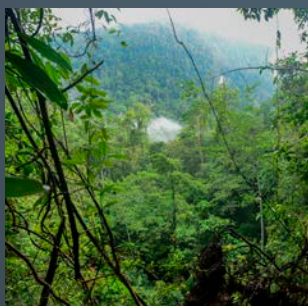




Fronts de sciences 2018

Conseil scientifique
de la Fondation pour la recherche
sur la biodiversité



FRONTS DE SCIENCES 2018

Conseil scientifique
de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité

Direction de la publication : Hélène Soubelet
Coordination éditoriale : Flora Pelegrin et Julie de Bouville
Coordination artistique : Pauline Coulomb
Conception graphique : François Junot

Crédits photographiques :

Couverture :

Page 6 © Sébastien Barot

Page 8 © Photo by IISD/Diego Noguera (enb.iisd.org/ipbes/6-plenary/26mar.html)

Page 11 © IRD - Olivier Dangles (www.indigo.ird.fr)

Page 12 © IRD - Raul Matta (www.indigo.ird.fr)

Page 14 © Sébastien Barot

Page 16 © Ifremer / Elisabeth Nézan & Nicolas Chomérat

Page 19 © IRD - Sandrine Ruitton (www.indigo.ird.fr)

Page 20 © Pixabay

Page 22 © IRD - Jean-Marc Porte (www.indigo.ird.fr)

© FRB 2018

ISBN 979-10-91015-31-8



Fronts de sciences 2018

1. Mieux intégrer l'écologie fonctionnelle et évolutive et en appliquer les résultats à la gestion de la biodiversité	6
2. Science collaborative et co-construction des connaissances et de l'action publique	8
3. Génomique, édition de génome et biologie de synthèse : opportunités et risques pour la biodiversité et les sociétés humaines.....	12
4. Potentiel adaptatif et prise en compte de la dimension évolutive dans les scénarios de biodiversité.....	14
5. Diversité fonctionnelle de « l'épiderme productif » de l'océan	16
6. Biodiversité des milieux extrêmes.....	20
7. Référentiels pour la gestion et la restauration de la biodiversité	22

Introduction

Dans le cadre de ses missions de prospective et de conseil stratégique auprès de la FRB, le conseil scientifique a conduit en 2016 et 2017 un travail de réflexion et d'expertise sur les « fronts de sciences » dans le champ de la recherche sur la biodiversité.

Le travail présenté ici permet de faire le point sur l'évolution du paysage de la recherche depuis les prospectives réalisées par le CS et publiées en 2009 et 2015. Ces deux rapports qui ont marqué les premières années de la FRB dressaient un tableau d'ensemble des grands enjeux et chantiers scientifiques dans le domaine de la biodiversité.

Tout en s'inscrivant dans le prolongement de ces travaux structurants, le conseil scientifique souhaite mettre en lumière les évolutions parfois très rapides de la science dans certains domaines. Il s'agit donc d'analyser l'état de la recherche sur certains « fronts de science » qui ont émergé depuis, qui ont progressé rapidement, ou qui pourraient prendre de l'ampleur dans les années à venir.

Ce travail, qui se poursuivra chaque année, n'a pas une visée exhaustive, ni ne constitue en soi une proposition d'orientation des stratégies de recherche. Il vise avant tout à donner un aperçu de quelques sujets en plein développement ou d'enjeux appelant de nouvelles recherches, ainsi qu'à éclairer l'actualité de la recherche sur la biodiversité pour un public non spécialiste.

Certains des sujets choisis s'inscrivent clairement dans des enjeux et débats de société, mais d'autres relèvent de problématiques conceptuelles et méthodologiques de nature plus fondamentale.

Méthodologie

Les « fronts de science », peuvent relever :

- d'un obstacle épistémologique sur lequel butte la recherche actuelle,
- d'une « brèche » en train de s'ouvrir, suite à une avancée conceptuelle ou méthodologique,
- d'un angle mort ou d'un point aveugle, un domaine délaissé ou jamais véritablement exploré.

Les sujets retenus collectivement par les membres du conseil scientifique ont fait l'objet d'une fiche de description courte et standardisée, comprenant une brève bibliographie. Ces fiches ont été préparées par un ou deux membres du conseil avant une relecture par l'ensemble du conseil.

1. Mieux intégrer l'écologie fonctionnelle et évolutive et en appliquer les résultats à la gestion de la biodiversité



Coléoptère longicorne (espèce non-déterminée). Savane de Lamto. Côte d'Ivoire

Présentation du sujet

L'écologie évolutive (qui traite de l'évolution darwinienne des organismes) et l'écologie fonctionnelle (qui traite du fonctionnement des organismes et de leurs interactions au sein des écosystèmes) se sont développées partiellement indépendamment. Pourtant, il est très clair que les traits fonctionnels par lesquels les organismes répondent à l'environnement et impactent le fonctionnement des écosystèmes sont soumis à la sélection naturelle. Ces **traits fonctionnels** sont donc impliqués dans des dynamiques éco-évolutives complexes. En effet, le fonctionnement des écosystèmes influence l'évolution des organismes qui, en retour, rétroagissent sur le fonctionnement des écosystèmes. Il en est de même des traits bio-démographiques qui sont les traits biologiques influençant directement la démographie des organismes et

leur cycle de vie. La compréhension de ces processus, l'analyse de leurs dynamiques et l'élaboration de prédictions concernant leurs conséquences dans des contextes d'anthropisation variables nécessitent de nombreuses recherches sur les mécanismes sous-jacents. Ces recherches innovantes doivent nécessairement se placer aux interfaces entre des champs disciplinaires encore trop souvent séparés.

Nature du front de science

Il s'agit d'un front de science épistémologique dans le sens où c'est le développement historique des sciences écologiques qui a conduit à la séparation de l'écologie évolutive et de l'écologie fonctionnelle. Pour pleinement intégrer écologie évolutive et écologie fonctionnelle, il faudra aussi développer les méthodologies

adéquates (méthodes pour développer des expériences en évolution expérimentale, types de modélisation mathématique, analyses rétrospectives de l'évolution des organismes).

