



ÉVOLUTION DE LA BIODIVERSITÉ BACTÉRIENNE DES SOLS

Proportion des unités pédo-écologiques françaises dont la biodiversité bactérienne des sols se maintient ou progresse

L'évaluation formule des propositions pour compléter et améliorer l'indicateur. De manière générale, elle signale le manque de données permettant l'analyse de cet indicateur. Elle recommande notamment de préciser le niveau taxonomique retenu.

A – Présentation et interprétation de l'indicateur

L'indicateur s'inscrit bien dans les orientations stratégiques B « Préserver le vivant et sa capacité à évoluer » et D « Assurer un usage durable et équitable de la biodiversité » de la SNB. Il est pertinent pour répondre aux objectifs qui lui sont associés, à savoir B4, B6, D11 et D12.

Son intitulé correspond à sa description, mais pourrait néanmoins être reformulé « Évolution des différents indicateurs de la biodiversité bactérienne des sols ». Le niveau taxonomique doit en outre être précisé (ici le genre).

La valeur de l'indicateur donnée est une valeur moyenne dont la borne inférieure est 59,5% et la borne supérieure est 75,7%. Il est nécessaire de fournir un intervalle de confiance.

Les illustrations correspondent au message véhiculé par l'indicateur, il serait toutefois utile de faire figurer les valeurs minimales et maximales sur le graphe. Elles ne présentent pas de biais de visualisation. La représentation permet une comparaison visuelle entre les différentes situations pédo-écologiques. Les variations (bornes minimale et maximale) sont intéressantes car le nombre de sites échantillonnés pour chaque situation est différent (l'amplitude de variation ne dépend pas du nombre de sites échantillonnés). Par ailleurs, l'évolution des indicateurs peut être stable, en croissance ou en décroissance. Une décroissance est intuitivement vue comme négative, or les corrélations entre services, écosystèmes et diversité sont encore à établir. Une mauvaise interprétation peut venir d'une mauvaise utilisation des notions de richesse ou/et de diversité.

L'interprétation de la valeur pourrait dès lors être sujette à erreur. La valeur absolue fournie ne reflète ni la fonctionnalité du système ni sa capacité à résister face à des perturbations comme un changement d'usage. La diminution (ou l'augmentation) de cette valeur n'est pas nécessairement liée à un fonctionnement altéré ou amélioré.

B – Bases scientifiques de l'indicateur

La mesure de la diversité (nombre de taxons et leur abondance respective) permet le calcul de plusieurs indicateurs : richesse, équitabilité, indice de diversité (Shannon),

Code indicateur

SNB-B06-14-BDS2

Évaluation FRB- i-BD² : N°14

Évaluation réalisée par

Jean-Jacques Godon
Agnès Richaume-Jolion

Synthèse réalisée par

Sarah Aubertie

En date du

18 juillet 2016

Evaluations antérieures à la mise à jour du site ONB 2016

Objectifs

B4 - Préserver les espèces et leur diversité

Objectifs secondaires

B6 - Préserver et restaurer les écosystèmes et leur fonctionnement

D11- Maîtriser les pressions sur la biodiversité

D12 - Garantir la durabilité de l'utilisation des ressources biologiques

Première évaluation

I-BD² – ÉVALUATION SCIENTIFIQUE D'INDICATEURS DE LA BIODIVERSITÉ

Simpson) et indices d'inventaires taxonomiques. Il est nécessaire de préciser que de nos jours, le séquençage massif des gènes ribosomiques et le traitement bioinformatique de ces données donnent aussi accès à ces indices de diversité et que la richesse n'est qu'un de ces indices. L'évaluation note que les archées ne sont pas mentionnées parmi les microorganismes du sol. Il conviendrait de le faire même si les données les concernant ne sont encore que partielles dans la littérature (rôle, diversité, abondance).

La valeur chiffrée de l'indicateur ne permet pas de définir une typologie de système ni un seuil en deçà duquel certaines fonctions ne seraient plus assurées. L'indicateur est toutefois associé à une valeur cible de 100% (i.e. toutes les unités maintiennent ou augmentent leur biodiversité) et assorti d'un pas de temps de 15 ans. Il n'existe en revanche pas de valeur cible qui signalerait que l'on atteint une limite pouvant conduire à une extinction, comme c'est le cas pour les macroorganismes par exemple.

L'indicateur peut être adapté quel que soit le contexte pédo-écologique, les bactéries étant présentes dans tous les types de système. Cependant, la pertinence d'un indicateur centré sur les champignons n'est recevable que dans le cas de certains milieux (par exemple les forêts).

L'échelle territoriale appliquée ici est pertinente (basée sur le quadrillage du RMQS¹), mais on peut s'interroger sur la précision d'échelle qui doit être retenue en raison de la variabilité intra-système, qui risque être plus importante dans les systèmes forestiers et les systèmes de cultures qu'en prairie. L'effort d'échantillonnage doit être accentué dans les systèmes dont la variabilité intrinsèque est plus importante.

