

Des indicateurs pour préserver la qualité des sols

Isabelle Cousin, Maylis Desrousseaux,
Sophie Leenhardt, coord.



Des indicateurs pour préserver la qualité des sols

Isabelle Cousin, Maylis Desrousseaux,
Sophie Leenhardt, coord.

Éditions Quæ



Pour citer cet ouvrage :

Cousin I., Desrousseaux M., Leenhardt S., coord., 2025. *Des indicateurs pour préserver la qualité des sols*, Versailles, éditions Quæ, 200 p.

Direction de l'expertise scientifique collective,
de la prospective et des études (DEPE) :
Guy Richard, directeur.

Pilotes scientifiques du projet :
Isabelle Cousin, directrice de recherche, INRAE,
unité de recherche Info&Sols, Orléans, France.
Maylis Desrousseaux, maîtresse de conférences,
École d'Urbanisme de Paris, Champs-sur-Marne, France.

Coordination du projet :
Sophie Leenhardt, INRAE, DEPE.

Cet ouvrage est la synthèse du rapport d'expertise dont les auteurs sont
le comité d'experts, les contributeurs ponctuels sollicités par les experts
et les contributeurs de la DEPE :

Isabelle Cousin (coord.), Maylis Desrousseaux (coord.), Sophie Leenhardt (coord.),
Denis Angers, Laurent Augusto, Jean-Sauveur Ay, Adrien Baysse-Lainé, Philippe Branchu,
Alain Brauman, Marie-Caroline Brichler, Nicolas Chemidlin Prévost-Bouré,
Claude Compagnone, Claire Froger, Raphaël Gros, Carole Hermon, Julie Itey,
Catherine Keller, Bertrand Laroche, Virginie Lelièvre, Sybille de Mareschal,
Germain Meulemans, David Montagne, Guénola Pérès, Nicolas Saby,
Emmanuelle Vaudour, Jean Villerd, Cyrille Violle, 2024. *Préserver la qualité des sols :
vers un référentiel d'indicateurs. Synthèse du rapport d'étude*, INRAE (France), 130 p.

La synthèse ainsi que le rapport dont elle a été tirée ont été élaborés
par un collectif d'experts scientifiques sans condition d'approbation préalable
par les commanditaires ou INRAE. Ils n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

Les documents relatifs à cette étude sont disponibles sur le site web d'INRAE
(www.inrae.fr).

Cet ouvrage est publié sous licence CC-by-NC-ND 4.0.

Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex, France
www.quae.com – www.quae-open.com

© Éditions Quæ, 2025
ISBN papier : 978-2-7592-4169-9 – ISBN PDF : 978-2-7592-4170-5
ISBN epub : 978-2-7592-4171-2 – ISSN : 2115-1229

Sommaire

Avant-propos	5
1. Fondements de l'étude	7
Contexte et traitement de la saisine	7
Collectif d'experts mobilisé	15
Corpus bibliographique analysé	16
Guide de lecture et terminologie employée pour la présente synthèse	20
2. Cadres de mise en œuvre de l'évaluation de la qualité des sols	25
Acteurs et dispositifs de l'évaluation de la qualité des sols	25
Diversité des perceptions des sols et de leurs qualités	27
Coproductioin de l'information sur la qualité des sols	33
3. Place de la qualité des sols dans les cadres de gouvernance	37
Propriété privée et intervention publique	37
Mesures et valeurs économiques de la qualité des sols	43
Critères mobilisés dans le domaine du droit	48
Encadrer la désartificialisation des sols et leur restauration écologique	56
Territorialité d'une intervention publique sur la qualité des sols	60
4. Les dimensions de la qualité et de la santé des sols et le choix des fonctions	67
Évolutions de la terminologie et des concepts	67
Une distinction non stabilisée entre qualité et santé des sols	69
De la qualité aux fonctions écologiques des sols	71
Approches pour évaluer la multifonctionnalité des sols	79
Limites d'une approche par les fonctions	83
5. Démarche d'évaluation	85
Finalité de l'évaluation	85
Choix de l' <i>indicandum</i> et des indicateurs pertinents	91
Mesure des valeurs de paramètres et d'indicateurs	94
Référentiel et cadre d'interprétation	111

<i>Scoring</i> ou normalisation des indicateurs	114
Agrégation multicritère formant un indice de qualité des sols	115
Surveillance de la qualité des sols dans l'espace et le temps	118
6. Liste générique d'indicateurs de fonctions des sols et essai d'évaluation sur un territoire	121
Principales catégorisations des indicateurs	121
Indicateurs génériques sélectionnés	125
Opérationnalité des indicateurs	130
Évaluer la qualité des sols sur un territoire français	138
7. Enseignements et pistes de recherche	145
Récapitulatif des principaux enseignements	145
Pistes de recherche	153
Annexes	159
Sources bibliographiques citées	180
Sigles et abréviations	192
Collectif de travail	195

Avant-propos

Au cours de la dernière décennie, la montée en puissance des préoccupations relatives à la dégradation de la qualité des sols s'est accompagnée d'un foisonnement de propositions d'indicateurs, de façons de les calculer et de les mettre en œuvre, de la part d'acteurs publics comme privés, avec des bases scientifiques plus ou moins bien explicitées. Afin de faciliter la prise en compte de la qualité des sols dans l'évaluation et la mise en œuvre des politiques publiques, le groupement d'intérêt scientifique sur les Sols (GIS Sol) a mis en évidence le besoin de rassembler les ressources scientifiques disponibles pour caractériser cette qualité, identifier et tester les principaux indicateurs mobilisables et les méthodes associées.