Axes de questionnement

Ce front de science requiert de nombreuses recherches sur une large gamme d'axes. ❶ Il implique des recherches fondamentales pour étudier les dynamiques éco-évolutives et leurs conséquences pour le fonctionnement des écosystèmes. ❷ Ces interactions entre fonctionnement et évolution prennent des formes nouvelles dans des contextes où l'homme, par ses activités, impacte le fonctionnement des systèmes écologiques, des populations aux écosystèmes et devient une force évolutive majeure. La prise en compte des conséquences évolutives des stratégies de gestion des espèces sauvages, quelle que soit la nature des services écosystémiques auxquels on peut les rattacher, doit être au cœur de la définition de leurs stratégies de conservation. ❸ De nombreuses recherches seraient aussi utiles pour répondre à des questions importantes pour les sociétés humaines. Ainsi, pour prévoir des futurs vraisemblables du climat, les modèles prennent en compte la dynamique des zones de végétations et la réponse phénotypique (plasticité) des organismes au climat, mais il faudrait aussi prendre en compte la réponse évolutive des organismes qui, sur le long terme, influencera le climat. Les espèces animales ou végétales utilisées en agriculture sont issues d'une longue histoire de sélection artificielle, qui a abouti à des variétés et des races performantes selon certains critères. Cependant, on a négligé l'impact de la sélection sur des caractères impliqués dans la performance à long terme de ces variétés ou de ces races, par exemple des traits participants au maintien de la fertilité du sol. Des recherches sont nécessaires dans cette direction pour augmenter la durabilité de l'agriculture dans l'esprit de l'agro-écologie.

Éléments de bibliographie

- BAROT, S. *et al.* (2014). Nutrient enrichment and local competition influence the evolution of plant mineralization strategy, a modelling approach. *Journal of Ecology*, 102, 357-366.
- FUSSMANN, G. F. *et al.* (2007). Eco-evolutionary dynamics of communities and ecosystems. *Functional Ecology*, 21, 465-477.
- LOEUILLE, N. *et al.* (2013). Eco-evolutionary dynamics of agricultural networks : Implications for a sustainable management. *Advances in Ecological Research*, 49, 339-435.
- PALKOVACS, E. P. *et al.* (2009). Experimental evaluation of evolution and coevolution as agents of ecosystem change in Trinidadian streams. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B : Biological Sciences*, 364, 1617-1628.
- SARRAZIN, F. *et al.* (2016). Evolution in the Anthropocene. *Science*, 351, 922-923.
- SULLIVAN, A. P. *et al.* (2017). Human behaviour as a long-term ecological driver of non-human evolution. *Nature Ecology & Evolution*, 1, 0065.

Glossaire

Trait fonctionnel – caractéristique morphologique, physiologique, phénologique, voire comportementale d'un organisme, mesurable au niveau de l'individu et qui affecte sa performance. À l'échelle des écosystèmes, les traits fonctionnels déterminent la manière dont les organismes répondent aux facteurs environnementaux et influencent le fonctionnement de l'écosystème.

2. Science collaborative et co-construction des connaissances et de l'action publique



Discussion autour des rapports internationaux lors de la 6^e session plénière de l'IPBES, qui s'est tenue en mars 2018. Colombie

Présentation du sujet

Produire de la connaissance scientifique, notamment sur le vivant, est une entreprise associant par essence des acteurs diversifiés. Les collaborations inter- et transdisciplinaires prennent désormais une importance plus grande et plus visible. D'autant plus que les difficultés qu'affrontent les efforts visant à résoudre la crise actuelle de la biodiversité ne sont pas seulement liées à un déficit de connaissances, mais aussi à l'absence de liens entre différents types de savoirs et de préoccupations d'ordre scientifique, politique, social et normatif.

L'atténuation, voire l'arrêt, de l'érosion de la biodiversité exige l'intégration des dimensions écologiques, humaines et sociales des problèmes environnementaux. Anticiper, documenter et appréhender ces problèmes éminemment complexes, difficiles à

prévoir et non linéaires sont des objectifs de moins en moins à la portée d'une discipline unique, et même des experts en sciences naturelles et sociales. Collaborer avec des chercheurs d'autres disciplines et avec des acteurs extérieurs aux sphères académique, naturaliste et gestionnaire de la nature ou avec de simples citoyens, est aujourd'hui largement encouragé par les institutions scientifiques et par la société.

De nombreuses institutions ont été créées pour faciliter les échanges entre les différentes parties prenantes (scientifiques, décisionnaires, société civile, entreprises), dont l'IPBES¹ est un exemple à l'échelle internationale. Ces parties prenantes sont engagées dans un processus continu de négociation des frontières entre différents types de connaissances et entre la science et le développement des

1 - Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques

politiques publiques. Ces frontières représentent des accords sur le type de questions ou les problèmes qui attirent l'attention des chercheurs et des décideurs, comme la légitimité de la détention de l'autorité, la définition ou l'interprétation des données.

Nature du front de science

Ce front de science relève d'une brèche en train de s'ouvrir, qui transforme les liens des acteurs de la recherche entre eux et avec les parties prenantes et décideurs, et ainsi les modes de production et de mobilisation de la connaissance. Cela nourrit au moins deux champs scientifiques en développement :

- les *collaboration studies*, un champ de recherches jeune et en pleine expansion, dont les questions ont encore été très peu explorées en France ;
- une approche nouvelle des relations entre science et politique, qui représente un des principaux défis de l'IPBES et de toute politique nationale de protection de la biodiversité.

Axes de questionnement

Les collaborations et la co-construction pour la production de connaissances sur la biodiversité agrègent/englobent plusieurs enjeux de recherche. Il s'agit premièrement de documenter et d'analyser les modalités et les enjeux des collaborations et leurs effets sur les connaissances et celles et ceux qui les produisent. Deuxièmement, la recherche doit s'intéresser au développement des pratiques de co-construction des sciences de la biodiversité. Enfin, il convient d'expliquer comment les frontières entre différents types de connaissances se forment, se transforment et se déplacent et avec quelles conséquences sur le processus de développement des politiques, sur les rapports de pouvoir, ses résultats sur la capacité de coopération et sur la réalité de son action pour stopper l'érosion de la biodiversité. On peut ainsi identifier deux séries de questionnements correspondant à chaque champ :

- ➊ Sur la question des collaborations interdisciplinaires
 - Peut-on identifier des types de collaboration et de trajectoire de collaboration sur la biodiversité? Selon quels critères? Quelles sont les motivations des collaborateurs, les apports mais aussi les coûts et les risques des collaborations, en fonction de ces types ?
 - Dans quelle mesure et à quelles conditions les collaborations permettent-elles effectivement de mieux appréhender les questions liées à la biodiversité et son évolution et d'atténuer son érosion ?
 - Comment les collaborations influencent-elles les connaissances produites? Quels types de connaissance

la montée en puissance des collaborations tend-elle à favoriser ou au contraire à défavoriser, voire à exclure?

- Comment les collaborations influencent-elles les trajectoires et les identités professionnelles et personnelles des collaborateurs ?