Un éventuel changement d'échelle pourrait avoir une incidence sur la pertinence de l'indicateur. Il peut y avoir des variations temporelles dans tous les systèmes (saisonniers par exemple) et au sein d'un même système, notamment selon le mode d'exploitation dans le cas des cultures (labour/sans labour). Le niveau taxonomique retenu (genre) est de nature à limiter ces effets mais peut aussi limiter la pertinence de l'indicateur au regard des objectifs : un changement de taxon peut avoir eu lieu sans que leur nombre ne soit modifié, et cela peut avoir des répercussions sur certaines fonctions essentielles. Il serait par ailleurs intéressant de connaître les variations de l'indicateur à de plus petites échelles.

Un changement d'échelle temporelle risque de conduire à des interprétations erronées. Par exemple, un nombre de taxon défini suite un amendement dans un système cultivé peut induire une surestimation de la diversité comparée à la diversité « réelle » du système. Ceci conduirait donc à considérer des pratiques comme favorables au maintien de la diversité alors qu'elles ne le seraient pas nécessairement.

C – Production de l'indicateur

Les informations fournies dans cette partie sont succinctes. Le point positif est la cohérence méthodologique dans la production de l'indicateur. La notion de « taxon » utilisée doit être parfaitement définie.

Selon l'évaluation, la manière dont est calculé l'indicateur n'est pas claire. Afin d'éviter des interprétations différentes, il faut définir l'unité (taxon) d'une façon non ambiguë et répétable. Il est également nécessaire d'expliquer comment sont regroupés les taxons sur un critère moléculaire (par exemple : pourcentage de divergence) et non sur des critères arbitraires de définition/comparaison (par exemple le genre). Le calcul des différents indices de diversité est quant à lui robuste. La région génomique ciblée pourrait en outre être choisie de manière à prendre en compte la dimension fonctionnelle. La région ciblée (ADNr 16S) ne rend pas compte de la redondance fonctionnelle au sein de la diversité mesurée. Une modification du nombre de taxons ayant un spectre fonctionnel large n'aura pas le même impact écologique que la modification du nombre de taxons ayant un spectre fonctionnel étroit. Une amélioration possible repose sur l'effort d'échantillonnage qui doit par exemple prendre en compte la relative homogénéité d'un système prairial alors qu'un système forestier présentera une diversité d'habitats plus importante.

D – Analyse de l'indicateur

- **Robustesse** : L'indicateur est moyennement robuste. L'indicateur développé sur les macro-organismes et appliqué aux bactéries est robuste mais ne permet pas d'appréhender la redondance fonctionnelle. Les éventuels biais sont liés au rendement d'extraction de l'ADN pour l'échantillon puisque l'indicateur est en effet basé sur des séquences d'ADN. Le protocole d'obtention et d'analyse de ces séquences doit être très bien décrit et absolument identique d'une campagne à l'autre. Si cela est possible en théorie, cela peut ne pas s'appliquer en pratique.

I-BD² – ÉVALUATION SCIENTIFIQUE D'INDICATEURS DE LA BIODIVERSITÉ

La rapide évolution des techniques de séquençage peut conduire à la prévalence d'une technologie sur une autre. Une nouvelle analyse des échantillons pourrait palier ce biais. Cela nécessitera de conserver les échantillons passés en quantité suffisante. L'évaluation propose également une standardisation du protocole appliqué. L'indicateur est aussi robuste quelle que soit l'échelle territoriale et un changement dans l'intervalle de temps entre deux collectes de données n'aurait pas d'incidence particulière. L'évaluation souligne que l'analyse statistique du programme RMQS a été correctement menée.

