



ACADÉMIE
DES SCIENCES
INSTITUT DE FRANCE

RÉSUMÉS DE LA CONFÉRENCE-DÉBAT

Grande salle des séances
Institut de France
23, quai Conti - 75006 Paris

MARDI 28 MAI 2024 - 14H30-17H15



LES SOLS ET LEURS FONCTIONS

@Francis Martin, UMR « Tree-Microbe Interactions », INRAE

RÉSUMÉS DES INTERVENANTS

LES SOLS ET LEURS FONCTIONS

Les sols et leurs enjeux par Guilhem BOURRIÉ, Unité de recherche de géochimie des sols et des eaux, Aix en Provence, membre de l'Académie d'agriculture de France

Les sols, formés par l'altération des roches des terres émergées sous l'action des êtres vivants en fonction des conditions climatiques sont situés au cœur de ce qu'on appelle aujourd'hui la « zone critique ». A côté de la zone photique des océans, ils sont à la base de la production primaire et des réseaux trophiques qui s'appuient sur celle-ci. L'agriculture, l'élevage et la sylviculture en dépendent directement, mais paradoxalement la science des sols est récente et les sols sont souvent ignorés par « ceux qui les foulent ». Depuis 1998 et le congrès mondial qui s'est tenu à Montpellier, les sols sont montés à l'agenda des politiques publiques en lien avec les inquiétudes sur la sécurité alimentaire jusqu'au G20 des chefs d'État (2018xs) et à la directive européenne sur les sols et leur restauration adoptée récemment (2024).

A la fois produits de l'activité des êtres vivants et milieux favorables à la vie, les sols résultent donc d'un processus autocatalytique. Au cœur de celui-ci, il y a une organisation particulière de la matière qui lui donne des propriétés physiques proches de celles de la « matière molle » et des milieux granulaires. Ces propriétés culminent dans l'agrégat biologiquement construit, apte à la rétention et la circulation de l'eau, à la colonisation par les racines, les mycorhizes et les microbiotes. Les sols jouent ainsi un rôle essentiel en tant que réacteurs biogéochimiques dans les grands cycles et la régulation de la qualité de l'air et de l'eau.

Les conditions favorables à la formation de cet agrégat biologiquement construit ne sont cependant pas réalisées partout, en particulier en fonction du climat et des conditions d'engorgement. La faune du sol doit y être active. Il faut aussi que l'Homme (i) évite de dégrader la structure des sols, ce qui conduit à accélérer considérablement l'érosion des sols et (ii) mette en œuvre des procédés de restauration des sols dégradés. Sur le plan scientifique, ceci implique de considérer les sols dans les paysages morphologiques en lien avec l'évolution des formes du relief et les forçages tectoniques, dans une vision intégrative en 3-D et 4-D.

Les matières organiques des sols : un levier face au changement climatique ? par Claire CHENU, AgroParis Tech, membre de l'Académie d'agriculture de France

Les sols du monde représentent un très important stock de carbone, environ 2 400 Gt de carbone, sous forme de matières organiques. Une perte, même faible, de ces stocks aurait des conséquences désastreuses pour le climat, alors qu'une petite augmentation de ceux-ci pourrait contribuer à atténuer le changement climatique. Nous présenterons les caractéristiques de ce stockage, les pratiques et usages des sols qui peuvent être mobilisés pour protéger les stocks de carbone des sols existants et les augmenter, leur performance, ainsi que les nombreux bénéfices associés en termes de fertilité des sols et donc de sécurité alimentaire, d'adaptation au changement climatique et de services écosystémiques. Nous aborderons les barrières à l'implémentation des usages, pratiques et systèmes qui permettent de contribuer à l'adaptation au changement climatique et à son atténuation, ainsi que les compromis et risques qui sont associés. Même si le stockage du carbone dans les sols est une technologie d'émissions négatives à bas coût, largement promue par l'Initiative internationale « 4 pour 1000 », elle doit être encadrée afin d'éviter des effets néfastes et des mesures incitatives sont nécessaires pour permettre d'accroître sa mise en œuvre.

Le fer, un marqueur du climat dans l'histoire et la dynamique des sols par Fabienne TROLARD, Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-hydrosystèmes, INRAE, Avignon, membre de l'Académie d'agriculture de France

Le fer, quatrième élément chimique par ordre d'abondance dans la croûte terrestre, joue un rôle essentiel dans la bio-géosphère. Les minéraux ferrifères sont omniprésents et ont des effets significatifs sur de nombreux processus biogéochimiques dans les sols. Ils peuvent être répartis de manière diffuse dans le profil, ou concentrés préférentiellement dans des horizons spécifiques dans des proportions pouvant dépasser 50 % des minéraux présents ; par exemple, les latérites. Ils forment de fins cristaux, voire des nanocristaux, comme ceux observés dans les revêtements à la surface des gros minéraux ou le long d'anciens canaux racinaires ou encore dispersés dans les argiles ; ils peuvent également exister sous forme de concrétions, dont la taille peut facilement atteindre quelques centimètres. Du fait de leur petite taille, les oxydes de fer présentent des surfaces spécifiques importantes, facilitant ainsi leurs interactions avec

d'autres constituants du sol, par exemple par adsorption avec des complexes organiques, parfois chélatants, avec des minéraux argileux...