➋ Sur la question des rapports entre connaissances et action

- Comment s'articulent les principes de politique publique avec la participation, la collaboration et la co-construction ?
- Quels facteurs affectent la définition d'une connaissance pertinente, légitime et crédible?
- Qui devrait décider de ce qui mérite d'être protégé, sur quelles bases et selon quel processus?
- Comment faire co-exister une pluralité de systèmes de connaissance (scientifiques, traditionnels, etc.) et de conceptions des rapports entre les humains et la nature dans les interfaces entre connaissance et action ?
- Comment concevoir des institutions capables de définir et répandre des conceptions communes d'un problème donné, alors que ces conceptions définissent des identités, des institutions et les contours de la coopération ?
- Comment s'assurer que les acteurs non-étatiques s'astreignent à un comportement responsable (reddition de comptes) et envers qui?

Éléments de bibliographie

- ASCHER, W. *et al.* (2010). *Knowledge and Environmental Policy: Re-Imagining the Boundaries of Science and Politics* (1^{ère} éd.). Cambridge, Angleterre : MIT Press.
- BECK, S. *et al.* (2014). Towards a reflexive turn in the governance of global environmental expertise. The cases of the IPCC and the IPBES. *GAIA*, 23, 80-87.
- GUSTON, D. H. (2001). Boundary organizations in environmental policy and science : An introduction. *Science, Technology, & Human Values*, 26(4), 399-408.
- HRABANSKI, M. *et al.* (2016). *The Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Service: Challenges and Governance* (1^{ère} éd.). Londres, Angleterre : Earthscan from Routledge.
- KOETZ, T. *et al.* (2011). Building better science-policy interfaces for international environmental governance : Assessing potential within the Intergovernmental platform for biodiversity and ecosystem services. *International Environmental Agreements : Politics, Law and Economics*, 12(1), 1-21.
- LEAHEY, E. (2016). From sole investigator to team scientist : Trends in the practice and study of research collaboration. *American Sociological Review*, 42, 81-100.

- LIDSKOG, R. *et al.* (2015). When does science matter ? International relations meets science and technology studies. *Global Environmental Politics*, 15(1), 1-20.
- LÖFMARCK, E. *et al.* (2017). Bumping against the boundary : IPBES and the knowledge divide. *Environmental Science & Policy*, 69, 22-28.
- MILLER, C. (2001). Hybrid management : Boundary organizations, science policy, and environmental governance in the climate regime. *Science, Technology, & Human Values*, 26(4), 478-500.

- PARKER, J. *et al.* (2010). *Collaboration in the new life sciences* (1^{ère} éd.). Farnham, Angleterre : Ashgate from Routledge.
- PARKER, J. N. *et al.* (2012). Hot spots and hot moments in scientific collaborations and social movements. *American Sociological Review*, 77, 21-4
- TENGÖ, M. *et al.* (2017). Weaving knowledge systems in IPBES, CBD and beyond – lessons learned for sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26-27, 17-25.



3. Génomique, édition de génome et biologie de synthèse : opportunités et risques pour la biodiversité et les sociétés humaines



Diversité des maïs du Pérou, Pisac. Cuzco. Pérou

Présentation du sujet

Nos possibilités d'étudier et de manipuler le génome des organismes datent de plusieurs décennies, mais cette capacité atteint actuellement une échelle sans précédent, en passe de bouleverser de nombreux domaines, en santé, industrie, agriculture. En regard, comme effet dual, les nouveaux outils d'étude et d'édition des génomes modifient l'angle d'étude de la biodiversité et nous promettent d'accroître nos connaissances sur les liens entre génétique et fonctionnement des écosystèmes. Ils peuvent aussi directement modifier la biodiversité, dans l'ADN même des organismes ou dans leurs interactions.

Cette brèche technologique donne la possibilité : 1) d'étudier à grande échelle le génome des organismes, qu'ils soient en laboratoire ou sur le terrain, grâce aux technologies de séquençage à haut débit l'ADN, des ARN, des protéines ; celles-ci permettent

d'explorer la fonction des gènes, des polymorphismes, et de leurs interactions ; 2) de modifier très finement des séquences cibles d'ADN à l'aide de divers outils, notamment la technologie **CRISPR-Cas9** ; et 3) à une mutation d'envahir une population par la technique du **forçage génétique** («gene-drive» en anglais).

Les capacités de manipulation du génome sont questionnées du point de vue éthique, en santé humaine notamment à cause de leur caractéristique duale (nouvelles générations de vaccin par exemple mais aussi risque bioterroriste avec la capacité de « construire » des virus virulents, possibilité de manipuler le génome humain), mais pas suffisamment encore du point de vue de la biodiversité. Cette brèche technologique interroge toutes les disciplines qui s'intéressent à la biodiversité, depuis la biologie moléculaire, les sciences de la nature et l'écologie, jusqu'aux sciences juridiques et politiques... Elle met en exergue le besoin d'interdisciplinarité et de dialogue science-société.

Nature du front de science

Ce front de science résulte d'une brèche technologique en plein développement, qui ouvre de nouveaux domaines de recherche et d'expérimentation, en soulevant des questions d'ordres éthique, juridique, social, économique, dont les sciences sociales sont appelées à s'emparer.

Axes de questionnement

❶ Comment les outils d'étude et d'édition du génome peuvent-ils nous permettre d'accroître nos connaissances sur la biodiversité et de répondre aux enjeux liés à sa conservation et sa valorisation ?

Quelles sont les bases moléculaires des **phénotypes**, des espèces modèles ou non modèles (Martin *et al* 2016) ? Quelles sont les rétroactions entre processus évolutifs et fonctionnels ? Quelle diversité génétique doit être préservée pour garantir les capacités d'adaptation des organismes et des écosystèmes aux changements globaux ? Comment mieux étudier et gérer la diversité des ressources génétiques végétales, animales, microbiennes, et comment assurer la conservation et la traçabilité de ces ressources alors qu'elles pourraient être polluées génétiquement par les ressources issues de la biologie de synthèse ?

❷ Dans quelles mesures ces outils peuvent-ils modifier la biodiversité ? Quels sont les opportunités et les risques associés à leurs usages ?

Des opportunités peuvent apparaître, comme la possibilité de contrôler spécifiquement des ravageurs de culture ou des vecteurs de maladies humaines, animales ou de plantes, sans impacter la faune et la flore non-cible. Les ressources génétiques utilisées en agriculture pourraient être modifiées pour conférer des caractères d'intérêt, comme la résistance à des maladies (Bukard *et al* 2017). Mais quels sont les risques, du point de vue écologique et fonctionnel, de l'utilisation de ces outils et des produits qu'ils permettent de développer ? La transition de l'échelle moléculaire, en laboratoire, à l'échelle des interactions écologiques en milieu naturel soulève de nombreuses questions. En effet, les organismes qui ont été modifiés, une fois hors du laboratoire, vont interagir avec les autres organismes. Cela peut potentiellement modifier fortement les abondances de ces organismes, les faire évoluer (au sens darwinien) et modifier *in fine* le fonctionnement des écosystèmes les hébergeant.

❸ Comment ces outils questionnent les relations entre humains et non-humains et interrogent la gouvernance de la biodiversité, l'évolution des métiers et les interactions sciences-sociétés ?

