

# Regards sur la recherche française en Sciences du sol à partir d'une analyse bibliométrique :

## points forts, points faibles et tendances récentes

S. Pellerin<sup>(1\*)</sup>, V. Lelievre<sup>(2)</sup>, F. Arnaud<sup>(3)</sup>, L. Cécillon<sup>(4, 5)</sup>, A. Dia<sup>(6)</sup> et C. Valentin<sup>(7)</sup>

- 1) ISPA, Bordeaux Sciences Agro, INRA, 33140, Villenave D'Ornon, France
- 2) Département EA, INRA, 84000 Avignon, France
- 3) UMR 5204 Environnement, DYnamiques et TErritoires de la Montagne, CNRS, Université Savoie Mont Blanc, Université Grenoble Alpes, Ministère de la culture et de la communication, 73376 Le Bourget du Lac, France
- 4) Université de Normandie, UNIROUEN, IRSTEA, ECODIV, 76000 Rouen, France
- 5) Laboratoire de Géologie de l'ENS, PSL Research University, CNRS-ENS UMR 8538, 75231 Paris, France
- 6) Univ. Rennes, CNRS, Géosciences Rennes - UMR 6118 - avenue General Leclerc - F-35042 Rennes Cedex, France
- 7) UMR 242 Institut d'Ecologie et des Sciences de l'Environnement, Institut de Recherche pour le Développement, 32 avenue H. Varagnat, 93143 Bondy cedex, France

\* : Auteur correspondant : sylvain.pellerin@inra.fr

### RÉSUMÉ

Une analyse bibliométrique de la recherche française sur les sols a été effectuée par le Groupe Thématique sur les sols d'AllEnvi, à la fois sur le plan quantitatif (nombre d'articles, taux de citations) et qualitatif (place de la recherche française sur la scène internationale, type de collaborations nationales inter-organismes ou internationales, thèmes de recherche abordés...). Cette étude a été réalisée en intégrant également une analyse des dynamiques temporelles. Les résultats montrent que la production française sur les sols représente 4,3% de la production mondiale, classant la France au 7<sup>e</sup> rang des pays publiant sur ce thème au cours des 15 dernières années. En terme qualitatif, la France se situe dans le peloton de tête au niveau mondial, avec des taux de citations légèrement inférieurs à ceux de l'Angleterre, équivalents à ceux de l'Allemagne et de l'Australie, légèrement supérieurs à ceux des Etats-Unis et loin devant ceux des pays émergents. Le pourcentage d'articles co-signés avec des collaborateurs internationaux montre une progression significative, de 45% dans les années 90-2000 à 59% dans les années récentes. Plusieurs institutions françaises contribuant aux recherches sur les sols ont, du fait

Comment citer cet article :

Pellerin S., Lelievre V., Arnaud F., Cécillon L., Dia A., Valentin C. - 2019 - *Regards sur la recherche française en Sciences du sol à partir d'une analyse bibliométrique : points forts, points faibles et tendances récentes, Etude et Gestion des Sols*, 26, 49-63

Comment télécharger cet article :

<http://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-26/>

Comment consulter/télécharger

tous les articles de la revue EGS : [www.afes/egs/](http://www.afes/egs/)

de leur taille, une excellente visibilité (le CNRS est la 3<sup>e</sup> institution mondiale publiant sur les sols et l'INRA est la 5<sup>e</sup>). L'analyse thématique de la production française montre que l'ensemble des grands enjeux liés au sol est pris en charge, avec une réactivité similaire à celle de la communauté internationale pour les enjeux émergents et une qualité de la production scientifique équivalente pour toutes les thématiques (3<sup>e</sup> ou 4<sup>e</sup> rang mondial pour le taux de citations, quelle que soit la thématique considérée). L'évolution des supports de publications (principalement des revues d'agronomie et de sciences du sol dans les années 70-80-90 ; majoritairement des revues sur l'environnement depuis les années 2000) et celle des mots-clés associés aux recherches sur les sols sont révélatrices du très fort élargissement tant des enjeux liés aux sols que des communautés scientifiques s'y intéressant. Il en résulte que la recherche sur les sols est désormais portée par un grand nombre d'organismes. L'analyse des thématiques traitées révèle un profil relativement généraliste pour les institutions les plus importantes (CNRS, INRA, grandes Universités) et des profils parfois plus spécialisés pour les organismes ou Universités de taille moyenne. L'analyse de l'origine géographique des publications fait apparaître une dizaine de pôles majeurs de recherche sur les sols au niveau français.

### Mots clés

Bibliométrie, sciences du sol, recherche, France, comparaison internationale.

### SUMMARY

#### **A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF THE FRENCH RESEARCH IN SOIL SCIENCE: strengths, weaknesses and recent trends**

*A bibliometric analysis dedicated to the understanding of the French research conducted on soils was performed not only, through addressed quantitative topics (number of publications), but also, through qualitative ones (such as, quotation rates, rank of the French research regarding international ones, type of French inter-organism or international collaborations, scientific issues within the soil domain, etc.). This study also integrated an analysis of the time-linked dynamics of the soil-focused scientific publications. The results show that the French publications on soils correspond to 4.3% of the worldwide one, ranking France at the 7th row of countries publishing on soil topics during the recent years. In a qualitative way, France is in the lead pack amongst the other countries, with quotation rates slightly lower than those of England, equivalent to those of Germany and Australia but also, slightly superior to those of the United States and far in front of those of the emerging countries. The percentage of articles jointly signed with international collaborators exhibits a significant progress, displaying an increase ranging from 45 % in the 90's to 2000's to 59 % in the most recent years. Because of their important size, several French organisms involved in research devoted to soils do have an excellent visibility amongst world organisms - the CNRS and INRA - ranking at the 3rd and the 5th positions, respectively. The thematic analysis of the French production shows both (i) that all major issues related to the soils are taken over, with a reactivity, which is similar to that of the international community for emerging issues and (ii) an equivalent quality of scientific production for all topics (3rd or 4th in the world for the number of citations, regardless of the theme considered). The evolution of publication media (mainly agronomic and soil science journals in the 70-80-90's; mostly environmental journals since the 2000's) and that of the keywords associated with soil research are indicative of the very large expansion of both soil-related issues and the interest of scientific communities. As a result, soil research is now carried out by a large number of organisms. The analysis of the covered thematic areas reveals a relatively generalist profile for the most important organisms (CNRS, INRA and large universities) and sometimes more specialized profiles for medium-sized organisms or universities. The analysis of the geographical origin of the publications points out a dozen of major French poles of soil research.*

### Key-words

*Bibliometry, soil science, research, France, international comparison.*

### RESUMEN

#### **ASPECTOS DE LA INVESTIGACIÓN FRANCESA EN CIENCIA DEL SUELO À PARTIR DE UN ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO: puntos fuertes, puntos débiles y tendencias recientes**

*Se efectuó un análisis bibliométrico de la investigación francesa sobre los suelos por el grupo temático sobre los suelos AllEnvi, a la vez sobre el plano cuantitativo (número de artículos, tasa de citaciones) y cualitativo (lugar de la investigación francesa sobre la escena internacional, tipo de colaboraciones nacionales inter-organismos o internacionales, temas de investigación abordados...). Se realizó este estudio integrando igualmente un análisis de las dinámicas temporales. Los resultados muestran que la producción francesa sobre los suelos representa 4.3% de la producción mundial, lo que asigna Francia al 7<sup>è</sup> rango de los países que publican sobre este tema*

durante los años recientes. En término cualitativo, Francia se sitúa en el pelotón de cabeza al nivel mundial, con tasas de citaciones ligeramente inferiores a las de Inglaterra, equivalentes a las de Alemania y de Australia, ligeramente superiores a las de Estados-Unidos y muy lejos delante las de países emergentes. El porcentaje de artículos co-firmados con colaboradores internacionales muestra una progresión significativa, de 45% en los años 90-2000 a 59% en los años recientes. Varias instituciones francesas que contribuyan a las investigaciones sobre los suelos tienen, debido a su tamaño, una excelente visibilidad (el CNRS es la tercera institución mundial que publica sobre los suelos y el INRA es la quinta). El análisis temático de la producción francesa muestra que el conjunto de los grandes desafíos ligados a los suelos hace-se cargo, con una reactividad similar a la de la comunidad internacional para los desafíos emergentes y con una calidad de la producción científica equivalente para todas las temáticas (tercero o cuarto rango mundial para la tasa de citaciones, cualquier sea la temática considerada). La evolución de los soportes de publicaciones (principalmente de las revistas de agronomía y de ciencia de suelo en los años 70-80-90; mayormente de las revistas sobre el medio ambiente desde los años 2000) y la de las palabras clave asociadas a las investigaciones sobre los suelos están reveladoras de la fuerte ampliación tanto de los desafíos ligados a los suelos que de las comunidades científicas que se interesan. Resulta que la investigación sobre los suelos es impulsada ahora por un gran número de organismos. El análisis de las temáticas tratadas revela un perfil relativamente generalista para las instituciones las más importantes (CNRS, INRA, grandes universidades) y perfiles a veces más especializados para los organismos o Universidades de tamaño medio. El análisis del origen geográfico de las publicaciones hace aparecer una decena de polos importantes de investigaciones sobre los suelos al nivel francés.

### Palabras clave

Bibliometría, ciencia del suelo, investigación, Francia, comparación internacional.