Le GIS Sol a pour missions de constituer et de gérer le système d'information sur les sols de France, afin de répondre aux demandes des pouvoirs publics et de la société. L'ensemble de partenaires qu'il regroupe le positionne à l'interface entre politiques publiques et recherche. Pour répondre au besoin de synthèse sur les indicateurs de la qualité des sols, la conduite de la présente étude a été décidée et financée par l'Agence de la transition écologique (Ademe), l'Office français de la biodiversité (OFB), le ministère de la Transition écologique, de l'énergie, du climat et de la prévention des risques (MTECPR), et le ministère de l'Agriculture, de la souveraineté alimentaire et de la forêt (MASAF). La conduite en a été confiée à la Direction de l'expertise scientifique collective, de la prospective et des études (DEPE) d'INRAE.

Les résultats sont publiés sur les sites Internet d'INRAE et du GIS Sol sous trois formats de documents disponibles en ligne. Le rapport scientifique complet comporte un rappel des éléments de contexte de l'expertise, les éléments de cadrage scientifique de l'étude, la description de la méthode mise en œuvre et du corpus bibliographique cité qui intègre près de 1800 références, les analyses produites par les experts, ainsi que les conclusions générales qui en découlent. La présente synthèse rassemble les principaux constats établis dans le rapport d'étude, sans mobiliser l'intégralité du corpus scientifique utilisé. Ainsi, les sources figurant dans l'annexe bibliographique de cette synthèse ne représentent pas l'ensemble du corpus, qui doit être consulté dans le rapport (Cousin *et al.*, 2024). Le résumé présente succinctement les principaux enseignements tirés de ces travaux. En outre, les résultats ont fait l'objet, le 20 novembre 2024, d'un colloque public de restitution, dont les captations vidéo sont également disponibles en ligne.

1. Fondements de l'étude

Contexte et traitement de la saisine

I Contexte

La qualité du sol est une préoccupation ancestrale et a longtemps été quotidiennement perçue par les populations alors majoritairement rurales comme facteur essentiel de subsistance. L'industrialisation et l'urbanisation ont constitué une forme d'affranchissement des activités humaines vis-à-vis des caractéristiques et contraintes du sol. Elles ont introduit un éloignement du sol nourricier remplacé par le commerce de détail et une neutralisation de cette surface par des revêtements plus stables et inertes. Dans le domaine agricole, la mécanisation, les aménagements et les intrants sont venus atténuer les spécificités des sols cultivés (drainage des sols humides, irrigation des sols séchants, marnage et chaulage des sols acides, fertilisation minérale des sols pauvres, etc.). Cette mise en culture des terres et l'augmentation des rendements ont accompagné une dynamique démographique et une évolution des régimes alimentaires sans précédent.

Les impacts sur les sols des activités humaines se traduisent aujourd'hui par des dégradations face auxquelles la résilience du système sol est limitée, voire compromise, à l'échelle de quelques décennies. Or les sols sont l'origine d'une large part des ressources utilisées par les humains, notamment pour leur alimentation, et leur fragilité face aux dérèglements environnementaux inquiète. En effet, ils jouent un rôle important dans l'atténuation de ces dérèglements, mais peuvent à l'inverse y contribuer fortement dès lors que certains seuils sont dépassés (émissions de gaz à effet de serre associées au dégel des pergélisols — sols polaires —, à la désertification des sols méditerranéens, etc.). L'alerte est ainsi relayée à chaque niveau institutionnel : l'estimation globale de la part des terres concernées par la dégradation est de 20 à 40 % (United Nations Convention to Combat Desertification, 2022) ; au sein de l'Union européenne (UE), l'Observatoire des sols (EUSO) établit que 60 à 70 % des surfaces de l'UE sont affectés par au moins un processus de dégradation des sols¹ (artificialisation, érosion, tassement, pollution, excès de nutriments, salinisation, perte de matière organique, perte de biodiversité) ; et en France, de l'ordre de 20 000 ha d'espaces naturels, agricoles ou forestiers sont consommés chaque année². Les changements d'usage des sols ont ainsi été intégrés dans la liste des

1. EUSO (European Union Soil Observatory), <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/esdacviewer/euso-dashboard> (consulté le 4/11/2024).

2. Observatoire français de l'artificialisation des sols, <https://artificialisation.developpement-durable.gouv.fr> (consulté le 9/11/2024).

9 limites planétaires dont le dépassement compromet la durabilité des conditions de développement de l'humanité³.