Des questions d'ordre juridique, de priorité intellectuelle des technologies et des organismes, sur

les règles d'utilisation d'organismes modifiés par la technologie CRISPR, font l'objet de débats, voire de batailles. Quel cadre éthique et juridique doit être mis en place, dans un contexte de conceptualisation du droit de l'environnement, de l'accès et du partage des avantages de la biodiversité, mais aussi de l'ingérence territoriale ou nationale puisque ces produits biotechnologiques peuvent aisément franchir les frontières ? Comment s'assurer que la biodiversité, incluant l'humain, reste au cœur des concepts et ne laisse pas la place au « tout technologique » ?

Éléments de bibliographie

- BOSLEY, K. S. *et al.* (2015). CRISPR germline engineering – the community speaks. *Nature Biotechnology*, 33(5), 478-486
- BURKARD, C. (2017). Precision engineering for PRRSV resistance in pigs: Macrophages from genome edited pigs lacking CD163 SRCR5 domain are fully resistant to both PRRSV genotypes while maintaining biological function. *Public Library of Science Pathogens*, 13(2), e1006206. doi:10.1371/journal.ppat.1006206.
- ECKHOFF, P. A. *et al.* (2017). Impact of mosquito gene drive on malaria elimination in a computational model with explicit spatial and temporal dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(2), E255-E264.
- GANTZ, V. M. *et al.* (2015). Highly efficient Cas9-mediated gene drive for population modification of the malaria vector mosquito *Anopheles stephensi*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(49), E6736-E6743.
- JINEK, M. *et al.* (2012). A programmable dual-RNAGuided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337, 816-821.
- MARTIN, A. *et al.* (2016). CRISPR/Cas9 mutagenesis reveals versatile roles of hox genes in crustacean limb specification and evolution. *Current Biology*, 26,14-16.
- REARDON, S. (2016). The CRISPR Zoo. *Nature*, 531, 160-163.

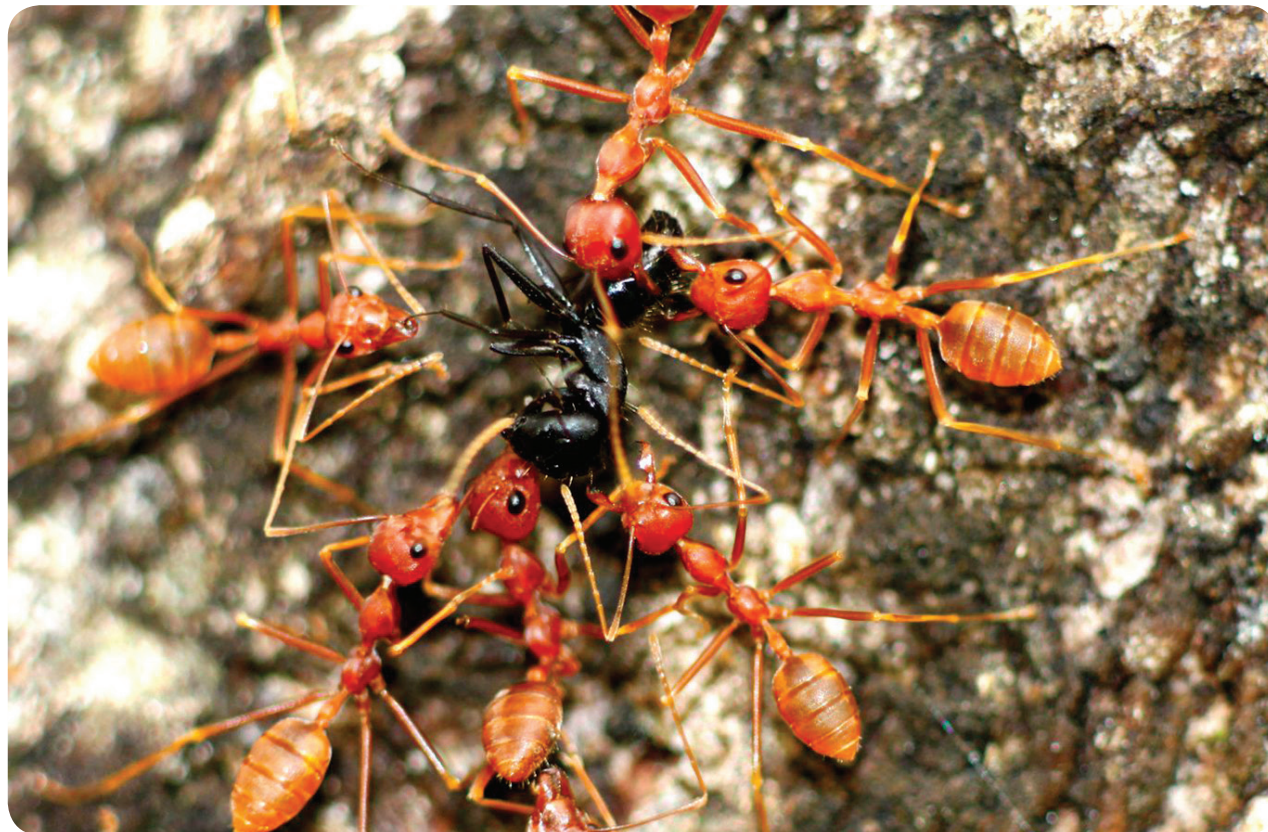
Glossaire

Crispr-Cas 9 – outil moléculaire permettant d'éditer les génomes d'une manière aisée et relativement précise.

Forçage génétique – technique forçant la transmission d'un gène au cours d'une reproduction sexuée.

Phénotype – ensemble des caractéristiques observables d'un organisme.

4. Potentiel adaptatif et prise en compte de la dimension évolutive dans les scénarios de conservation de biodiversité



Fourmis écophiles transportant le cadavre d'une fourmi d'une autre espèce. Savane de Lamto. Côte d'Ivoire

Présentation du sujet

On étudie souvent l'évolution passée des organismes (au sens darwinien), mais il reste difficile de prédire leurs chances futures de poursuivre cette évolution. Ainsi la connaissance de l'histoire phylogénétique des organismes renseigne peu sur les capacités évolutives futures. Cela représente pourtant un enjeu important dans la mesure où il est maintenant admis que toutes les mesures de conservation devraient prendre en compte la capacité d'adaptation des organismes que l'on souhaite protéger et que cette capacité d'adaptation reste très difficile à définir et quantifier. Cela est crucial dès qu'on questionne la capacité de réponse des organismes aux changements globaux (y compris aux changements climatiques). Il apparaît illusoire de conserver des organismes qui ne seront pas capable de s'adapter à leurs conditions de vie futures.

