

Préserver les sols : un capital naturel longtemps invisible

Par Sophie RAOUS

Directrice de l'Association Française pour l'Étude du Sol

Et Pascal PODWOJEWSKI

Pédologue à l'Institut de Recherche et Développement

Les sols, longtemps relégués au second plan des politiques environnementales, constituent pourtant un compartiment central du système Terre. Systèmes complexes, vivants et évolutifs, ils assurent des fonctions écologiques essentielles, telles que le stockage du carbone, la régulation du cycle de l'eau, le recyclage de la matière organique et l'accueil d'une biodiversité exceptionnelle. Leur discrétion, la lenteur de leurs dynamiques et une vision historiquement utilitariste ont contribué à leur invisibilisation et à leur dégradation progressive.

Cet article propose une synthèse des connaissances actuelles sur le fonctionnement des sols et les processus de leur dégradation, en distinguant clairement les fonctions écologiques, qui relèvent de leurs processus internes, des services écosystémiques, qui désignent les bénéfices pouvant en être tirés par les sociétés humaines. Les évaluations internationales montrent qu'une part importante des sols mondiaux est aujourd'hui dégradée, sous l'effet combiné de processus naturels et de pressions anthropiques accélérées, compromettant durablement leurs fonctions.

Enfin, l'article met en lumière les défis liés à l'évaluation de l'état des sols et souligne les avancées récentes, tant scientifiques que réglementaires, notamment à travers l'émergence de référentiels d'indicateurs et l'adoption d'un cadre européen dédié. Il plaide pour une reconnaissance accrue des sols comme patrimoine écologique commun et pour une gouvernance à la hauteur des enjeux environnementaux contemporains.

Introduction – les sols, composantes discrètes mais structurantes du système terre

Longtemps absents des grandes préoccupations environnementales, les sols constituent pourtant l'un des fondements les plus essentiels de la vie sur Terre et du fonctionnement de nos sociétés. À la différence de l'air et de l'eau, dont la dégradation est rapidement perceptible et socialement reconnue, les sols demeurent largement invisibles : discrets, immobiles, complexes, ils sont souvent réduits à leur rôle de simple support de production agricole ou de construction. Cette lecture partielle a favorisé leur marginalisation dans les politiques de protection de l'environnement, alors même que les sols assurent des fonctions écologiques essentielles, indépendamment de tout usage. Il en est résulté une dégradation progressive mais profonde de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, affectant durablement leur trajectoire d'évolution.

Ce numéro spécial de *Responsabilité & Environnement* s'ouvre sur un constat désormais largement partagé à l'échelle internationale : les sols sont soumis à des

pressions croissantes, qui compromettent leur capacité à maintenir leurs fonctions écologiques dans un contexte de changements globaux. Cet article introductif propose une synthèse des connaissances actuelles sur l'état des sols, les dynamiques de leur dégradation et les cadres conceptuels mobilisés pour penser leur préservation, en particulier à travers la distinction entre fonctions écologiques et services écosystémiques.

Qu'est-ce qu'un sol ? Un système complexe et évolutif

Le sol n'est pas un simple substrat minéral. Il s'agit d'un système complexe en perpétuelle évolution, issu de l'altération lente des roches sous l'action conjointe du climat, des organismes vivants, de la topographie et du temps (Jenny, 1941). Il constitue la pédosphère, compartiment central de la zone critique allant du sommet de la canopée aux roches altérées (Gaillardet, 2023). Il est à l'interface de l'atmosphère, la lithosphère, la toposphère (le relief, la morphologie des paysages), l'hydrosphère et la biosphère.

Le fonctionnement du sol repose sur des interactions étroites entre une matrice minérale, de la matière organique, de l'eau, de l'air et une biodiversité d'une grande richesse — micro-organismes, champignons, faune du sol et systèmes racinaires. Ces interactions confèrent au sol des propriétés émergentes qui ne peuvent être comprises par l'analyse isolée de ses composants.

Les fonctions écologiques des sols correspondent aux processus internes qui assurent leur fonctionnement propre, indépendamment de toute finalité humaine. Elles décrivent ce que le sol « fait pour lui-même », en tant que système porteur de vivant et évolutif.

