà produit une quantité importante de résultats. Des actions sont en cours pour tenter d'impliquer dans le financement de ces travaux l'union européenne et différentes agences américaines avec pour objectif de

réussir le pari que s'est fixé le consortium international « Terragenome », réaliser avant 2020 le séquençage exhaustif du métagénome de ce sol, son analyse et initier son exploitation.

Pascal SIMONET

Equipe « Génomique Microbienne

Environnementale »

UMR CNRS 5005, Laboratoire Ampère,

Ecole Centrale de Lyon.

pascal.simonet@ec-lyon.fr

DE CURIEUSES ASSOCIATIONS ENTRE LES PLANTES ET LES MICROORGANISMES DU SOL

Il peut paraître curieux que les plantes puissent souffrir d'une carence en azote alors même que l'air atmosphérique en contient environ 80 % sous forme de di-azote ; mais sous cette forme, les végétaux ne peuvent pas l'utiliser. Il ne devient utilisable qu'après avoir été transformé en ammonium ou en nitrate à partir de la décomposition de l'humus par les microorganismes du sol. Par contre, des bactéries du sol peuvent emmagasiner l'azote en transformant progressivement le di-azote en nitrates utilisables par la plante, processus qui correspond à la fixation symbiotique de l'azote. Ce mécanisme se rencontre chez les plantes légumineuses comme la luzerne ou le trèfle, grâce à une association avec des bactéries du genre *Rhizobium*. Cela se traduit par la formation de nodules racinaires chez

émet un signal chimique détecté par ces bactéries ; en réponse à ce signal, celles-ci déclenchent la formation des nodules racinaires capables de fixer l'azote atmosphérique. Le facteur déclencheur a été identifié et caractérisé au niveau moléculaire. À des concentrations infinitésimales, il provoque seul (c'est-à-dire sans bactéries) des réponses similaires et peut, aujourd'hui, être utilisé directement en champ. Ces associations à bénéfice réciproque entre légumineuses et bactéries se nomment des symbioses et les quantités d'azote biologique ainsi produites naturellement sont très supérieures à celles issues de l'ensemble de l'industrie chimique mondiale. La rotation des cultures céréales-légumineuses s'appuie sur ce principe et limite ainsi les apports artifi-

D'autres types de symbioses existent dans la nature, notamment entre plantes et champignons : elles sont nommées mycorhizes (mycos : champignon ; rhize : racine). Les plus spectaculaires aboutissent, par exemple, à la formation des truffes si recherchées à cette période de l'année. Elles existent pratiquement chez toutes les plantes (orchidées, arbres, etc). Les mécanismes clés dans le dialogue moléculaire entre plantes et champignons viennent là-encore d'être élucidés et les molécules responsables identifiées. De nombreuses applications agronomiques sont ouvertes par ces découvertes.

Christian DUMAS

Professeur émérite à l'Ecole Normale

Supérieure de Lyon,

membre de l'Académie des sciences

Mouvements au sein du Comité scientifique de la Fondation

M. Christian DUMAS, professeur émérite à l'Ecole Normale Supérieure de Lyon et membre de l'Académie des sciences, a été nommé, au 1^{er} janvier 2011, président du Comité scientifique de la Fondation, il succède à M. Philippe Richoux qui en reste membre.

M. Guillaume ROUSSET, directeur adjoint des études et de la recherche de l'ONCFS, en a été nommé membre en début d'année 2011.

Ce Comité scientifique a pour mission de conseiller le Conseil d'administration, dont M. Jean-François Mahé est président depuis janvier 2011 (cf. numéro précédent), en orientant et coordonnant les travaux scientifiques et apportant sa contribution à la gestion du domaine de la Fondation.

La Fondation Pierre Vérots a désormais un garde particulier en la personne de son technicien, M. Jean-Philippe RABATEL, qui a reçu son agrément (arrêté préfectoral du 07/09/2011).

La Fondation est impliquée dans les projets du département par sa participation à diverses réunions :

- Comité local de développement du C.D.D.R.A. Dombes/ Val de Saône Sud,
- Comité de suivi et de pilotage du Schéma départemental sur les espaces naturels sensibles de l'Ain,
- Projet Agenda 21. Conseil général de l'Ain,
- Comité Départemental de la Chasse et de la Faune sauvage,
- Projet de Parc Naturel Régional de Dombes.



Lâcher de la femelle de Hibou grand-duc (le plus grand des rapaces nocturnes européens) par M. Jean-Philippe Rabatel, le 4 juillet 2011.

VISITES A LA FONDATION

La Fondation a reçu cet automne pour une présentation du domaine et des activités qui y sont menées :

- M. Eric LE DOUARON, Préfet de l'Isère, et M. Etienne GUILLAUMAT, chef de cabinet du directeur général de l'O.N.C.F.S.
- M. Philippe GALLI, Préfet de l'Ain.



Visite de la Fondation Pierre Vérots, le 9 novembre 2011.
De gauche à droite : MM. Jean-Paul Deschanel, administrateur de la Fondation, Jean-François Mahé, président de la Fondation, Philippe Galli, Préfet de l'Ain.

Présence d'oiseaux rares et protégés, sur le territoire de la Fondation

Si la présence du Fuligule nyroca est attestée depuis une quinzaine d'années en période de reproduction sur les étangs de la Fondation avec régulièrement des jeunes à l'envol, il y est également observé en période d'hivernage puisque 22 individus ont été comptabilisés sur l'étang Boufflers en janvier 2011, constituant d'après le C.O.R.A. de l'Ain le record de fréquentation pour des individus sauvages de cette espèce sur un même plan d'eau en France.

Le Butor étoilé aperçu en février 2011 sur les bordures de l'étang Prailbard (espèce inféodée aux roselières et quasi disparue de Dombes) s'est arrêté une dizaine de jours sur les étangs de la Fondation. Sa présence, aux printemps à venir, dans la roselière en cours de colonisation sur la queue de l'étang Prailbard est espérée ; ne serait-ce que pour avoir le plaisir d'entendre son chant particulier faisant penser au son d'une corne de brume.

Enfin, cet été la présence du Hibou grand-duc est confirmée sur le territoire de la Fondation où la richesse en proies potentielles semble l'avoir attiré. En effet, deux individus ont été observés : une femelle adulte, relâchée d'une cage à corneilles le 4 juillet 2011, venue « houspiller » les corneilles appelants, et un jeune mâle récupéré en perdition sur un chemin (luxation de l'aile), heureusement, malgré la fermeture du Centre de soins agréé de Francheville, le Centre de Lons le Saunier a pu envoyer un de ses adhérents pour récupérer l'oiseau blessé. Ce mâle de grand-duc a été relâché à la tombée de la nuit sur la fondation le 22 novembre 2011, après des soins adaptés. Il s'agissait probablement d'un des 2 jeunes mentionnés à l'envol, cette année, à moins de 3 km des bois de