

Mercredi 14 janvier 2015
Séance de l'Académie d'agriculture de France

Génie écologique :

Maîtrise de l'écologie microbienne et ses applications - Acquis et perspectives

Organisateurs

Marc Lalande

Académie d'agriculture

Jean-Claude Germon

Académie d'agriculture

Conférenciers

Romain Briandet

INRA-AgroParisTech Jouy-en-Josas

Théodore Bouchez

Irstea Antony

Fabrice Martin-Laurent

INRA Dijon

La séance se tiendra le Mercredi 14 janvier 2015, de 15h00 à 17h30, à l'Académie d'agriculture de France 18, rue de Bellechasse - 75007 Paris (accès gratuit)

Contact

Corinne Migné

Académie d'agriculture

Tél. : 01 47 05 10 37

corinne.migne@academie-agriculture.fr

<http://www.academie-agriculture.fr>



Génie écologique : Maîtrise de l'écologie microbienne et ses applications - Acquis et perspectives

Les microorganismes sont présents dans tous les milieux et constituent une part immense de la biodiversité. Longtemps étudiés isolément et souvent *in vitro* par les microbiologistes depuis les travaux des écoles de Koch ou de Pasteur et grâce aux progrès de la biologie moléculaire et de la génétique microbienne de ces dernières décennies, ils sont désormais regardés à travers le fonctionnement global de leurs communautés, dans une approche écosystémique, car c'est ainsi qu'ils « œuvrent » réellement dans les environnements naturels où ils se trouvent, ou dans les environnements confinés où ils sont introduits.

La gestion de ces communautés microbiennes passe par une meilleure connaissance de leur écologie, c'est-à-dire de leur interaction avec leur environnement ou entre les différentes populations qui les constituent et un enjeu majeur pour le futur est de les observer et de les étudier *in vivo*.

Au cours des dernières décennies le développement des méthodes moléculaires, de la biologie à haut débit et des approches métagénomiques a ainsi révolutionné les approches d'écologie microbienne donnant parfois le sentiment d'un décalage entre la caractérisation fine de ces populations et la compréhension de leur rôle fonctionnel *in situ*. Ce décalage se comble aujourd'hui grâce au développement d'une véritable ingénierie écologique transverse aux différents domaines de la microbiologie, rendant possible un début de maîtrise des écosystèmes concernés et de leur contrôle pour des perspectives d'application données.

Cette séance illustrera cette démarche conceptuelle de génie écologique à travers trois exemples. Le premier concernera la stratégie de fonctionnement des biofilms présents sur les surfaces (qu'il s'agisse de milieux naturels, industriels ou médicaux), le deuxième montrera le rôle de la pression de sélection dans l'émergence du service écosystémique attendu dans les bioprocédés pour l'environnement, le troisième analysera le rôle de l'impact écotoxicologique des intrants chimiques sur la qualité de la composante biologique des sols et sur ses fonctions écosystémiques.

Programme

- 15h00-15h15** **Introduction**
Marc Lalande, Académie d'agriculture, Section des Sciences de la vie
- 15h15 – 15h45** **Biofilms, la cité des microbes**
Romain Briandet, INRA-AgroParisTech Jouy-en-Josas
- 15h45-16h15** **Vers une ingénierie écologique des bioprocédés pour l'environnement**
Théodore Bouchez, Irstea Antony
- 16h15-16h45** **Ecologie microbienne au service de la compréhension et de la maîtrise de fonctions écosystémiques des sols**
Fabrice Martin-Laurent, INRA-AgroSup-Université de Bourgogne-CNRS
Dijon
- 16h45-17h15** **Discussion générale animée par Marc Lalande et Jean-Claude Germon**
- 17h15-17h30** **Conclusion**
Jean-Claude Germon, Académie d'agriculture, Section Environnement et territoires

Biofilms : la cité des microbes

Romain Briandet

Institut Micalis (Microbiologie alimentaire au service de la santé), UMR1319 INRA-AgroParisTech, Jouy-en-Josas

<https://www.micalis.fr>

romain.briandet@jouy.inra.fr



La vie microbienne fourmille sur la plupart des surfaces de notre planète. Un support, de l'eau et quelques nutriments suffisent aux microbes pour amorcer la construction de véritables forteresses microbiennes dénommées biofilms. La matrice organique qui assure la cohésion de ces structures biologiques est essentiellement constituée d'un gel gluant de polymères complexes. Ces architectures microscopiques impactent notre quotidien de bien des manières puisqu'elles peuvent se former dans les milieux naturels, industriels et médicaux. Et pour les colocataires de la matrice, il y a bien des avantages à ce mode de vie communautaire. Tolérance aux antimicrobiens et aux systèmes de défense immunitaires de l'hôte dans le cas d'infection chroniques ; résistance au stress hydrodynamique et aux opérations de nettoyage sur les équipements industriels ; protection vis-à-vis du broutage ambien et de l'action des polluants toxiques dans l'environnement.