Dans la littérature scientifique, sept grandes fonctions des sols sont aujourd'hui communément distinguées : (1) le rôle de support physique stable pour les végétaux, les animaux et les infrastructures ; (2) le stockage et la fourniture de nutriments aux organismes vivants ; (3) le stockage, la circulation et l'infiltration de l'eau (rappelons que les quantités d'eaux stockées dans les sols, ou « eau verte », sont supérieures aux eaux libres contenues dans les rivières et dans les lacs, dites « eau bleue ») ; (4) le rôle d'habitat pour une biodiversité extrêmement riche, du micro-organisme à la macrofaune, c'est le principal réservoir du patrimoine génétique terrestre ; (5) le stockage, le recyclage et la transformation de la matière organique ; (6) les échanges gazeux avec l'atmosphère, notamment le stockage de carbone et les flux de gaz à effet de serre ; (7) la filtration, la rétention et la dégradation de polluants.

Ces fonctions sont étroitement interdépendantes et non substituables. Leur interaction conditionne la trajectoire d'évolution du sol et sa capacité à maintenir un état fonctionnel. Elles constituent le socle biophysique à partir duquel peuvent émerger, dans certains contextes, des bénéfices pour les sociétés humaines, sans pour autant être définies par ces bénéfices.

Des fonctions aux services écosystémiques : un cadre pour penser les bénéfices sociaux

Le concept de services écosystémiques, formalisé à partir des années 1990 et largement diffusé par le *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), vise à expliciter les liens entre le fonctionnement des écosystèmes et le bien-être humain. Il repose sur une idée simple mais structurante : les sociétés humaines dépendent directement des fonctions écologiques des milieux naturels, même lorsque cette dépendance n'est pas immédiatement visible ou marchande.

Appliqué aux sols, ce cadre conceptuel permet de dépasser une approche sectorielle (agriculture, urbanisme, environnement) pour considérer le sol comme un capital naturel multifonctionnel. Les travaux de Calvaruso *et al.* (2020) identifient ainsi quatorze services écosystémiques rendus par les sols, regroupés en trois grandes catégories.

Les services d'approvisionnement correspondent aux biens directement issus des sols : production alimentaire,

fibres, biomasse énergétique, ressources génétiques ou molécules d'intérêt pharmaceutique. Les services de régulation regroupent les processus par lesquels les sols contribuent à la stabilité des systèmes environnementaux : régulation du cycle de l'eau, atténuation des inondations, filtration des polluants, stockage du carbone, régulation du climat, contrôle de l'érosion ou encore limitation de certaines maladies. Les services culturels, plus immatériels, incluent les dimensions paysagères, patrimoniales, récréatives, scientifiques et éducatives associées aux sols.

La distinction entre fonctions écologiques des sols et services écosystémiques mérite ici d'être clarifiée afin d'éviter toute confusion conceptuelle. La formation d'un sol (pédogenèse) ne constitue pas une fonction du sol à proprement parler : elle correspond à un processus de genèse et d'évolution à long terme, résultant de l'action conjointe du climat, des organismes, du matériau parental, du relief et du temps.

Les fonctions des sols, telles que définies précédemment, renvoient exclusivement aux processus internes assurant le fonctionnement d'un sol déjà constitué. Elles ne sont ni des services, ni des bénéfices pour l'être humain. Les services écosystémiques, quant à eux, correspondent aux avantages que les sociétés humaines retirent du fonctionnement de ces fonctions, par l'intermédiaire des usages et des contextes socio-économiques.

Certaines classifications internationales ont introduit la catégorie de « services de support » ou d'« auto-entretien » pour désigner des processus écologiques indispensables au fonctionnement des écosystèmes, mais qui ne génèrent pas de bénéfices directs pour l'être humain. Dans le cas des sols, cette catégorie est source d'ambiguïtés conceptuelles et tend aujourd'hui à être abandonnée ou requalifiée, au profit d'une séparation plus nette entre fonctions écologiques et services écosystémiques proprement dits.