- **Précision** : La précision de l'indicateur est moyenne. L'indicateur est assez précis pour tracer des variations du phénomène. Cependant, les indices de diversité sont plus ou moins sensibles à l'effort d'échantillonnage. La comparaison des différentes richesses nécessite un effort de séquençage comparable et suffisant. Des indices de diversité moins sensibles comme l'indice de Chao, qui prend en compte les singletons et les doublons, ou non sensibles (Simpson, Shannon) pourraient être utilisés. L'évaluation indique qu'il n'y a pas assez d'éléments pour davantage renseigner la précision de l'indicateur.
- **Sensibilité** : La sensibilité de l'indicateur est non connue ou faible. Les données disponibles ne permettent pas de connaître les modifications minimale et maximale que détecterait l'indicateur. Celui-ci ne permet pas de rendre compte d'événements brefs. Il peut éventuellement détecter un événement extrême, mais des modifications de diversité ne peuvent s'apprécier à court terme. Les données utilisées sont sujettes à erreur : il a été montré que la variation du nombre de copies de 16S dans le génome peut influencer sur l'abondance des séquences de 16S observées dans une communauté. La non prise en compte de la variation du nombre de copies entre taxons peut conduire à une faible corrélation entre l'abondance relative des séquences et l'abondance réelle des taxons. Il faut par ailleurs avoir l'assurance que l'effort de séquençage est suffisant pour évaluer la richesse quantitative en taxon. Il est possible que l'indicateur montre un changement qui n'a pas eu lieu, car une modification de la diversité indique un changement. L'indicateur pourrait également ne pas indiquer un changement qui s'est vraiment produit car on ne connaît pas assez la sensibilité des indicateurs de diversité. De plus, la richesse peut être inchangée alors que la diversité est modifiée. Un indicateur permettant d'apprécier la fonctionnalité éviterait ce risque. A priori, l'indicateur sera aussi sensible quelle que soit l'échelle territoriale. L'indicateur ne permet pas de distinguer des situations tranchées : le nombre de taxons peut être le même alors que le contexte pédo-écologique est différent. L'évaluation ne peut conclure sur la sensibilité de l'indicateur à partir d'un seul échantillonnage temporel.
- **Efficacité / Fiabilité** : La fiabilité de l'indicateur est encore inconnue. Néanmoins, il semble que l'indicateur ne puisse pas rendre compte de manière fiable de modification ou de maintien au niveau fonctionnel, le niveau de similarité retenu ciblant la diversité au niveau du genre. Il peut ne pas varier dans le même sens que le phénomène qu'il décrit. Le nombre de taxons peut augmenter ou diminuer sans que le fonctionnement du système ne soit modifié et inversement. Certaines fonctions, comme la dégradation de la matière organique, reposent sur un nombre de taxons élevé alors que d'autres dépendent d'un nombre plus faible de taxons, comme la production de nitrates. A priori, l'indicateur sera aussi fiable quelle que soit l'échelle territoriale.
- **Pertinence vis-à-vis de la biodiversité** : L'indicateur a un lien direct avec la biodiversité, mais il se restreint à la diversité bactérienne qui ne représente qu'une part de la diversité microbienne. Il a un lien avec le fonctionnement des écosystèmes si l'on considère la biodiversité « globale » car dans ce cas, une perte de biodiversité peut avoir des répercussions notables sur ces derniers, par exemple, en matière de changement climatique, si elle modifie les pools de carbone organique soluble en réduisant l'absorption du carbone de l'écosystème ou en augmentant les émissions de CO₂. Il a été montré qu'une diminution de la diversité microbienne peut diminuer fortement la respiration du sol. Si l'on considère uniquement la richesse bactérienne sur laquelle porte l'indicateur, le lien devient plus ténu. Par ailleurs, si l'indicateur est corrélé avec des paramètres généraux (pH, matière organique, type de végétation), il ne l'est pas (pas encore) avec les services écosystémiques. Les objectifs de l'indicateur tel qu'il est présenté visent à étoffer nos connaissances et l'appréciation de la biodiversité bactérienne dans les sols, il s'agit d'objectifs plutôt fondamentaux. L'indicateur aborde la richesse bactérienne (réserve de gènes et réserve fonctionnelle). Les points d'inflexion ne sont pas connus en ce qui concerne la biodiversité bactérienne dans les sols² et des valeurs « seuil » de perte ou de gain de diversité restent à définir. Des

² Certaines études publiées ont néanmoins évalué les conséquences de l'érosion de la diversité sur certaines fonctions liées au maintien de la fertilité dans les sols.

I-BD² – ÉVALUATION SCIENTIFIQUE D'INDICATEURS DE LA BIODIVERSITÉ

indicateurs complémentaires permettant d'évaluer l'abondance relative des taxons et la biodiversité fonctionnelle (en utilisant des gènes de fonction plutôt que l'ADNr16S) seraient pertinents.

- **Données** : L'évaluation souligne qu'il y a très peu de précisions sur les données. L'utilisation des indicateurs de diversité à des échelles plus faibles que celles de l'échantillonnage RMQS serait intéressante, voire nécessaire pour une future utilisation à des fins de diagnostics. Il ne semble pas que les sols outre-mer doivent être analysés différemment. Un biais pourrait éventuellement survenir en cas de changement d'échelle si l'effort n'est pas suffisant dans des contextes pédo-écologiques où la variabilité intra-site est importante.

E - Propositions d'amélioration

L'échelle de temps proposée (15 ans) pourrait être revue. Le point sensible est la période d'échantillonnage. La production des indicateurs doit dès lors être faite de manière pertinente et cohérente entre les différents sites échantillonnés (même saison, même période par rapport aux récoltes ou semis ...).