La notion de capacité d'adaptation est ainsi intimement liée au concept de viabilité à long terme qui reste le plus souvent mesurée par des approches démographiques et génétiques qui visent essentiellement la modélisation des interactions complexes impliquées dans la démographie des petites populations et à l'origine de leur risque d'extinction. La question du potentiel adaptatif devient également centrale dans un contexte croissant de manipulation des génomes et de prétention à leur pilotage *via* les approches de biologie de synthèse. De même, les projets de dé-extinction visant à « ressusciter » des espèces disparues oublient trop souvent la question des potentialités adaptatives des populations restaurées qui ne seront pas nécessairement capables de s'adapter à des conditions de vies changeantes et de coévoluer avec les autres organismes dont ils ne seraient pas initialement contemporains.

Nature du front de science

Il s'agit d'un obstacle épistémologique. Déjà identifié comme tel dans la prospective FRB de 2015, le concept de potentiel adaptatif demeure complexe et multidimensionnel. Il intègre des interactions entre génome, diversité génétique au sein des populations, processus développementaux, épigénétique, traits d'histoire de vie, traits fonctionnels, plasticité phénotypique, normes de réactions, coévolutions, exaptation.

Axes de questionnement

Plusieurs axes de questionnement doivent continuer de faire l'objet de recherches concernant le potentiel évolutif. ❶ Comment évaluer les différentes composantes du potentiel adaptatif ? ❷ Quels facteurs de variation doivent être considérés pour modéliser et scénariser les dynamiques de ces potentialités adaptatives dans des environnements changeants et sous des régimes d'anthropisation variables ? ❸ À quelles échelles de temps ces processus doivent-ils être mesurés et projetés dans ces scénarios ?

Éléments de bibliographie

- BONTEMPS, A. *et al.* (2016). In situ marker-based assessment of leaf trait evolutionary potential in a marginal European beech population. *Journal of Evolutionary Biology*, 29(3), 514-527.
- CARVALHO, S. B. (2017). Spatial conservation prioritization of biodiversity spanning the evolutionary continuum. *Nature Ecology & Evolution*, 1(6), 151.

- HARRISSON, K. A. *et al.* (2014). Using genomics to characterize evolutionary potential for conservation of wild populations. *Evolutionary Applications*, 7, 1008-1025.

- HENDRY, A. P. *et al.* (2017). Human influences on evolution, and the ecological and societal consequences. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1712). doi:10.1098/rstb.2016.0028.

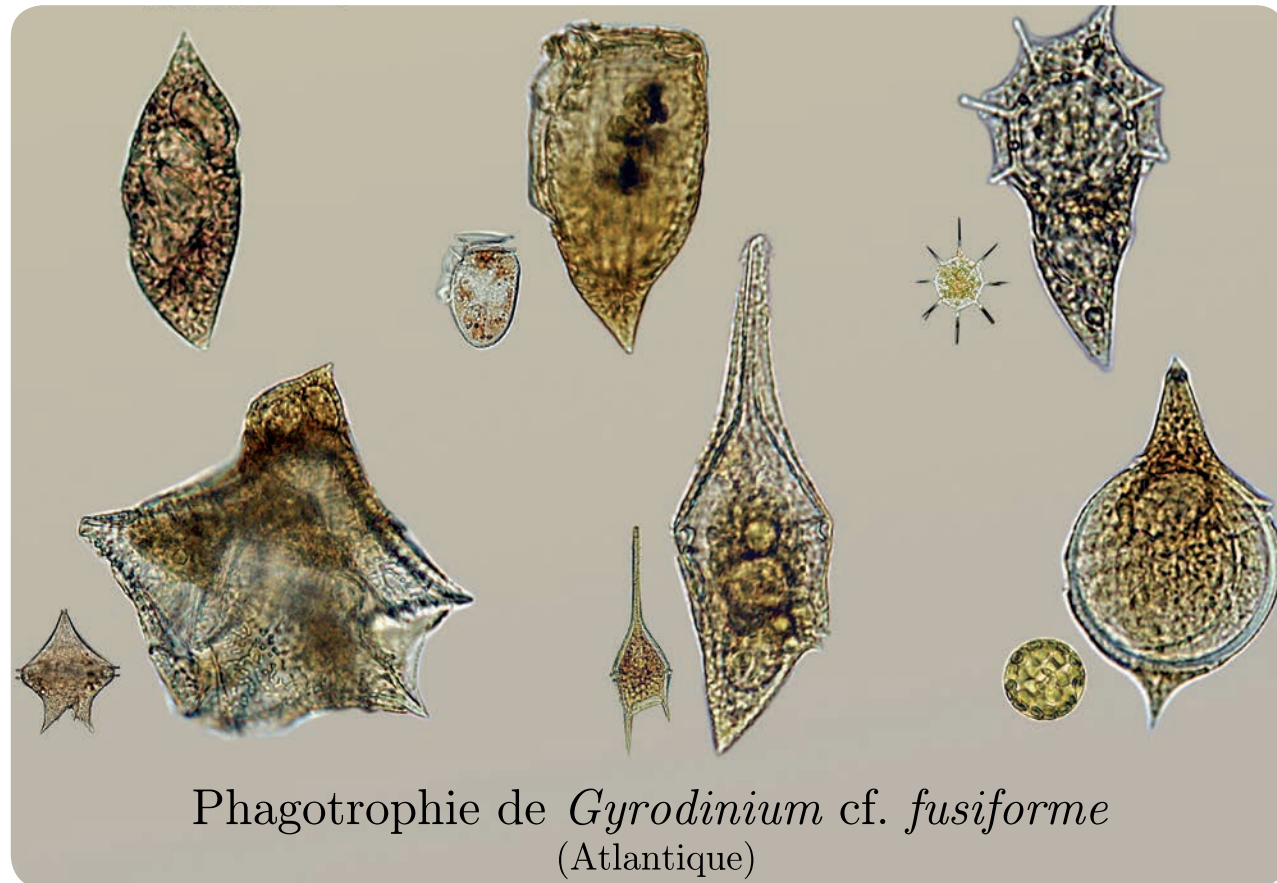
- MARTÍNEZ-PADILLA, J. *et al.* (2017). Evolvability meets biogeography : Evolutionary potential decreases at high and low environmental favourability. *Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1856). doi:10.1098/rspb.2017.0516.

- RONCE, O. (dir) et PELEGRIN F. (dir) (2015). *Réponses et adaptations aux changements globaux : quels enjeux pour la recherche sur la biodiversité ? Prospective de recherche* (Série FRB Réflexions stratégiques et prospectives). Paris, France : Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité.

- STEEVES T. E. *et al.* (2017). Maximising evolutionary potential in functional proxies for extinct species : A conservation genetic perspective on de-extinction. *Functional Ecology*, 31(5), 1032-1040.