La préservation des sols rejoint des enjeux planétaires tels que le climat et la biodiversité auxquels elle est étroitement reliée. En effet, ce sont de l'ordre de 60 % des espèces vivantes connues (Anthony *et al.*, 2023) qui résident dans le sol, et celui-ci joue un rôle majeur dans les cycles hydrobiogéochimiques qui régulent la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre. Assurer des conditions de vie favorables à la biodiversité et aux sociétés humaines passe de manière inéluctable par cette préservation des sols.

La prise de conscience progressive du rôle des sols pour la préservation des écosystèmes sur lesquels reposent les activités humaines et la sécurité alimentaire s'est traduite par des initiatives politiques et l'adoption d'instruments institutionnels aux niveaux international et national, dont les principaux jalonnent la frise chronologique représentée en figure 1.1. Le milieu des années 2010 est remarquable à ce titre, avec l'instauration d'importants partenariats sous l'égide de l'ONU autour de l'Année internationale des sols en 2015. Les grandes stratégies adoptées au début des années 2020 au niveau européen (Pacte vert et Pacte pour des sols sains en Europe) et au niveau français (Stratégie nationale pour la biodiversité - SNB 2030, qui prévoit notamment l'élaboration d'une stratégie nationale sur les sols) ont posé les jalons d'une politique de préservation des sols.

Sur un plan législatif, des initiatives ont été prises au début des années 2020 en France (loi Climat et résilience fixant un objectif de limitation de l'artificialisation des sols) et dans l'UE (proposition de directive-cadre sur la surveillance et la résilience des sols).

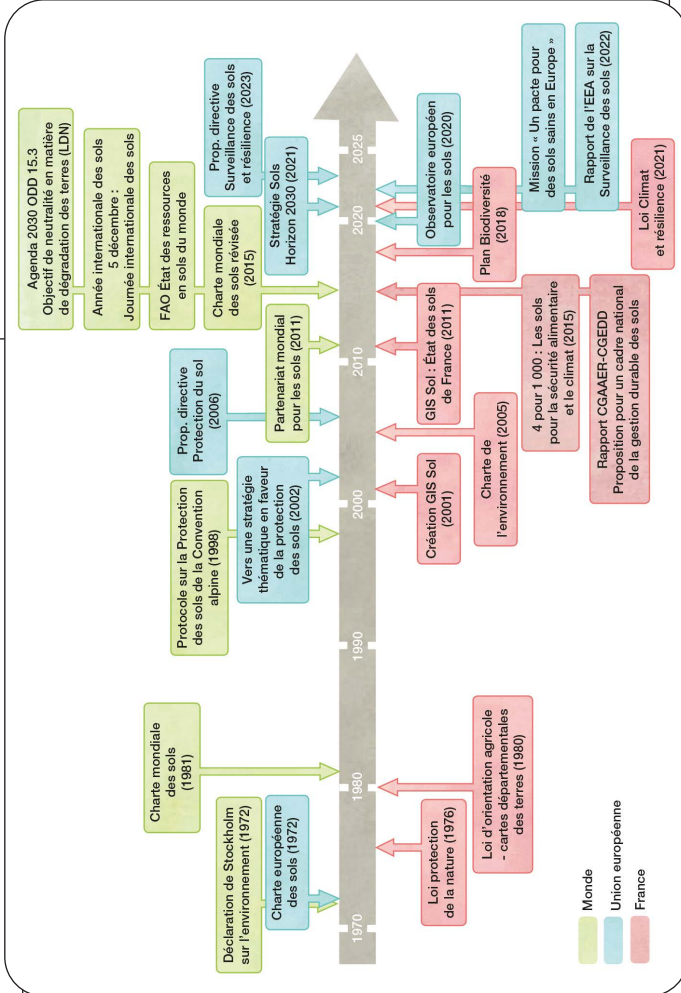
■ Le fonctionnement du sol et les activités humaines

Les sols en lien avec les cycles hydrobiogéochimiques et la biodiversité

La montée en puissance des préoccupations concernant les sols est liée au rôle fondamental qu'ils jouent, dans les cycles qui les relient aux différentes sphères constituant le globe terrestre : l'atmosphère, la biosphère, la lithosphère et l'hydrosphère. Les états de surface de la couverture pédologique sont en relation avec la gravité, les vents, la circulation de l'eau, verticale ou latérale, dans, en dessous ou au-dessus de la couverture pédologique (nappes superficielles et profondes, évaporation, évapotranspiration, pluies, eaux douces et marines). La biosphère influence les sols par ses apports

3. « Les limites planétaires définissent un espace de développement sûr et juste pour l'humanité, fondé sur des processus biophysiques intrinsèques qui régulent la stabilité du système terrestre et marine à l'échelle de la planète. Neuf processus biophysiques qui, ensemble, régulent cette stabilité : le changement climatique, l'érosion de la biodiversité, la perturbation des cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore, les changements d'utilisation des sols, l'acidification des océans, l'utilisation mondiale de l'eau, l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique, l'augmentation des aérosols dans l'atmosphère, l'introduction d'entités nouvelles dans la biosphère », Steffen *et al.* (2015 ; <https://doi.org/10.1126/science.1259855>), cité par FRB (2023 ; https://www.fondationbiodiversite.fr/wp-content/uploads/2023/10/FRB_Prospective_2023.pdf, p. 41).

