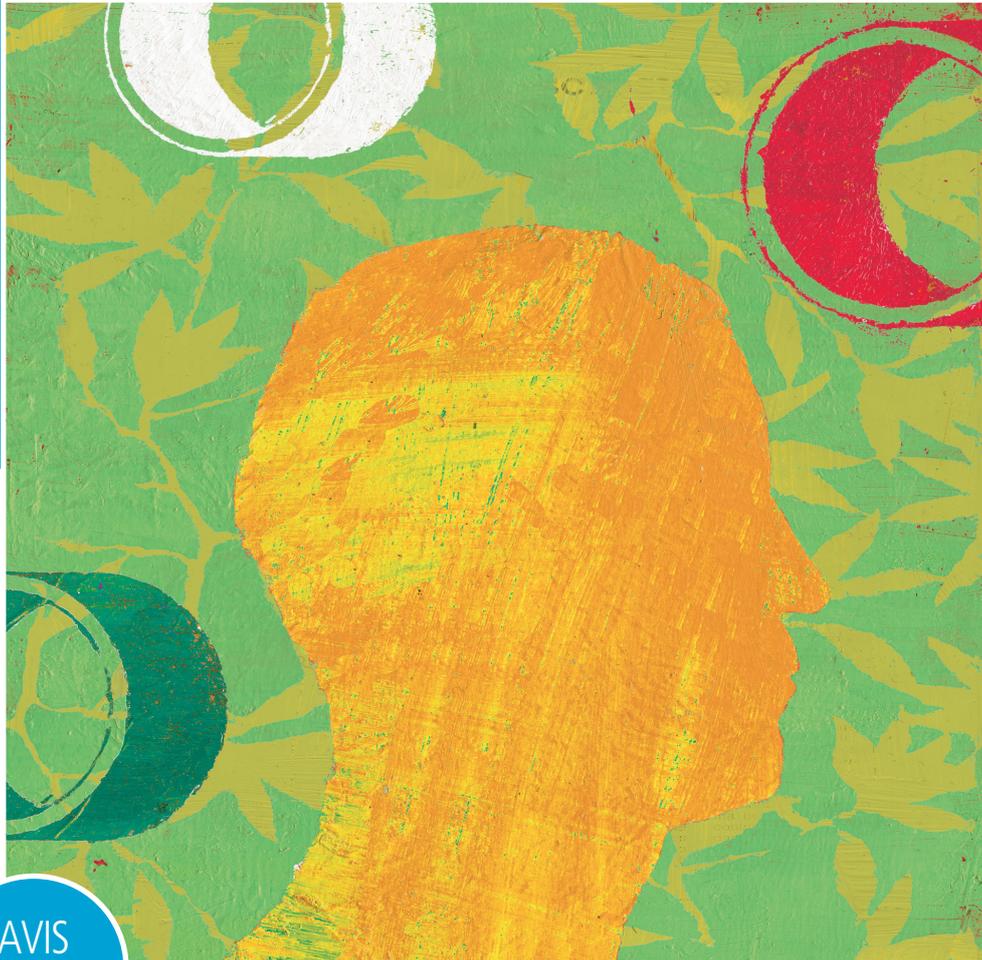


Comité consultatif commun d'éthique
INRAE-Cirad-Ifremer-IRD



AVIS
14

SUR les besoins humains, ressources naturelles
et préservation de la biosphère : cas des pratiques
agricoles et de la qualité des sols

INRAE

cirad

Ifremer

IRD Institut de Recherche
pour le Développement
FRANCE

Comité consultatif commun d'éthique
INRAE-Cirad-Ifremer-IRD

AVIS
14

SUR les besoins humains, ressources naturelles
et préservation de la biosphère : cas des pratiques
agricoles et de la qualité des sols

