



HAL
open science

L'évolution des sciences du sol face à l'émergence de la notion de service écosystémique. Résultats d'une étude lexicométrique

Florence Hellec, Hélène Brives, Eric Blanchart, Christian Deverre, Patricia P. Garnier, Vincent Payet, Josephine Peigné, Sylvie Recous, Stéphane de Tourdonnet, Jean Francois Vian

► To cite this version:

Florence Hellec, Hélène Brives, Eric Blanchart, Christian Deverre, Patricia P. Garnier, et al.. L'évolution des sciences du sol face à l'émergence de la notion de service écosystémique. Résultats d'une étude lexicométrique. *Étude et Gestion des Sols*, 2015, 22 (1), pp.101-115. hal-02641717

HAL Id: hal-02641717

<https://hal.inrae.fr/hal-02641717v1>

Submitted on 28 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'évolution des sciences du sol face à l'émergence de la notion de service écosystémique

Résultats d'une étude lexicométrique

F. Hellec⁽¹⁾, H. Brives⁽²⁾, E. Blanchart⁽³⁾, C. Deverre⁽⁴⁾, P. Garnier⁽⁵⁾, V. Payet⁽²⁾, J Peigné⁽²⁾, S. Recou⁽⁶⁾, S. de Tourdonnet⁽⁷⁾ et J.F. Vian⁽²⁾

- 1) UR 0055 ASTER, F-88500 Mirecourt
- 2) ISARA-Lyon 23 Rue Jean Baldassini, F-69364 Lyon
- 3) Montpellier SupAgro-Cirad-INRA-IRD UMR 1222 Eco&Sols, F-34060 Montpellier
- 4) INRA - AgroParisTech UMR1048 SADAPT, F-75231 Paris cedex 05
- 5) INRA - AgroParisTech UMR 1402 EcoSys, F-78850 Thiverval-Grignon
- 6) INRA INRA UMR 0614 FARE, F-51100 Reims
- 7) Montpellier SupAgro-Cirad-INRA-IRD – UMR 0951 Innovation, F-34060 Montpellier

*: Auteur correspondant: hellec.sociologue@gmail.com

RÉSUMÉ

Depuis la publication du rapport du Millenium Ecosystem Assessment (2005), on observe une utilisation croissante de la notion de service écosystémique (SE) par les chercheurs des sciences de la nature. Or cette notion, qui est généralement associée à une évaluation économique des services rendus à la nature par l'homme, renouvelle les relations entre science et politique. Elle réinterroge la nature des connaissances scientifiques, celles-ci devant contribuer plus directement à la définition des politiques de protection de l'environnement. Dans cet article, nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux sols agricoles, pour étudier en quoi l'approche par service écosystémique conduit à modifier la production scientifique sur cet objet. Pour ce faire, nous avons réalisé une étude bibliographique approfondie à l'aide du logiciel de lexicométrie Iramuteq. Nous avons analysé plusieurs corpus d'articles scientifiques de sciences du sol publiés entre 1992 et 2012 et sélectionnés sous la base de données Web of Science, puis nous avons comparé les résultats de ces analyses. Nous avons ainsi mis en évidence une évolution forte des thématiques et des relations entre disciplines au sein des sciences du sol depuis les années 1990, avec principalement une montée des approches écologiques dans l'étude des sols agricoles. Nous avons également montré que les articles qui font référence à la notion de SE présentent des spécificités: (i) la modélisation n'apparaît pas comme une méthode centrale d'étude; (ii) les pratiques agricoles sont appréhendées sous l'angle de la préservation des sols plutôt que de leur exploitation à des fins de production; (iii) les approches biologiques et écologiques sont diversifiées et centrées davantage sur les communautés et les activités des organismes vivants. Par ailleurs, dans la littérature scientifique analysée, l'étude de processus écologiques et biogéochimiques donnés qui prennent place dans les sols agricoles est privilégiée mais elle n'est pas reliée de manière précise aux services qu'ils sont susceptibles de fournir. Par conséquent, pour l'heure, l'utilisation par les chercheurs en sciences du sol de la notion de SE n'entraîne pas de changements majeurs concernant la nature des connaissances qu'ils produisent sur les sols utilisés par l'agriculture.

Mots clés

Science du sol, agriculture, service écosystémique, bibliométrie.

SUMMARY

SOIL SCIENCES FACED WITH ECOSYSTEMIC SERVICE NOTION. The results of a lexicometric analysis

The use of the ecosystem service notion by natural scientists is increasing since the Millenium Ecosystem Assessment report publication in 2005. This notion is generally associated with an economic assessment of the services that nature brings to humans, and thus it implies new relationships between science and public policy. It also questions the nature of scientific knowledge, since this knowledge must contribute more directly to the building of environmental policies. This article is focused on agricultural soils; its aim is to study the ecosystem service approach impact on scientific production in soil science. A bibliographic study with the lexicometric software Iramuteq was made. Corpuses of scientific articles published from 1992 to 2012 were set up with the database Web of Science and they were analysed with Iramuteq. The results of the different corpus analysis were compared. So we observed that since the nineties, there have been important changes in research themes and relations between scientific disciplines within soil sciences. The main tendency in the study of agricultural soils is the expansion of ecological approaches. Articles which mention ecosystem service notion have distinctive characteristics: (i) modelling methods are not much used; (ii) farming practices studies focus on their effects on soil conservation rather than on soil productivity and food production; (iii) biological and ecological approaches are diversified and focused on micro- and macro-organisms communities and activities. Moreover, in the scientific literature we analyzed, ecological and biochemical processes that take place in agricultural soils are more and more precisely studied, but they are not linked with the provision of ecosystem services. As a conclusion, presently, the use of ecosystem service notion by researchers doesn't change the knowledge nature produced on agricultural soils.

Key-words

Soil science, agriculture, ecosystem service, bibliometrics.

RESUMEN

LA EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA DEL SUELO FRENTE A LA APARICIÓN DE LA NOCIÓN DE SERVICIO ECOSISTÉMICO.

Resultados de un estudio lexicométrico

Desde la publicación del informe del Millenium Ecosystem Assessment (2005), se observa un uso creciente de la noción de servicio ecosistémico (SE) por los investigadores de ciencia de la naturaleza. Sin embargo esta noción, que es generalmente asociada a una evaluación económica de los servicios prestados a la naturaleza por el Hombre, renueva las relaciones entre ciencia y política. Reexamina la naturaleza de los conocimientos científicos que deben contribuir más directamente a la definición de las políticas de protección del medio ambiente. En este artículo, nos interesamos particularmente a los suelos agrícolas, para estudiar en que el enfoque por servicio ecosistémico conduce modificar la producción científica sobre este objeto. Por eso, realizamos un estudio bibliográfico detallado con ayuda del programa de lexicometría Iramuteq. Analizamos varios corpus de artículos científicos de ciencia del suelo publicados entre 1992 y 2012 y seleccionados en la base de datos Web of Science, luego comparamos los resultados de estos análisis. Pusimos así en evidencia una fuerte evolución de las temáticas y de las relaciones entre disciplinas en seno de las ciencias del suelo desde los años 1990, con principalmente un aumento de los enfoques ecológicos en el estudio de los suelos agrícolas. Mostramos igualmente que los artículos que hacen referencia a la noción de SE presentan especificidades: (i) la modelización no aparece como un método central de estudio; (ii) se aprehende las prácticas agrícolas bajo ángulo de la preservación de suelos más que de su explotación con fines de producción; (iii) los enfoques biológicos y ecológicos son diversificados y centrados más en las comunidades y las actividades de los organismos vivos. Además, en la literatura científica analizada, el estudio de procesos ecológicos y bioquímicos dados que son presentes en los suelos agrícolas es privilegiado pero no está ligado de manera precisa a los servicios que están susceptibles ofrecer. Consecuentemente, por ahora, el uso por los investigadores en ciencias del suelo de la noción de SE no llevo cambios mayores en la naturaleza de los conocimientos que producen sobre los suelos utilizados por la agricultura ..

Palabras clave

Ciencia del suelo, agricultura, servicio ecosistémico, bibliometría

Si ses origines sont parfois rapportées à l'Antiquité (Serpantié *et al.*, 2012), la notion de service écosystémique a été cependant popularisée au cours des années 2000, suite à la publication du rapport du Millenium Ecosystem Assessment (MEA, 2005). Vaste concertation initiée par les Nations Unies, le MEA a rassemblé 1360 experts internationaux pour faire le point sur l'état des écosystèmes mondiaux. La notion de service écosystémique (SE) y a été définie comme les bienfaits que les hommes obtiennent des écosystèmes naturels², et a été associée à des évaluations économiques qui visent à calculer le coût pour l'homme de la perte des services délivrés en quelque sorte « gratuitement » par la nature, dans le sens où ils devraient être remplacés par des technologies coûteuses s'ils disparaissaient (Costanza *et al.*, 1997). Cette notion a donc été établie par des scientifiques dans une visée pragmatique (Maris, 2014), en vue de favoriser la contribution de la recherche à la préservation de l'environnement. De plus en plus utilisée dans la littérature scientifique (Jeanneaux *et al.*, 2012; Tancoigne, 2014), elle contribue à renouveler les rapports entre science et société, son ambition étant de faire le pont entre les modalités d'étude des entités naturelles et les mesures politiques à mettre en place pour les protéger.

