

Vers une stratégie du GIS Sol pour la connaissance et la protection de la biodiversité des sols

C. Imbert^(1*), M. Valé⁽²⁾, A. Lévêque⁽³⁾, C. Jolivet⁽¹⁾ et A. Bispo⁽¹⁾

- 1) INRAE, Info&Sols, 45075, Orléans, France
- 2) AUREA AGROSCIENCES, 45160 Ardon, France
- 3) UMS PatriNat (OFB-CNRS-MNHN), 75005 Paris, France

* Auteur correspondant : cimbert@hotmail.fr

RÉSUMÉ

Nous dépendons tous des fonctions assurées par la biodiversité et notamment par celle présente dans les sols. Le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol) s'engage pleinement dans la connaissance de la biodiversité, sa protection et dans la gestion durable des sols. En effet, le GIS Sol soutient depuis plus de 15 ans des programmes portant sur la biodiversité, notamment en association avec le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS). Nous présentons ici les suivis de biodiversité du RMQS, le programme d'investissement d'avenir Agro-Eco-Sol et les plans d'actions nationaux pour la préservation du Pélobate brun (*Pelobates fuscus*) et du grand hamster d'Alsace (*Cricetus cricetus*). Nous proposons de compléter la stratégie de surveillance des sols français en y incluant des suivis standardisés de leur biodiversité. En effet, celle-ci n'est intégrée que de manière partielle dans les suivis de qualité des sols français, alors qu'elle en est une composante essentielle.

Mots-clés

Habitat, donnée pédologique, programme d'inventaire, programme de surveillance, espèce menacée, bioindicateur, biodiversité terrestre, biodiversité des sols

Comment citer cet article:

Imbert C., Valé M., Lévêque A., Jolivet C. et Bispo A., 2024 - Vers une stratégie du GIS Sol pour la connaissance et la protection de la biodiversité des sols *Étude et Gestion des Sols*, 31, 31-42

SUMMARY**TOWARDS A GIS SOL STRATEGY FOR THE UNDERSTANDING AND THE PROTECTION OF SOIL BIODIVERSITY**

We all depend on the functions provided by biodiversity, particularly by that found in the soil. The Soil scientific Interest Group (GIS Sol) is fully committed in the understanding and the protection of biodiversity and sustainable soil management. The GIS Sol supports biodiversity programs for over 15 years, in particular related to the French soil quality monitoring network (RMQS). Here we introduce the RMQS-Biodiversity monitoring programs, the Agro-Eco Sol Investments for the Future program and the national action plans for the preservation of the Brown Pelobate (*Pelobates fuscus*) and the European Hamster (*Cricetus cricetus*). Through them, we propose to complete the French soil monitoring strategy by including a standardized monitoring of soil biodiversity. Biodiversity is only partially integrated into soil quality monitoring, even though it is an essential component.

Key-words

Habitat, soil data, monitoring programs, inventory programs, endangered specy, terrestrial biodiversity, soil biodiversity.

RESUMEN**HACIA UNA ESTRATEGIA DEL GIS SOL PARA EL CONOCIMIENTO Y LA PROTECCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD DE LOS SUELOS**

Todos dependemos de las funciones que desempeña la biodiversidad y, en particular, de la que se encuentra en el suelo. El Grupo de Interés Científico Suelos (GIS Sol) se compromete plenamente en el conocimiento de la biodiversidad, su protección y en la gestión sostenible de los suelos. En efecto, el GIS Sol apoya desde hace más de 15 años programas relativos a la biodiversidad, en particular en asociación con la Red de Mediciones de la Calidad de los Suelos (RMQS). Presentamos aquí los seguimientos de biodiversidad del RMQS, el programa de inversión de futuro Agro-Eco-Sol y los planes de acciones nacionales para la conservación del sapo de espuelas pardo (*Pelobates fuscus*) y del gran hámster de Alsacia (*Cricetus cricetus*). Proponemos completar la estrategia de vigilancia de los suelos de Francia incluyendo un seguimiento estandarizado de su biodiversidad. En efecto, ésta sólo se integra de manera parcial en los controles de calidad de los suelos franceses, cuando es un componente esencial de los mismos.

Palabras clave

Hábitats, datos pedológicos, programas de inventario, programas de vigilancia, especies amenazadas, bioindicadores, biodiversidad terrestre, biodiversidad de los suelos.

1. INTRODUCTION

Le sol, longtemps invisibilisé, se trouve aujourd'hui à l'ordre du jour des agendas politiques. Notamment, la protection des sols est citée dans le Pacte vert au niveau européen (Montanarella, 2020) et dans le plan Biodiversité du gouvernement français (<https://www.ecologie.gouv.fr/plan-biodiversite>). La proposition de directive sur la santé des sols met en avant la surveillance des sols, à travers la mesure régulière de paramètres physico-chimiques et biologiques, notamment pour suivre l'effet des politiques publiques sur l'état des sols (Direction Générale de l'Environnement, 2023 ; Köninger *et al.*, 2022).

L'un des freins à la mise en œuvre effective de ces politiques est la méconnaissance de la biodiversité des sols.

La biodiversité des sols comprend l'ensemble des organismes vivant dans le sol et les fonctions qu'ils assurent (FAO, 2020). Les organismes du sol sont généralement classés selon leur taille dans cinq catégories : les microorganismes, la microfaune, la mésofaune, la macrofaune et la mégafaune. Les microorganismes regroupent les organismes unicellulaires tels que les bactéries, les archées, les champignons et les autres protistes. La microfaune correspond aux organismes pluricellulaires invisibles à l'œil nu dont les nématodes. La mésofaune regroupe les organismes visibles à l'œil nu, de moins de 2 mm tels que les collemboles ou les acariens. Tous les invertébrés de plus de 2 mm font partie de la macrofaune et les vertébrés forment la mégafaune (Decaëns, 2010). Ces organismes assurent les fonctions du sol dont nous dépendons tous pour notre alimentation et notre santé, pour la régulation du climat et de la ressource en eau (Pulleman *et al.*, 2012 ; van der Putten *et al.*, 2023).

Malgré cette importance, la biodiversité des sols reste méconnue (FAO, 2020). À titre d'exemples, moins d'un quart des espèces de bactéries, d'archées, de nématodes, de collemboles et de vers de terre seraient décrites (Geisen *et al.*, 2019). Peu d'études sur la biodiversité des sols ont été mises en œuvre par rapport au nombre d'études sur des taxons emblématiques comme les oiseaux ou les mammifères (Troutet *et al.*, 2017). Au sein des sciences du sol, la biodiversité est aussi bien moins étudiée que d'autres grandes thématiques liées au sol (Mason *et al.*, 2022).