La diversité des stratégies de survie développées par ces écosystèmes de surface commence juste à être décryptée dans le cas de systèmes modèles rudimentaires. Loin d'être de simples assemblages tridimensionnels de cellules identiques, les biofilms sont constitués de sous groupes hétérogènes dotés d'activités sociales qui participent très largement à leur succès écologique. Les récentes avancées dans la compréhension des mécanismes moléculaires impliqués et leurs régulations autorisent aujourd'hui les chercheurs à proposer de nouvelles stratégies ciblées pour mieux les maîtriser. Et si historiquement les recherches se sont d'abord focalisées sur la lutte contre les biofilms nuisibles, le détournement pour des utilisations biotechnologiques des singularités de la vie microbienne en biofilm est en plein essor. Transformation de nos déchets en gaz ou biopolymères, production d'électricité par des biopiles, bioprotection des aliments et même restauration de monuments historiques... ces colonisateurs de surface pourraient rapidement devenir de précieux alliés.

Références

Bridier A, Briandet R, Bouchez T, Jabot F. 2014. A model-based approach to detect interspecific interactions during biofilm development. *Biofouling* **30**, 761-771

Houry A, Gohar M, Deschamps J, Tischenko E, Aymerich S, Gruss A, Briandet R. 2012. Bacterial swimmers that infiltrate and take over the biofilm matrix. *Proc Natl Acad Sci USA* **109**, 13088-13093

Bridier A, Briandet R, Thomas V, Dubois-Brissonnet F. 2011. Resistance of bacterial biofilms to disinfectants: a review. *Biofouling* **27**, 1017-1032

Romain Briandet, Lise Fechner, Murielle Naïtali, Catherine Dreanno. 2012. Biofilms, quand les microbes s'organisent. *QUAE ÉDITIONS, Collection Carnets des Sciences. ISBN : 978-2-7592-1764-9*



Vers une ingénierie écologique des bioprocédés pour l'environnement

Théodore Bouchez

Irstea, UR HBAN, équipe BIOMIC (Bioprocédés et bIotechnologies MICrobiennes pour la valorisation des déchets), Antony

<http://www.irstea.fr/la-recherche/themes-de-recherche/ted/biomic>

theodore.bouchez@irstea.fr



A la différence des biotechnologies industrielles (biotechnologies blanches) qui mettent en œuvre et maintiennent des agents biologiques particuliers, soigneusement sélectionnés (micro organismes, enzymes,...), dans des environnements fortement contrôlés et confinés, les biotechnologies environnementales (stations d'épuration, méthaniseurs,...) utilisent des cultures mixtes auto-organisées de microorganismes dans lesquelles l'application d'une pression de sélection – par exemple le maintien de conditions anaérobies conduit à l'émergence d'un service écosystémique, par exemple la production de méthane à partir de déchets organiques. Les biotechnologies environnementales procèdent donc d'une logique d'ingénierie différente et nécessitent l'intégration d'une composante écologique (Kleerebezem & van Loosdrecht, 2007). Il

est en effet important de comprendre comment, à partir d'une pression de sélection donnée, il est possible d'induire un ensemble de bifurcations écologiques dont émerge finalement le service écosystémique attendu.

Aujourd'hui, l'avènement des approches analytiques haut débit (métagénomique, métatranscriptomique, métaprotéomique, métabolomique) nous permettent d'avoir accès avec à un niveau d'information sans précédent sur les communautés microbiennes complexes des bioprocédés pour l'environnement et lèvent progressivement le voile sur le fonctionnement de ce "moteur microbien". Toutefois, l'intégration de ces jeux de données souvent massifs dans un cadre conceptuel cohérent constitue aujourd'hui une vraie gageure, et nous sommes plus que jamais entré dans "the epoch during the growth of a science during which facts accumulate faster than theories can accommodate them" (Pluto's Republic. Peter Medawar. Oxford Univ. Press (1982)).

Pour le moment en effet, notre capacité à prédire l'évolution des écosystèmes microbiens est relativement limitée. Pourtant, l'observation des bioprocédés suggère qu'il existe un principe thermodynamique de convergence fonctionnelle. Quel que soit l'inoculum et malgré la multiplicité des micro-organismes impliqués, une communauté microbienne complexe placée dans un digesteur finit toujours par développer un processus de méthanisation, alors que, placée dans une station d'épuration, les processus biochimiques qu'elle catalyse évoluent systématiquement vers une minéralisation du carbone organique et une nitrification de l'azote ammoniacal... L'émergence des mêmes propriétés fonctionnelles chez des communautés microbiennes variées, en réponse à des conditions thermodynamiques, suggère que toutes les interactions écologiques complexes s'établissent selon un principe commun et amènent le système à converger vers un même type de propriété fonctionnelle. Cette constatation nous a amené à revisiter les principes théoriques qui sous-tendent la croissance microbienne et à établir une théorie thermodynamique de la croissance microbienne (Desmond-Le Quemener & Bouchez, 2014). Nous pensons que ce travail constitue un premier pas vers le développement d'une ingénierie véritablement écologique des écosystèmes de bioprocédés, c'est-à-dire une ingénierie qui prenne en compte explicitement les principes écologiques d'évolution de ces communautés, et qui serait ainsi capable de tirer pleinement partie de leurs capacités d'auto organisation et d'optimisation énergétique.