Pour l'heure néanmoins, peu de travaux se sont penchés sur les effets de cette notion sur la sphère scientifique, alors même que sa « mise en politique », c'est-à-dire la définition de nouvelles politiques environnementales utilisant cette approche, aux échelles nationale et internationale, fait l'objet de nombreuses analyses³. Seul le champ de l'économie de l'environnement a été étudié pour montrer en quoi la notion de SE constitue une approche conceptuelle différente de celles développées précédemment (Méral, 2012).

Dans quelle mesure la notion de SE modifie-t-elle le travail des scientifiques? Conduit-elle à renouveler le type de connaissances produites, en les reliant davantage à l'action publique? Ce sont ces questions que nous traitons dans cet article, en nous concentrant plus particulièrement sur un champ de recherche spécifique: celui des sciences du sol appliquées à l'agriculture. Certes, le sol ne constitue pas un objet privilégié

aujourd'hui dans les politiques environnementales – lesquelles se sont davantage concentrées sur d'autres objets telles que les forêts, l'eau ou la biodiversité animale et végétale⁴. Toutefois, des évolutions du monde scientifique et du monde agricole ont conduit à modifier profondément le regard porté sur les sols agricoles, qui ne sont plus considérés comme de simples supports de la production agricole mais comme des entités naturelles aux fonctions multiples (stockage du carbone, épuration de l'eau...) et qui doivent être à ce titre préservées (Brevik, Hartemink, 2010). Dans le monde scientifique, la montée de préoccupations environnementales associée aux avancées technologiques qui ont soutenu l'essor du champ de l'écologie ont permis de mieux saisir le rôle des organismes vivants du sol (Cardona, 2012). Dans le monde agricole, le mouvement de l'agriculture de conservation des sols, qui s'est structuré en France à la fin des années 1990 autour des techniques de non-labour, a amené les acteurs agricoles à reconsidérer leurs sols et à s'intéresser davantage aux organismes qui les peuplent, dans la mesure où ceux-ci influencent le niveau de fertilité et la stabilité structurale (Goulet, 2008). L'émergence de l'agro-écologie, aux niveaux scientifique, social et politique, a contribué à remettre le sol au centre des préoccupations: il est le lieu de nombreux processus que l'on cherche à utiliser dans la perspective de refonder les systèmes techniques sur la valorisation des processus écologiques. Les sols agricoles constituent ainsi des objets privilégiés pour étudier l'établissement de compromis entre production de denrées alimentaires et préservation des ressources naturelles.

Pour saisir l'impact de la notion de service écosystémique sur les recherches en sciences du sol abordant des problématiques liées à l'agriculture, nous avons réalisé une étude bibliométrique de la production littéraire académique dans ce domaine. Cette étude s'est appuyée sur l'utilisation d'un logiciel d'analyse lexicométrique, Iramuteq, dont les résultats ont été interprétés par un collectif réunissant des chercheurs de sciences du sol⁵. La première partie de cet article expose la méthodologie en décrivant notamment les fonctionnalités du logiciel de lexicométrie auquel nous avons eu recours. La seconde partie de l'article présente les résultats de l'analyse bibliométrique, qui rendent compte des principales évolutions des recherches sur les sols agricoles et de la place qu'y prend la notion de service écosystémique.

2 Le rapport du MEA distingue quatre types de services écosystémiques contribuant au bien-être humain (MEA, 2005) qui sont aujourd'hui largement repris dans les publications scientifiques: les services d'approvisionnement (c'est-à-dire la production de biens nécessaires à la vie humaine tels que des aliments, énergie, fibres...), les services de régulation (climat, ressources en eau...), les services d'appui ou de soutien (formation des sols, stockage de carbone et d'azote, contrôle biologique des maladies et des ravageurs...) et les services culturels (esthétiques, spirituels...).

3 Les recherches menées sur la mise en politique des services écosystémiques concernent tant les pays occidentaux (USA, Royaume-Uni) que les pays du sud (Costa Rica, Madagascar...), les politiques étant définies soit par les gouvernements nationaux, soit par des organismes internationaux, soit par des ONG.

4 En Europe, des mesures ont été prises pour protéger les ressources en eau (directive-cadre sur l'eau) et la biodiversité (directive Habitat et réseau Natura 2000). A l'inverse, les négociations autour d'une directive-cadre sur le sol, qui avaient démarré en 2002, ont été définitivement arrêtées en 2014.

5 Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet COSAC (Construction et Circulation de Connaissances sur les Services écosystémiques des sols en Agriculture de Conservation) financé par le programme GESSOL du ministère en charge de l'environnement.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

En choisissant d'utiliser un logiciel d'analyse lexicométrique, notre ambition était de réaliser une étude bibliométrique approfondie, donnant à voir les fronts de recherche en sciences du sol et leur transformation au fil du temps. La lexicométrie est une méthodologie qui s'est développée depuis une vingtaine d'années pour réaliser des statistiques lexicales, c'est-à-dire des comptages d'occurrences de mots dans des textes pour répondre à divers objectifs. Dans cette étude, nous avons utilisé un logiciel libre, Iramuteq⁶, qui comprend notamment le module GNEPA reposant sur la méthode statistique Alceste (Reinert, 2000). Les données traitées sont des corpus de textes, c'est-à-dire des ensembles de textes qui sont similaires dans la forme mais relativement différents quant à leur contenu (par exemple des articles de presse, des entretiens sociologiques ou de psychologie clinique, des discours politiques...). Le module GNEPA permet de repérer au sein de ces corpus de textes des « mondes lexicaux », c'est-à-dire des ensembles de mots qui sont souvent associés dans le cœur des textes et qui renvoient à des thématiques dominantes. Cependant, et contrairement à d'autres types de logiciels d'analyse de textes, Iramuteq ne permet pas d'identifier des signaux faibles tels que l'apparition d'une nouvelle notion ou d'un nouveau vocable. Les autres modules d'analyse statistique compris dans Iramuteq sont des analyses factorielles de correspondance qui permettent d'identifier les mots les plus fortement associés à une variable prédéfinie, ainsi que des réseaux de mots qui permettent de visualiser les liens entre les différents mots utilisés dans le corpus en fonction de leur proximité au sein des textes étudiés.

L'analyse lexicométrique: détail des opérations réalisées par le logiciel

La figure 1 indique les différentes opérations réalisées par le module GNEPA d'Iramuteq. Une première étape consiste à distinguer, dans le corpus, les formes actives (mots correspondant à des noms, des verbes et des adjectifs) des formes supplémentaires (nombres, conjonctions de coordination, pronoms, etc.). Seules les formes actives seront retenues pour l'analyse, après lemmatisation, qui consiste à ramener les différentes versions d'un mot à sa racine: par exemple, quelle que soit la conjugaison d'un verbe, ce dernier sera comptabilisé comme une seule et même forme active. Il en va de même pour les noms et les adjectifs, une même forme sera prise en compte qu'ils soient singuliers ou pluriels, féminins ou masculins. Pour cette opération

de lemmatisation, le logiciel s'appuie sur un dictionnaire interne, que l'on peut compléter si besoin.

Dans un deuxième temps, le logiciel découpe le corpus en segments de textes comprenant douze formes actives, ce qui correspond peu ou prou à la longueur d'une phrase⁷. Puis, une matrice comprenant les segments en ligne et les formes actives en colonne permet de repérer les formes actives contenues dans chaque segment. Une classification hiérarchique descendante permet ensuite de regrouper les segments de textes comprenant un nombre suffisant de formes actives équivalentes, jusqu'à obtenir un certain nombre de classes distinctes sous forme d'un dendrogramme, qui donne à voir la distance plus ou moins importante entre ces classes. Les différentes classes sont ainsi constituées sur la base des segments classés (tous les segments ne sont pas nécessairement classés). Chaque classe est caractérisée par une liste de formes actives et complémentaires correspondant à celles qui sont les plus caractéristiques des segments associés à la classe. Deux indicateurs statistiques, le Chi2 et la probabilité critique p , permettent de repérer les formes qui sont les plus représentatives de chaque classe (Chi2 élevé et $p < 0,05$). Si des variables ont été introduites dans le corpus, elles peuvent être également associées à l'une ou l'autre classe. Le traitement informatique s'arrête à la constitution des classes, c'est ensuite à l'analyste de les interpréter.