À l'état ferrique, le fer n'est soluble que dans des environnements extrêmement acides, pH 2 à 3. En milieu neutre ou alcalin, Fe^{3+} est peu mobile et est principalement retenu dans les minéraux du sol. À l'état ferreux, le fer forme également des oxydes, mais se comporte comme un cation hydrosoluble lorsque l'anaérobiose s'établit. Pour cette raison, le couple rédox $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ agit comme un puissant moteur dans la genèse et la structure des sols, par la cimentation/dissolution des agrégats, par la mobilité du Fe^{2+} dans les paysages. Par la couleur caractéristique de ses minéraux, le fer est un marqueur de choix pour comprendre l'histoire et la dynamique des sols avec le climat.

Deux types de sols où ressortent les principaux mécanismes impliqués dans la dynamique du fer illustreront mon propos : (i) un exemple de sol zonal, dont l'évolution dépend des conditions climatiques, et (ii) un sol azonal observé à toutes latitudes, dont l'évolution dépend des conditions locales d'engorgement.

Le microbiome des sols face aux changements climatiques par Francis MARTIN, Interactions Arbres Micro-organismes, INRAE Nancy, membre de l'Académie d'agriculture de France

Les forêts influencent le climat et jouent un rôle clé dans l'atténuation du changement climatique en séquestrant des quantités considérables de carbone dans la biomasse et les sols. Ces écosystèmes complexes sont actuellement confrontés à des bouleversements majeurs, liés à l'augmentation du CO_2 atmosphérique, les vagues de chaleur, les sécheresses édaphiques répétées, les incendies, les épidémies de ravageurs et les dépôts d'azote anthropique. La réponse des forêts à ces changements est largement médiée par les micro-organismes du sol, en particulier les champignons. L'avenir des forêts dépend fortement de la diversité et du bon fonctionnement des communautés de champignons symbiotiques et décomposeurs, ainsi que des agents pathogènes des arbres. Une meilleure connaissance des interactions plantes-microorganismes permettra de développer une « ingénierie microbienne » à même d'améliorer la stabilité des écosystèmes et d'atténuer les effets du changement climatique. Dans cette intervention, je décrirai l'impact des changements globaux sur les forêts et leur microbiome, ainsi que les orientations futures de recherche pour comprendre les changements à venir.

Les macros invertébrés, acteurs et indicateurs du fonctionnement du sol par Patrick LAVELLE, Centre IRD Ile de France, Bondy et Cali, Colombie, membre correspondant de l'Académie des sciences

La macrofaune, celle qui est visible à l'œil nu dans le sol, comprend 16 ordres principaux qui peuvent se diviser localement en plus de 50 familles et plusieurs centaines d'espèces. Ces invertébrés interviennent dans le compostage naturel des apports organiques, comme transformateurs de litière. Une autre partie du peuplement, ingénieurs de l'écosystème, sont des acteurs importants du conditionnement physique du sol en macro agrégats et pores de tailles et de compositions très diverses.

Dans le sol auto organisé, l'activité des microorganismes, limitée par leur très faible mobilité, est orientée et stimulée par la bioturbation et les *priming effects* opérés par les organismes ingénieurs. Ceux-ci en retour bénéficient des capacités digestives illimitées de la microflore, dans une interaction de type globalement mutualiste. Avec l'énergie acquise dans cette interaction, les macro invertébrés peuvent avoir des effets significatifs sur l'infiltration et le stockage de l'eau dans le sol ou la conservation du C dans les structures agrégées qu'ils construisent. On montre ainsi que l'application de la méthode FBO® qui associe l'apport de résidus organiques de différentes qualités et l'inoculation de vers de terre endogés, sur 2,2% de la surface d'une plantation de bananiers, permet de stocker, dans les agrégats produits par les vers de terre, l'équivalent de 0.8% du contenu organique initial du sol, dès la première année.

Ces peuplements sont particulièrement sensibles au climat, à la texture du sol et à la nature du couvert végétal. On montre ainsi que si l'agriculture intensive est responsable en moyenne de la perte de plus de la moitié de ce peuplement, le maintien d'éléments arborés dans le paysage agricole limite sensiblement cette perte.

La méthode d'échantillonnage standard de la macrofaune, ISO/TSBF, appliquée à ce jour dans plus de 8000 sites, a permis de construire une base de données planétaire. Un indicateur numérique global, applicable dans tous les sites à ces données, permet d'évaluer la qualité du peuplement. Cet indicateur corrélé localement aux indicateurs chimique, physique et morphologique du sol, peut être utilisé par les producteurs comme estimateur des services écosystémiques que leur mode de gestion permet de produire. L'utilisation de cet indicateur par des politiques publiques qui rémunèrent les services hors production utiles à la société, favoriserait l'adoption de pratiques favorables pour l'environnement et justes socialement.