Des trajectoires de dégradation à l'échelle globale

Les évaluations internationales convergent vers un diagnostic préoccupant. Selon la FAO (2015), plus d'un tiers des sols mondiaux sont aujourd'hui modérément à fortement dégradés. Pour former un mètre de sol, il faut en moyenne entre 10 000 et 100 000 ans. Le sol est donc un patrimoine non renouvelable à l'échelle humaine.

Les processus de dégradation sont multiples : érosion hydrique et éolienne, acidification, perte de matière organique, salinisation/alcalinisation, perte des propriétés physiques, tassement, hydromorphie/hydrophobie, contamination chimique, artificialisation. Toutes les formes de dégradations des terres et des écosystèmes sont développées dans le rapport de la plateforme internationale pour la biodiversité et des services écosystémiques (IPBES) dans l'expertise collective *Land degradation assessment* (IPBES, 2018).

Ces processus s'inscrivent souvent dans des temporalités lentes, ce qui contribue à leur invisibilisation. Les processus d'érosion et d'acidification sont des pro-

cessus naturels. Pourtant, l'accélération anthropique de ces processus peut être considérable. La perte de quelques millimètres de sol fertile en quelques minutes peut correspondre à plusieurs décennies, voire siècles, de formation pédologique. À l'échelle européenne et française, l'artificialisation des sols – liée à l'urbanisation et aux infrastructures – constitue une pression majeure et largement irréversible.

La dégradation des sols entraîne une diminution de leur capacité à assurer leurs fonctions écologiques, et donc à fournir des services écosystémiques. Elle fragilise les systèmes de production, atténue la capacité de régulation des flux, accroît la vulnérabilité aux aléas climatiques et engendre des coûts économiques et sociaux souvent différés et mal identifiés (IPCC, 2019).

Mesurer l'état fonctionnel des sols : un défi scientifique et opérationnel

Si le diagnostic global est désormais bien établi, l'évaluation opérationnelle de l'état des sols et de leurs services demeure un défi majeur. Contrairement à l'eau ou à l'air, il n'existe pas de cadre réglementaire unifié ni d'indicateurs simples et consensuels permettant de qualifier la « bonne santé » d'un sol. Ce concept est souvent critiqué car l'état référent à partir duquel un sol perd ses propriétés écosystémiques est rarement défini.

Les sols présentent une forte variabilité spatiale et temporelle, liée aux contextes géologiques, climatiques et d'usage. Évaluer leurs fonctions suppose de mobiliser des indicateurs multiples : capacité de rétention en eau, infiltrabilité, stabilité structurale, teneur en carbone organique, biodiversité microbienne, disponibilité des nutriments, déséquilibres chimiques (excès d'acidité, de sels, balance ionique déséquilibrée, etc.). Le passage de ces mesures biophysiques à une évaluation des services écosystémiques reste largement un champ de recherche.

Des cadres conceptuels, tels que ceux proposés par Dominati *et al.* (2010) ou par l'initiative française EFES, offrent des grilles de lecture prometteuses pour articuler capital naturel, fonctions et services. Toutefois, leur appropriation par les acteurs publics et privés reste encore limitée.

Reconnaître les sols comme patrimoine écologique commun

La préservation des sols ne relève pas uniquement de solutions techniques ou agronomiques. Elle suppose une transformation plus profonde des représentations collectives et des cadres d'action publique. Reconnaître les sols comme un patrimoine commun, lent à se former et rapide à se dégrader, constitue un préalable à toute stratégie durable.

Dans cette perspective, les travaux récents visant à structurer la mesure de la qualité des sols constituent une étape décisive. La publication de l'étude « *Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs* » (Cousin *et al.*, 2025) marque une avancée importante en proposant un socle commun d'indicateurs permettant de

caractériser l'état des sols, leurs fonctions écologiques et leurs trajectoires d'évolution. Sans prétendre à une simplification excessive, cette démarche contribue à rendre les sols plus lisibles pour les décideurs publics, les aménageurs et les acteurs économiques, condition indispensable à leur prise en compte effective.