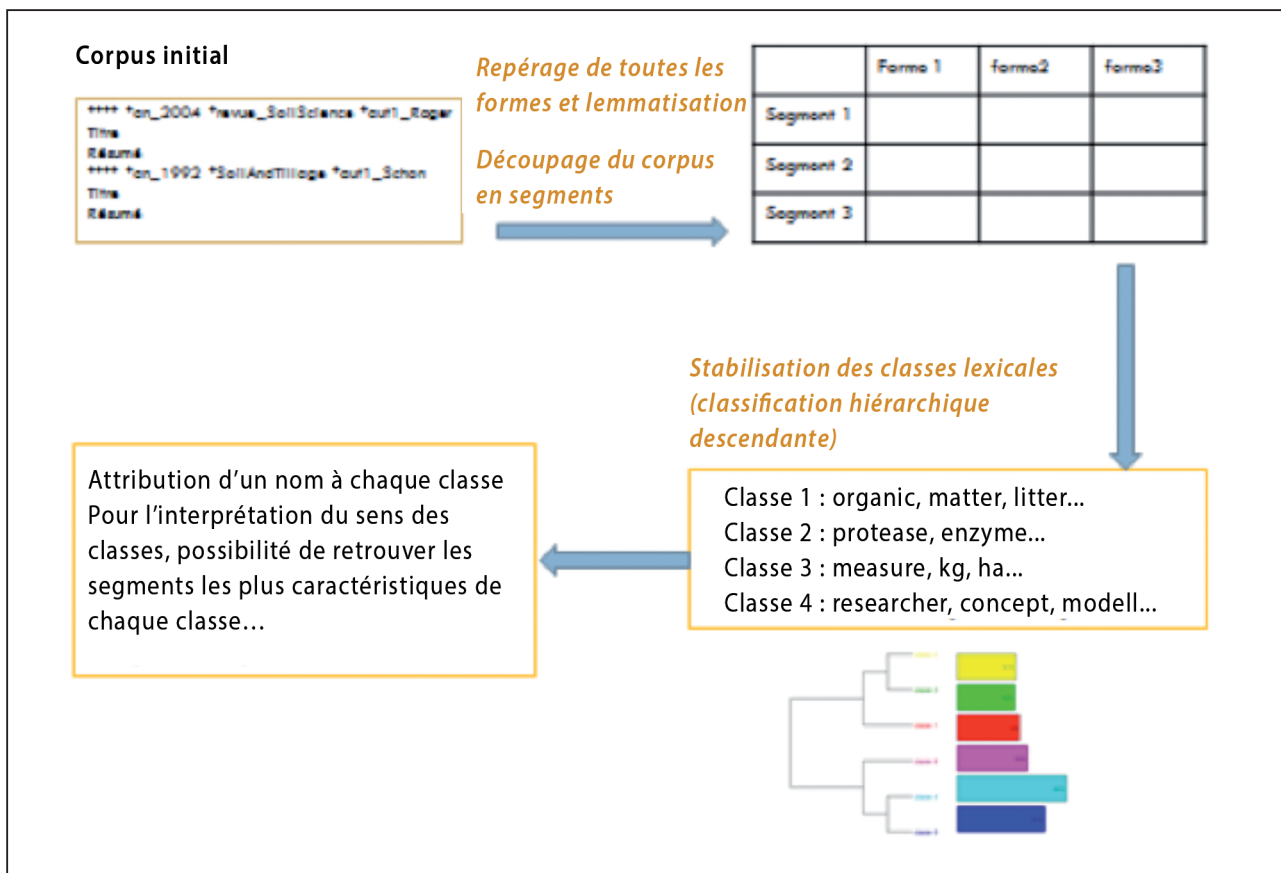
Les données analysées: des corpus d'articles scientifiques

La première étape de l'analyse textuelle informatisée a été de constituer des corpus de textes traitables par le logiciel Iramuteq, c'est-à-dire à la fois suffisamment homogènes et de taille importante, et qui permettent d'étudier l'activité scientifique de chercheurs en sciences du sol. Nous inspirant d'autres travaux utilisant la méthode Alceste pour analyser la production scientifique de domaines circonscrits de recherche (Bourdusseul, 2006; Dalut-Vincent, 2011), nous avons fait le choix de retenir, comme données textuelles, des résumés d'articles scientifiques accessibles sous des bases de données bibliographiques. L'originalité de notre démarche a été de constituer plusieurs corpus et de les mettre en comparaison pour étudier des contrastes et des évolutions; les autres recherches utilisant Alceste rendent toujours compte du traitement d'un seul corpus de textes.

Les textes étudiés, qui constituent nos données de base, sont des références bibliographiques (titres, résumés et auteurs d'articles scientifiques) extraites de la base de données Web of Science (WOS). Pour ce faire, nous avons réalisé différentes requêtes s'appuyant sur des catégories prédéfinies par le WOS.

⁶ Le logiciel Iramuteq (Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires) est un logiciel libre conçu par Pierre Ratinaud qui repose sur le logiciel de statistique R et le langage Python. Pour une présentation générale du logiciel Iramuteq, cf. <http://www.iramuteq.org/>

⁷ Il est possible de modifier la longueur des segments, qui constitue un paramètre du traitement GNEPA.

Figure 1 - Opérations réalisées par la fonctionnalité GNEPA d'Iramuteq.**Figure 1** - Operations made by the GNEPA modul of Iramuteq.

La requête principale a permis de sélectionner un ensemble de références bibliographiques de travaux en sciences du sol portant sur le domaine agricole, uniquement des articles de revues scientifiques publiés en anglais sur la période 1992-2012. Une seconde requête a permis de restreindre le premier ensemble, en ne sélectionnant que les références se référant à la notion de service écosystémique (dans le titre, le résumé ou les mots-clés). Voici les requêtes réalisées pour constituer nos différents corpus:

- Corpus SoilScienceGlobal: WOS category = Soil Science AND Research Area = Agriculture AND language = English AND document type = article, timespan from 1992 to 2012;
- Corpus SoilScienceSE: même requête que pour Corpus SoilScienceGlobal + Topic = "ecosystem* service*" OR "ecolo* function*" OR "ecosystem* function*" OR "environment* service*".

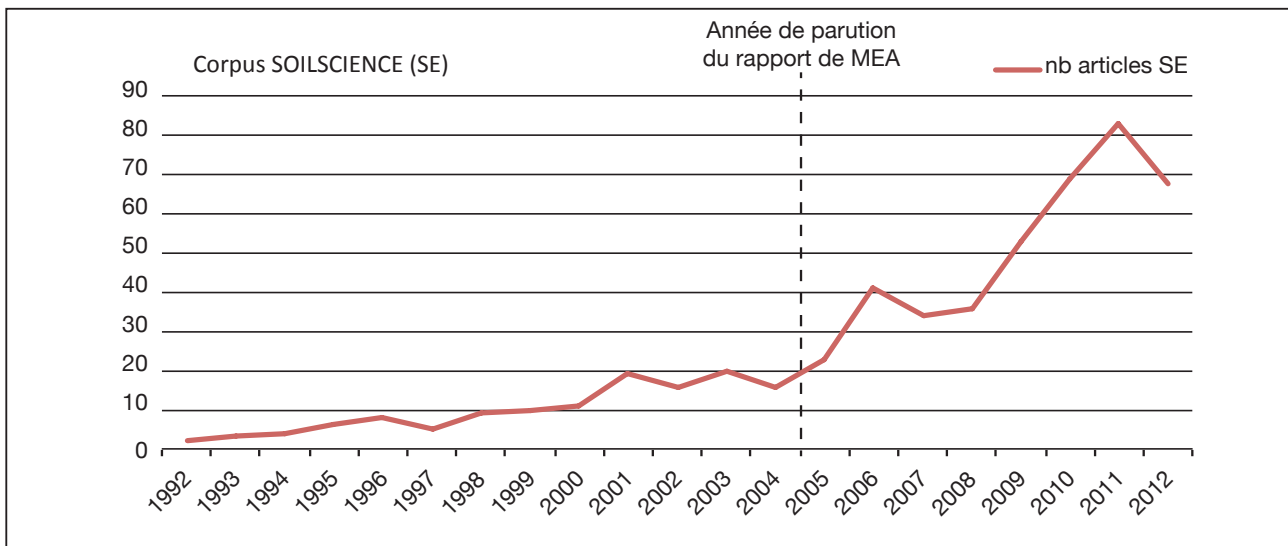
En constituant ces deux ensembles de corpus, notre objectif était de bien saisir les spécificités de la production scientifique sur les sols agricoles qui fait référence à la notion de SE par rapport à l'ensemble des recherches conduites sur cet objet.

Les mots-clés retenus pour cerner la présence de la notion de service écosystémique dans les références bibliographiques ont été tirés de l'étude scientométrique de Tancoigne *et al.* (2013). La période de temps retenue a été définie en fonction de l'apparition de la notion de service écosystémique (sous ses différentes formes lexicales). En effet, ce n'est qu'à partir de 1992 que cette notion est effectivement utilisée dans les sciences du sol. Nous avons choisi 2012 comme dernière année, dans la mesure où toutes les publications scientifiques de 2013 n'étaient pas encore parues lorsque nous avons réalisé nos traitements.