L'intensification de l'utilisation et la gestion des terres, le changement climatique, la pollution dégradent les sols et menacent la biodiversité terrestre en général et celle des sols en particulier (IPBES, 2019 ; Orgiazzi *et al.*, 2016). Cependant, la plupart des politiques actuelles en matière de protection des sols manquent d'une vision holistique, considérant encore trop peu la biodiversité des sols (Direction Générale de l'Environnement, 2023 ; Köninger *et al.*, 2022). L'utilisation d'indicateurs biologiques de la qualité des sols est entravée par le manque de référentiels pour interpréter leurs valeurs (Krüger *et al.*, 2018).

Par ailleurs, les propriétés des sols sont également prises en compte dans les politiques visant la protection de la biodiversité de surface. Celle-ci, à l'instar de la biodiversité souterraine, entretient un lien étroit avec les sols. L'un des exemples les plus documentés est celui des plantes (Reeve *et al.*, 2016). La distribution des vertébrés terrestres peut être également influencée par les caractéristiques des sols, les sols pouvant constituer un abri ou un milieu de vie pour de nombreux animaux (FAO, 2020).

Avec comme objectif l'inventaire et la surveillance des sols français, le GIS Sol s'est engagé depuis plus de 15 ans dans ces enjeux en lien avec la biodiversité et notamment en intégrant des suivis de la biodiversité des sols dans ses programmes. Dans cet article, nous présentons l'engagement du GIS Sol dans la connaissance et la protection de la biodiversité des sols et proposons une stratégie pour la suite de ces travaux, s'appuyant sur le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS).

2. RENFORCER LA CONNAISSANCE DE LA BIODIVERSITÉ DES SOLS EN INTÉGRANT UNE COMPOSANTE BIOLOGIQUE AU RMQS (2018-2023)

Le Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS) est un programme national de surveillance des sols lancé en 2000 (Jolivet *et al.*, 2018). Il couvre une partie du territoire français (l'ensemble de la métropole, les Antilles, la bande côtière guyanaise, la Réunion et Mayotte). Chaque année, environ 180 sites d'étude sont échantillonnés avec la volonté de les échantillonner tous les 10 à 15 ans (Jolivet *et al.*, 2018). Actuellement, le RMQS fournit essentiellement des données sur les aspects physiques et chimiques des sols. Une force majeure du RMQS est également son réseau d'acteurs comprenant les 12 équipes de terrain réalisant les échantillonnages annuels, l'équipe de coordination d'Info&Sols, les financeurs et les utilisateurs de données (chercheurs et décideurs).

Le réseau alimente une base de données inédite sur les caractéristiques physico-chimiques de sols de France, leurs contaminants et les pratiques agricoles. Plusieurs programmes passés ont permis de collecter également des informations sur la biodiversité des sols. Imbert *et al.* (2021) ont recensé ces travaux qui concernaient différents groupes biologiques et la répartition des prélèvements (Tableau 1).

Cette synthèse met en évidence que seuls les microorganismes et les activités enzymatiques sont suivis de manière systématique, avec une couverture nationale. Si d'autres groupes biologiques du sol et de surface ont été suivis, c'était à titre d'essai, pour des programmes temporaires. Cependant, ces exercices ont montré que le RMQS pourrait être le support

Tableau 1 : Le RMQS comme support à la connaissance de la biodiversité des sols depuis 2006 (issu de Imbert *et al.*, 2021).**Table 1** : *The RMQS as a support for the understanding of soil biodiversity since 2006 (from Imbert et al., 2021).*

Programme	Assemblages biologiques	Méthodologie	Localisation	Période (Campagne RMQS*)	Résultats
ECOMIC-RMQS	Microorganismes	Echantillon composite de sol	France métropolitaine	Depuis 2006 (RMQS1 et 2)	Biogéographie Impact des modes d'usage Description des habitats
RMQS-Biodiv Bretagne	Vers de terre, nématodes, microarthropodes (collembolles, acariens) microorganismes, macrofaune endogée, dégradation de la matière organique	Echantillon de sol Carotte Test-bêche Sac de litière	Bretagne	2006-2007 (RMQS1)	Distribution Lien avec les pratiques agricoles (fertilisation, travail du sol et utilisation de pesticides)
GéoTruffe	Truffes (<i>Tuber magnatum</i> , <i>T. brumale</i> , <i>T. aestivum</i> , <i>T. melanosporum</i> et <i>T. indicum</i>)	Echantillon composite de sol	Sites dont les caractéristiques pédologiques et environnementales sont propices aux truffes (France métropolitaine)	2017-2018 (RMQS2)	Amélioration de la connaissance de l'autoécologie et de la distribution des truffes en France
Floris	Flore des prairies permanentes de montagne	Relevés botaniques	Prairies du Massif Central	2017-2018 (RMQS1)	Effet des pratiques agricoles sur les communautés de flore des prairies permanentes
Activités enzymatiques	Activités enzymatiques Respiration cellulaire	Echantillon composite de sol	France métropolitaine	Depuis 2016 (RMQS2)	Analyses en cours, Création de référentiels
Phase de test du RMQS-Biodiversité	Bactéries, champignons et archées, Protistes, Nématodes, Mésofaune endogée Macrofaune endogée, Mésofaune de surface, Macrofaune de surface, Activité enzymatique, Porosité du sol, Dégradation de la matière organique, en discussion : Flore et Fonge	Echantillon composite de sol Carottes de sol Pots Barber Test-bêche et application de moutarde	Phase de test : 30 sites répartis sur l'ensemble de la France métropolitaine	2020-2023 (RMQS2)	Résultats biologiques disponibles fin 2023