Figure 1.1. Frise chronologique des principales initiatives institutionnelles visant directement ou indirectement la préservation de la qualité des sols.



ODD : objectifs de développement durable; FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture; CGAER : Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux; CGEDD : Conseil général de l'environnement et du développement durable (aujourd'hui IGEDD); EEA : Agence européenne pour l'environnement; GIS : Groupement d'intérêt scientifique; SNB : Stratégie nationale biodiversité.

organiques (litières se décomposant, pluviolessivats et surtout racines, et faune du sol) ainsi que par des prélèvements de nutriments que les sols mettent à sa disposition. La lithosphère, en plus d'un support à la couverture pédologique, constitue une ressource de minéraux qui sont transformés, altérés et réorganisés.

La couverture pédologique est un système dynamique de flux. Il est ainsi difficile de parler de formation du sol comme si le sol prenait naissance à une date donnée (Girard *et al.*, 2023). Certains processus régissant les cycles hydrobiogéochimiques constituent des entrées vers le sol (notamment l'altération du substrat géologique, les dépôts atmosphériques et les précipitations, l'activité biologique, les apports anthropiques comme la fertilisation), d'autres constituent des sorties (notamment le ruissellement et l'érosion à la surface du sol vers les cours d'eau, la percolation et la lixiviation vers les couches profondes, les émissions gazeuses vers l'atmosphère, l'exportation par les récoltes de biomasse).

Les sols jouent ainsi un rôle majeur dans les cycles de nombreux éléments, notamment ceux du carbone, de l'azote, du phosphore ou encore du potassium. Ils constituent le principal réservoir planétaire pour certains d'entre eux et le lieu de leur recyclage au sein de la matière organique, en interaction avec le fonctionnement des organismes microbiens, végétaux et animaux. Les ordres de grandeur récemment rassemblés (Friedlingstein *et al.*, 2023) montrent que les sols forment le plus grand réservoir de carbone organique devant la biomasse terrestre, les sédiments superficiels et l'océan. Les flux de carbone entre le sol et l'atmosphère sont importants et peuvent être positifs (séquestration) ou négatifs (émission de CO₂). L'augmentation, ou *a minima* le maintien, du stock en carbone du sol est considérée comme indispensable pour limiter ou pour atténuer l'augmentation prévue de la teneur en CO₂ de l'atmosphère et ses conséquences en matière de changement climatique (Brunet et Voltz, 2023).

À l'échelle mondiale, les sols continentaux reçoivent en moyenne 800 mm de pluie par an (Brunet et Voltz, 2023). Pour la France, cette moyenne est de 600 mm. Les sols retiennent une partie de l'eau infiltrée durant les saisons humides, eau qui peut ensuite être accessible aux plantes pour leur croissance. Elle est alors évaporée, soit par la végétation, soit directement par les sols. L'influence des sociétés humaines est déterminante sur le partage entre eau de pluie infiltrée, eau qui ruisselle et eau qui percole dans les sols. La capacité de stockage des sols peut atteindre, dans les milieux tempérés, les 2/5^e, voire la moitié de la pluviométrie annuelle (Brunet et Voltz, 2023). L'eau non stockée transite par le sol, constitue l'eau des nappes, des rivières et des lacs, et aboutit dans les mers et les océans.

Le sol et les activités humaines : services écosystémiques, fonctions et dégradations

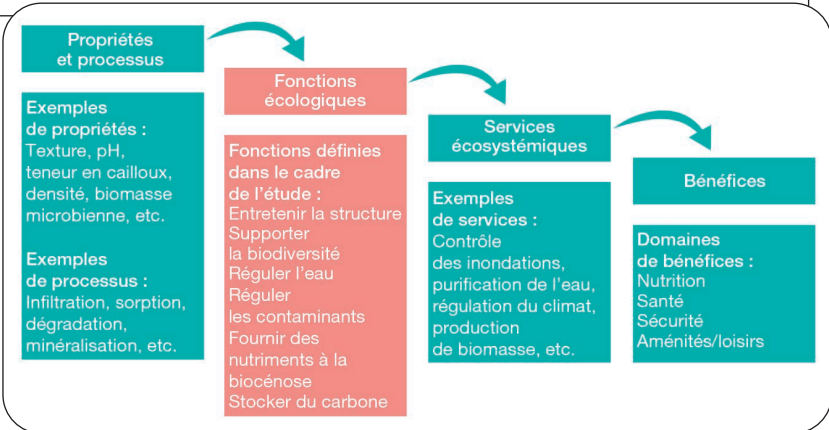
Les activités anthropiques dépendent de ces cycles et les influencent. Le cadre conceptuel de la cascade des services écosystémiques proposé par Haines-Young et Potschin (2010) permet d'analyser les relations entre les propriétés d'un sol, ses fonctions et les

services écosystémiques qui bénéficient aux êtres humains. La figure 1.2 en reprend l'illustration adaptée par Greiner *et al.* (2017). Les propriétés d'un sol déterminent ainsi fortement les avantages qui peuvent en être attendus.