Dans un troisième temps, nous avons effectué un découpage temporel de chaque corpus. Il s'agissait de mettre en évidence les évolutions générales du champ disciplinaire des sciences du sol, et ainsi de préciser les caractéristiques des travaux se référant à la notion de service écosystémique au sein de ce champ au cours de la période considérée. Des études bibliométriques (Jeanneaux *et al.*, op. cit.; Tancoigne, op. cit.) ont souligné l'effet important de la parution du rapport du MEA (2005) sur la popularisation de la notion de SE dans la sphère scientifique. C'est pourquoi nous avons choisi de retenir la pé-

Tableau 1 - Nombre de références bibliographiques et de revues présentes dans chaque corpus.**Table 1** - Number of bibliographic references and journals in each corpus.

| | SoilScience Global | SoilScienceSE | SoilScienceGlobal 1992-1998 | SoilScienceGlobal 2006-2012 | SoilScienceSE 1992-1998 | SoilScienceSE 2006-2012 |
|--|-----------------------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Nombre de références bibliographiques | 60845 | 530 | 17123 | 24235 | 37 | 380 |
| Nombre de revues | 52 | 32 | 35 | 38 | 14 | 30 |

Graphique 1 - Répartition annuelle des articles du Corpus SoilScienceSE.**Graph 1** - Annual distribution of articles from Corpus SoilScienceSE.

riode 2006-2012, qui correspond à « l'après MEA ». La seconde période retenue, 1992-1998, comprend un même nombre d'années et est suffisamment éloignée de la première pour que la mise en comparaison des publications qui y ont eu lieu fasse ressortir de manière nette des évolutions éventuelles de la production scientifique.

Les requêtes que nous avons réalisées ne permettent pas d'accéder à l'ensemble de la production scientifique en sciences du sol portant sur des questions agricoles entre 1992 et 2012. Il ne s'agit là que d'un échantillon représentatif. D'une part, nous avons laissé de côté tout un pan de la littérature scientifique (communications, documents dans d'autres langues que l'anglais...). D'autre part, une partie des travaux de sciences du sol sont publiés dans des revues généralistes, non comptabilisées dans la catégorie Soil Science du WOS. Néanmoins, le corpus retenu est suffisamment représentatif des travaux de sciences du sol relatifs à l'agriculture, et de leur évolution sur une vingtaine d'années.

L'interprétation des classes lexicales

Une fois les corpus constitués, l'interprétation de leur analyse par le logiciel Iramuteq a été réalisée au cours de deux séances de travail collectives rassemblant deux chercheurs en sciences du sol et deux chercheurs en agronomie. L'interprétation des classes nécessite en effet une bonne connaissance préalable du domaine d'étude, que seuls des experts de celui-ci sont en mesure de détenir. Plus généralement, Monique Dalud-Vincent invite à la réflexivité du chercheur lorsqu'il mobilise des outils informatiques pour conduire l'analyse de textes (2011, p 9): « *il s'agit (...) de réfléchir à ce qu'on fait/ne fait pas quand on analyse des [données textuelles], de prendre du recul en voyant fonctionner une machine qui est basée sur des actions précises, des découpages... et qui ne peut véritablement interpréter le sens des énoncés qu'elle analyse.* »

Ainsi, lors des séances de travail collectif, une présentation des classes lexicales proposées par le logiciel, c'est-à-dire des ensembles de mots statistiquement proches dans les corpus analysés, a été faite aux chercheurs et ce pour chaque corpus d'articles scientifiques retenu. Sur la base de leur connaissance

des recherches en sciences du sol, ces derniers ont validé la cohérence des différentes classes et ils ont qualifié ces dernières en les nommant avec un titre significatif. L'interprétation des classes caractérisant chacun des corpus a également permis de comparer ces corpus entre eux et ainsi de mettre en évidence des évolutions marquantes du champ de recherches en sciences du sol.

RÉSULTATS

Sciences du sol et services écosystémiques: une forte augmentation de la publication scientifique à partir de 2005

Les fonctionnalités offertes par la base de données Web of Science ont conduit à distinguer les principales caractéristiques des articles scientifiques que nous avons étudiés. Le *tableau 1* présente le nombre de références bibliographiques dans chacun des corpus constitués.

Le Corpus SoilScienceSE représente donc moins de 1 % du Corpus SoilScienceGlobal. Les dix revues qui regroupent près de 80 % des articles du Corpus SoilScienceSE sont les suivantes: Soil Biology and Biochemistry; Plant and Soil; Applied Soil Ecology; Geoderma; Soil Science Society of America Journal; Eurasian Soil Science; Pedobiologia; Biology and Fertility of Soils; European Journal of Soil Biology, Land Degradation Development. Par ailleurs, on observe qu'il y a 20 revues dans lesquelles la notion de service écosystémique n'est pas utilisée. Cela s'explique en partie par le fait que, parmi les revues présentes dans le corpus SoilScienceGlobal, 12 ont disparu avant

2005, date du rapport du MEA. Or c'est bien à partir de cette date que le nombre d'articles qui utilisent la notion de service écosystémique augmente très fortement, comme on peut le voir sur le graphique 1. Le rythme d'augmentation du nombre d'articles dans le corpus SoilScienceSE à partir de 2005 est plus élevé que pour le corpus SoilScienceGlobal sur la même période. Compte-tenu du très faible nombre d'articles de sciences du sol utilisant la notion de service écosystémique avant 2005, nous avons finalement choisi d'étudier le corpus SoilScienceSE uniquement sur la période 2006-2012.

Si l'on s'intéresse à l'origine géographique des auteurs (*cf. graphique 2*), on observe que près d'un tiers des articles faisant appel à la notion de SE ont parmi leurs rédacteurs des chercheurs affiliés à des organismes de recherche américains. Or pour l'ensemble du corpus SoilScience, les scientifiques américains ne représentent qu'un quart des auteurs des articles, ce qui signifie que la notion de SE est davantage utilisée dans les travaux de recherche académique conduits aux USA. De fait, comme le montre Pesche (2013), les scientifiques américains ont joué un rôle central dans le processus de concertation du Millenium Ecosystem Assessment, favorisant ainsi la diffusion de cette notion.

Concernant les autres pays, les auteurs affiliés à des organismes scientifiques français, anglais et chinois ont signé respectivement 10 % des articles de SoilScienceSE, tandis que les auteurs allemands ont signé près de 12 % des articles de ce même corpus. Ces différents pays sont plus présents dans SoilScienceSE qu'ils ne l'étaient dans SoilScienceGlobal, ce qui indique une plus grande appropriation de la notion de service écosystémique par les chercheurs qui y travaillent. Il en va de même pour les Pays-Bas, l'Ecosse, la Nouvelle-Zélande, la Suède et la Suisse. A l'inverse, cette notion semble peu utilisée en Australie,

Graphique 2 - Affiliations géographiques des auteurs des articles des Corpus SoilScienceGlobal et SoilScienceSE.

Graph 2 - Geographic affiliation of the article authors of Corpus SoilScienceGlobal and SoilScienceSE.

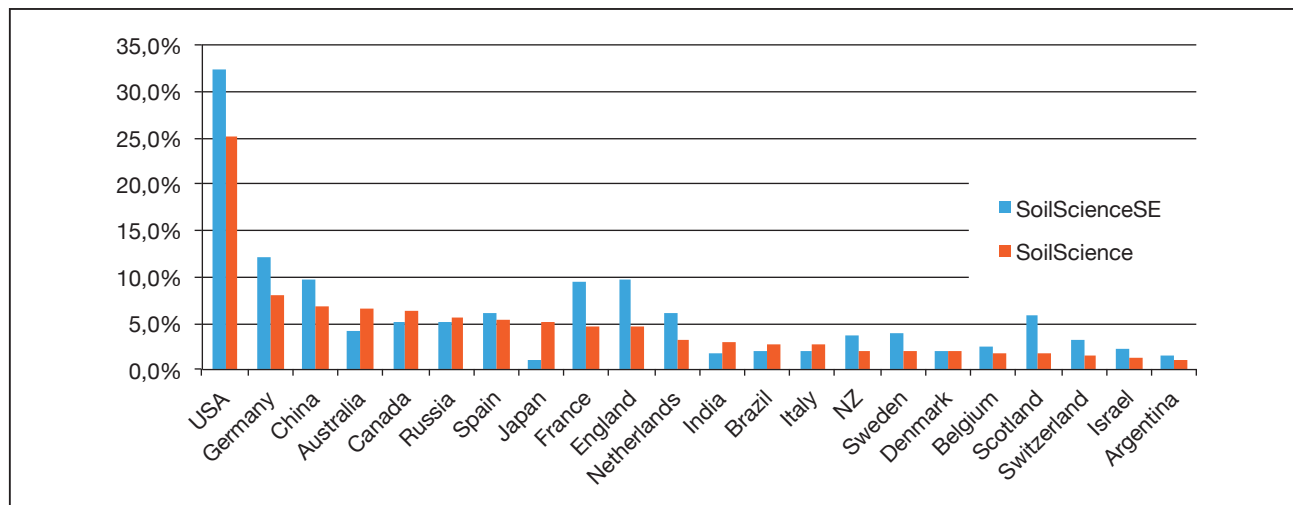
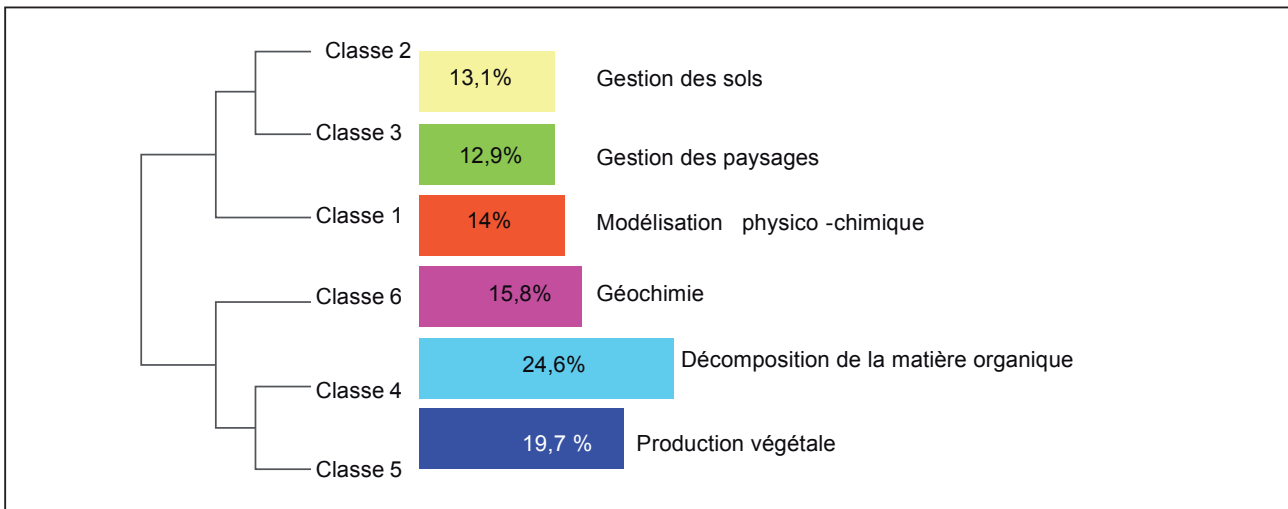