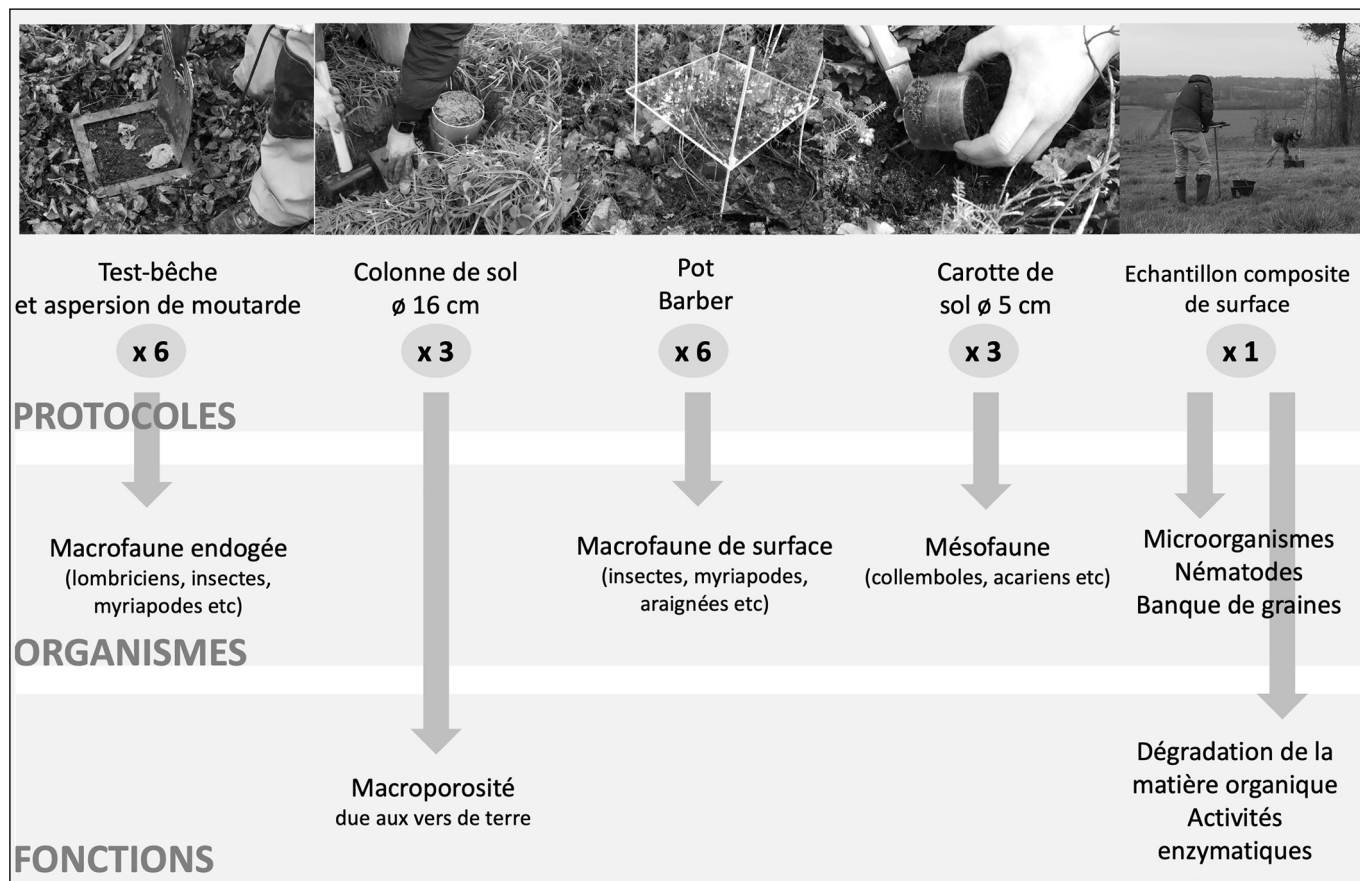
de travaux nationaux d'ampleur pour suivre la biodiversité des sols et plus largement certains groupes terrestres (flore et fonge par exemple). Avec l'objectif d'établir un programme de surveillance pérenne de la biodiversité des sols, des discussions ont commencé en 2018 avec un groupe d'experts et se poursuivent, avec le soutien de l'Office Français de la Biodiversité (OFB). Une campagne de prélèvement « test » a été menée, visant à évaluer la faisabilité et les coûts (ex : besoins humains, logistiques et financiers) de la mise en place d'un volet biodiversité, adossé au RMQS.

Dans le cadre de la phase de test, nous avons consulté un groupe d'experts sur la biodiversité des sols afin qu'ils nous conseillent sur les protocoles à utiliser. Cinq protocoles d'échantillonnage ont été choisis :

- l'échantillon composite de surface pour suivre les microorganismes (bactéries, archées, champignons et autres protistes), les nématodes, la banque de graines, la dégradation de la matière organique et des activités enzymatiques ;
- les pièges Barber pour la macrofaune de surface (principalement les insectes et les araignées) ;
- les carottes de sol pour suivre la mésofaune endogée (comme les collembolles ou les acariens) ;

Figure 1 : Organismes et fonctions suivis avec les protocoles du RMQS-Biodiversité.

Figure 1 : Organisms and functions assessed with RMQS-Biodiversity protocols.



- les colonnes de sol pour suivre la macroporosité d'origine biologique ;

- le test-bêche suivi de l'application de moutarde pour la macrofaune endogée et notamment les vers de terre.

Ces protocoles ont été choisis pour avoir une vision globale et standardisée possible des organismes du sol et des fonctions ainsi que des mesures de la flore, (Figure 1).

Les protocoles de suivis de la biodiversité ont été effectués par les équipes de terrain du RMQS. Celles-ci ont été épaulées et formées sur le terrain par les agents d'INRAE. Trente sites du RMQS ont été échantillonnés (Tableau 2).

Dix laboratoires partenaires sont également impliqués dans l'analyse des échantillons (Figure 2). Ils sont aussi en charge de leur conservation.

Le retour d'expérience de cette campagne test démontre que :

- les données acquises, avec l'appui d'équipes formées, sont de bonne qualité. Elles permettent d'ores et déjà de calculer une grande diversité de métriques pour caractériser la biodiversité, s'appuyant notamment aussi bien sur les taxons que sur les traits pour la faune du sol. La grande majorité des données