- URBAN, M. C. *et al.* (2016). Improving the forecast for biodiversity under climate change. *Science*, 353(6304), aad8466.

5. Diversité fonctionnelle de « l'épiderme productif » de l'océan



Phagotrophie : le dinoflagellé *Gyrodinium* cf. *fusiforme* est photographié « à jeun » (en haut à gauche) et après avoir phagocyté différentes microalgues (cinq clichés suivants, où figure aussi à plus petite échelle la microalgue phagocytée).

Présentation du sujet

L'océan joue un rôle primordial dans la dynamique du climat et, au-delà, dans le fonctionnement du « système Terre », c'est à dire l'ensemble des interactions entre océan, surfaces continentales, atmosphère et biosphère. Caractériser la diversité fonctionnelle des communautés planctoniques, et comprendre leur contribution aux grands cycles biogéochimiques (en particulier celui du carbone), ainsi que leur rôle de principal producteur de matière et d'énergie des réseaux trophiques marins, est un enjeu de recherche essentiel pour réduire les incertitudes attachées à la modélisation du système Terre.

Les modèles du « système Terre », focalisés sur la simulation des mécanismes du changement climatique, ont d'abord intégré le rôle de la biodiversité marine dans le cycle du carbone à l'aide de représentations

assez sommaires du **plancton** dans la « pompe biologique », l'un des rouages de la régulation du climat. Ce processus prend sa source dans le monde des microorganismes qui peuplent les eaux superficielles éclairées de l'océan, où le carbone est fixé par **photosynthèse**. Une partie du CO₂ transformé en carbone organique est « pompée » par la chute de particules, puis finalement séquestrée dans l'océan profond. L'intensité du flux dépend de la composition de la communauté planctonique et des taux relatifs de production photosynthétique et de reminéralisation du carbone.

La photosynthèse planctonique produit aussi la quasi-totalité de la matière organique consommée par les animaux marins (**production primaire nette** ou NPP). Flottant dans la couche de surface de l'océan, le phytoplancton **autotrophe** forme ces « pâturages invisibles » de l'océan, composés de cyanobactéries ainsi qu'une multitude d'espèces de flagellés, de mi-

croalgues, etc., appartenant à un groupe très diversifié d'**eucaryotes** unicellulaires, les **protistes**.

Le modèle classique décrit une chaîne alimentaire phytoplancton-zooplancton-poissons, à travers laquelle le phytoplancton autotrophe est consommé par le zooplancton **hétérotrophe**, lui-même à la base de l'alimentation de nombreux poissons. Cette représentation a cédé la place à un nouveau paradigme, né de la reconnaissance d'une réalité plus complexe : l'ubiquité de la **mixotrophie** et la variété de ses modalités. En effet, les microorganismes à la base des réseaux trophiques marins ne sont en majorité ni strictement auto-, ni strictement hétérotrophes, mais combinent les deux modes de nutrition. Ces **mixotrophes** diversifient les voies d'entrée et de circulation du carbone et des éléments nutritifs dans le plancton, ce qui complexifie les modèles.

Au-delà de son rôle dans la régulation du climat, la production primaire nette (NPP) est le facteur crucial de la productivité de l'océan. La NPP détermine, entre autres, le potentiel de développement des populations exploitées par la pêche. Les projections des modèles tendent aujourd'hui à converger – avec une incertitude élevée – vers une décroissance globale de la NPP, assortie de variations régionales, en particulier suivant la latitude. Caractériser la réponse de la NPP aux changements de l'océan (réchauffement, stratification renforcée des eaux de surface, acidification, élévation de l'horizon de saturation des carbonates, désoxygénation) est un fort enjeu de recherche.

Nature du front de science

Sujet émergent (brèche), qui appelle des développements interdisciplinaires (en biologie *s.l.*, écologie, biogéochimie, couplages avec l'océanographie physique, modélisation intégrée).

Axes de questionnement

De nombreuses connaissances restent à acquérir sur les modalités variées de la physiologie et de l'écologie des mixotrophes. Des hypothèses sur le fonctionnement des communautés (bactéries, phyto- et zooplancton) ont été avancées, les principales concernant la réponse des mixotrophes à différents stress (hypoxie, faible disponibilité en nutriments) et ses impacts sur la NPP. Adossé à la collecte de données et à l'expérimentation et articulé avec la modélisation de scénarios, cet axe de recherche peut être décliné comme suit :

❶ caractériser la diversité – y compris au niveau moléculaire – des communautés marines des protistes de la zone euphotique, ainsi que leurs interactions trophiques ;

❷ caractériser le cheminement et quantifier les flux des composés organiques :

- produits par photosynthèse et transformés au sein de la communauté microplanctonique (bactéries, eucaryotes unicellulaires auto-, hétéro- et mixotrophes, microzooplancton),

- exportés vers les premiers niveaux des réseaux trophiques marins (mésos- et macrozooplancton, poissons planctonophages) ;

❸ construire une représentation mécaniste des processus mentionnés supra afin :

- de quantifier leur sensibilité aux changements en cours (de nature physique, chimique, biologique) des propriétés de l'océan ;

- de modéliser les variations résultantes de la NPP, leur propagation dans les réseaux trophiques marins et les conséquences sur la productivité des espèces exploitées par la pêche et l'aquaculture.

Éléments de bibliographie

- DE VARGAS, C. *et al.* (2015). Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. *Science*, 348(6237), 1261605 1-11. doi:10.1126/science.1261605
- GUIDI, L. *et al.* (2016). Plankton networks driving carbon export in the oligotrophic ocean. *Nature*, 532, 465-470.
- KWIATKOWSKI, L. *et al.* (2017). Emergent constraints on projections of declining primary production in the tropical oceans. *Nature Climate Change*, 7(5), 355-358.
- LELES, S. G. *et al.* (2017). Oceanic protists with different forms of acquired phototrophy display contrasting biogeographies and abundance. *Proceedings of the Royal Society B : Biological Sciences*, 284(1860). doi:10.1098/rspb.2017.0664.
- MITRA, A. *et al.* (2016). Defining planktonic Protist functional groups on mechanisms for energy and nutrient acquisition : Incorporation of diverse mixotrophic strategies. *Protist*, 167(2), 106-120.
- STEINBERG, D. K. *et al.* (2017). Zooplankton and the ocean carbon cycle. *Annual Review of Marine Science*, 9, 413-444.
- STOECKER, D. K. *et al.* (2017). Mixotrophy in the marine plankton. *Annual Review of Marine Science*, 9, 311-335

Glossaire

Autotrophie – la capacité d'un organisme à produire des composés organiques complexes à partir de composés inorganiques tels que le CO₂.