Figure 2 - Dendrogramme du corpus SoilScienceGlobal.**Figure 2** - Dendrogram of corpus SoilScienceGlobal.

en Inde et surtout au Japon. Il convient toutefois de préciser ici que notre corpus n'intègre pas l'ensemble de la production scientifique en sciences du sol portant sur l'agriculture, mais uniquement un échantillon – certes suffisamment représentatif – de la littérature scientifique académique de langue anglaise. Par exemple, certains pays d'Amérique du sud ont commencé très tôt à convoquer l'approche par service écosystémique dans les politiques environnementales (ex de la protection de la forêt au Costa Rica, cf. Le Coq *et al.*, 2012). Mais on peut supposer qu'il existe un grand nombre de documents écrits par des scientifiques dans leur langue natale qui utilisent cette notion qui ne sont pas inclus dans nos corpus.

Étude des sols agricoles: les principaux fronts de recherche

L'analyse lexicométrique du corpus SoilScienceGlobal fait apparaître six classes qui renvoient à différents sous-champs disciplinaires des sciences du sol (*tableau 2*). La classe 4 rassemble un quart des segments de texte, tandis que les autres comprennent entre 13 et 19 % des segments. La première classe, qui a été nommée « modélisation physico-chimique », correspond à la formalisation de modèles conçus à partir d'expériences en laboratoire. Elle regroupe uniquement des travaux de physique et de chimie du sol, et exclut toute approche biologique et toute étude en plein champ.

Les classes 2 et 3 sont assez proches dans le dendrogramme (*figure 2*) et de fait, elles couvrent des thématiques proches, relatives aux actions menées par l'homme pour conserver les sols, améliorer sa qualité et limiter des dégradations telles que l'érosion. Ce qui distingue ces deux classes sont les échelles d'analyse. La classe 2, nommée « gestion de sols », se situe au niveau

de la parcelle agricole et vise à analyser l'effet des pratiques culturales sur la qualité du sol. La classe 3, qui a été nommée « gestion des paysages », étudie l'impact des pratiques agricoles sur les sols à l'échelle des paysages et s'intéresse donc en priorité aux phénomènes d'érosion et de glissement des sols. La classe 4, la plus importante, regroupe des mots désignant l'activité biologique de décomposition de la matière organique, d'où son titre: « décomposition de la matière organique ». Elle renvoie à des processus biologiques tels que la minéralisation, la nitrification ou la respiration. Cette classe ne traite pas spécifiquement de biologie ou d'écologie des sols, puisqu'aucun des mots associés ne désigne les espèces animales ou végétales associées à ces fonctions. La classe 5 concerne l'optimisation de la conduite des cultures pour améliorer la production; c'est la classe qui représente les approches agronomiques « classiques », elle est nommée « production végétale ».

Enfin, la classe 6, désignée par le titre « géochimie », regroupe des mots correspondant à des éléments minéraux et regroupe également les travaux portant sur la pollution des sols par les éléments traces.

Deux résultats du traitement lexicométrique du corpus SoilScienceGlobal doivent être plus particulièrement soulignés. Tout d'abord, l'écologie du sol ne ressort pas comme une classe à part entière dans cette analyse, contrairement à ce que nous observerons dans l'analyse des autres corpus analysés. Le thème de la pollution des sols liée à l'activité agricole n'apparaît pas non plus comme discriminant entre les classes. Dans la classe 6 qui porte, entre autres, sur les sols contaminés par les éléments traces, le lexique associé à ce thème (comme la contamination azotée ou le lessivage des nitrates, soit « nitrogen contamination » et « nitrate leaching ») est présent mais il ne figure pas parmi les termes les plus associés à cette classe. Le

Tableau 2 - Présentation des principaux résultats de l'analyse lexicométrique du corpus SoilScienceGlobal.**Table 2** - Main results of lexicometric analysis of corpus SoilScienceGlobal.

| | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | Classe 5 | Classe 6 |
|--|---|---|--|---|---|--|
| Nom de la classe | Modélisation physico-chimique - Modelling of soil physics and chemistry | Gestion des sols - Soil management and conservation | Gestion des paysages - Landscape management | Décomposition de la matière organique - Organic matter decomposition | Production végétale - Crop production | Géochimie - Geochemistry |
| Poids de la classe | 14 % | 13,1 % | 12,9 % | 24,6 % | 19,7 % | 15,8 % |
| Formes spécifiques (Chi2) | Model (35441), datum (17227), equation (13860), method (13772), parameter (11084), measurement (10800), fit (9895), regression (9663) | Management (21088), practice (11141), land (10720), conservation (9706), environmental (8903), agricultural (8713), research (7945), information (7851) | Erosion (11566), area (11516), vegetation (9440), sediment (9210), slope (9076), region (8847), forest (8121), river (7767), | Biomass (12731), microbial (12288), CO2 (9947), mineralization (9513), litter (7866), incubation (7717), day (7584), respiration (7319), | Yield (29065), ha (27709), crop (23399), fertilizer (18228), wheat (18014), kg (16888), grain (12543), application (10381), | Fe (26584), Zn (25219), Al (21433), Cu (21092), acid (18832), pH (17421), solution (16289), Ca (16194), Cd (15660), |
| Formes lexicales significativement absentes (Chi2) | Increase (-3296), plant (-2921), treatment (-2250), crop (-2084), kg (-1983), high (-1779), ha (-1762), fertilizer (-1706), | Concentration (-2592), kg (-2398), high (-2396), increase (-2067), mg (-2025), treatment (-1843), decrease (-1537), low (-1530) | Increase (-2241), treatment (-2094), kg (-1982), concentration (-1819), plant (-1795), application (-1645), mg (-1605), fertilizer (-1575) | Model (-3989), yield (-3401), crop (-3016), datum (-2778), erosion (-2033), Fe (-2018), Zn (-1869), Al (-1783), method (-1761) | Model (-3402), soil (-2467), datum (-2080), process (-1593), forest (-1591), organic (-1513), Fe (-1480), carbon (-1468) | Crop (-2581), model (-2417), year (-2159), management (-1750), field (-1622), datum (-1604), tillage (-1591), yield (-1519)) |
| Reuves significativement présentes (Chi2) | Vadose (9834), SoilSc Society of America J. (4736), Geoderma (2253), Clays&Clay (1442), Europ. J. of Soil SC (1390) | J of Soil & Water Conserv. (4620), Land Degrad & Rehabil. (3917), Soil & Tillage Res. (1194), J of Soil & Sediments (979) | Catena (19035), Eurasian SoilSc (6131), Geoderma (1575), Land Degrad. & Development (1428) | Soil Biol & Biochem (14437), Biol & Fertility of Soils (4392), Plant & Soil (2784), Compost Sc & Utiliz (1322), Applied Soil Ecology (1139) | Soil & Till. R. (3769), Nutrient Cycling. Agroecosyst (2953), Acta Agri Scand. (2316), Comm SoilSc & Plant Analysis (1382) | Comm Soil Sc & Plant Analys (4959), SoilSc & Plant Nutrition (2290), Clays & Clay (1370), Plant & Soil (737) |

terme de pollution apparaît uniquement dans les classes 2 et 3 relatives à la gestion des sols, mais là encore, il est faiblement associé à ces classes. Ce terme est absent de la classe 5. On observe donc une distance entre les approches centrées sur la production (la classe 5) qui ne prennent pas en compte les risques de pollution sur les sols des pratiques culturales, et les approches centrées sur la gestion des sols (classes 2 et 3) qui ne se préoccupent pas de production alimentaire mais intègrent les considérations environnementales.