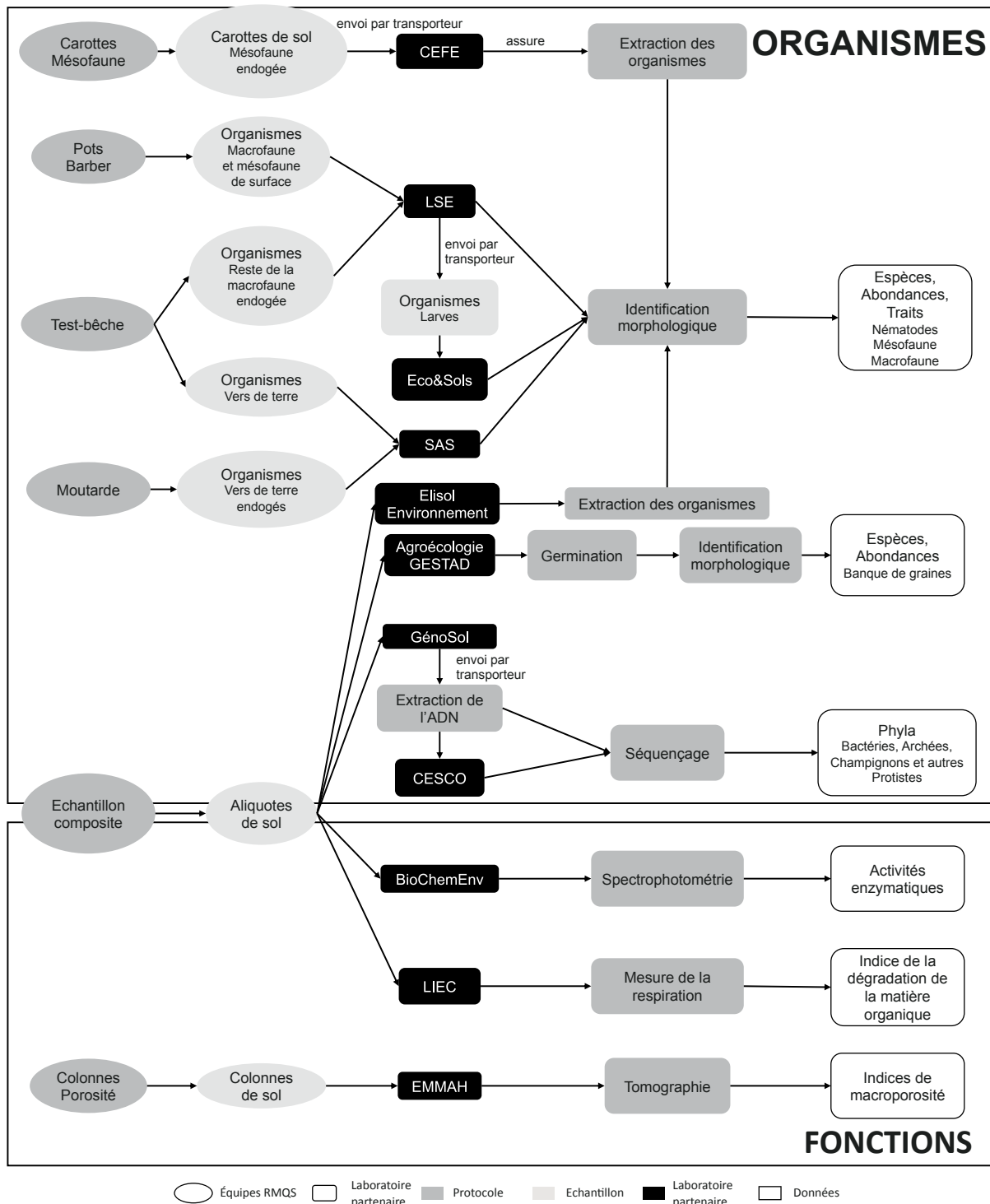
Tableau 2 : Nombre de sites échantillonnés selon l'usage du sol.

Table 2 : Number of sampled sites according land use.

Usage du sol	Nombre de sites échantillonnés
Forêts et bois	8
Grandes cultures	7
Prairies permanentes	7
Milieux naturels	3
Friches	2
Parcs et jardins	1
Vergers	1
Vignes	1

Figure 2 : Parcours des échantillons depuis le terrain jusqu'aux données finales (CEFE : Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, LSE : Laboratoire Sol et Environnement, SAS : Sol, Agro et hydrosystème, Spatialisation, GESTAD : Gestion Durable des Adventices, CESCO : Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation, LIEC : Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux, EMMAH : Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes).

Figure 2: Sample flow from field to final data (CEFE: Centre of Functional and Evolutive Ecology, LSE: Laboratory Soil and Environment, SAS: Soil, Agro and hydrosystems, Spatialization, GESTAD : Sustainable Management of Weeds Gestion Durable des Adventices, CESCO: Center of Ecology and Conservation Science, LIEC: Interdisciplinary Laboratory of Continental Environments, EMMAH : Mediterranean Environnement and Agro-Hydrosystem Modelling).



acquises correspond aux attendus des chercheurs spécialistes impliqués ;

- la logistique proposée, sollicitant un transporteur pour la livraison des échantillons, s'est montrée efficace car peu d'échantillons ont été perdus ou sont arrivés après les délais imposés ;

- les échantillonnages pour la méso et la macrofaune doivent se faire au printemps, de février à avril, qui correspond à la période de l'année la plus favorable pour la biodiversité des sols (abondances et richesse taxonomique les plus élevées, Kaspari *et al.*, 2023). Échantillonner ces groupes à d'autres périodes conduirait à une perte de temps sachant que ces prélèvements sont chronophages et possiblement éprouvants physiquement (notamment du fait d'une position statique prolongée) ;

- le coût complet estimé, comprenant l'échantillonnage avec les équipes partenaires du RMQS et de l'analyse des échantillons pour la mesure de la biodiversité avec les équipes partenaires du RMQS et de la mesure de la biodiversité, serait de 5 338 € pour un site. Ce coût pourrait être réduit au fur et à mesure des années car les équipes du RMQS gagnant en expérience effectueraient plus rapidement les protocoles.

Compte tenu de ces enseignements, et notamment de la contrainte d'échantillonnage au printemps, différents scénarios ont été proposés car les 12 équipes partenaires du RMQS ne sont pas en mesure d'échantillonner tous les sites sur ce créneau. Trois variantes de plus ont été proposées. Parmi elles, deux impliquent des équipes dédiées réalisant les échantillonnages biologiques ce qui nécessiterait plusieurs passages et une coordination plus complexe par rapport à celle

du RMQS sous sa forme actuelle. Cinq laboratoires partenaires se sont proposés pour prendre en charge l'échantillonnage sur le terrain. Ces équipes seraient donc familières des protocoles de suivi de la biodiversité des sols.