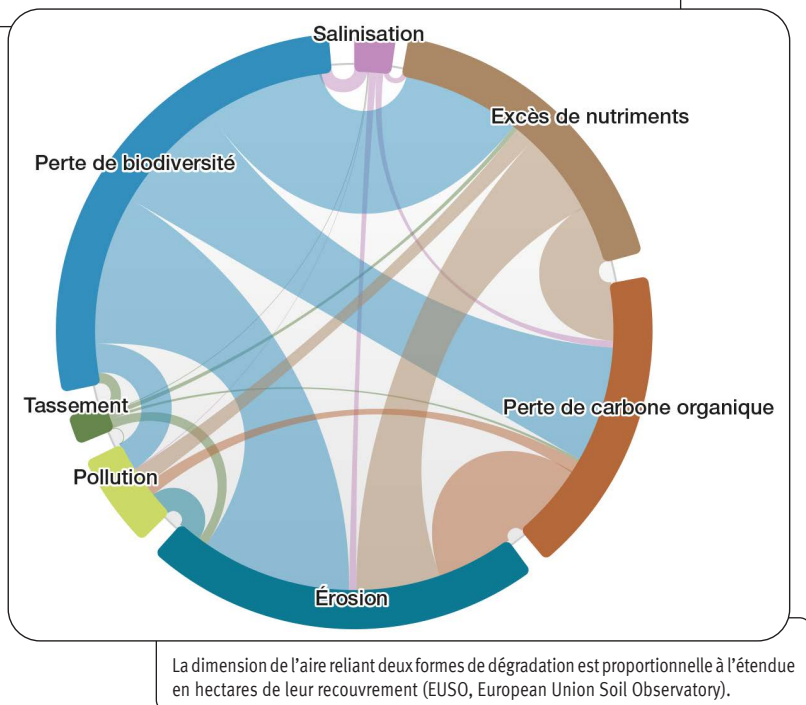
Réciproquement, les interventions humaines en matière d'aménagement (p. ex., nivellement, imperméabilisation, drainage) ou de gestion des sols (p. ex., travail du sol, fertilisation) influencent ces propriétés avec des intensités et des temporalités variées. Il en résulte des dégradations des sols qui peuvent être mesurées en tant que telles. C'est l'approche qui a été privilégiée jusqu'à présent au niveau de l'Observatoire européen des sols⁴, reprise dans la figure 1.3. Huit principales menaces y sont évaluées : l'artificialisation d'une part, et, pour les sols non artificialisés d'autre part, la perte de biodiversité, la perte de carbone organique, la pollution, l'excès de nutriments, le tassement, la salinisation et l'érosion.

Le sol est considéré comme dégradé lorsqu'il est artificialisé, ou dès lors que l'une de ces menaces atteint un niveau établi comme critique. En effet, certains de ces processus peuvent survenir de manière naturelle dans les sols. Par exemple, certains contaminants y sont naturellement présents à des concentrations qui correspondent à ce que l'on appelle le fond géochimique. Ce n'est qu'au-delà de ces valeurs de base, observées dans des environnements non perturbés, que l'on considère le niveau de contamination causé par les activités humaines. Il en est de même pour l'érosion ou la salinisation qui sont des processus naturels d'évolution des sols, mais qui peuvent être considérablement accélérés et aggravés par les activités humaines. Ce n'est donc qu'au-delà d'un certain seuil que ces menaces sont considérées comme des dégradations.

Figure 1.2. La vision dite « en cascade » des relations entre propriétés, processus, fonctions, services écosystémiques et bénéfices (d'après Greiner *et al.*, 2017).



4. EUSO (European Union Soil Observatory), <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/esdacviewer/euso-dashboard> (consulté le 4/11/2024)

Figure 1.3. Les dégradations des sols de l'UE et leurs recouvrements.

Le sol, la terre et le foncier

Le sol est une composante de l'écosystème intégrant plus globalement la végétation et la faune terrestre, et de l'écosociosystème intégrant les activités humaines. Suivant les dimensions qui sont prises en compte, les termes « sol », « terre » ou « foncier » désignent des réalités qui se recouvrent en partie.

Le sol est défini par l'Association française d'étude des sols (Afes) comme « un volume qui s'étend depuis la surface de la Terre jusqu'à une profondeur marquée par l'apparition d'une roche dure ou meuble, peu altérée, ou peu marquée par la pédogenèse. L'épaisseur du sol peut varier de quelques centimètres à quelques dizaines de mètres, ou plus. Il constitue, localement, une partie de la couverture pédologique qui s'étend à l'ensemble de la surface de la Terre. Il comporte le plus souvent plusieurs horizons correspondant à une organisation des constituants organiques et/ou minéraux (la terre). Cette organisation est le résultat de la pédogenèse et de l'altération du matériau parental. Il est le lieu d'une intense activité biologique (racines, faune et microorganismes) »⁵.

5. <https://www.afes.fr/les-sols/definition-et-enjeux> (consulté le 31/10/2024).

Le sol peut ainsi être analysé comme matériau, comme compartiment de l'environnement, et comme système susceptible de réaliser des fonctions et rendre des services écosystémiques.