Bibliographie

Desmond-Le Quemener E, Bouchez T. 2014. A thermodynamic theory of microbial growth. *ISME J*, <http://www.nature.com/ismej/journal/vaop/ncurrent/full/ismej20147a.html>

Kleerebezem R, van Loosdrecht MCM. 2007. Mixed culture biotechnology for bioenergy production. *Current Opinion in Biotechnology* **18**, 207-212.

Ecologie microbienne au service de la compréhension et de la maîtrise de fonctions écosystémiques des sols

Fabrice Martin-Laurent

UMR Agroécologie INRA-AgroSup-Université de Bourgogne-CNRS 1347, Dijon

<http://www6.dijon.inra.fr/umragroecologie>

fabrice.martin@dijon.inra.fr



Les sols longtemps vus comme un matériau inerte, utilisés autre comme support de la production végétale, sont maintenant reconnus comme un habitat fragile qui héberge une multitude d'organismes vivants (microfaune, microorganismes,...), et dont la biodiversité reste encore largement inexplorée. Ils constituent des écosystèmes complexes où siègent de nombreuses fonctions supportant des services écosystémiques qui représentent un patrimoine inestimable pour l'humanité. Pourtant malgré cette valeur patrimoniale, les sols sont menacés par des pratiques agricoles faisant appel de manière quasi-généralisée à des intrants chimiques (engrais et pesticides) qui conduisent à leur contamination mais également à celle des compartiments adjacents (aquatique et aérien). Dans ce contexte, l'estimation du risque environnemental des pratiques agricoles et, notamment, de l'impact écotoxicologique

des intrants chimiques sur la qualité de la composante biologique des sols et sur ses fonctions écosystémiques, constitue un enjeu de premier ordre. Au-delà de l'effet délétère des intrants chimiques sur ces fonctions, l'exposition répétée à un contaminant peut conduire à l'adaptation génétique de populations microbiennes capables de le biodégrader rapidement en composés simples utilisés comme source de nutriments et d'énergie pour leur croissance. L'émergence de ces populations dégradantes, qui contribuent à la fonction d'épuration des sols et sont le support de la biofiltration de l'eau, représente un enjeu environnemental important car elle permet d'envisager la résilience de la contamination des sols par différents composés xénobiotiques.

Les derniers développements de l'écologie microbienne moléculaire reposant sur l'extraction des acides nucléiques (ADN/ARN) des sols et leur analyse par des techniques de « omic's » (transcriptomique, génomique) offrent de nouvelles perspectives permettant d'appréhender l'impact écotoxicologique des intrants chimiques sur différentes fonctions microbiennes. Ainsi pour ce qui concerne la fonction d'épuration, des avancées significatives ont été réalisées dans la description et la compréhension (i) des processus impliqués dans l'adaptation des communautés microbiennes à la biodégradation des pesticides mais également (ii) du fonctionnement de ces communautés sous l'influence de différents paramètres de l'environnement. Au-delà de ces éléments de compréhension, ces données permettent d'envisager de modéliser à l'échelle de la parcelle agricole la variabilité spatiale de la fonction de biodégradation microbienne, et également de développer des indicateurs moléculaires permettant d'estimer la capacité d'atténuation naturelle de différents compartiments environnementaux (parcelle agricole, bande enherbée, sédiments).

La connaissance des processus qui contrôlent l'adaptation et le fonctionnement des communautés microbiennes dégradant les pesticides a permis d'accompagner le développement de procédés d'ingénierie écologique. On a pu par exemple développer des modes de traitement à la ferme d'effluents liquides contaminés par des pesticides dans des dispositifs rustiques de décontamination (du type lit biologique) ou encore envisager l'aménagement de zone tampon de deuxième génération ('in-field bioreactor') permettant d'intercepter et de biodégrader le flux d'intrants chimiques provenant des parcelles agricoles.

Références

Martin-Laurent F, Kandeler E, Petric I, Djuric S, Karpouzas D. 2013. ECOFUN-MICROBIODIV: an FP7 European project for developing and evaluating innovative tools for assessing the impact of pesticides on soil functional microbial diversity: towards new pesticide registration regulation? *Env Sci Poll Res* **2**, 1203-1205

Pesce S, Margoum C, Rouard N, Foulquier A, Martin-Laurent F. 2013. Freshwater sediment pesticide biodegradation potential as an ecological indicator of microbial recovery following a decrease in chronic pesticide exposure: A case study with the herbicide diuron. *Ecol Indic* **29**, 18-25