Les quatre scénarios présentent des configurations variant selon le nombre d'équipes impliquées et le nombre de sites échantillonnés (*Tableau 3*). Les coûts des scénarios varient entre 240 000 et 580 000 euros par an avec un nombre de sites échantillonnés variable. Or, les analyses pouvant être effectuées découlent du nombre de sites échantillonnés. Avec moins de 100 sites échantillonnés par an (scénario 1), il serait possible d'établir année après année un référentiel de valeurs de biodiversité mais il sera impossible d'effectuer des analyses spatiales. Échantillonner 100 sites (scénario 3) par an permettra en plus d'établir des cartes de répartition de la biodiversité en fin de campagne (en 2027). Suivre la biodiversité sur l'ensemble des sites du RMQS permettra en plus d'observer l'évolution année après année des aires de répartition des taxons.

Il est donc complètement possible d'adosser au RMQS un volet biodiversité. La mise en place des différents protocoles fournirait ainsi des données sur quasiment l'ensemble des organismes des sols et sur trois fonctions (la porosité du sol due aux vers de terre, la dégradation de la matière organique et les activités enzymatiques).

Les données alors collectées permettraient d'obtenir une photographie de la biodiversité des sols en France, d'établir les évolutions spatio-temporelles de la biodiversité des sols et d'identifier les liens entre la biodiversité, la physico-chimie du sol, les activités humaines et leurs impacts.

Tableau 3 : Caractéristiques des quatre scénarios proposés.

Table 3 : Characteristics of the four proposed scenarios.

Scénario	Equipe en charge : Pots Barber Test-bêche Moutarde Carottes Mésofaune Colonnes Porosité	Equipe Echantillon composite	Nombre de sites échantillonnés par an	Analyses possibles	Coût par an (en euros)	Coût pour la fin de la campagne (4 ans, en euros)
1	Equipe RMQS	Equipe RMQS	45	Référentiel, Approche multi-taxon, Pas de carte de répartition	240 210	960 840
2	Equipe RMQS- Biodiversité	Equipe RMQS- Biodiversité	180	Référentiel, Approche multi-taxon, Cartes de répartition chaque année	581 940	2 327 360
3	Equipe RMQS- Biodiversité	Equipe RMQS- Biodiversité	100	Référentiel, Approche multi-taxon, une carte de répartition en fin de campagne	323 300	1 293 200
4	Equipe RMQS- Biodiversité	Equipe RMQS	180	Référentiel Cartes de répartition chaque année Approche multi-taxon moins robuste car tous les suivis de biodiversité ne seront pas effectués à la même date	581 940	2 327 360

En fonction de l'ambition décidée, les données générées serviraient à cartographier la répartition des espèces sur le territoire national et/ou à établir des référentiels pour les bioindicateurs de la qualité des sols.

Ce volet biodiversité du RMQS permettrait de compléter le programme de suivi de la biodiversité terrestre, orchestré par l'Office Français de la Biodiversité (OFB) qui, concernant le sol, portait uniquement sur les microorganismes et les activités enzymatiques (Touroult *et al.*, 2017). Les données obtenues constitueraient un référentiel sur la biodiversité des sols en France. Celui-ci pourrait être utilisé par les entreprises de conseil pour interpréter les valeurs obtenues et à terme contribuerait à développer cette filière commerciale de mesure et de conseil en biodiversité.

Par ailleurs, la base de données reste à construire. Elle devra être interopérable avec les bases de données nationales (SINP <https://sinp.naturefrance.fr/>) et internationales (comme Edaphobase, Burkhardt *et al.*, 2014).

En ce qui concerne d'autres groupes terrestres comme les champignons ou la flore des discussions ont été menées afin de les relier également au RMQS. Pour les champignons, il est proposé de tester une surveillance des sporophores de champignons conjointement sur les réseaux RMQS et RENECOFOR. Ce test profiterait des enseignements du suivi des champignons effectué depuis plus de 10 ans sur les placettes forestières de RENECOFOR et compléterait les connaissances dans les milieux ouverts grâce à l'échantillonnage des sites RMQS. Des associations mycologiques, réparties sur l'ensemble du territoire métropolitain sont prêtes à effectuer ces inventaires. Ce projet est en cours de validation par le groupe de travail. De plus, l'inventaire des sporophores compléterait le suivi des champignons par séquençage, déjà effectué dans le cadre du RMQS.

La flore est quant à elle un groupe très bien documenté. Des données sur la flore des sites RMQS seraient cependant nécessaires pour expliquer les occurrences des organismes du sol. La difficulté de ce suivi est qu'il nécessite de très bonnes compétences en botanique. Pour cela, des discussions avec les membres des conservatoires nationaux, disposant d'un réseau de botanistes sur l'ensemble de la France, se poursuivent mais n'ont pas encore débouché sur des pistes de collaboration.

3. FOURNIR DES DONNÉES AUX ACTEURS ÉCONOMIQUES POUR PROPOSER DES RÉFÉRENTIELS POUR L'ANALYSE ET LE CONSEIL EN AGROÉCOLOGIE