L'évaluation suggère également que l'indicateur aille vers un diagnostic de la qualité des sols, ou inclut la diversité fonctionnelle, ce qui permettra de mieux répondre aux objectifs du maintien d'un usage durable et équitable de la biodiversité ainsi qu'à la préservation, la restauration et le fonctionnement des écosystèmes.

Elle propose une standardisation, avec notamment une définition stricte et explicite des taxons.

Une évolution pour l'utilisation outre-mer et international est souhaitable, de même qu'explorer une possible standardisation avec des approches similaires à l'international.

Référencement

Godon, J.-J., Richaume-Jolion, A. & Aubertie, S. 2016. *Evaluation scientifique de l'indicateur «Evolution de la biodiversité bactérienne des sols»*. In : *Fondation pour la recherche sur la Biodiversité (2016), Evaluation scientifique de 55 indicateurs de la Stratégie Nationale pour la Biodiversité, Expertise*. Ed. Barbara Livoreil et Sarah Aubertie, 296 pages. <http://www.fondationbiodiversite.fr/fr/societe/avec-la-societe/appui-a-la-decision/indicateurs/indicateurs-de-l-onb/evaluation-scientifique-des-indicateurs-2015.html>.

F – Bibliographie des évaluateurs

Angly et al. (2014) CopyRighter: a rapid tool for improving the accuracy of microbial community profiles through lineage-specific gene copy number correction. [dx.doi.org/10.1186/2049-2618-2-11](https://doi.org/10.1186/2049-2618-2-11).

De Graaff M.-A., Adkins J., Kardol P., and Throop H. L. (2015) A meta-analysis of soil biodiversity impacts on the carbon cycle by; SOIL, 1, 257–271, www.soil-journal.net/1/257/2015/doi:10.5194/soil-1-257-2015.

Delgado-Baquerizo et al. (2015) Microbial diversity drives multifunctionality in terrestrial ecosystems, *Nature Communications* DOI: 10.1038/ncomms10541.

Ranjard et al. (2012) Turnover of soil bacterial diversity driven by wide-scale environmental heterogeneity, *Nature Communications* DOI: 10.1038/ncomms2431.

Kembel SW, Wu M, Eisen JA, Green JL (2012) Incorporating 16S Gene Copy Number Information Improves Estimates of Microbial Diversity and Abundance. *PLoS Comput Biol* 8(10): e1002743. doi:10.1371/journal.pcbi.1002743.

Hartmann M., Frey B., Mayer J., Mäder P., and Widme F. (2015) Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME Journal* 9, 1177–1194.

Hannes P et al. (2011) Function-specific response to depletion of microbial diversity. *The ISME Journal* 5, 351–361.

Vetrovsky et Baldrian (2013) The variability of the 16S rRNA gene in bacterial genomes and its consequences for bacterial community analyses, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0057923>.



<http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/>



www.fondationbiodiversite.fr

<http://www.fondationbiodiversite.fr/fr/societe/avec-la-societe/appui-a-la-decision/indicateurs/indicateurs-de-l-onb/evaluation-scientifique-des-indicateurs-2015.html>

L'Observatoire National de la Biodiversité (ONB) développe une base de données originale des indicateurs de biodiversité, comprenant des informations précises sur chaque indicateur. Cette base de données publique et gratuite doit également aider au choix d'indicateurs par différents usagers et au développement de nouveaux indicateurs. Intitulée i-BD² (pour Indicateurs de BioDiversité en Base de Données), son premier développement sert actuellement de base à un site internet où sont présentés les indicateurs de biodiversité de l'ONB (<http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr>). Pour une première série d'indicateurs de l'ONB, il a été demandé à la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB) de coordonner une analyse scientifique critique selon une méthodologie transparente et indépendante, permettant de clarifier les forces et les faiblesses de ces indicateurs et améliorer leur fiche de description. Cette démarche doit également permettre l'amélioration de la structure-même de la base en ligne i-BD². Cette fiche présente la synthèse de cette expertise pour l'un de ces indicateurs.

La Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB) a coordonné l'analyse scientifique critique de 55 indicateurs du premier jeu de synthèse de la Stratégie Nationale de la Biodiversité (SNB). Les aspects scientifiques et techniques de chaque indicateur ont été examinés par des évaluateurs scientifiques qui se sont penchés sur les concepts qui sous-tendent la création de l'indicateur, les éléments utilisés pour estimer sa robustesse, sa fiabilité, sa précision, sa sensibilité. La qualité de l'évaluation scientifique a été assurée en mettant en œuvre une approche méthodologique standardisée (grille d'évaluation issue d'un travail scientifique collaboratif avec des experts internationaux), des évaluateurs qui ont travaillé de la même manière que des pairs évaluant une publication scientifique (anonymat, indépendance) ainsi qu'une forte transparence des processus et des résultats.