## 1 - INTRODUCTION

Depuis un peu moins de dix ans, les enjeux liés aux sols occupent une place plus importante dans les agendas internationaux et l'opinion publique (Fournil *et al.*, 2018). Les sols se trouvent en effet au carrefour de nombreux défis : la sécurité alimentaire mondiale, du fait de l'augmentation démographique et de l'évolution des régimes alimentaires qui se traduisent par un besoin croissant de surfaces agricoles (Gomiero, 2016); l'adaptation au changement climatique et la contribution à son atténuation, notamment par stockage additionnel de carbone dans les sols (Minasny *et al.*, 2017); la protection de la biodiversité, puisque les sols hébergent de l'ordre de 25 % de la biodiversité terrestre (Cameron *et al.*, 2018); la régulation du cycle de l'eau (de surface et souterraine) et de sa qualité, qui est affectée par des pollutions diffuses (sédiments, nitrates, phosphates); la production de matières premières non alimentaires pour le développement de la bioéconomie (fibres, bois d'œuvres, latex, chimie verte, agrocarburants...); le recyclage des déchets organiques par épandage agricole; la dégradation de la ressource foncière par érosion, contamination, salinisation, acidification ainsi que les conflits fonciers et d'usages (étalement urbain, accaparement des terres).

Au niveau international, des initiatives se sont multipliées pour faire face à ces défis : en 2011, la FAO a mis en place un Partenariat Mondial sur les Sols; en 2012 a eu lieu la première « Global Soil Week » qui se tient depuis chaque année à Berlin; en 2013 a été organisée la première journée mondiale des sols, célébrée désormais tous les 5 décembre; l'année 2015 a été déclarée année internationale des sols; en 2015, à

l'occasion de la COP21 l'initiative « 4 pour mille : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat » a été portée par la France au niveau international; en 2016 a été lancée l'initiative citoyenne européenne « People4Soil ».

En France, cet intérêt croissant pour les sols s'est également traduit par de nombreuses initiatives politiques, avec la publication d'une stratégie nationale de gestion durable des sols en 2015 (Bellec P. *et al.*, 2015), l'objectif de zéro artificialisation nette des sols qui a été fixé par le Plan biodiversité du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (MTES) (Comité interministériel Biodiversité, 2018), et même par une avancée juridique, avec la reconnaissance des sols comme faisant partie du patrimoine commun de la nation dans le Code de l'Environnement (LOI n° 2016-1087 du 8 août 2016). Cet intérêt s'est également traduit par de nombreuses initiatives au sein de la communauté scientifique française : création en 2010 d'un groupe thématique « Agroécologie et Sols » et d'un sous-groupe « Sols » au sein de l'Alliance nationale de recherche pour l'Environnement regroupant les principaux organismes de recherche et d'enseignement supérieur français (AllEnvi); organisation d'une consultation scientifique prospective sur les besoins en recherche sur les sols par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR, 2014); création d'un réseau thématique pluridisciplinaire « Sols » pluri-instituts au sein du CNRS avec production d'un livre blanc (CNRS, 2015); organisation d'une consultation et rendu d'un avis sur la gestion des sols par le Conseil Economique, Social et Environnemental (Courtoux et Claveirole, 2015); création en 2016 du Réseau National d'Expertise Scientifique et Technique sur les sols (RNEST-Sols) à l'initiative des Ministères en charge de l'agriculture, de l'écologie

et de la recherche; coordination par la France du projet européen CIRCASA 2017-2020 (Coordination of International Research Cooperation on soil Carbon Sequestration in Agriculture).

Au niveau de l'enseignement supérieur et de la recherche, les sols ont été historiquement un objet d'étude important pour les écoles d'agronomie et les organismes de recherche de ce domaine comme l'INRA et l'ORSTOM devenu IRD, soucieux après guerre, non seulement de connaître les propriétés et fonctions des sols (Sciences du sol) mais aussi leurs diversité et distribution à travers la cartographie, fondée sur la pédogenèse et donc la pédologie. Dans ce contexte, les sols étaient surtout vus au travers de leur fonction de support de la production agricole. Depuis une quarantaine d'années, cet intérêt pour les sols s'est diversifié chez de nombreux autres acteurs de la recherche et du développement (CNRS, BRGM, IRSTEA, CIRAD, IFSTTAR, INERIS, ONF...), dans les Universités, au sein d'agences gouvernementales (ADEME, ANDRA, ANR...), et dans les instituts techniques agricoles, forestiers et d'aménagement du territoire. Depuis 1934, l'Association Française pour l'Etude du Sol (AFES) réunit une bonne partie des acteurs de la recherche; elle s'est davantage ouverte assez récemment aux milieux professionnels et associatifs. Le groupement d'intérêt scientifique sol, le GIS SOL, créé en 2001, fédère deux ministères (Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et MTES), l'INRA, l'ADEME, l'IRD et l'IGN. Le réseau mixte technologique (RMT) Sols et Territoires, créé en 2010, rassemble une trentaine de partenaires de la recherche, du développement et de la formation sur les sols.

Du fait de la multiplicité des enjeux auxquels ils sont associés, les sols sont ainsi devenus un objet d'intérêt partagé par de nombreux organismes de recherche et de développement français, rendant moins visible et plus difficile l'élaboration d'une stratégie collective et partagée de recherche publique au niveau national. Dans ce contexte, après de premières analyses réalisées en 2011 dans le cadre d'AllEnvi et en 2015 dans le cadre du Réseau Thématique Pluridisciplinaire « Sols » du CNRS, il est apparu souhaitable au groupe thématique « Sols » d'AllEnvi de conduire une analyse bibliométrique plus approfondie de la production scientifique française sur les sols afin d'identifier les points forts et points faibles de la recherche française dans ce domaine et d'aider ainsi les membres d'AllEnvi à mieux définir et coordonner leur stratégie de recherche dans le domaine des Sciences du sol.

Le premier objectif de cette étude bibliométrique est de situer la production scientifique française sur les sols au niveau mondial et européen d'un point de vue global: nombre total de publications, principaux journaux ciblés et nombre de citations des articles produits. Un second objectif est d'affiner cette évaluation quantitative globale par une analyse thématique. Un troisième objectif est de quantifier la production totale et thématique des principaux organismes de recherche français en Sciences du sol ainsi que la nature et l'intensité de leurs collaborations.

Pour chacun de ces objectifs, cette étude a également porté sur les dynamiques temporelles de la production scientifique, afin de mieux positionner les données actuelles dans le contexte évolutif de la recherche en Sciences du sol. Enfin, un focus sur les collaborations internationales des chercheurs français et des organismes de recherche a également été réalisé.

## 2 - MÉTHODOLOGIE

L'analyse a été conduite par un groupe de cinq scientifiques, provenant de divers organismes français (CNRS, INRA, IRD, IRSTEA, Université), avec l'appui d'une ingénieure bibliométricienne de l'INRA.

### 2.1 Bases de données bibliographiques utilisées

Les publications extraites pour cette analyse proviennent du « Web of Science » de Clarivate analytics (WoS). Lors des interrogations, ont été utilisés les index suivants du « *Web of Science Core Collection* »:

- *Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)*: comprend plus de 8300 revues majeures couvrant 150 disciplines scientifiques. La période couverte par l'étude va de 1956 à 2016.
- *Social Sciences Citation Index (SSCI)*: comprend plus de 2900 revues couvrant une cinquantaine de disciplines en sciences sociales et environ 3500 publications individuelles majeures de revues scientifiques et techniques. La période de l'étude couvre les cinquante dernières années, de 1956 à 2016.
- *Conference Proceedings Citation Index- Science (CPCI-S)* et *Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities (CPCI-SSH)*: couvrent 148 000 revues et ouvrages qui publient les conférences majeures en science, sciences humaines et sociales. La période couverte pour l'étude va de 1990 à 2016.
- *Emerging Sources Citation Index (ESCI)* contiennent des articles de revues non encore présentes dans le SCI-EXPANDED ou le SSCI car récentes mais qui ont des standards de qualité suffisants. La période couverte pour l'étude va de 2015 à 2016.

Les types de documents pris en compte dans le WoS sont les suivants: *article OR review OR proceeding paper OR letter*.

Pour compléter le corpus sur les aspects sciences humaines et sociales, nous avons également utilisé la base « *Econlit with full-text* ». Il s'agit de la principale base de données bibliographiques en sciences économiques produites par « *the American Economic Association* ». Elle comprend plus de 1000 titres de revues dépouillées dont environ 700 en texte intégral, des livres, des thèses et des « *working papers* », avec une

antériorité commençant en 1886. Seuls les articles de revues académiques ont été sélectionnés dans l'interrogation d'*Econlit*.

Dans les deux bases de données bibliographiques utilisées, les interrogations ont porté sur les titres, résumés et mots-clés.

## 2.2 Corpus d'analyse

L'objectif de ce travail étant de couvrir largement toutes les recherches dans lesquelles le sol est un objet d'étude, l'interrogation a d'abord porté essentiellement sur le mot-clé « soil » recherché dans le titre, le résumé ou les mots-clés. Des essais préliminaires ont montré que l'ajout de mots-clés partiellement synonymes (ex. *regolite*, *land*, *geomaterial*, *critical zone*) ajoutait peu d'articles pertinents non identifiés par le mot-clé « soil ». Les bases de données sélectionnées étant multidisciplinaires, nous avons accepté que dans les résultats apparaissent des travaux où l'étude des sols était assez marginale. Par la suite, le corpus d'analyse global a été affiné selon sept grandes thématiques, choisies par les auteurs, dans lesquelles les sols sont fortement impliqués :

- 1- Contaminants et polluants
- 2- Biodiversité
- 3- Menaces et risques

4 - Changement climatique

5- Eau

6- Cycles biogéochimiques

7- Agriculture

Pour repérer les articles correspondants à ces sept thématiques, le mot-clé « soil » a été croisé avec une liste de mots-clés relatifs à chacune d'elles. Les mots-clés utilisés sont indiqués en *annexe I*. Le choix de ces mots-clés peut être discuté mais les nombreuses itérations réalisées ont montré que les résultats de l'analyse étaient assez robustes relativement à la liste des mots-clés retenus. Parallèlement une extraction spécifique de corpus a été faite pour analyser les aspects de sciences humaines et sociales.