Évolution de la publication scientifique sur les sols agricoles au cours des vingt dernières années

Corpus SoilScienceGlobal 1992-1998

Le traitement lexicométrique du Corpus SoilScienceGlobal limité à la période 1992-1998 fait ressortir des classes relativement équilibrées en taille mais différentes de celles identifiées pour le Corpus couvrant l'ensemble de la période 1992-

Tableau 3 - Présentation des principaux résultats de l'analyse lexicométrique du corpus SoilScienceGlobal 1992-1998.**Table 3** - Main results of lexicometric analysis of corpus SoilScienceGlobal 1992-1998.

| | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | Classe 5 |
|---------------------------|---|--|--|--|---|
| Nom de la classe | physics and transport modelling (physique des sols et modélisation des flux hydriques) | Ecophysiology des plantes Plant ecophysiology | Landscape management (gestion des paysages) | Crop production (production végétale) | Geochemistry (géochimie) |
| Poids de la classe | 21,8 % | 18,6 % | 15,3 % | 22,1% | 22,2% |
| Formes spécifiques (Chi2) | Model (4215), hydraulic (3020), water (2789), conductivity (2486), measurement (2345), pore (2097), flow (2052), aggregate (1866), measure (1706), datum (1703) | Leaf (50100), shoot (4409), plant (3951), concentration (3257), growth (3214), root (3200) increase (3022), high (2032), decrease (1960), day (1953) | Land (3348), landscape (2524), area (2308), erosion (2305), map (1993), region (1480), agricultural (1473), process (1310), classification (1253), survey (1227) | Crop (10939), yield (6088), ha (5510), fertilizer (5190), tillage (4879), wheat (4770), year (3790), corn (2772), kg (2696), spring (2624) | Al (4462), pH (3918), adsorption (3780), Fe (3580), cation (3368), acid (3291), extract (3178), solution (3098), exchange (2746), sorption (2689) |

Tableau 4 - Présentation des principaux résultats de l'analyse lexicométrique du corpus SoilScienceGlobal 2006-2012.**Table 4** - Main results of lexicometric analysis of corpus SoilScienceGlobal 2006-2012.

| | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | Classe 5 |
|---------------------------|---|---|---|--|---|
| Nom de la classe | Modelling (modélisation) | Landscape management (gestion des paysages) | Organic matter decomposition (décomposition de la matière organique) | Rhizospheric symbiosis and plant nutrition (symbioses rhizosphériques et nutrition des plantes) | Crop production (production végétale) |
| Poids de la classe | 15,9 % | 16,8 % | 22,9 % | 18,2 % | 26,3 % |
| Formes spécifiques (Chi2) | Model (20073), datum (10732), method (7004), prediction (5653), equation (4585), regression (4492), estimate (4221), error (4048), fit (3758), predict (3644) | Erosion (6994), area (5596), land (5139), region (4786), sediment (4704), vegetation (3766), river (3741), slope (3380), landscape (3248), China (3192) | Microbial (12267), activity (5661), biomass (5004), organic (4458), respiration (4038), litter (3741), decomposition (3673), mineralization (2967), incubation (2883), community (2479) | Plant (12704), growth (10565), root (8105), specie (6599), mycorrhiza (5068), fungus (4392), inoculation (3427), leaf (3249), stress (3120), arbuscular (3067) | Ha (10721), crop (10643), fertilizer (9478), application (7538), yield (7452), manure (6571), kg (6230), wheat (5804), tillage (4284), treatment (3920) |

2012 (tableau 3). Les classes 2 et 4, qui sont assez proches, renvoient aux approches de nature biologique. La classe 2, nommée « écophysologie des plantes », regroupe des termes qui évoquent la croissance des plantes en lien avec la nutrition (comme en témoignent la présence des termes de weight (poids), increase (augmenter), decrease (baisser)...), tout en laissant de côté les pratiques culturales. Celles-ci sont au contraire très présentes dans la classe 4, à travers les termes tels que rendement, fertilisation ou encore labour; il s'agit de la classe « production végétale ».

On retrouve dans les classes 3 et 5 une partie importante des mots qui étaient présents respectivement dans les classes 3 et 6 du corpus SoilScienceGlobal; la classe 3 reprend donc le titre de « gestion des paysages » (landscape management) et la classe 5 celui de « géochimie ». La classe 1, quant à elle, associe des termes correspondant à la physique des sols et à la circulation de l'eau dans les sols, elle est nommée « physique du sol et modélisation des flux hydriques ».

Corpus SoilScienceGlobal 2006-2012

Concernant l'analyse du corpus SoilScienceGlobal limité à la période plus récente 2006-2012 (*tableau 4*), plusieurs classes sont proches de celles qui avaient été identifiées dans le corpus SoilScienceGlobal et en reprennent donc les qualificatifs: la classe 1 nommée « modélisation », la classe 2 nommée « gestion des paysages (landscape management) » et la classe 5 nommée « production végétale » (*tableau 4*). Les classes 3 et 4, assez voisines mais qui se distinguent quant aux échelles d'étude considérées, font apparaître de nouvelles approches relatives au champ de l'écologie. La classe 3 regroupe des mots correspondant aux microorganismes et aux processus de décomposition des matières organiques auxquels ils contribuent, elle est désignée par l'expression « décomposition de la matière organique ». La classe 4 comprend des mots associés aux racines et aux mycorhizes, ainsi qu'à la croissance des plantes qui résulte de l'absorption des nutriments dans le sol: elle a été appelée « symbioses rhizosphériques et nutrition des plantes ».

Comparaison corpus SoilScienceGlobal sur les périodes 1992-1998 et 2006-2012

La comparaison des articles scientifiques de sciences du sol entre les périodes 1992-1998 et 2006-2012 fait apparaître plusieurs évolutions. Seule la classe « gestion des paysages » se maintient entre les deux périodes de temps considérées, constituant toujours un front de recherche important. À l'inverse, on observe une disparition de la classe « physique du sol », présente dans la décennie 90. Ceci résulte d'une réorientation de la recherche, vers des approches prenant davantage en compte les éléments minéraux et organiques circulant dans le sol. En particulier, les physiciens du sol ont ainsi dû changer d'objets d'étude pour répondre aux appels à projets, leurs thèmes de recherche étant considérés comme trop spécialisés.

La classe « géochimie » disparaît également entre les deux périodes. Cela ne signifie pas que les travaux portant sur la pollution des sols par les éléments traces sont moins nombreux, mais qu'ils sont désormais publiés dans d'autres revues que celles de sciences du sol, à savoir des revues des sciences de l'environnement. C'est ce que nous avons observé en réalisant différentes requêtes par mots-clés dans le Web of Science: sur les 1178 articles scientifiques en anglais, publiés entre 1992 et 2012 et contenant le mot-clé « soil pollution » qui sont recensés dans le WOS, 640 sont publiés dans des revues de sciences de l'environnement et 186 dans des revues de sciences du sol (sachant que seuls 5 articles sont classés conjointement dans ces deux catégories). On obtient le même type de résultats avec des recherches comprenant les mots-clés « soil AND heavy metals » ou « soil pollution AND heavy metals ».

Si certaines approches disciplinaires semblent en retrait, ou se sont déplacées dans d'autres domaines scientifiques, d'autres au contraire montent en puissance entre les deux pé-

riodes de temps considérées. Ainsi, la modélisation (notamment des propriétés physiques) est de plus en plus utilisée, et constitue une classe à part entière dans le corpus SoilScienceGlobal 2006-2012. Dans le même temps, les travaux en écologie des sols sont plus nombreux et se diversifient, d'où la présence de deux classes distinctes sur la période 2006-2012, qui renvoient à des échelles et des objets d'analyse sensiblement différents. Ces deux classes correspondent à des évolutions dans les travaux en agronomie et en écophysiologie des plantes. Ainsi, en agronomie, les recherches consacrées à la production végétale et centrées sur des questions de rendement se maintiennent. Parallèlement, d'autres travaux se développent autour de la matière organique et de sa décomposition dans le sol, afin de mieux cerner ses effets sur la fertilité du sol dans une perspective de réduction des engrais. La nutrition des plantes via le sol, qui était abordée par les travaux en écophysiologie des plantes dans les années 1990, est désormais étudiée à travers le rôle des racines et de la rhizosphère (*cf. tableau 4*, classe 4 du corpus 2006-2012).

L'étude des services écosystémiques en sciences du sol

Nous allons maintenant nous intéresser au dernier corpus, celui qui est constitué par le sous-ensemble des articles comportant la notion de service écosystémique sur la période 2006-2012 et qui représente 72 % des articles de SoilScienceSE. Nous avons laissé de côté la période 1992-1998 qui ne comprend que 37 articles et apparaît donc trop petite pour effectuer une analyse pertinente.