La terre est le plus polysémique de ces trois termes. Elle peut désigner la planète Terre, le matériau terre (par exemple dans « terres excavées »), le sol (« analyses de terre », « terres noires »), ou la dimension géographique et foncière comprise dans le *land* anglophone (« terres agricoles », « valeur des terres »). Dans le vocabulaire agricole, les terres ont une connotation foncière forte (on loue des terres, pas des sols), alors que le *sol* est davantage associé à des caractéristiques qui permettent de le décrire (p. ex., sols profonds, sols hydromorphes). La « gestion des terres » peut évoquer des dynamiques d'échanges de parcelles (remembrement), alors que la « gestion des sols » renvoie davantage à un ensemble de pratiques agricoles et forestières qui sont raisonnées ensemble au regard de leurs conséquences pour le sol.

Le foncier renvoie à la propriété immobilière et à la manière dont l'espace est délimité, équipé, occupé et support de droits. La dimension géographique est plus large, incluant à la fois les caractéristiques du sol, ses usages et sa valeur. Le terme *land* en anglais peut être compris comme couvrant à la fois les dimensions foncières et géographiques en lien avec l'usage des terres pour « *land use* », la dégradation des sols pour « *land degradation* », et la consommation d'espaces pour « *land take* ».

I Besoins identifiés et cadrage de l'étude

Parallèlement à la prise de conscience de l'importance du fonctionnement des sols pour les activités humaines, les tensions se sont intensifiées entre leurs utilisations : pour la nourriture, les matériaux, les énergies renouvelables, les espaces récréatifs, les paysages, le logement, les infrastructures, l'industrie, le stockage de déchets et, dans certains cas, leur épuration, la régulation des crues, etc. Les relations entre utilisations appellent une coordination à un niveau large et des arbitrages à une échelle plus locale, sur la base d'informations étayées permettant d'évaluer la qualité des sols et son adéquation avec les utilisations envisagées. En réponse à ce besoin et en lien avec le développement des connaissances, les propositions scientifiques et techniques se sont multipliées. Des offres commerciales de prestations de notation de la qualité des sols sont également apparues, qui posent question quant à la validité scientifique des sources et méthodes utilisées, dont la transparence n'est pas toujours assurée.

État des lieux initial des démarches existantes

La diversité des variables interagissant au sein du sol et celle des compétences requises pour les analyser engendrent en effet une grande diversité d'approches possibles. Le tableau A1, en annexe, répertorie les principaux projets de recherche et observatoires institutionnels qui ont été mis en œuvre au cours de la dernière décennie aux différents niveaux de gouvernance. Ces projets se distinguent principalement par l'aire géographique documentée (monde, UE, France, territoires infranationaux), par les types

d'approches privilégiées (santé des sols, fonctions ou multifonctionnalité, services écosystémiques), par la finalité (surveillance, planification territoriale, gestion de site ou de parcelle), voire parfois par un usage spécifique (p. ex., forestier, agricole, urbain). Dans une même perspective d'état des lieux et au niveau français, l'Ademe a restitué en 2023 un bilan portant sur les projets de recherche relatifs à la multifonctionnalité des sols qui ont bénéficié de son appui au cours des 20 dernières années (Vincent et Blanchart, 2023).

Bien souvent, les pages de présentation de ces projets énoncent le besoin de disposer d'un instrument d'évaluation harmonisé et calibré de la qualité des sols. Le caractère crucial que constitue l'élaboration d'un référentiel commun à l'ensemble des acteurs et décideurs est ainsi mis en évidence. Il est attendu que celui-ci corresponde aux objectifs poursuivis en matière de politiques publiques ou de gestion privée, qu'il soit fondé sur le plan scientifique, et opérationnel sur le plan pratique. Or, les propositions disponibles à ce jour restent très diversifiées. Les approches de la qualité des sols qui y sont déclinées varient entre les notions de qualité, santé, menaces de dégradation, sécurité, fonctions, services écosystémiques et fertilité. Les projets peuvent être centrés sur certains usages (agricole, forestier, urbain, zones naturelles) ou intégrer tous les usages. Les paramètres mesurés couvrent presque toujours l'ensemble des domaines de la physique, de la chimie et de la biologie. Des données économiques sont traitées dans certains travaux portant sur les services écosystémiques et leur évaluation. Des projets liés aux enjeux de l'artificialisation des sols ou de la gestion des sols forestiers assument de considérer des données physicochimiques et des données relatives à l'occupation des sols comme des *proxies* permettant d'approcher la fonctionnalité des sols (p. ex., FOR-EVAL, Observatoire national de l'artificialisation, ARTISOLS, DESTISOL). D'autres, face à la prise de conscience de l'importance de la biodiversité et de la difficulté à l'évaluer, ont été plus particulièrement ciblés sur cette dimension (p. ex., EJP Soil MINOTAUR, ECOFINDERS, Bio-indicateurs de qualité des sols).