Eucaryote – les eucaryotes rassemblent les protistes (organismes unicellulaires) et tous les organismes

pluricellulaires (champignons, végétaux et animaux). La structure de la cellule des eucaryotes est complexe. Elle est caractérisée par un noyau (qui contient l'information génétique) entouré d'une membrane. Elle contient aussi, en général, des organites tels que les mitochondries et, chez les plantes, des chloroplastes.

Hétérotrophie – le besoin de composés organiques complexes comme source de carbone cellulaire.

Mixotrophie – mode de nutrition qui combine dans un même organisme l'autotrophie et l'hétérotrophie. La matière organique provient à la fois de la photosynthèse et de l'ingestion de composés organiques disponibles dans l'environnement. La mixotrophie est répandue dans le plancton. Parmi de nombreux exemples : le bactérioplancton « photohétérotrophe » qui utilise la photosynthèse anoxygénique, les dinoflagellés photosynthétiques qui ingèrent des proies, les espèces du zooplacton hétérotrophe qui acquièrent la phototrophie en séquestrant de façon temporaire ou permanente des microalgues.

Photosynthèse oxygénique – utilisation de l'énergie lumineuse du soleil pour produire de la matière organique à partir du CO_2 , une transformation qui nécessite l'énergie d'électrons libérés par dissociation d'une molécule « donneuse ». Dans la photosynthèse oxygénique, il s'agit de la molécule d'eau H_2O , dont la dissociation libère de l'oxygène O_2 . Ce processus, qui fut « inventé » par les cyanobactéries il y a 2,7 milliards d'années, est considéré comme le moteur de l'apparition et du maintien de l'oxygène dans l'atmosphère terrestre. Dans l'histoire de la Terre, la photosynthèse oxygénique serait apparue environ un milliard d'années après la photosynthèse anoxygénique. Celle-ci est aujourd'hui réalisée par plusieurs groupes de bactéries, avec pour « donneur d'électrons » l'hydrogène sulfuré H_2S , ou l'hydrogène H_2 , ou encore l'ion ferreux Fe^{2+} (donc sans production d'oxygène).

Production primaire nette (net primary production, NPP) – la production photosynthétique corrigée de la perte de CO_2 due à la respiration (du phytoplancton et des végétaux en général).

Plancton marin – une myriade de petits organismes (eucaryotes et procaryotes) flottant dans l'océan, dont la diversité a conduit à définir plusieurs catégories. Ainsi distingue-t-on le plancton végétal (phytoplancton) du plancton animal (zooplancton). L'un et l'autre sont classés suivant leur taille, de femto- (virus), pico- (bactéries) à mégaplanton (grosses méduses), encadrant le nano-, micro- et mésoplancton (entre 2 μm et 2 cm). Une distinction est aussi établie entre organismes dont l'ensemble du cycle biologique est planctonique d'une part (comme de nombreux crustacés copépodes), d'autre part ceux qui n'en font que temporairement partie (comme les œufs et les tout premiers stades larvaires de nombreux poissons). Par-delà ces descriptions classiques, les expéditions du consortium Tara Océans apportent une moisson considérable de connaissances sur la diversité écologique et génétique de la communauté planctonique (de 0,02 μm à quelques mm) à l'échelle de l'océan mondial. Cf. <https://oceans.taraexpeditions.org/en/m/science/>.

Protistes – ensemble très diversifié d'eucaryotes unicellulaires, abondants en milieu marin. Dans les réseaux trophiques, les protistes sont producteurs primaires, consommateurs, décomposeurs, une grande partie des espèces étant des mixotrophes. La taille des protistes est très variable : de 1 μm (microalgue *Ostreococcus*) jusqu'à 1 cm de diamètre chez les plus grandes cellules solitaires, et au-delà chez les formes coloniales (plusieurs espèces de diatomées, de foraminifères, de radiolaires, etc.). Les protistes sont des contributeurs essentiels à la pompe biologique océanique. Certaines espèces des genres *Pseudo-nitzschia*, *Alexandrium*, etc., sont connues pour leurs efflorescences toxiques (harmful algal blooms, HABs).



6. Biodiversité des milieux extrêmes



Geysir, source d'eau chaude. Parc de Yellowstone. États-Unis

Présentation du sujet

Certains environnements qualifiés de « milieux extrêmes » et caractérisés par des conditions physico-chimiques particulières (basse ou haute température, pH faible ou élevé, concentration élevée en contaminants, haute pression, salinité élevée, forte radiation...) sont généralement considérés comme hostiles à la vie et sont très peu étudiés en termes de biodiversité. Toutefois, quelques travaux scientifiques menés sur ce type d'environnement ont montré que ces milieux constituent une réserve de biodiversité, en particulier microbienne, non négligeable à l'échelle de la planète, et constituent une niche significative pour des organismes peu voire pas connus possédant des capacités d'adaptation et des fonctions pouvant présenter des intérêts multiples.

L'accès parfois difficile à ces milieux extrêmes (cas du sous-sol profond, des eaux souterraines, des fonds océaniques, ...), leur méconnaissance ainsi que la considération d'une très faible biomasse et d'une très faible biodiversité de ces environnements

sont les principales raisons qui expliquent le faible nombre d'études. Il apparaît donc important de décrire, d'identifier, de caractériser la biodiversité microbienne de ces milieux et les fonctions associées, afin de compléter la connaissance et la description de la biodiversité et également dans l'objectif de découvrir des organismes très « spécialisés » représentant une source d'innovations biotechnologiques exceptionnelles, car non possibles avec des organismes de milieux « classiques ».

Nature du front de science

Ce sujet constitue un front de science de type « angle mort », c'est-à-dire un domaine peu ou insuffisamment exploré, notamment en raison de la difficulté d'accès à certains milieux. Les besoins relèvent prioritairement ❶ de collaborations interdisciplinaires (entre hydrogéochimistes, géologues et microbiologistes) afin d'avoir accès à des échantillons rares et difficiles d'accès, ❷ de la mise en place au niveau de

la croûte continentale de grands programmes d'exploration comme cela a pu être fait au niveau de la croûte océanique (programme international de forages océaniques IODP²) et ❸ des infrastructures de conservation d'échantillons et de patrimoine microbiens.

Axes de questionnement

Dans le domaine des environnements fortement pollués, la composante biodiversité (flore, microflore notamment) est généralement prise en compte, néanmoins de nombreuses questions restent en suspens concernant les processus d'adaptation, de résistance et d'activité spécifiques à ces milieux. Au niveau de la croûte continentale profonde, les recherches sur l'impact de la biosphère sont jusqu'à ce jour peu nombreuses, malgré l'existence reconnue d'une vie microbienne ubiquiste dans le sous-sol profond, les micro-organismes représentant une quantité non négligeable de la biomasse sur la Terre. Au-delà des aspects fondamentaux liés à l'émergence et la persistance de la vie en conditions extrêmes, l'intérêt croissant de l'étude de cette biosphère souterraine profonde est généré par son impact potentiel au niveau d'applications à fort enjeu sociétal comme l'optimi-

2 - International Ocean Discovery Program

sation de la récupération de ressources fossiles, le stockage souterrain temporaire de ressources énergétiques ou d'eau et le stockage géologique profond à long terme de déchets nucléaires ou du CO².