L'analyse lexicométrique du corpus SoilScienceSE conduit à l'établissement de 5 classes de tailles très inégales (*figure 3* et *tableau 5*): la classe 4, la plus petite, regroupe 7 % des segments de texte tandis que la classe 1, la plus grande, en comprend près d'un tiers. Parmi ces classes, trois relèvent directement de l'écologie: « activité microbienne des sols » (classe 2), « écologie fonctionnelle des sols » (classe 3) et « décomposition des résidus végétaux et des litières » (classe 4). La première classe correspond au thème de la gestion des sols, déjà identifié dans les autres corpus étudiés. La cinquième et dernière classe s'est révélée ininterprétable, du fait d'une confusion de sens pour la forme la plus significativement associée, « mg », qui est l'abréviation de deux mots différents: milligramme et magnésium. Sa principale caractéristique est qu'elle renvoie à de la quantification.

Pour saisir plus précisément la signification des classes identifiées, nous avons étudié les quarante premiers termes les plus associés à chacune d'entre elles. Les classes 2, 3 et 4 proposent ainsi des approches différentes pour appréhender et étudier les organismes qui peuplent le sol. Dans la classe 2, on se situe à l'échelle microscopique, puisqu'il est question de microorganismes du sol (« bacterial », « microbial », c'est-à-dire bactérien et microbien), en particulier ceux qui sont associés aux racines pour constituer la rhizosphère et ainsi permettre la

Figure 3 - Dendrogramme du Corpus SoilScienceSE 2006-2012.

Figure 3 - Dendrogram of Corpus SoilScienceSE 2006-2012.

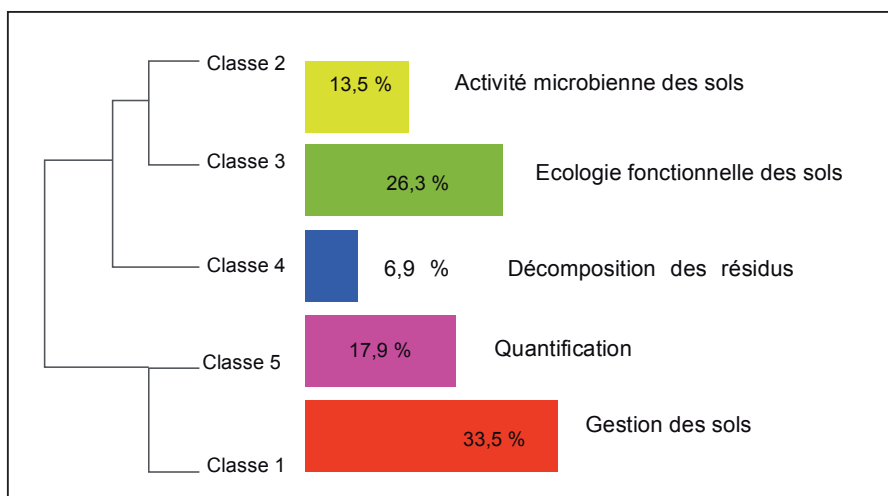


Tableau 5 - présentation des principaux résultats de l'analyse lexicométrique du corpus SoilScienceSE 2006-2012.

Table 5 - Main results of lexicometric analysis of corpus SoilScienceSE 2006-2012.

| | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | Classe 5 |
|--|---|---|--|--|---|
| Nom de la classe | Soil management (gestion des sols) | Soil microbial activity (activité microbienne des sols) | Soil functional ecology (écologie fonctionnelle des sols) | Litter decomposition (décomposition des litières) | Quantification (quantification) |
| Poids de la classe | 33,6 % | 13,5 % | 26,3 % | 6,9 % | 19,8 % |
| Formes spécifiques (Chi2) | Land (176), management (163), service (155), ecosystem (155), understand (116), function (88), conservation (87), research (77), ecological (76), area (74) | Bacterial (266), microbial (222), community (221), rhizosphere (123), plfa (114), structure (109), activity (104), profile (103), analysis (101), stress (87) | Plant (245), richness (132), specie (98), biomass (93), abundance (91), legume (60), increase (54), nematode (54), effect (54), drought (53) | Litter (807), decomposition (494), mixture (492), additive (326), leaf (316), mix (274), decompose (230), mass (207), species (165), synergistic (149) | Mg (203), kg (188), cm (151), Ca (97), pH (80), concentration (79), Tn (78), Mu (78), depth (77), ha (77) |
| Formes lexicales significativement absentes (Chi2) | Litter (-111), biomass (-77), specie (-66), high (-66), plant (-59), total (-58), treatment (-53), decomposition (-53), community (-53), low (-51) | Ecosystem (-18), service (-12), conservation (-12), loss (-11), Mg (-10), arid (-10), cm (-10), land (-10), input (-9), richness (-8) | Land (-38), management (-29), kg (-21), ha (-20), Mg (-19), service (-18), conservation (-16), develop (-16), method (-15), area (-15) | Soil (-87), microbial (-21), function (-18), activity (-15), land (-13), water (-13), community (-11), ecosystem (-11), change (-10), organic (-9) | Community (-99), ecosystem (-81), plant (-64), effect (-54), specie (-54), diversity (-52), function (-48), structure (-47), process (-44), bacterial (-32) |
| Revue significativement présentes (Chi2) | Land Degrad & Develop (168), Catena (61), J. of Soil & Water conserve (56), SoilSc Society of America J. (30), Vadose (28) | Soil Biol. & Biochem. (52), SoilSc and Plant Nutrition (15) | Soil Biol & Biochem (48), Plant & Soil (48), Pedobiologia (25) | Plant & Soil (66), Compost Sc & Utiliz (34) | Soil Research (27), J of Plant Nutrition & SoilSc (24), Geoderma (19) |

nutrition des plantes. On trouve également des termes renvoyant à l'étude des communautés microbiennes et de leurs activités (« phospholipid », « enzym », c'est-à-dire phospholipides et enzymes, ainsi que « acid » et « fatty » qui sont souvent associés pour signifier acide gras). La classe 3 regroupe quant à elle des termes liés à la faune du sol (« nematod », « collembola », « earthworms », c'est-à-dire les nématodes, les collemboles et les vers de terre) et d'autres correspondant aux cultures (« plant », « legume », « grass », « root », c'est-à-dire les plantes, les légumineuses, l'herbe et les racines). Elle s'intéresse donc à la microfaune et à la macrofaune du sol et à leurs interactions avec le sol et les cultures qui y sont implantées. Quant à la classe 4, comme nous l'avons indiqué, elle est centrée sur les processus de décomposition des végétaux qui prennent place dans le sol.

Dans ces trois classes, les termes de « service » ou de « ecosystem » sont faiblement associés. À l'inverse, ces deux termes sont fortement associés à la classe 1. Sachant que les classes regroupent des segments de textes, et non des résumés d'articles complets, cela signifie que les passages qui évoquent la notion de service écosystémique sont très différents des autres parties des résumés, davantage centrés sur le fonctionnement écologique des sols agricoles. Si on regarde les autres termes associés à la classe 1, on recense plusieurs verbes ou noms correspondant à l'action humaine (« understand », « management », « practice », « evaluation », « assessment »). La notion de service écosystémique est donc mentionnée dans les passages de résumés d'articles qui font directement référence aux modalités de gestion des sols par l'homme.

Comparaison corpus SoilScienceGlobal et SoilScienceSE sur la période 2006-2012

Les articles qui emploient la notion de service écosystémique présentent des spécificités qui ne se confondent pas directement avec les évolutions générales du champ des sciences du sol. Tout d'abord, les classes modélisation et production végétale ne sont pas présentes dans le corpus SoilScienceSE. Les recherches qui se réfèrent à la notion de SE utilisent moins la modélisation que l'ensemble des travaux de sciences du sol sur la période considérée. De plus, la question de la production et du rendement est également moins prégnante, les pratiques agricoles étudiées sont appréhendées à travers leurs effets sur les autres services délivrés par les sols (classe « soil management »).

Par ailleurs, sur la période 2006-2012, les approches écologiques dominent tant dans l'ensemble des travaux de sciences du sol que dans ceux qui s'intéressent plus particulièrement aux services écosystémiques. Cependant, ces derniers étudient davantage les activités biologiques qui sont liées à des services écosystémiques. Les différents fronts de recher-

che abordés par les travaux portant sur les SE des sols agricoles se distinguent donc de ceux qui caractérisent l'ensemble des travaux de sciences du sol traitant de problématiques agricoles. Certains questionnements sont absents, d'autres apparaissent plus précis, notamment dans le domaine de l'écologie.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

L'analyse lexicométrique menée à l'aide du logiciel Iramuteq a constitué une méthode adaptée et pertinente pour rendre compte de différentes évolutions du champ des sciences du sol sur les vingt dernières années, et plus particulièrement de celles concomitantes avec la montée en puissance de la notion de services écosystémiques. Les principales évolutions qui ressortent sont la disparition de la physique du sol et de l'écophysiologie des plantes en tant que sous-champs disciplinaires des sciences du sol et la montée en puissance de l'écologie. Cette dernière discipline développe des approches diversifiées pour décrire les organismes du sol, leurs relations entre eux, leurs interactions avec les éléments organiques et minéraux qui se situent dans le sol ainsi qu'avec les cultures qui y sont implantées. Elle permet donc de saisir plus généralement les processus biologiques qui y prennent place. Dans le même temps, la géochimie a partiellement quitté le giron des sciences du sol pour se développer dans un autre champ scientifique, celui des sciences de l'environnement. Enfin, les méthodes basées sur la modélisation sont de plus en plus utilisées par les spécialistes du sol, et de plus en plus sophistiquées.