La *figure 1* récapitule la taille (en nombre d'articles) du corpus global et des corpus thématiques, à l'échelle mondiale et pour la France. On a considéré qu'un article faisait partie du corpus « France » dès lors qu'un auteur au moins avait une adresse dans un organisme français.

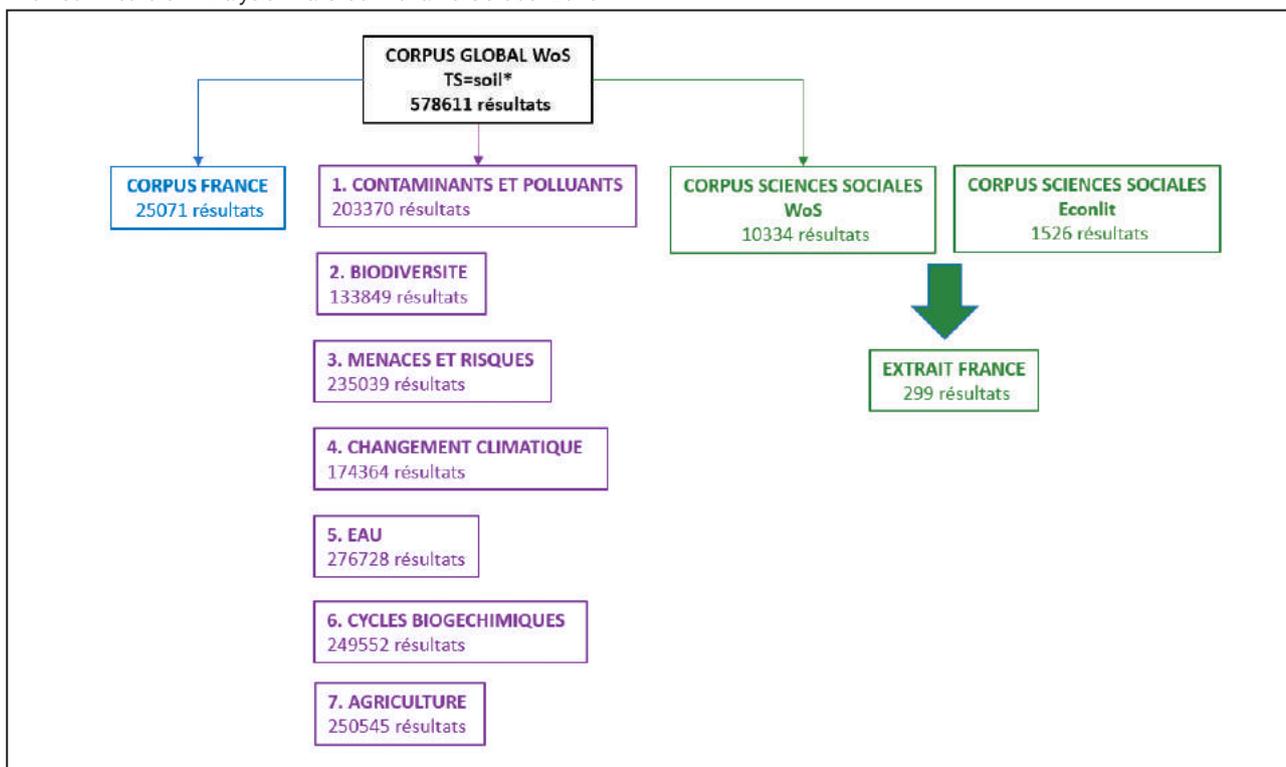
### Méthodes d'analyses

Les analyses effectuées se répartissent en :

- Une analyse du nombre de publications au niveau mondial, par

**Figure 1** - Nombre d'articles du corpus global et des corpus thématiques, au niveau mondial et pour la France. Données JCR® Thomson Reuters - Traitements Inra Crebi Noria du 18/10/2016.

**Figure 1** - Number of scientific papers in the global corpus and in thematic corpus, at the world level and for France. Data JRC Thomson Reuters – Analysis Inra Crebi Noria 18 October 2016.



pays et par organismes. La méthode de comptage utilisée est celle du compte de présence : une entité (i.e. pays, organisme) est comptée une seule fois dans une même publication même si elle est représentée plusieurs fois dans cette publication. Une même publication peut donc être référencée pour plusieurs pays et pour plusieurs organismes.

- Une analyse de la notoriété des productions scientifiques : nombre de citations, nombre de publications classées par le WoS comme « highly cited papers » (articles les plus cités (premier percentile) au cours des 10 dernières années dans la discipline) ou « hot papers » (articles les plus cités (premier pour mille) au cours des deux années précédentes). Pour cette analyse, les articles « français » ont été comparés aux 11 premiers pays en termes de production : USA, Chine, Allemagne, Brésil, Inde, Australie, France, Canada, Espagne, Italie, Angleterre, Japon.

Pour ces analyses quantitatives globales, nous avons utilisé les fonctions d'analyse du WoS. Les données de citations ont également été récupérées dans le WoS.

Pour l'étude plus spécifique du corpus « France », l'analyse des adresses d'affiliation des auteurs a été faite en utilisant Sphinx Plus2 - Edition Lexica V5. Pour l'analyse de la contribution des différents organismes, un article a été attribué à un organisme dès lors que celui-ci apparaissait dans la ligne d'adresse d'un des auteurs, et ce indépendamment de l'ordre d'apparition de l'organisme dans la ligne d'adresse. Dans le cas d'Unités de recherche ayant plusieurs organismes en co-tutelle (cas des Unités Mixtes de Recherche ou UMR), l'analyse attribue une publication scientifique d'un chercheur (affilié à un seul organisme) à tous les organismes co-tutelles de l'Unité mixte. Ces choix ont pour inconvénient de surestimer la production des organismes fortement engagés dans des UMR et de surestimer leur nombre de co-signatures, un article pouvant être attribué

à deux organismes du fait de la co-tutelle d'une UMR sans que l'article ait réellement fait l'objet d'une collaboration entre deux chercheurs des deux organismes. Cette solution a cependant été retenue car les alternatives (attribution d'un article à l'organisme d'appartenance du premier auteur uniquement, ou attribution à l'organisme apparaissant en premier dans la ligne d'adresse uniquement) auraient introduit d'autres biais et/ou étaient beaucoup plus difficiles à mettre en œuvre techniquement. L'information disponible et facilement mobilisable dans le Web of Science est une adresse d'affiliation indiquant les différentes tutelles de l'UMR et il n'est pas possible d'identifier de façon automatisée l'organisme d'appartenance d'un auteur en particulier.

### 3 - RÉSULTATS

#### 3.1 -Analyse quantitative de la production scientifique française sur les sols

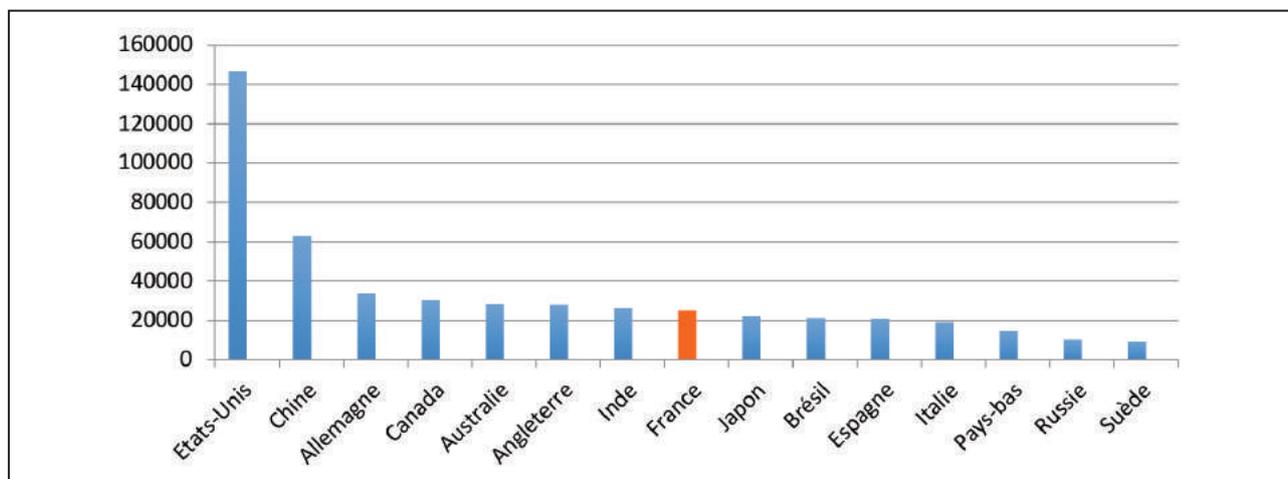
##### 3.1.1. Une production quantitativement significative sur la scène internationale

Sur la période considérée (1956-2016), les publications françaises sur les sols (25 071 articles) représentent 4,34 % de la production mondiale (578 171 articles). La France se classe au huitième rang des pays publiant sur ce thème derrière les Etats-Unis (représentant à eux seuls 25 % de la production), la Chine, l'Allemagne, le Canada, l'Australie, l'Angleterre<sup>1</sup> et l'Inde. Elle se

<sup>1</sup> Dans le WoS, les différentes composantes du Royaume-Uni figurent séparément.