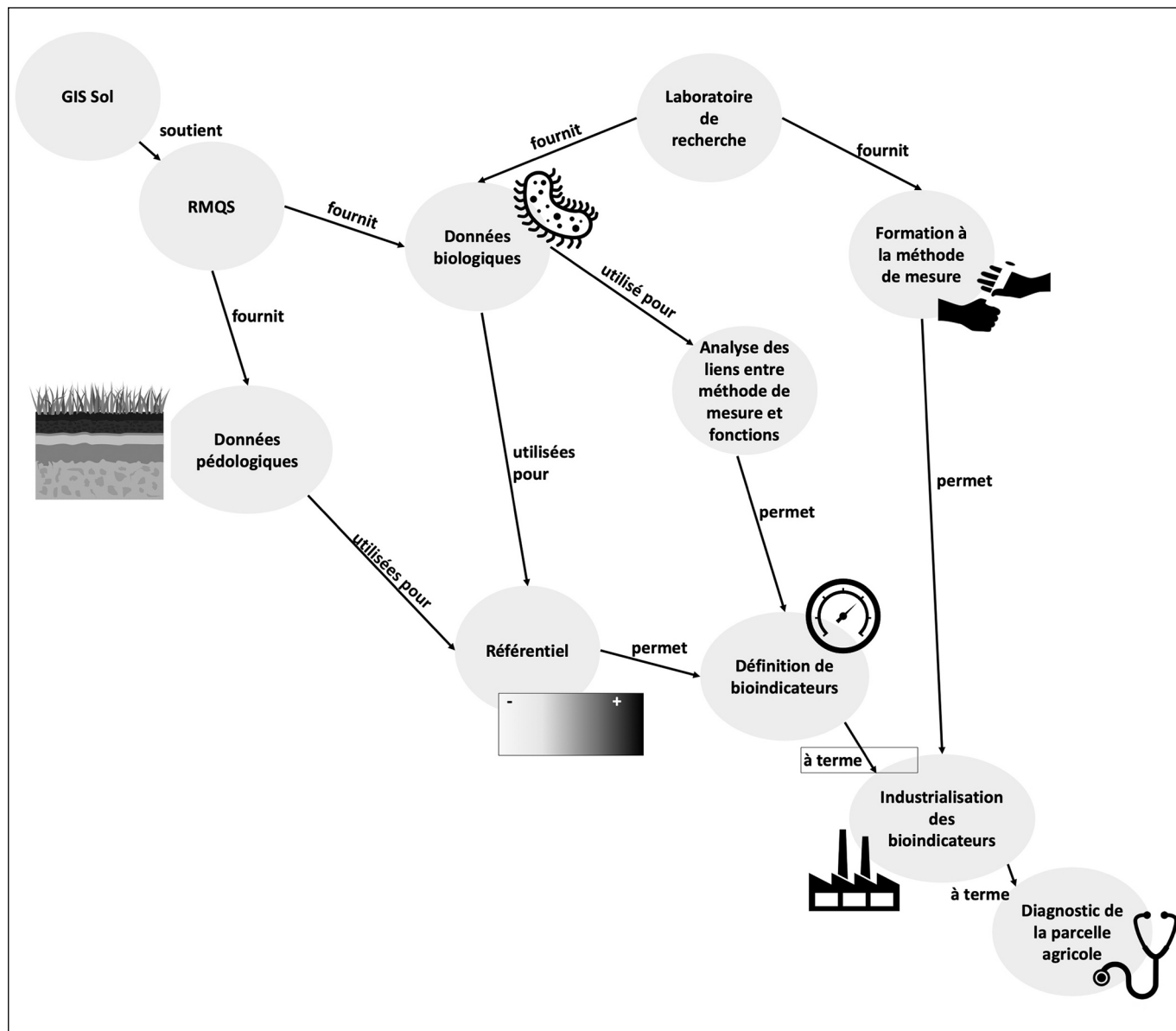
Les acteurs du territoire, et notamment les agriculteurs, ont besoin d'outils de diagnostic et de conseil, si possible peu onéreux, leur permettant d'évaluer le potentiel fonctionnel de leurs parcelles, ainsi que les progrès possibles dans une démarche de transition agroécologique. Cependant, les outils permettant d'apprécier l'état et le fonctionnement biologique des sols cultivés (abondance, activité et diversité des organismes du sol) ne sont pas encore démocratisés. Or, inclure la composante biologique dans les outils de diagnostic et de conseil est essentiel pour évaluer et piloter la diversité des services procurés par le sol.

Le programme Agro-Eco-Sol (2017-2022, financé *via* le PIA 4, <https://www.aurea.eu/agro-eco-sol-aperçu-de-la-boîte-a-outils/>) vise à proposer une expertise agronomique complète, du prélèvement au diagnostic et conseil opérationnel de gestion de la fertilité des sols agricoles. Cette solution est conçue pour faciliter l'accès aux bioindicateurs de qualité du sol, en complément de paramètres physico-chimiques classiques et de caractérisation de l'état structural. Grâce à ces mesures, l'agriculteur aura une meilleure connaissance du sol de sa parcelle et pourra être conseillé sur la gestion de la fertilité de son sol.

Les données du GIS Sol et notamment celles acquises sur le RMQS ont joué un rôle clé dans ce programme, en fournissant des informations pédologiques et biologiques (notamment sur les microorganismes, les vers de terre, les collemboles et les activités enzymatiques), utilisées pour construire des référentiels des bioindicateurs (gamme de variation par usage et pédoclimat), permettant d'en faire des outils de diagnostic de la qualité des sols (*Figure 3*).

Par manque de données, les seuls référentiels complètement finalisés à travers ce projet concernent les microorganismes du sol (bactéries et champignons) ainsi que les activités enzymatiques. La mise en place d'un programme complet de surveillance de la biodiversité sur le RMQS permettrait de compléter ces référentiels.

Par ailleurs, l'offre commerciale Agro-Eco-Sol étant désormais lancée, il s'agirait de réfléchir avec les différents laboratoires à mettre en place, comme pour le programme BDAT du GIS Sol, la collecte, la mise en base de données et les modes de restitution des informations sur la biodiversité des sols. La BDAT accueille actuellement exclusivement des données liées à la fertilité chimique des sols; elle pourrait se diversifier, en intégrant des paramètres biologiques. Cela étendrait cette collaboration entre le public et le privé. Cependant, l'accès aux données, leur compilation et leur diffusion restent encore à éclaircir.

Figure 3 : Implication du GIS Sol dans la mise en œuvre de l'utilisation en routine de bioindicateurs de la qualité des sols.**Figure 3:** Involvement of GIS Sol in the routine use of soil quality bioindicators.

4. LES DONNÉES PÉDOLOGIQUES EN SUPPORT AUX MESURES DE PROTECTION DES ESPÈCES MENACÉES

Les données pédologiques du GIS Sol (issues du programme IGCS- Inventaire, Gestion et Conservation des Sols) ont servi à deux programmes de protection d'espèces menacées: le pélobate brun et le grand hamster d'Alsace.

Le pélobate brun est un crapaud fouisseur très rare en France. Il est présent dans l'Est de la France et deux populations de

très petites tailles (de l'ordre de quelques dizaines d'individus à plusieurs centaines), résident dans la région Centre-Val de Loire. Elles sont isolées du reste de l'aire de répartition de l'espèce, s'étalant de la Moselle à la frontière entre la Russie et le Kazakhstan (Biotope et Service du Patrimoine Naturel, 2015). Celui-ci est menacé de disparition à l'échelle régionale en région Centre-Val de Loire (Jourdas, 2016).