Cette dynamique scientifique et opérationnelle trouve un prolongement majeur dans le champ réglementaire avec l'approbation, en décembre 2025, de la directive-cadre européenne sur la surveillance et la résilience des sols. Cette directive constitue une étape structurante : pour la première fois à l'échelle européenne, les sols sont reconnus comme un objet de politique environnementale à part entière, faisant l'objet d'obligations de surveillance, de diagnostic et de restauration progressive. Elle marque un changement de paradigme, en faisant passer les sols du statut de variable d'ajustement des politiques sectorielles à celui de composante stratégique du capital naturel.

Des démarches de sensibilisation, telles que la Fresque du Sol, participent parallèlement à cette acculturation en rendant visibles les liens entre usages, fonctions écologiques et services écosystémiques. L'enjeu est désormais d'articuler ces dynamiques – scientifiques, réglementaires et pédagogiques – afin de construire une gouvernance des sols à la hauteur des défis climatiques, alimentaires, sanitaires et territoriaux contemporains.

Conclusion – replacer les sols au cœur du système terre

Invisible mais indispensable, le sol apparaît aujourd'hui comme un révélateur des limites de nos modèles de développement. Sa dégradation, parfois très rapide, témoigne d'un long défaut de reconnaissance politique et sociale, lié à son statut invisible, à la complexité de son fonctionnement et à la temporalité longue de ses dynamiques.

La mobilisation des notions de fonctions écologiques et de services écosystémiques permet de rendre plus intelligible cette complexité, à condition d'en préserver la rigueur conceptuelle. Elle offre un cadre commun pour penser à la fois la mesure de l'état des sols, l'évaluation des bénéfices qu'ils procurent aux sociétés humaines et la conception de politiques publiques plus intégrées.

À l'heure où se structurent des référentiels d'indicateurs et où l'Union européenne se dote d'un cadre réglementaire dédié à la surveillance et à la restauration des sols, une étape décisive semble franchie. Il s'agit désormais de transformer ces avancées en leviers d'action opérationnels, capables d'infléchir durablement les trajectoires d'usage des sols. Redonner aux sols une place centrale dans les décisions publiques et privées, c'est reconnaître qu'ils constituent l'un des piliers les plus discrets mais aussi les plus stratégiques de notre capital naturel.

Ce numéro des *Annales des mines* s'inscrit dans cette ambition : contribuer à faire des sols un objet pleinement reconnu du débat public et de l'action collective.

Bibliographie

CALVARUSO C., BLANCHART A., BERTIN S., GRAND C., PIERART A. & EGLIN T. (2020), « Quels paramètres du sol mesurer pour évaluer les fonctions et les services écosystémiques associés », *Étud. Gest. Sols*, 28, pp. 3-29.

COUSIN I., DESROUSSEAUX M., ANGERS D., AUGUSTO L., AY J.-S., BAYSSE-LAINÉ A., BRANCHU P., BRAUMAN A., CHEMIDLIN PREVOST-BOURÉ N., COMPAGNONE C., GROS R., HERMON C., KELLER C., LAROCHE B., MEULEMANS G., MONTAGNE D., PÉRÈS G., SABY N., VAUDOUR E., VILLERD J., VIOLLE C., LELIEVRE V., DE MARESCHAL S., BRICHLER M.-C., FROGER C., ITEY J. & LEENHARDT S. (2025), « Préserver la qualité des sols : vers un référentiel d'indicateurs », Rapport d'étude, INRAE, 780 pages.

DOMINATI E., PATTERSON M. & MACKAY A. (2010), "A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils", *Ecological economics*, 69(9), pp. 1858-1868.

FAO & ITPS (2015), "Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report", Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.

GAILLARDET J. (2023), *La Terre habitable : ou l'épopée de la zone critique*, La Découverte.

IPBES (2018), "The IPBES assessment report on land degradation and restoration", Montanarella L., Scholes R. and Brainich A. (eds.), Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 744 pages.

IPCC (2019), "Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems", [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi and J. Malley (eds.)].

JENNY H. (1941), *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*, Dover Publications, New York, p. 281.