**Figure 2** - Nombre de publications par pays dans le domaine des Sciences du Sol, sur la période 1956-2016.

**Figure 2** - Number of scientific papers per country in the soil science domain, over the 1956-2016 period.



situé devant le Japon et le Brésil (*figure 2*). A l'échelle européenne la France se classe au 3<sup>e</sup> rang derrière l'Allemagne et l'Angleterre. L'Union Européenne se situe loin devant les autres pays (72 139 articles publiés par l'Union européenne sur la période 2010-2016, contre 44 732 publiés par les USA et 44 296 publiés par la Chine). Le rang de la France parmi les pays publiants oscille selon les décennies entre la 9<sup>e</sup> et la 6<sup>e</sup> place, avec une progression de la 9<sup>e</sup> place dans les années 70 à la 7<sup>e</sup> place dans les années récentes (*tableau 1*). Une partie de cette progression s'explique par l'accroissement de la part des publications françaises rédigées en anglais dans des revues internationales, les rendant ainsi plus visibles dans les bases de données internationales (voir paragraphe suivant).

**Tableau 1** - Evolution du nombre total de publications scientifiques françaises sur les sols par décennie, et rang de la France parmi les pays publiants.

**Table 1** - Evolution of the total number of French scientific papers on soils per decade, and rank of France among publishing countries.

Période	Nombre de publications	Rang mondial de la France
1970-1979	300	9
1980-1989	635	9
1990-1999	4210	6
2000-2009	9370	7
2010-2016	10009	7
TOTAL	24524	8

### 3.1.2. Une évolution des supports de publication reflétant une internationalisation croissante et un élargissement des préoccupations liées aux sols

Au cours de la décennie 1970-1979, les cinq principaux supports de publications sur les sols recensés par le WoS et utilisés par la communauté scientifique française étaient les *Annales agronomiques*, les *Comptes-rendus hebdomadaires des séances de l'académie des sciences (série D)*, la *Revue d'écologie et de biologie du sol*, les *Annales de phytopathologie* et la revue *Agrochimica*. Au cours de la période 2010-2016, les cinq principales revues dans lesquelles ont été publiés les travaux français sur les sols sont, par ordre décroissant « *Soil Biology and Biochemistry* », « *Geoderma* », « *Environmental Science and Pollution Research (ESPR)* », « *Plant and Soil* » et « *Science of The Total Environment (STOTEN)* », soit trois revues disciplinaires de Sciences du sol et deux journaux du domaine scientifique plus étendu des Sciences de l'environnement (catégories WoS). Au-delà d'une ouverture à l'international, avec une activité de publication désormais

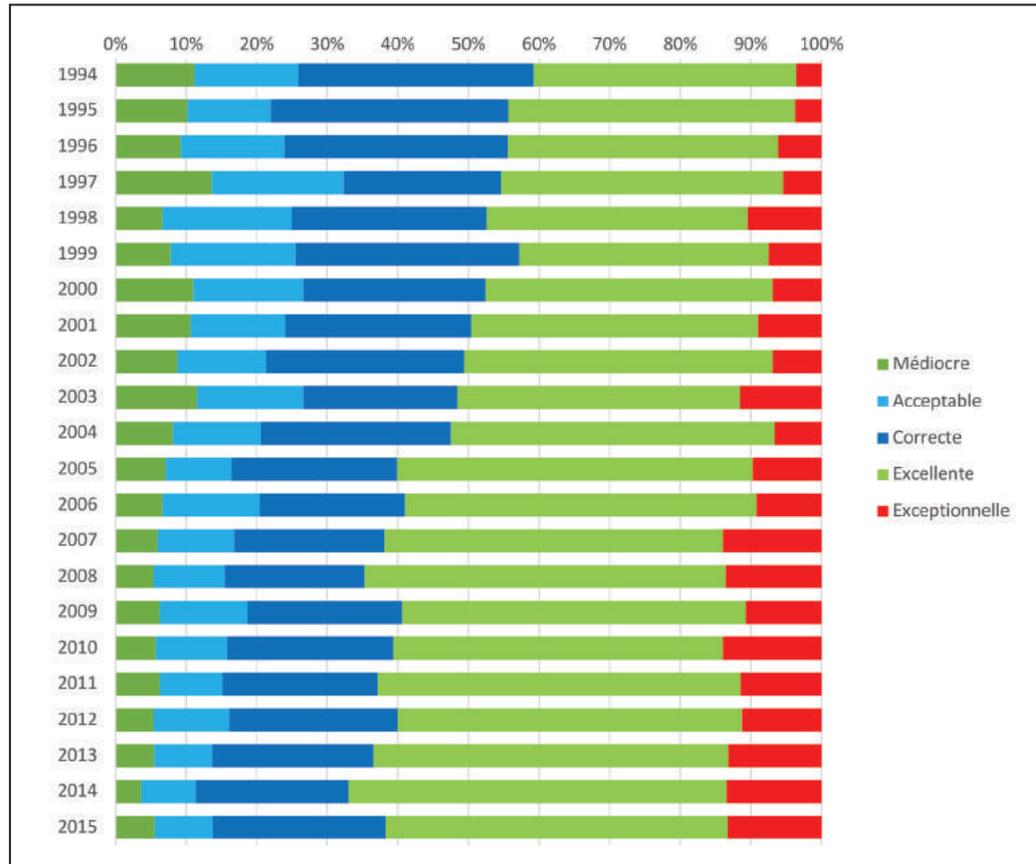
presque exclusivement orientée vers des journaux internationaux anglophones, l'analyse des supports de publication au cours du temps reflète également l'évolution des préoccupations liées aux sols, en particulier l'émergence des enjeux environnementaux dans lesquels le sol est impliqué. Les domaines thématiques (WoS Category) accueillant la majorité des publications françaises sur les sols ont été les domaines « *Soil science* » et « *Agronomy* » jusque dans les années 1990. A l'inverse, sur la période 2010-2016 les deux catégories dominantes ont été « *Environmental sciences* » et « *Geosciences multidisciplinary* », les catégories « *Soil sciences* » et « *Agronomy* » n'apparaissant qu'en 3<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> positions, respectivement. Ces tendances résultent probablement à la fois d'une évolution d'affichage, les chercheurs étant enclins à inscrire leurs travaux dans le cadre des préoccupations montantes liées à l'environnement, et d'une évolution de fond des questions de recherches abordées, sans qu'il soit possible au grain d'une analyse bibliographique de faire la part des deux. L'accroissement du nombre de publications dans des revues portant sur l'environnement, dont certaines difficiles d'accès, suggère cependant une réelle prise en charge de questions de recherche liées à l'environnement.

### 3.1.3. Une forte notoriété des publications françaises sur les sols qui place la France dans le peloton de tête en termes de visibilité scientifique

En lien avec l'internationalisation des supports de publication, la notoriété des journaux dans lesquels ont été publiés les travaux français sur les sols a augmenté au cours des deux dernières décennies, avec dans les années récentes plus de la moitié des articles publiés dans des revues « exceptionnelles » ou « excellentes » (*figure 3*). Parmi les cinq revues scientifiques actuellement plébiscitées par les chercheurs français (cf. *paragraphe 3.1.2.*), quatre sont d'excellente réputation car appartenant au premier quartile des journaux disciplinaires en termes de facteur d'impact du WoS, dont les trois revues relevant du champ disciplinaire des Sciences du sol. En termes de taux de citation, l'analyse sur la période récente (2010-2016) montre que la production scientifique française sur les sols se situe parmi les plus influentes du monde, légèrement derrière l'Angleterre, à quasi-égalité avec l'Allemagne et l'Australie, légèrement devant les Etats-Unis et le Canada et loin devant le Japon, la Chine, l'Inde et le Brésil (*tableau 2*). Alors que la France ne représentait, sur la période 2010-2016, que 4.6 % de la production mondiale d'articles scientifiques sur les sols d'un point de vue quantitatif, elle représentait 17 % (10/60) des « hot papers » et 10 % (180/1801) des « highly cited papers » (catégories WoS). Parallèlement le nombre d'articles français sur les sols publiés dans les grandes revues généralistes « *Nature* », « *Science* » et « *PNAS* » a augmenté avec plus d'une dizaine d'articles par an au cours des années récentes.

**Figure 3** - Evolution de la notoriété des journaux supports des publications françaises sur les sols entre 1994 et 2015.