Une approche de la qualité des sols commune à tous les usages

C'est dans ce contexte que la présente étude a été réalisée, avec pour objectif d'apporter une clarification sur les bases scientifiques aujourd'hui mobilisables à l'appui d'une évaluation de la qualité des sols. Elle s'inscrit notamment dans la perspective intégratrice promue par deux instruments de politique publique en cours de mise en place : la loi Climat et résilience adoptée en France en 2021, qui instaure une limitation de l'artificialisation des sols, et la proposition de directive européenne *Soil monitoring and resilience* publiée en juillet 2023, qui prévoit l'harmonisation à l'échelle de l'UE d'une surveillance de la dégradation des sols comme étape primordiale en vue de leur préservation. Ces deux initiatives abordent la qualité des sols de manière non spécifique à chaque usage ou type d'espace (naturel, agricole, forestier ou urbain). Dans cette perspective, l'état des lieux réalisé ici est centré sur les ressources scientifiques adaptées à l'ensemble des usages. Les travaux traitant plus spécifiquement

de la qualité requise pour la production agricole ou forestière, par exemple, n'ont pas été spécifiquement ciblés. L'objectif est de produire un état des lieux partageable par l'ensemble des acteurs, et qui permette de traiter des effets des changements d'usage, ainsi que du suivi territorial.

Sites et sols pollués

La question des sites et sols fortement pollués n'a pas été examinée en tant que telle dans la présente étude. Les fondements de la politique nationale de gestion des sites et sols pollués sont détaillés dans les textes décrivant la méthodologie élaborée en 2007 (circulaire du 8 février 2007) et mise à jour en 2017⁶. L'approche actuelle de la gestion des sites pollués repose sur une évaluation des risques sanitaires et environnementaux en fonction de l'usage des sites. Elle met l'accent sur la compatibilité de l'état de milieux avec les usages constatés et futurs, compte tenu de la nécessité de rétablir cette compatibilité afin de maîtriser les risques sanitaires et environnementaux (après réhabilitation des sites). Le plan de gestion porte sur le traitement des sources de pollution et notamment des pollutions concentrées, ainsi que sur la maîtrise des pollutions résiduelles prenant en compte les techniques de réhabilitation et leurs coûts.

Les indicateurs de pollution ont été considérés et rassemblés lorsqu'ils interviennent dans une démarche d'évaluation intégrée de la qualité du sol et de ses fonctions, mais l'abondante littérature spécifique aux sites et sols pollués n'a pas été passée en revue.

Collectif d'experts mobilisé

La constitution du collectif de travail et le processus de l'étude ont été conduits suivant les Principes de conduite des expertises scientifiques collectives et des études à INRAE (Donnars *et al.*, 2021), succinctement rappelés dans l'encadré 1.1.

La coordination scientifique de l'étude a été assurée par Isabelle Cousin d'INRAE et Maylis Desrousseaux de l'École d'urbanisme de Paris. Au total, 19 scientifiques (chercheurs et enseignants-chercheurs du secteur public) ont été mobilisés (incluant les pilotes) pour composer le comité d'experts scientifiques.

Les participants ont été identifiés à partir de leurs compétences disciplinaires et de leurs publications sur les thématiques de l'étude. Le comité ainsi rassemblé présente une forte pluridisciplinarité illustrée par la figure 1.4. Deux grands pôles sont constitués par les sciences du sol et les sciences humaines et sociales. Des compétences ont également été recherchées en écologie au-delà de la stricte écologie des sols, de manière à considérer les concepts et référentiels développés pour d'autres milieux et qui pourraient présenter un intérêt pour les sols. Enfin, d'autres compétences ont été mobilisées sur le traitement des données et la gestion des systèmes d'information.

6. <https://ssp-infoterre.brgm.fr/fr/methodologie/methodologie-nationale-gestion-ssp> (consulté le 31/10/2024).

Encadré 1.1. Principes de l'étude.

Cette étude s'appuie sur une analyse critique des connaissances scientifiques disponibles au niveau mondial sur les multiples dimensions de la qualité des sols. L'analyse de cette littérature est réalisée par un collège d'experts scientifiques appartenant à des organismes publics de recherche ou d'enseignement supérieur. Outre une synthèse sur les perceptions et définitions de la qualité des sols, une identification des principales étapes de l'évaluation de celle-ci est proposée et assortie d'une sélection des principaux indicateurs et méthodes permettant d'évaluer les fonctions des sols. Les points de vigilance et sujets de controverse sont mis en évidence, ainsi que la dynamique d'innovation dans ce domaine. En mettant à jour l'étendue des connaissances acquises, les domaines d'incertitude et de controverse, ainsi que les questions face auxquelles les connaissances restent insuffisantes, ces travaux ont vocation à nourrir les réflexions des différentes catégories d'acteurs sur la prise en compte de la qualité des sols dans les politiques publiques. Ils contribuent ainsi à la mission d'appui aux politiques publiques remplie par les instituts de recherche.

Les experts sont sélectionnés sur la base de leurs publications dans des revues scientifiques à comité de lecture, en veillant à ce que les liens d'intérêt (p. ex., financements, affinités intellectuelles, liens de collaboration), inévitables dans la recherche finalisée, soient les plus diversifiés possible, en excluant les cas de conflit d'intérêts. La transparence est assurée par la description dans le rapport de l'étude des sources mobilisées et de la méthode employée.