Un plan National d'Action a été lancé, dont l'objectif était d'identifier des zones potentiellement favorables à cette espèce (Moulin et Eimberck, 2011). Pour ces travaux, la première étape consiste en l'identification des variables pertinentes pour décrire

l'habitat du Pélobate brun : la profondeur du sol, sa texture et son hydromorphie. Quatre classes de sols ont ensuite été établies grâce aux données des cartes de sol au 1/50 000^e portée par le GIS Sol : sables très hydromorphes, profonds ou non, sables sains moyennement profonds (< 80 cm), sables moyennement hydromorphes et profonds (80 cm) et sables sains et profonds (> 80 cm). Les caractéristiques des habitats terrestres et aquatiques favorables pour le Pélobate brun ont été croisées et cartographiées. L'accessibilité de chaque site aux habitats aquatiques a été vérifiée par photo aérienne. Grâce à ce travail, 170 sites favorables au crapaud en région Centre - Val de Loire ont été identifiés.

Des travaux similaires ont été conduits pour le grand Hamster d'Alsace qui fait partie des espèces en danger critique (www.iucnredlist.org). En France, dans le cadre du plan d'action national, une carte des sols alsaciens au 1/100 000^e a été élaborée à partir des données du guide des Sols d'Alsace, fournies par le GIS Sol (Antoni, 2007). En croisant ces données avec les connaissances sur l'espèce, des zones favorables à son installation ont été définies.

La connaissance des sols, capitalisée au sein des bases de données nationales, permet ainsi de définir les habitats des espèces terrestres. Ces données, encore peu ou mal connues, sont très certainement sous-utilisées dans le cadre d'études

de répartition des espèces animales vivant en surface et des espèces végétales.

5. VERS UNE STRATÉGIE POSSIBLE DU GIS SOL EN MATIÈRE DE SOUTIEN À LA CONNAISSANCE DE LA BIODIVERSITÉ DES SOLS

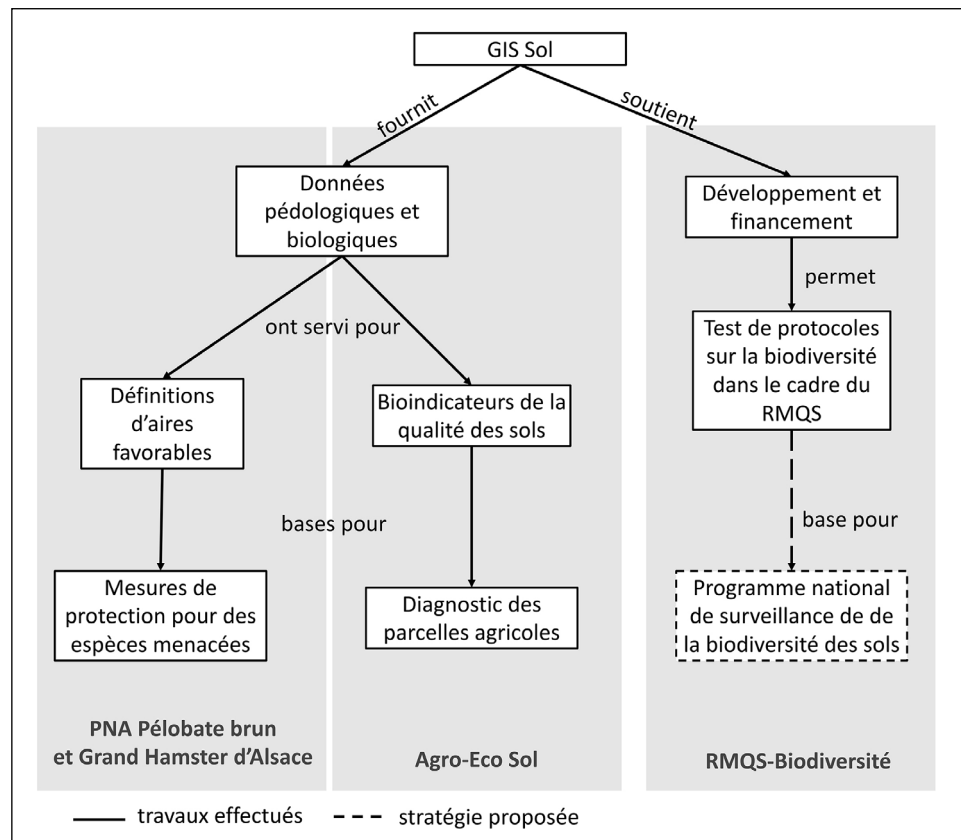
Le GIS Sol soutient depuis plus de 15 ans des programmes sur la biodiversité terrestre, et plus particulièrement des sols, de deux manières : en développant ses propres programmes d'acquisition à travers la mise à disposition du RMQS et en fournissant **des données pédologiques et/ou biologiques à d'autres acteurs** (Figure 4).

Ces différents exemples permettent de proposer une stratégie du GIS Sol, en faveur de la connaissance de la biodiversité des sols basée sur trois actions :

- faire connaître, expliquer et diffuser les données du GIS Sol (données pédologiques et données biologiques) afin que d'autres s'en emparent et les utilisent pour la préservation de la biodiversité des sols. Cette action de communication des données et résultats, déjà mise en œuvre, est à amplifier et les

Figure 4 : Implication du GIS Sol dans la connaissance et la protection de la biodiversité.

Figure 4: *Involvement of GIS sol in biodiversity understanding and protection.*



utilisations possibles dans le domaine de la biodiversité sont à mettre en avant ;

- pérenniser les suivis de biodiversité des sols au sein du RMQS (au-delà des seuls microorganismes du sol et des activités enzymatiques).

Après plusieurs projets et tests réalisés ces 15 dernières années, il nous semble possible de mettre en place un volet biodiversité pour compléter les données déjà acquises par ailleurs. Cela compléterait la surveillance des sols français mise en œuvre par le GIS Sol et permettrait de faire avancer la connaissance encore trop partielle de la biodiversité des sols et de ses interactions avec les pratiques de gestion (notamment agricoles). Sur ces bases, il serait alors possible de développer des bioindicateurs et leurs référentiels, afin de compléter l'évaluation de la santé des sols (Lehmann *et al.*, 2020). Une surveillance globale des sols français, incluant leurs trois composantes (physique, chimique et maintenant biologique) répondrait ainsi de manière pertinente aux politiques publiques émergentes ayant comme objectif de concilier activités humaines et intégrité des sols. À noter, comme le montre déjà l'exemple de l'offre Agro-Eco-Sol, que cela permettrait également de favoriser l'émergence de nouveaux marchés de prestation et de conseil. Avec le développement d'une offre commerciale de caractérisation biologique des sols (notamment à partir des informations fournies par le GIS Sol), il faudrait veiller à leur collecte au sein d'une BDAT renouvelée afin de faire progresser la connaissance nationale globale.