**Figure 3** - Ranking categories of journals in which French papers on soils have been published between 1994 and 2015.



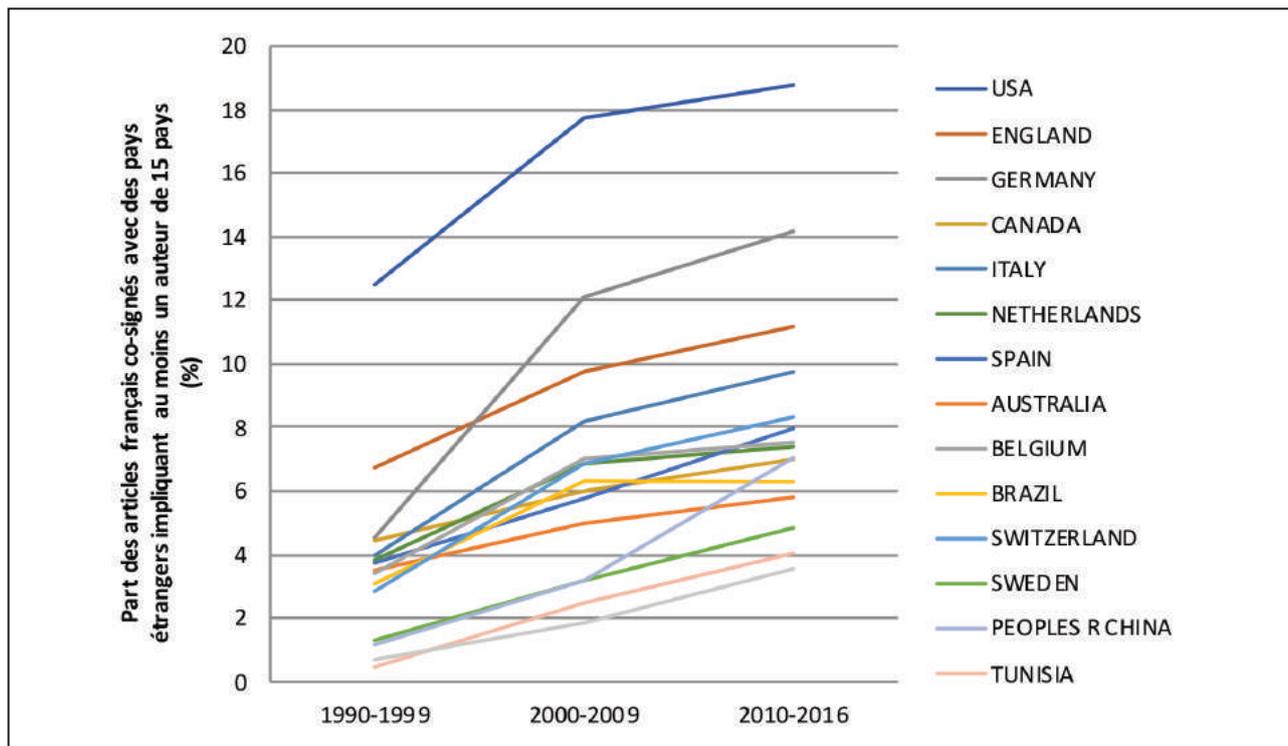
**Tableau 2** - Taux de citation des publications scientifiques sur les sols des 12 pays les plus publiants, en fonction de l'année de publication, pour la période 2010 à 2016. Le taux de citation augmente naturellement avec l'ancienneté des publications. Le taux de citation n'est pas calculé pour l'ensemble des pays (colonne « Global ») car difficilement calculable compte tenu des très grands effectifs. Le tableau indique également le nombre d'articles influents, identifiés comme « Hot papers » et « Highly cited papers » par le WoS.

**Tableau 2** - Average number of citations of scientific papers on soils for the 12 most publishing countries, as a function of publication year, between 2010 and 2016. The number of citations increases with the time elapsed since publication. The average number of citations is not calculated for all countries considered together (column "global") because it can hardly be calculated due to the huge number of papers. The table also gives the number of influential papers, identified as "hot papers" and "highly cited papers" by the Web of Sciences.

tx. de citations	Global	USA	Chine	Allemagne	Brésil	Inde	Australie	France	Canada	Espagne	Italie	Angleterre	Japon
2016		0,42	0,27	0,51	0,23	0,23	0,48	0,44	0,38	0,59	0,56	0,56	0,32
2015		2,22	1,56	2,62	0,93	1,14	2,26	2,04	2,17	2,24	1,98	2,92	1,29
2014		5,50	3,79	6,28	2,53	3,07	6,16	5,25	5,40	4,62	4,99	6,71	3,82
2013		9,23	5,68	10,06	3,78	4,43	9,76	10,12	8,22	8,12	7,32	11,39	5,85
2012		12,82	6,65	13,77	5,3	6,37	13,95	12,56	12,31	11,16	10,58	15,87	8,37
2011		16,64	9,44	18,61	6,48	8,08	17,12	16,85	13,91	15,02	15,02	22,70	10,31
2010		20,11	13,45	21,48	8,71	8,98	20,78	21,24	17,6	17,79	18,40	25,41	12
Hot Papers 2010-2016	60	27	13	12	2	0	11	10	8	3	13	13	2
Highly Cited Papers 2010-2016	1801	755	283	294	61	46	254	180	166	134	141	251	59

**Figure 4** - Part des articles scientifiques français sur les sols co-signés avec au moins un auteur étranger, par pays d'origine.

**Figure 4** - Percentage of the French scientific publications on soils which are co-authored by at least one foreign scientist, per originating country.



### 3.2 Collaborations internationales

Plus de la moitié des publications françaises en Science du sol est co-signée avec des partenaires étrangers, confirmant la forte intégration de la communauté française au sein de la communauté scientifique internationale. La proportion d'articles co-signés avec au moins un auteur étranger est en augmentation, passant de 45 % des publications françaises au cours des décennies 90 et 2000 à 59 % sur la période 2010-2016. Les trois principaux pays cosignataires des publications françaises en Sciences du sol sont les Etats-Unis, l'Allemagne et l'Angleterre. Ces trois pays arrivent en tête des partenaires étrangers de la communauté française pour les décennies 90-2000, 2000-2010 et sur la période 2010-2016 (*figure 4*). L'analyse des co-publications à l'international fait aussi apparaître une augmentation du nombre de pays partenaires. Le nombre de pays cosignataires des publications françaises sur les sols est passé de 108 dans les années 90, à 133 dans les années 2000 et à 148 sur la période 2010-2016. Sur la période 2010-2016, les 12 principaux pays cosignataires des publications de la communauté française (hors USA, Allemagne et Angleterre) ont été l'Italie, la Suisse, l'Espagne, la Belgique, les Pays-Bas, la Chine, le Canada, le Brésil, l'Australie, la Suède, la Tunisie et l'Algérie. On peut noter la forte progression des co-signatures

d'articles scientifiques avec la Chine passant de 1 % (rang 17) à 7 % (rang 9) des co-signatures entre les années 90 et la période 2010-2016 (*figure 4*). Le pourcentage de publications co-signées à l'international est particulièrement élevé pour les organismes ayant une vocation internationale (plus de 70 % pour le CIRAD et l'IRD), élevé pour le CNRS et les Universités (de l'ordre de 60 %), moindre à l'INRA (50 %). Hormis pour le CIRAD et l'IRD les pays cosignataires sont surtout les pays du Nord. A noter enfin que la somme des pourcentages d'articles co-signés avec au moins un auteur étranger issu d'un des 15 principaux partenaires de la France dépasse largement 100 %, ce qui montre que beaucoup d'articles impliquent plusieurs partenaires étrangers issus de différents pays.

### 3.3 Analyse thématique

Le *tableau 3* récapitule, pour les sept thématiques majeures en lien avec les sols listées plus haut, la part que représente la production française dans la production mondiale et le rang de la France parmi ses principaux concurrents en termes de nombres de publications. Il présente également le taux de citations moyen des articles français publiés sur ces thématiques, et le rang de la France sur ce critère de notoriété scientifique des publications.

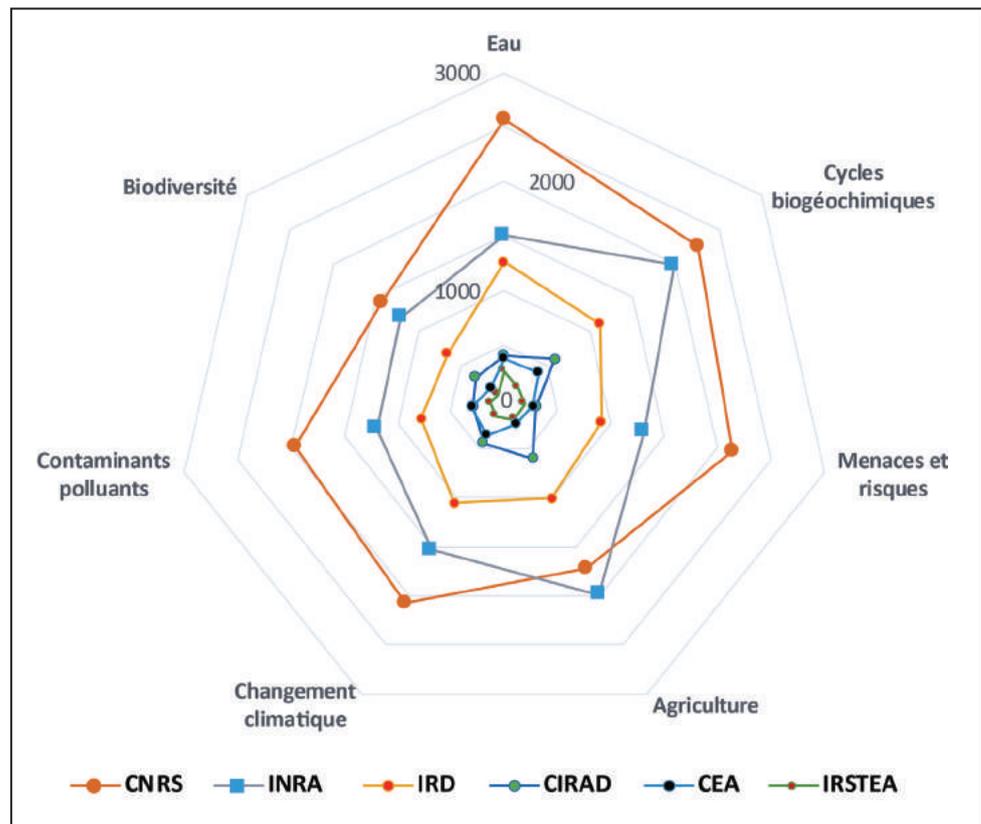
**Tableau 3** - Analyse quantitative et qualitative de la production académique française en Sciences du sol sur quelques thématiques majeures (2010-2016).

**Table 3** - Quantitative and qualitative analysis of the French publications on soils for some key thematic (2010-2016).

Thème	Part (%) de la production française dans la production mondiale	Rang de la France (sur le nombre de publications)	Taux de citations des articles français	Rang de la France (sur le taux de citations)
Contaminants/polluants	4.7	6	10.27	4
Biodiversité	5.1	6	12.90	3
Menaces/risques	4.4	9	10.16	4
Changement climatique	5.3	7	13.23	3
Cycle de l'eau	4.6	7	10.67	3
Cycles biogéochimiques CNP	4.5	8	12.32	3
Agriculture	4.1	9	11.40	3

**Figure 5** - Cartographie thématique des principaux établissements de recherche français dans le domaine de l'étude des sols (en nombre de participation aux publications relatives à chacun des thèmes).