Comment se situent les travaux faisant référence à la notion de service écosystémique au sein de la littérature académique de sciences du sol qui étudie les sols agricoles? On observe que la notion de SE fait l'objet d'une faible appropriation par les chercheurs de sciences du sol jusqu'à l'heure actuelle puisque moins de 1 % des articles académiques de sciences du sol portant sur le domaine agricole et publiés entre 1992 et 2012 l'utilisent. Si le nombre de publications où apparaît cette notion augmente fortement après 2005, date de publication du MEA, il reste toutefois faible au regard de l'ensemble de la production scientifique. Les articles qui se réfèrent aux services écosystémiques présentent toutefois certaines spécificités: la modélisation n'apparaît pas comme une méthode centrale d'étude; les pratiques agricoles sont appréhendées sous l'angle de la préservation des sols plutôt que de leur exploitation à des fins de production; les approches biologiques et écologiques sont diversifiées et centrées davantage sur les communautés et les activités des organismes vivants. Le faible recours aux approches modélisatrices par les écologues des sols avait déjà été constaté par Barot *et al.* (2007). D'après ces auteurs, cela s'expliquerait par deux raisons: l'histoire de la sous-discipline, qui reste fortement liée aux questionnements scientifiques issus de l'agronomie, de la chimie et de la physique des sols,

d'une part, les logiques de publication, qui favorisent le repli des chercheurs sur les revues de leur sous-discipline, quitte à méconnaître les travaux réalisés par leurs collègues écologues travaillant sur d'autres objets, d'autre part.

On constate que les mots couramment utilisés pour nommer tel ou tel service ne surgissent pas de manière claire dans les classes qui ressortent de l'analyse lexicométrique de la littérature faisant référence aux services écosystémiques. Les termes de « service » et de « ecosystem » ne sont d'ailleurs associés qu'à une seule classe, qui renvoie à des considérations générales sur la gestion des sols. La lecture d'une sélection d'articles du corpus SoilScienceSE montre que la notion de service écosystémique est souvent mentionnée dans les résumés sans qu'il ne soit précisé le type de service étudié. De fait, les incertitudes scientifiques associées à la notion de SE (Barnaud et al., 2011) conduisent à ce que les relations de cause à effet entre fonctionnement des écosystèmes et production de services ne soient pas établies de manière stricte, et ce d'autant plus qu'un même processus naturel contribue le plus souvent à soutenir plusieurs services. Par conséquent, dans la littérature étudiée, les scientifiques se concentrent d'abord et avant tout sur l'étude de processus écologiques et biogéochimiques donnés qui prennent place dans les sols agricoles, sans les relier de manière précise aux services qu'ils sont susceptibles de fournir. Le simple fait de mentionner la notion de SE leur permet ainsi d'inscrire leurs travaux dans une approche largement promue par les politiques de la recherche, en particulier dans les programmes de financement (Atlani et al., 2012).

Dans les travaux historiques qui lui sont consacrés, les sciences du sol sont unanimement reconnues comme étant relativement jeunes (Boulaine, 1997; Legros, 2011). Cela s'expliquerait notamment par le fait que le sol est un objet d'étude difficile à circonscrire, « à contour non délimité » Pédro (1996, p. 137). Initialement tournées quasi-exclusivement vers des questions de production alimentaire, les sciences du sol se sont ouvertes, comme d'autres champs d'étude, aux problématiques environnementales (Brevik, Hartemink, op. cit.) À cet égard, la diffusion actuelle de la notion de service écosystémique constitue un tournant important dans la manière d'envisager les rapports entre l'homme et la nature et le rôle plus spécifique des scientifiques. Selon ce schéma conceptuel, une division et une coordination du travail entre scientifiques, économistes et politiques devrait ainsi permettre de mettre en place des dispositifs plus efficaces de préservation de l'environnement. L'étude bibliométrique que nous avons réalisée montre cependant que le lien entre compréhension du fonctionnement de l'écosystème sol agricole et évaluation des services fournis est loin d'être automatique aux yeux des scientifiques, les tentatives de clarification actuellement en cours faisant d'ailleurs l'objet de débats (Dominati et al., 2010; Robinson et Lebrun, 2010).

BIBLIOGRAPHIE

- Atlani C., Turcotte M.-E., Duan C., Gouy C., 2012 - Soil Science, Ecosystem Services & Public institutions. Group project report, Master Agroecology ISARA.
- Barnaud C., Antona M., Marzin J., 2011 - Vers une mise en débat des incertitudes associées à la notion de service écosystémique. *VertigO*, 11, 1 / mis en ligne le 09 mai 2011, consulté le 29 avril 2014. URL: <http://vertigo.revues.org/10905>
- Barot S., Blouin M., Jouquet P., Lata J.-C., Mathieu J., 2007 - A tale of four stories: soil ecology, theory, evolution and the publication system. *PlosOne*, 11.
- Boulaine J., 1997 - Histoire abrégée de la Science des Sols. *Étude et Gestion des Sols*, 4, 2, pp. 141-151.
- Bourdesseul G., 2006 - Le sens des mots par la répétition ou en dépit d'elle? Dimension sémiotique des statistiques textuelles. In C. Brossaud, P. Trabal et K. van Meter, *Analyses textuelles en sociologie. Logiciels, méthodes, usages*. Rennes, PUR, pp 81-117.
- Brevik, E.C., Hartemink A.E., 2010 - Early soil knowledge and the birth and development of soil science. *Catena*, 83, 23-33.
- Cardona A., 2012 - L'introduction de la notion de « service écosystémique » : pour un nouveau regard sur le sol? Communication aux journées de recherches en sciences sociales, Société Française d'Économie rurale, Toulouse, 13-14 décembre 2012.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van den Belt M., 1997 - The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, pp. 253-260.
- Dalud-Vincent M., 2011 - Analyse textuelle et analyse de réseaux: exemple de traitement d'une base de données bibliographiques à l'aide des logiciels Alceste et Pajek. *Bulletin de méthodologie sociologique*, 109, pp 20-38.
- Dominati E., Patterson M., Mackay A., 2010 - A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69, 9, pp. 1858-1868.
- Goulet F., 2008 - Des tensions épistémiques et professionnelles en agriculture. Dynamiques autour des techniques sans labour et de leur évaluation environnementale. *Revue d'Anthropologie des Connaissances*, 2, 4, pp. 291-310.
- Jeanneaux P., Aznar O., Mareschal (de) S., 2012 - Une analyse bibliométrique pour éclairer la mise à l'agenda scientifique des « services environnementaux ». *VertigO*, 12, 3 / mis en ligne le 15 décembre 2012, consulté le 21 janvier 2014. URL: <http://vertigo.revues.org/12908>
- Le Coq F., Pesche D., Legrand T., Froger G., Saenz Segura F., 2012 - La mise en politique des services environnementaux: la genèse du Programme de paiements pour services environnementaux au Costa Rica. *VertigO*, 12, 3 / mis en ligne le 15 décembre 2012, consulté le 22 janvier 2014. URL: <http://vertigo.revues.org/12920>
- Legros J.-P., 2011 - À l'aube de la Science du sol. *Bulletin de l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier* n°42, conférence 4166.
- Maris V., 2014 - Nature À Vendre. Les Limites Des Services Écosystémiques. *Sciences En Question*. Quae, Versailles, 96 p
- Méral P., 2012. Le concept de service écosystémique en économie: origine et tendances récentes. *Natures Sciences Sociétés*, 20, pp 3-15.
- Millenium Ecosystem Assessment, 2005 - *Ecosystems and Human Wellbeing: Current State and Trends*, tome 1. Island Press, Washington D.C. URL <http://www.unep.org/maweb/en/>. 5, 6, 9, 12, 15
- Pédro G., 1996 - La science des sols à l'aube du XXIème siècle. *Étude et Gestion des Sols*, 3, 2, pp. 135-143.
- Pesche D., 2013. Le Millenium Ecosystem Assessment: anatomie d'une évaluation environnementale globale. *Natures Sciences Sociétés*, 21, pp. 363-372.

- Reinert M., 2000 - Alceste. Un logiciel d'aide pour l'analyse de discours. Notice simplifiée. <http://www.ling.uqam.ca/forum/satoman/images/AlcesteNoticeSimplifiee.pdf>
- Robinson D.A., Lebron I., 2010 - On the natural capital and ecosystem services of soils, *Ecological Economics*, 70, 2, pp 137-138.
- Serpantié G., Méral P., Bidaud C., 2012 - Des bienfaits de la nature aux services écosystémiques. Eléments pour l'histoire et l'interprétation d'une idée écologique. *Vertigo*, 12, 3 / mis en ligne le 15 décembre 2012, consulté le 30 juin 2014. URL: <http://vertigo.revues.org/12924>
- Tancoigne E., 2014 - Les services écosystémiques dans la littérature scientifique: démarche d'exploration et résultats d'analyse. Rapport d'étude INRA.