Si cette stratégie peut s'étager sur plusieurs années, le plus urgent reste actuellement que le GIS Sol décide de l'intégration d'un volet biodiversité au RMQS et surtout de son ambition (comme les groupes biologiques et le nombre de sites annuellement suivis).

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les relecteurs Nolwenn Bougon et Jérôme Mathieu pour leurs commentaires ayant permis d'améliorer significativement le manuscrit de cet article.

BIBLIOGRAPHIE

- Antoni V. (2007). Applications IGCS au service de la biodiversité. Lettre du GIS Sol n°12. <https://www.gissol.fr/publications/lettres-du-gis/lettre-du-gis-n12-560>
- Biotope, Service du Patrimoine Naturel (MNHN) (2015). Plan national d'actions en faveur du pélobate brun *Pelobates fuscus* (Laurenti, 1768) 2014-2018.
- Burkhardt U., Russell D.J., Decker P., Döhler M., Höfer H., Lesch S., Rick S., Römbke J., Trog C., Vorwald J., Wurst E., Xyländer W.E.R. (2014). The Edaphobase project of GBIF-Germany—A new online soil-zoological data warehouse. *Appl. Soil Ecol.* 83, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.03.021>
- Decaëns T. (2010). Macroecological patterns in soil communities: Soil community macroecology. *Global Ecology. Biogeography.* 19, pp. 287–302. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00517.x>
- Direction Générale de l'Environnement (2023). Proposal for a directive of the European parliament and of the council on Soil Monitoring and Resilience (Soil Monitoring Law).
- FAO (2020). State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>
- Geisen S., Briones M.J.I., Gan H., Behan-Pelletier V.M., Friman V.-P., de Groot G.A., Hannula S.E., Lindo Z., Philippot L., Tiunov A.V., Wall D.H. (2019). A methodological framework to embrace soil biodiversity. *Soil Biology Biochemistry.* 136, art. no.107536. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107536>
- Imbert C., Santorufo L., Ortega C., Jolivet C., Bougon N., Cheviron N., Cluzeau D., Cortet J., Lévêque A., Mougouin C., Murat C., Pérès G., Pottier J., Ranjard L., Villenave C., Bispo A. (2021). Le RMQS comme support de suivi de la biodiversité des sols : les programmes passés, présents et futurs. *Étude et Gestion des Sols*, 2021, 28 (1), pp. 193-206.
- IPBES (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 1148 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6417333>
- Jolivet C., Almeida Falcon J.-L., Berche P., Boulonne L., Fontaine M., Gouny L., Lehmann S., Maitre B., Ratié C., Schellenberger E. (2018). Manuel du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS): RMQS2: deuxième campagne métropolitaine 2016-2027. Version 3, INRA, US 1106 InfoSol, Orléans, France
- Jourdas A. (2016). Le Pélobate brun *Pelobates fuscus* L., 1768. Espèces Emblématiques En Cent.-Val Loire. Présentation orale.
- Kaspari M., Weiser M.D., Marshall K.E., Siler C.D., De Beurs K. (2023). Temperature–habitat interactions constrain seasonal activity in a continental array of pitfall traps. *Ecology* 104; Issue1. <https://doi.org/10.1002/ecy.3855>
- Königer J., Panagos P., Jones A., Briones M.J.I., Orgiazzi A. (2022). In defence of soil biodiversity: Towards an inclusive protection in the European Union. *Biol. Conserv.* ISSN 0006-3207, 268, 2022, pp. 109475, JRC125863.
- Krüger I., Chartin C., van Wesemael B., Carnol M. (2018). Defining a reference system for biological indicators of agricultural soil quality in Wallonia, Belgium. *Ecological Indicators.* 95, pp. 568–578. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.010>
- Lehmann J., Bossio D.A., Kögel-Knabner I., Rillig M.C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nat. Rev. Earth Environ.* 1(10), pp. 544–553. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>
- Mason E., Matt M., Lobmann M., Helming K., Hashar M.-R., Laszlo P., Francis N., Wall D., Prokop G., Rodriguez E., Lansac R., Carrasco V., Verdonk L., Bispo A. (2022). Existing R&I knowledge on sustainable soil and land management: a comprehensive overview. Presented at the World Congress of Soil Science, Glasgow, Scotland.
- Montanarella L. (2020). Soils and the European Green Deal. *Italian Journal of Agronomy.* 15 (4), pp. 262–266. <https://doi.org/10.4081/ija.2020.1761>
- Moulin J., Eimberck M. (2011). La cartographie des sols de l'Indre pour des applications thématiques diversifiées. *Étude Gestions des Sols.* 18(2), pp. 75–79.
- Orgiazzi A., Panagos P., Yigini Y., Dunbar M.B., Gardi C., Montanarella L., Ballabio C. (2016). A knowledge-based approach to estimating the magnitude and spatial patterns of potential threats to soil biodiversity. *Science of the Total Environment.* vol 545-546, pp. 11–20.
- Pulleman M., Creamer R., Hamer U., Helder J., Pelosi C., Pérès G., Rutgers M. (2012). Soil biodiversity, biological indicators and soil ecosystem services—an overview of European approaches. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* vol 4, Issue 5, pp. 529–538. ISSN 1877-3435. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.10.009>
- Reeve J.R., Hoagland L.A., Villalba J.J., Carr P.M., Atucha A., Cambardella C., Davis D.R., Delate K. (2016). Organic farming, soil health, and food quality: considering possible links. *Advances in Agronomy.* vol 137, pp. 319–367.

- Touroult J., Chaumet S., Poncet L., Siblet J.P. (2017). Diagnostic et recommandations pour une stratégie d'acquisition de connaissances naturalistes continentales. Tome I : analyse des besoins et des dispositifs existants. Rapp. MNHN-SPNUMS-2006-PatriNat. N° 2017-10, 253 p.
- Troudet J., Grandcolas P., Blin A., Vignes-Lebbe R., Legendre F. (2017). Taxonomic bias in biodiversity data and societal preferences. *Scientific Reports*, 7, 9132. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09084-6>
- van der Putten W.H., Bardgett R.D., Farfan M., Montanarella L., Six J., Wall D.H. (2023). Soil biodiversity needs policy without borders. *Science*, ISSN 0036-8075, 379 (6627), pp. 32–34. <https://doi.org/10.1126/science.abn7248>
- www.iucnredlist.org dernière consultation : 06-06-2023
- <https://sinp.naturefrance.fr/> dernière consultation : 08-08-2023