**Figure 5** - Contribution of the main French research institutions to some key thematic on soils.



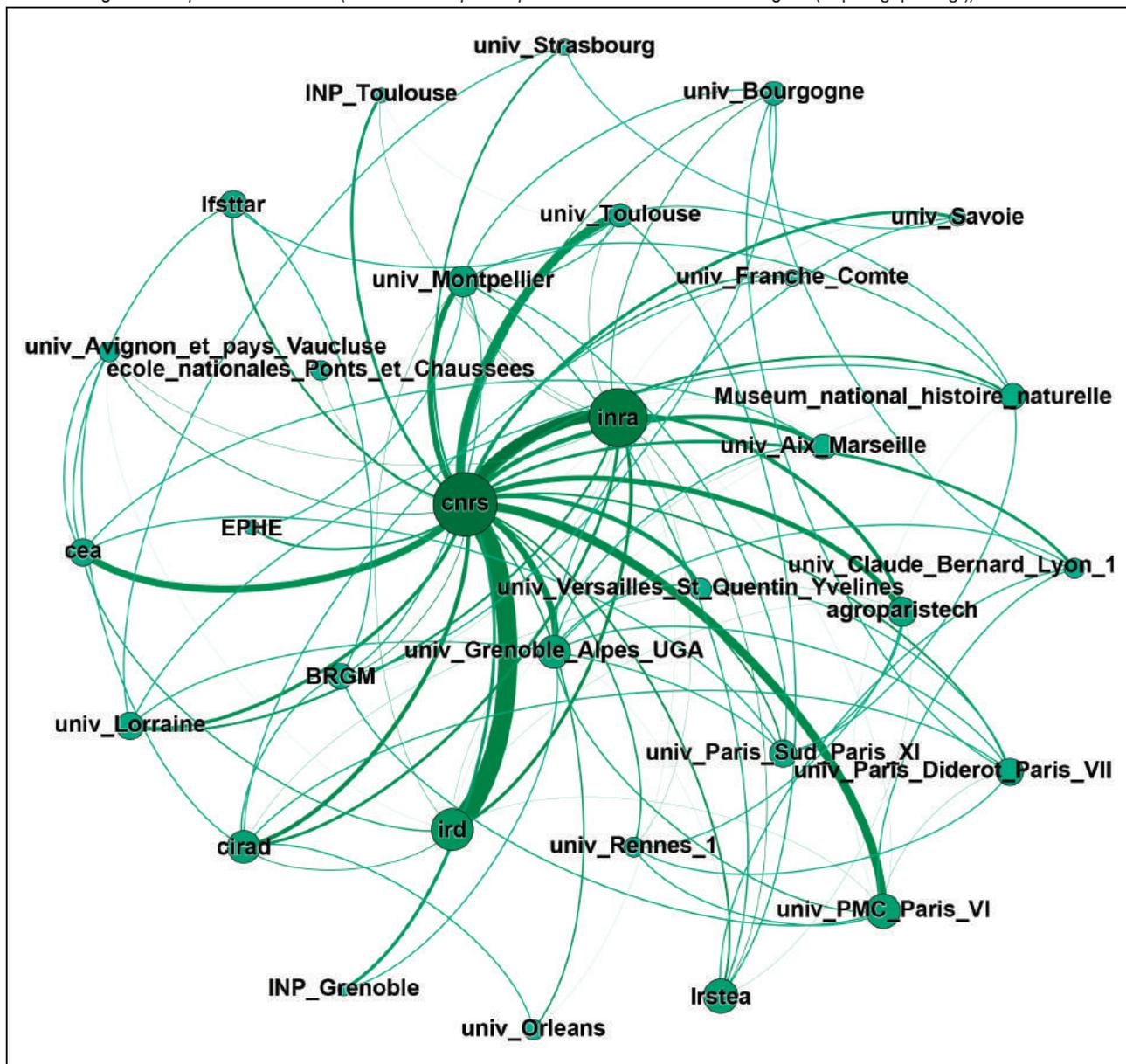
Pour les sept thématiques analysées, la production française représente entre 4.1 et 5.3 % de la production mondiale, ce qui place la France entre les 6<sup>e</sup> et 9<sup>e</sup> rangs des pays qui publient le plus, généralement derrière les Etats-Unis, la Chine, l'Allemagne, le Canada, l'Australie, et l'Angleterre. La France se situe au 6<sup>e</sup> rang pour les thèmes « Biodiversité », « Contaminants/polluants » et au 7<sup>e</sup> rang pour les thèmes « Changement climatique » et « Eau ». En revanche, elle n'occupe que la 9<sup>e</sup> place pour les thèmes

« Menaces et Risques » et « Agriculture » où elle est devancée de peu par l'Inde, le Brésil, et l'Espagne.

L'analyse comparée des taux de citations place la France derrière l'Angleterre et l'Allemagne et selon les années devant ou derrière l'Australie. Elle se situe donc au 3<sup>e</sup> ou 4<sup>e</sup> rang mondial sur le plan de la notoriété scientifique. Il lui arrive de se hisser certaines années au 2<sup>e</sup> rang. Sur l'ensemble des thématiques les taux de citation des articles français sont supérieurs à ceux

**Figure 6** - Fréquence des co-signatures entre organismes pour les 26 premiers organismes publiants français pour la période 2010-2016. Pour chaque organisme le rayon du nœud est proportionnel au nombre de co-signature et l'épaisseur du lien est proportionnel au nombre de co-signatures avec l'organisme partenaire (réalisé avec Gephi - Spatialisation Fruchterman Reingold (<https://gephi.org/>))

**Figure 6** - Frequency of co-authoring between the main French institutions publishing on soils (period 2010-2016). For each institution the radius of the node is proportional to the number of co-authoring and the width of the link is proportional to the number of co-authoring with the partner institution (made with Gephi - Spatialisation Fruchterman Reingold (<https://gephi.org/>)).



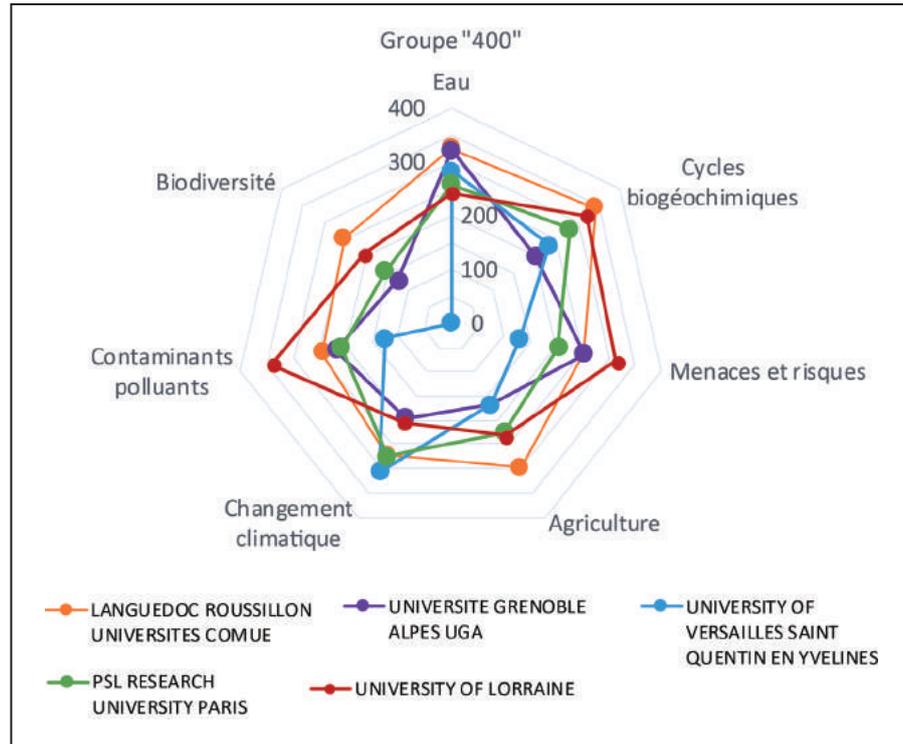
des articles d'autres pays avancés comme les Etats-Unis, le Japon, l'Italie ou l'Espagne, et loin devant les taux de citations des articles des pays émergents comme la Chine, le Brésil ou l'Inde. Le moindre rang de la France en termes de nombre de publications sur les thèmes « Agriculture », « Menaces et Risques » et « Cycles biogéochimiques » est tempéré par les

taux de citations élevés des publications françaises relevant de ces domaines thématiques.

L'analyse comparée de la cinétique de prise en charge de ces enjeux par la recherche française montre que celle-ci a généralement été synchronisée avec les autres pays (ex. Contaminants/polluants; Changement climatique). Elle a été plus

**Figure 7** - Cartographie thématique des Universités ayant produit entre 300 et 400 articles sur les sols dans au moins une des 7 thématiques analysées.

**Figure 7** - Contribution of the French Universities having produced between 300 and 400 scientific papers on soils to some key thematic.



précoce sur le thème Biodiversité, mais plus tardive sur le thème Menaces et Risques (résultats non montrés).