L'étude est conduite en interaction avec les financeurs dans le cadre d'un comité de suivi et avec un comité consultatif d'acteurs réunissant les principales parties prenantes sur le sujet.

Les membres du comité d'experts sont issus de 10 organismes de recherche et d'enseignement supérieur. Les affiliations montrent une grande ouverture avec seulement 26 % d'experts INRAE, une mobilisation importante de l'enseignement supérieur (41% des experts) ; en revanche, on ne compte qu'un seul expert non français (figure 1.5).

Des contributeurs ponctuels ont été sollicités sur des questions particulières et interviennent sous la responsabilité de l'expert qui les sollicite. Ils ne sont donc pas membres en tant que tels du comité d'experts scientifiques de l'étude, mais font partie du collectif de travail et des auteurs du rapport.

Corpus bibliographique analysé

Un corpus bibliographique de près de 1 800 références est cité dans le rapport, constitué à partir de plateformes bibliographiques internationales telles que le Web of Science (WoS) ou Scopus, complétées au besoin par la littérature francophone ainsi que par des rapports et ouvrages, ou autres articles non référencés dans ces plateformes.

Figure 1.4. Domaines disciplinaires des 19 experts de l'étude suivant le référentiel INRAE (jusqu'à 3 macrodisciplines par expert).

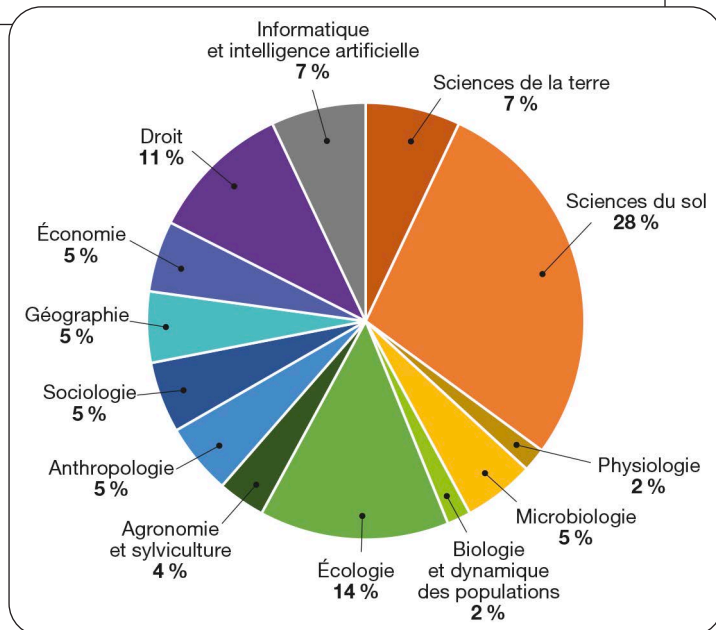
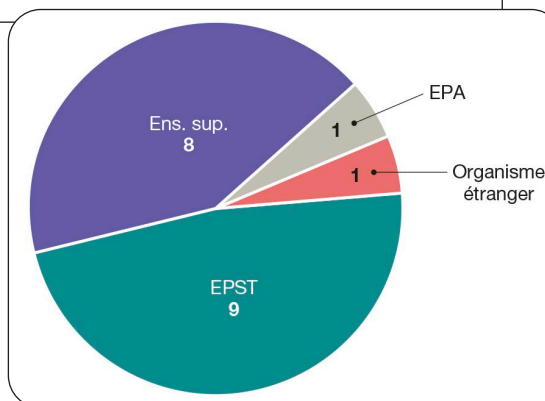


Figure 1.5. Affiliations des 19 experts de l'étude par type d'organisme.



EPST : établissement public à caractère scientifique et technique ;
 Ens. sup. : enseignement supérieur ;
 EPA : établissement public à caractère administratif.

Les connaissances ciblées sont applicables aux contextes pédoclimatiques de la France hexagonale. Les articles sont sélectionnés en privilégiant les revues de littérature déjà existantes lorsqu’elles sont pertinentes au regard de la question étudiée (tableau 1.1). Pour la plus grande part (95 %), le corpus cité est postérieur à 1990. Des références plus anciennes ont été mobilisées, notamment pour retracer les évolutions des perceptions des acteurs et recourir à certaines sources méthodologiques anciennes qui font encore référence aujourd’hui. Plus de la moitié du corpus a pour autant été publiée au cours des 10 dernières années (figure 1.6).

Tableau 1.1. Types de documents du corpus cité dans le rapport de l'étude.

Types de documents	Nombre de références	Part du corpus cité
Article	1 500	84 %
dont revue de littérature	257	14 %
Ouvrage ou chapitre d'ouvrage	164	9 %
Rapport	81	5 %
Acte de conférence ou communication	28	2 %
Thèse	13	1 %
Autre (p. ex., jeu de données, carte)	9	1 %
TOTAL	1 795	100 %
Nombre de références dans au moins une base (WoS ou Scopus)	1 366	76 %
Nombre de références dans le WoS	1 278	71 %
Nombre de références dans Scopus	1 341	73 %

Figure 1.6. Répartition temporelle du corpus cité dans le rapport de l'étude (n = 1 795).