Éléments de bibliographie

- BOWERS, K. J. J. *et al.* (2009). Biodiversity of poly-extremophilic Bacteria: does combining the extremes of high salt, alkaline pH and elevated temperature approach a physico-chemical boundary for life ?. *Saline Systems Open Access*, 5(9). doi: 10.1186/1746-1448-5-9.
- COLMAN D. R. *et al.* (2017). The deep, hot biosphere : A retrospection. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114 (27), 6895-6903.
- SECKBACH, J. *et al.* (2006). Biodiversity and extremophiles. Dans Seckbach, J. (dir), *Life as we know it* (1^{ère} éd.), (p. 3-143). Dordrecht, Pays-Bas : Springer Netherlands.
- WHITMAN, W. B. *et al.* (1998). Prokaryotes : The unseen majority. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(12), 6578-6583.

7. Référentiels pour la gestion et la restauration de la biodiversité



Lengguru 2014. Paysage de forêt tropicale humide. Papouasie

Présentation du sujet

La définition des stratégies de gestion de biodiversité, de conservation et notamment de restauration pose la question des référentiels utilisés. En effet, l'état de conservation ou de dégradation des habitats et de la biodiversité doivent *a priori* être appréciés par rapport à un état (ou une dynamique) de référence. Si cela semble évident en première approche, la complexité des réponses possibles demeure un obstacle à une définition simple, partagée et opérationnelle de ces référentiels.

Nature du front de science

Il s'agit à la fois d'un obstacle épistémologique lié à la nature interdisciplinaire de la définition des réfé-

rentiels permettant de fixer des objectifs de gestion, de conservation et de restauration et d'un domaine délaissé, souvent implicitement laissé hors du champ de la recherche en biodiversité, à l'appréciation de gestionnaires de biodiversité parfois démunis face à la complexité de ces enjeux.

Axes de questionnement

Aux interfaces entre une grande diversité de finalités et de moyens, la définition de ces référentiels constitue un enjeu de recherche intrinsèquement interdisciplinaire. Elle nécessite de questionner les éthiques qui structurent de manière ultime les valeurs attribuées à ces références. Ces références sont-elles historiques, patrimoniales, esthétiques, culturelles ou écologiques, fonctionnelles, phylogénétiques, évolu-

tives ? Quels objectifs définir pour restaurer des entités de biodiversité (populations, communautés, écosystèmes) dans des environnements anthropisés et au sein desquels les expériences de nature sont hétérogènes ? Quelle place pour la naturalité dans des objectifs et référentiels ? L'histoire écologique peut-elle aider à mieux comprendre ces objectifs dynamiques ? Ces référentiels visent-ils à maintenir ou restaurer des structures passées, actuelles ou à maximiser les potentialités futures ? Comment considérer efficacement le syndrome de la cible mouvante en écologie de la restauration ? Si la finalité de gestion ou de restauration doit considérer la poursuite de processus évolutifs, peut-on passer d'un référentiel d'états à un référentiel de processus ? Au-delà des dynamiques écologiques et évolutives intrinsèques aux systèmes considérés, comment les dynamiques des perceptions et représentations de l'état de ces systèmes ajoutent de la complexité à la définition de ces références ? Par ailleurs cette définition de référentiel doit également permettre de définir les objectifs à court ou moyen terme des actions de gestion et de restauration afin de les placer dans une gestion adaptative. Si la gestion adaptative est encouragée depuis plusieurs décennies, elle reste rarement mise en œuvre. Comment définir les objectifs des actions de gestion, conservation et restauration et placer leur suivi et leur évaluation dans les échelles de temps pertinentes par rapport aux références visées ?

Éléments de bibliographie

- FENGLER, F. H. *et al.* (2017). Forest restoration assessment in Brazilian Amazonia: A new clustering-based methodology considering the reference ecosystem. *Ecological Engineering*, 108, 93-99.
- KUMAR, R. *et al.* (2017). Ecosystem approach to fisheries: Exploring environmental and trophic effects on Maximum Sustainable Yield (MSY) reference point estimates. *Public Library of Science One*, 12(9). doi:10.1371/journal.pone.0185575
- McDONALD, T. *et al.* (2016). *International standards for the practice of ecological restoration – including principles and key concepts* (1^{ère} éd.). Washington D.C, États-Unis : Society for Ecological Restoration.
- MIHOUB, J. B. *et al.* (2017). Setting temporal baselines for biodiversity: the limits of available monitoring data for capturing the full impact of anthropogenic pressures. *Scientific Reports*, 7, 41591. doi:10.1038/srep41591
- PALMER, M. A. *et al.* (2016). Ecological theory and restoration ecology. Dans PALMER, M. A. *et al.* (dir), *Foundations of restoration ecology* (2^{ème} éd.), (p. 3-26). Washington D.C, États-Unis : Island Press, Center for Resource Economics.
- ROSENFELD, M. F. *et al.* (2017). Predicting restored communities based on reference ecosystems using a trait-based approach. *Forest Ecology and Management*, 391, 176-183.

La Fondation pour la recherche sur la biodiversité a pour mission de soutenir et d'agir avec la recherche pour accroître et transférer les connaissances sur la biodiversité. Elle a été créée en 2008 à la suite du Grenelle de l'environnement à l'initiative des ministères en charge de la recherche et de l'écologie par huit établissements publics de recherche. Ceux-ci ont été rejoints depuis par LVMH, l'Ineris et l'Université de Montpellier.

L'originalité de la FRB repose sur son rôle d'interface entre la communauté scientifique, la société civile scientifique, la société civile et le monde de l'entreprise. À ce jour, plus de 237 associations, entreprises, gestionnaires ou collectivités ont rejoint la FRB autour d'un but : relever ensemble les défis scientifiques de la biodiversité.

En 2018, le conseil scientifique de la FRB propose pour la première fois ces Fronts de sciences. Ce travail, qui se poursuivra chaque année, vise avant tout à donner un aperçu de quelques sujets en plein développement, ainsi qu'à éclairer l'actualité de la recherche sur la biodiversité pour un public non spécialiste.

Certains des sujets choisis s'inscrivent clairement dans des enjeux et débats de société, mais d'autres relèvent de problématiques conceptuelles de nature plus fondamentale. Biologie de synthèse, épiderme productif de l'océan ou encore biodiversité des milieux extrêmes sont autant de sujets abordés.

195, rue Saint-Jacques 75005 Paris
www.fondationbiodiversite.fr
contact@fondationbiodiversite.fr
twitter : @FRBiodiv