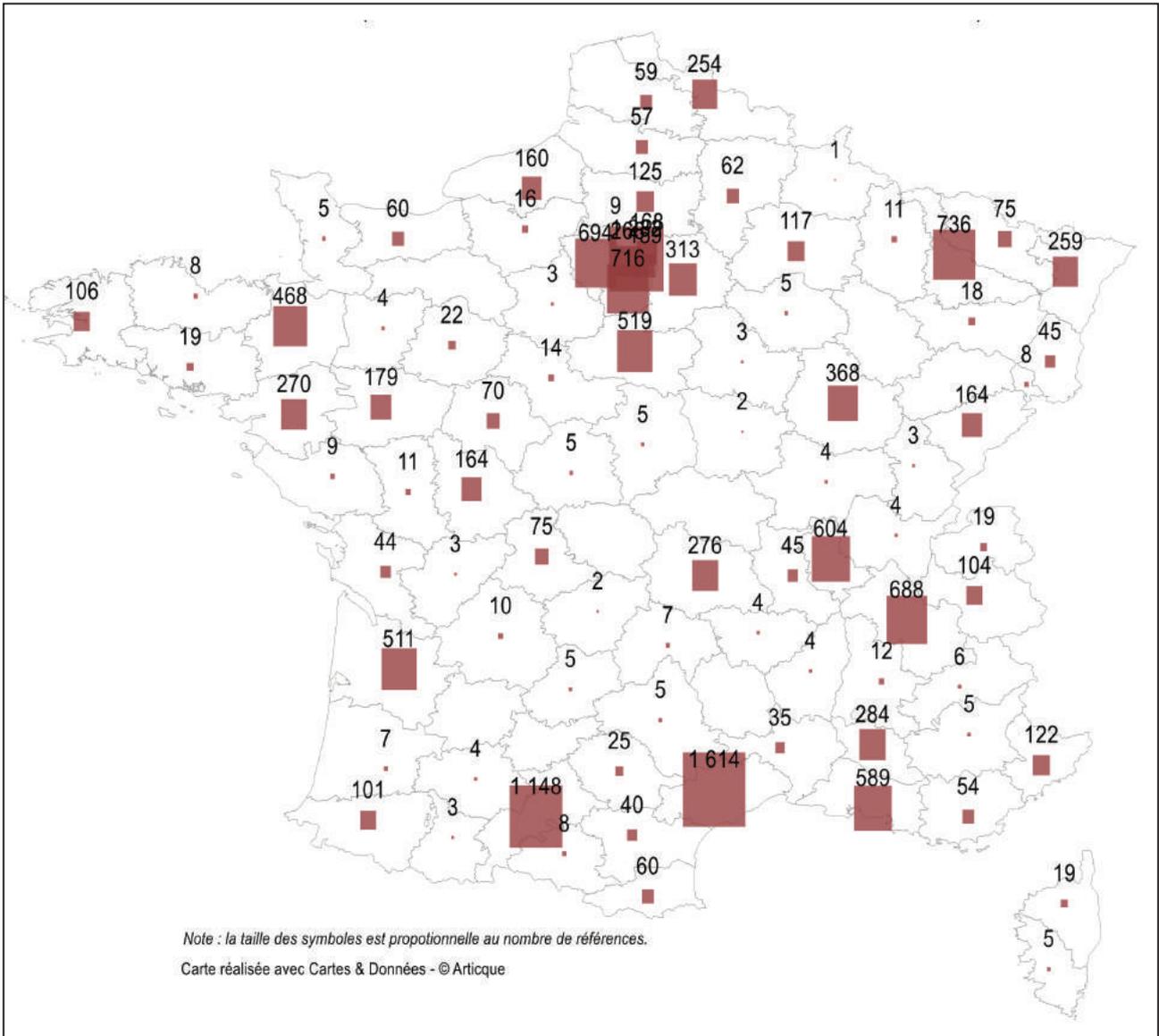
Enfin, l'analyse de la production française sur quelques thèmes très spécifiques ou émergents en lien avec les sols comme les sols extra-terrestres, les sols urbains, les Sciences Humaines et Sociales (SHS; économie, droit, sociologie...) montre que la prise en charge de ces thèmes est en général synchronisée avec la communauté internationale. Il convient de noter quelques domaines d'excellence comme les sols extra-terrestres, pour lesquels la production académique française représente 9 % de la production mondiale. L'analyse qualitative d'un corpus limité à 189 articles scientifiques français récents (période 2006 – 2016) consacrés aux sols en Sciences Humaines et Sociales illustre la grande diversité des thématiques liées aux sols abordées par les SHS. Elles concernent la santé (risques liés aux sols pollués), les archives environnementales et culturelles que constituent les sols, les questions liées à la régulation du climat par les sols, la gouvernance de l'eau, le problème de dégradation et d'artificialisation des sols, ainsi que les enjeux pour les sols liés à la bioéconomie et l'agroécologie.

### 3.4 Analyse institutionnelle et géographique

Du fait de l'organisation de la recherche publique en France, la visibilité internationale des organismes français travaillant sur les sols est exceptionnelle puisque le CNRS se situe pour la période 2010-2016 au 3<sup>e</sup> rang mondial des institutions publiantes,

derrière la CAS (Chinese Academy of Sciences) et l'USDA (United States Department of Agriculture). L'INRA apparaît en 5<sup>e</sup> position, et l'IRD en 9<sup>e</sup> position. Au niveau français l'INRA est passé de la première position jusque dans les années 90 à la 2<sup>e</sup> position depuis les années 2000, traduisant là encore un élargissement de la communauté scientifique travaillant sur les sols, au-delà des enjeux liés à la production agricole. La cartographie thématique des principaux établissements de recherche français fait apparaître une prééminence du CNRS dans les domaines de l'eau, des contaminants, du changement climatique et des menaces et risques (figure 5). L'INRA, sans surprise, affirme sa position dominante dans le domaine de l'agriculture et des cycles biogéochimiques. L'IRD occupe une position thématique très similaire à celle du CNRS, ce qui s'explique probablement par sa politique de constitution d'UMR au sein d'unités ayant notamment pour cotutelle le CNRS. L'analyse des co-signatures entre organismes français montre qu'elles sont nombreuses entre le CNRS et l'IRD, entre le CNRS et l'INRA, mais presque inexistantes entre l'IRD et le CIRAD. Les publications en co-signature d'IRSTEA sont plus nombreuses avec le CNRS qu'avec l'INRA (figure 6). L'analyse de la contribution des Universités aux recherches sur les sols est plus difficile à analyser compte tenu des très nombreuses évolutions de périmètres et d'intitulés. En séparant les universités en 4 groupes, fonction de leur volume de publications sur les sols, on fait cependant apparaître quelques tendances et spécificités. Les plus grandes Universités ou Ecoles (Paris-Saclay, Toulouse, Sorbonne-Université,

**Figure 8** - Nombre de publications scientifiques sur les sols par site géographique (département). Période 2010-2016.  
**Figure 8** - Number of scientific papers on soils per site (French departments) (period 2010-2016).



AgroParisTech), ayant produit au moins 500 publications dans au moins l'une des 7 thématiques analysées, présentent une cartographie thématique proche de la cartographie thématique nationale, ce qui va de pair avec leur influence majeure dans le domaine, mais ne permet pas de dégager dans leurs activités un domaine de spécialisation différenciant. Les universités qui se définissent par un volume de publications sur les sols encore conséquent mais moindre que dans le groupe précédent se caractérisent par des spectres de spécialisation nettement plus différenciés. On peut citer par exemple, la biodiversité à Montpellier, les contaminants en Lorraine, l'eau à Grenoble ou

le changement climatique à Versailles-Saint Quentin (figure 7). Ce positionnement spécialisé permet de rivaliser avec le groupe précédent dans des domaines restreints pour lesquels elles occupent une place importante aux niveaux national et international. Le troisième groupe se caractérise, comme le premier, par un spectre thématique plutôt généraliste. Il s'agit d'Universités de taille moyenne pour lesquelles la recherche sur les sols ne semble pas être un élément particulièrement fort de leur activité de recherche. Enfin le groupe des Universités ayant produit entre 100 et 200 publications sur les sols dans au moins une thématique est constitué d'Universités de taille

modeste, dont certaines sont généralistes (Université de Savoie, Université de Rennes) et d'autres présentent une spécificité dans le domaine des sols (Orléans, Avignon). Indépendamment des aspects institutionnels (organismes de recherche, Université ou Ecole), l'analyse de l'origine géographique des publications sur les sols fait apparaître une dizaine de pôles majeurs: en région parisienne, à Montpellier, Toulouse, Nancy, Grenoble, Lyon, Marseille, Orléans, Bordeaux, Rennes (*figure 8*).

## 4 - SYNTHÈSE ET CONCLUSION

L'ensemble des résultats précédents montre que la France est un acteur majeur de la recherche sur les sols au niveau mondial. Même si la production française d'articles dans ce domaine ne représente que 4.3 % de la production mondiale en termes de nombre de publications, l'analyse des taux de citations révèle que la production française est dans le peloton de tête des pays publiants pour la qualité de sa production. En termes de notoriété elle se situe un peu derrière l'Angleterre, à égalité avec l'Allemagne et l'Australie, devant les Etats-Unis, les autres pays européens et loin devant les pays émergents. L'internationalisation et la visibilité de la recherche française se sont accrues, avec une augmentation du pourcentage d'articles co-signés à l'international (passage de 45 % dans les années 90-2000 à 59 % dans les années récentes), un nombre significatif d'articles à forte visibilité (catégories « highly cited » et « hot papers » du WoS) et un nombre croissant d'articles dans des revues généralistes prestigieuses. Plusieurs organismes publics français contribuant aux recherches sur les sols ont, du fait de leur taille, une excellente visibilité (le CNRS est la 3<sup>e</sup> institution mondiale publiant sur les sols et l'INRA est la 5<sup>e</sup>). L'analyse thématique de la production française montre que l'ensemble des grands enjeux actuels liés au sol sont pris en charge, avec une réactivité similaire à celle de la communauté internationale pour les enjeux émergents et une qualité de la production scientifique équivalente pour toutes les thématiques (3<sup>e</sup> ou 4<sup>e</sup> rang mondial pour le taux de citation, quelle que soit la thématique). L'évolution des supports de publications (principalement des revues d'agronomie et de science du sol dans les années 70-80-90; majoritairement des revues du domaine de l'environnement depuis les années 2000) et celle des mots-clés associés aux recherches sur les sols sont révélatrices du très fort élargissement des enjeux liés aux sols et des communautés scientifiques s'y intéressant. Au niveau français et institutionnel cela se traduit par un grand nombre d'organismes impliqués, et un certain ré-ordonnement de leurs contributions respectives (le CNRS devance désormais l'INRA en nombre de publications sur les sols). L'analyse des profils de production des différents organismes montre un degré de spécialisation assez faible pour les plus importants d'entre eux, hormis quelques spécificités liées à leurs missions (e.g. sols agricoles pour l'INRA). L'analyse

des co-signatures révèle un niveau élevé de collaboration entre organismes français, à quelques exceptions près, ce qui suggère que la pluralité des organismes conduisant des recherches sur les sols n'est pas un obstacle à la conduite de travaux communs. La diversité des acteurs et les recouvrements thématiques militent cependant pour une stratégie scientifique concertée. La création d'Unités Mixtes de Recherche sur le thème des sols (comme cela a été le cas entre le CNRS et l'IRD par exemple), le rapprochement d'organismes comme l'INRA, le CIRAD et les Ecoles d'agronomie au sein d'Agreenium, voire la fusion en cours entre l'INRA et IRSTEA devraient y contribuer. Des appels à projets inter organismes sont aussi un moyen puissant pour favoriser les collaborations.

Sans être alarmants, quelques signaux faibles doivent être surveillés avec attention à l'avenir: les trois domaines thématiques où la France a reculé et est un peu moins bien placée en nombre de publications (pas en qualité) sur la période récente sont les cycles biogéochimiques (8<sup>e</sup> rang mondial), l'agriculture (9<sup>e</sup> rang) et les menaces et risques (9<sup>e</sup> rang mondial). Ceci résulte probablement des politiques de recrutement adoptées ces dernières décennies, qui ont privilégié des thèmes à fort enjeu pour l'avenir comme la contamination des sols et la biodiversité. Sur ces deux thèmes la France est effectivement mieux placée en termes de nombre d'articles produits (6<sup>e</sup> rang mondial). Une recommandation issue de cette analyse est de veiller au renouvellement des générations de chercheurs également dans les domaines thématiques plus classiques de la science du sol, eux aussi associés à de forts enjeux (sol, agriculture et sécurité alimentaire mondiale; sol, cycles CN et atténuation du changement climatique; sols, risques et protection de la ressource).

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient leurs organismes d'appartenance pour leur soutien dans la conduite de ce travail, avec une mention particulière pour le département « Environnement et Agronomie » de l'INRA qui a mis à disposition pour ce projet une ingénieure bibliométricienne sans qui ce travail n'aurait pas pu être mené.

**BIBLIOGRAPHIE**

- ANR, 2014 - Quelles recherches sur les sols? 24 p.
- Bellec P., Lavarde P., Lefebvre L., Madignier M-L., 2015 - Propositions pour un cadre national de gestion durable des sols. Rapport CGEDD n° 010068-01, CGAAER n° 14135, 135 p.
- Cameron EK., Martins IS., Lavelle P., Mathieu J., Tedersoo L., Gottschall F., Guerra CA., Hines J., Patoine G., Siebert J., Winter M., Cesarz S., Delgado-Baquerizo M., Ferlian O., Fierer N., Krefl H., Lovejoy TE., Montanarella L., Orgiazzi A., Pereira HM., Phillips HRP., Settele J., Wall DH., Eisenhauer N. - Global gaps in soil biodiversity data. *Nature Ecology & Evolution*, 2 (7), 1042-1043. DOI: 10.1038/s41559-018-0573-8
- CNRS, 2015 - Les sols, Livre blanc, 68 p.
- Comité interministériel biodiversité, 2018 - Plan Biodiversité. Ministère de la Transition écologique et solidaire, 28 p.
- Courtoux A. et Claveirole C., 2015 - La bonne gestion des sols agricoles: un enjeu de société. CESE, Paris, 66 p.
- Fournil J., Kon Kam King J., Granjou C., Cécillon L. (2018) - Le sol: enquête sur les mécanismes de (non) émergence d'un problème public environnemental. *Vertigo*, 18 (2), <https://journals.openedition.org/vertigo/20433>
- Gomiero T., 2016 - Soil Degradation, Land Scarcity and Food Security: Reviewing a Complex Challenge. *Sustainability*, 8 (3) 281. DOI: 10.3390/su8030281
- Minasny B., Malone BP., McBratney AB., Angers DA., Arrouays D., Chambers A., Chaplot V., Chen ZS., Cheng K., Das BS., Field DJ., Gimona A., Hedley CB., Hong SY., Mandal B., Marchant BP., Martin M., McConkey BG., Mulder VL., O'Rourke S., Richer-de-Forges AC., Odeh I., Padarian J., Paustian K., Pan GX., Poggio L., Savin I., Stolbovoy V., Stockmann U., Sulaeman, Y., Tsui CC., Vagen TG., van Wesemael B., Winowiecki L., 2017 - "Soil Carbon 4 Per Mille." *Geoderma*, 292 (April): 59 – 86. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.01.002.

## Annexe n° 1

### LISTE DE MOTS-CLÉS, CROISÉS AVEC LE MOT-CLÉ « SOIL », UTILISÉS POUR REPÉRER LES ARTICLES RELATIFS À CHACUNE DES THÉMATIQUES ÉTUDIÉES

#### 1- Contaminants et polluants

TS=(contamina\* or pollut\* or metal\* or nanoparticle\* or remediati\* or restor\* or sorpt\* or desorpti\* or speciation or bioaccumulat\* or toxic\* or phytotoxic\* or ecotoxic\* or "oxidative stress" or "mine tailings\*" or radionuclide\* or pesticide\* or herbicide\* or arsenic or lead or cadmium or mercury or zinc or copper or nickel or "polycyclic aromatic hydrocarbon\*" or "PAH\*" or atrazine or glyphosate\* or 137Cs or Cs137 or "137 Cs" or "Cs 137" or antibiotic\*)

#### 2- Biodiversité

TS=("soil biodiversity" or edaphon or "soil ecolog\*" or "soil biolog\*" or "soil \*fauna" or "soil \*organism\*" or "soil biota" or "soil life" or dna or rna or barcoding or fungi or bacteri\* or "microbial biomass" or "microbial communit\*" or "trophic network\*" or "food web\*" or "functional guild\*" or "trophic group\*" or "biological activit\*" or "biological control\*" or biocontrol\* or earthworm\* or protozoa\* or nematode\* or acari\* or termite\* or collembola\* or pyrosequencing or "polyphasic taxonomy" or enzym\* or plfa or "microbial diversity" or "community structure\*" or mycorrhiz\* or symbio\* or "functional diversity" or rhizobacteri\* or cyanobacteri\* or archaea\* or alga\* or "T RFLP" or DGGE or PCR or rhizospher\* or rhizobi\* or "genetic diversity")

#### 3- Menaces et risques

TS=(degradat\* or desertificat\* or erosion OR erodat\* or crusting or sealing or "sediment yield\*" or runoff or "run off" or flooding or landslide\* or compact\* or acidificat\* or salinizat\* or salinat\* or salt\* or sodium or chloride\* or pollut\* or contaminat\* or restorat\* or urbanizat\* or pathogen\* or "heavy metal\*" or "trace metal\*" or pesticide\* or herbicide\* or antibiotic\* or "soil threat\*")

#### 4- Changement climatique

TS=(climat\* OR "climate change" OR "global warming" OR "global chang\*" OR temperature OR "greenhouse gas\*" OR carbon OR "carbon dioxyde" OR methane OR "nitrous oxide" OR CO2 OR CH4 OR N2O OR nitrification OR denitrification OR "carbon cycle" OR "carbon storage" OR "carbon sequestration" OR mitigation OR abatement)

#### 5- Eau

TS=(hydrolog\* OR water OR "soil water content" OR groundwater OR moisture OR evaporation OR transpiration OR evapotranspiration OR "evapo transpiration" OR "stomatal conductance" OR precipitation OR rainfall OR irrigation OR runoff OR "run off" OR leaching OR drainage OR drought OR swat OR "hydraulic conductivity" OR infiltration OR permeability OR saturation OR "unsaturated soil\*" OR flooding OR watershed\* OR wetland\* OR "water use efficiency" OR "water balance" OR "water stress" OR "water uptake" OR wastewater)

#### 6- Cycles biogéochimiques

TS=("biogeochemical cycle\*" OR nitrogen OR nitrate OR ammonium OR phosphorus OR phosphate OR potassium OR nutrient\* OR micronutrient\* OR macronutrient\* OR carbon OR "organic matter" OR decomposition OR mineralization OR biodegradation OR respiration OR organization OR immobilization OR "nitrogen fixation" OR bioavailability OR uptake OR manure OR residue\* OR litter\* OR "sewage sludge" OR biosolid\* OR compost\* OR "anaerobic digestion" OR recycl\*)

#### 7- Agriculture

TS=(agricultur\* OR "organic farm\*" OR cropland\* OR grassland\* OR "farming system\*" OR "cropping system\*" OR "crop rotation" OR crop\* OR grass\* OR yield\* OR biomass\* OR "management practic\*" OR fertiliz\* OR tillage OR "no till" OR "cover crop\*" OR intercropping OR maize OR "zea mays" OR corn OR wheat OR rice OR vegetable\* OR soybean\* OR cotton OR potato\* OR legume\* OR "sugar cane")