Sommaire

- 7 AVANT-PROPOS
- 8 PRÉFACE
- 9 RÉSUMÉ DE L'AVIS
- 10 LES BESOINS HUMAINS, RESSOURCES NATURELLES ET PRÉSERVATION DE LA BIOSPHERE : CAS DES PRATIQUES AGRICOLES ET DE LA QUALITÉ DES SOLS
- 11 I - INTRODUCTION
- 11 II - HISTORIQUE
 - 11 1- Le sol comme support de production agricole et le paradigme chimique
 - 12 2- Retour de la microbiologie et l'émergence du sol comme milieu vivant à protéger
 - 13 3- De la biodiversité aux services écologiques
 - 15 4- Des services écologiques aux fonctions sociales et symboliques
- 15 III - COUP D'ŒIL SUR L'ENSEMBLE DES QUESTIONS POSÉES PAR LES SOLS
- 17 IV - POINTS DE CONFLITS ET NŒUDS DE CONTROVERSE
 - 17 1- Sols forestiers
 - 20 2- Sols agricoles
 - 22 3- Zones sèches et zones humides
 - 23 4- Sols urbains et périurbains
- 25 IV - QUESTIONS TRANSVERSALES
 - 25 1- La question des communs
 - 29 2- Avantages et limites de l'approche « services écosystémiques »
 - 31 3- Complémentarité entre local et global
 - 31 4- Comment interagir avec les acteurs du territoire ?
 - 32 5- Comment interagir avec les politiques ?
- 33 IV - RECOMMANDATIONS
 - 33 1- Recommandations générales
 - 33 2- Recommandations plus spécifiques aux recherches sur les sols
- 36 IV - ANNEXES
 - 36 ANNEXE 1- Références des personnes rencontrées / Membres du groupe de travail issu du Comité d'éthique ayant instruit cet avis, discuté en séances plénières et adopté définitivement le 17 janvier 2022
 - 38 ANNEXE 2- Composition du comité d'éthique INRAE-Cirad-Ifremer-IRD
 - 39 ANNEXE 3- Secrétariat commun du comité d'éthique INRAE-Cirad-Ifremer-IRD
 - 40 ANNEXE 4- Les principes et valeurs du Comité d'éthique INRAE-Cirad-Ifremer-IRD

AVANT-PROPOS

Le Comité consultatif commun d'éthique INRAE-Cirad-Ifremer-IRD mène depuis 2019 une réflexion éthique issue d'une autosaisine sur la conciliation, dans les travaux de recherche des quatre organismes, entre la satisfaction des besoins humains, les ressources naturelles et la préservation de la biosphère.

Il a engagé cette réflexion à partir de deux études de cas : les eaux littorales (avis 13) et les sols (cet avis). Dans les deux situations, sur la base d'entretiens avec des chercheurs, il s'est efforcé de pointer les lieux de conflits potentiels et les enjeux des controverses existantes. Ses recommandations visent à dégager des points de vigilance et elles invitent à approfondir les questions en dialogue avec les chercheurs.

Ces deux analyses particulières ont amené le Comité à aborder plusieurs questions d'ordre général dont la portée éthique dépasse chacun des thèmes étudiés. Trois thèmes ont émergé : la gestion des « communs », l'intérêt mais aussi les limites de la notion de services écosystémiques, et les différences d'approches selon la nature et la culture des territoires concernés, au Nord ou au Sud. Ces questions sont abordées dans les deux avis, mais ne peuvent prétendre à ce stade à l'exhaustivité : le Comité sera amené à y revenir, pour les approfondir, dans ses avis ultérieurs.

Axel Kahn était à l'origine de la démarche ainsi engagée par le Comité. Il en avait présenté les motivations profondes dans un court texte que nous mettons en préface aux deux avis produits par le Comité en guise d'hommage rendu à son action comme président du Comité.

Les membres du Comité consultatif commun d'éthique INRAE-Cirad-Ifremer-IRD

Janvier 2022

PRÉFACE

Ne pas se résoudre à l'irréductibilité des contradictions

L'humain, comme tout autre être vivant, a besoin pour vivre de nutriments, d'aliments, d'eau et d'air. Pas seulement, cependant. Son épanouissement a exigé des interactions sociales, il a bénéficié de la richesse de la nature, de la stimulation intellectuelle et des plaisirs esthétiques qu'elle a engendrés, de la sérénité et du bien-être éprouvés. De plus, ce dont l'humain moderne a pu disposer pour s'instituer en son humanité sera aussi déterminant à l'édification des générations futures. Il en va de la responsabilité des acteurs du présent de le préserver. Selon un autre point de vue, nos semblables sont certes légitimes à se soucier d'eux-mêmes et de leurs descendants mais, hors de la pensée religieuse, ne sont pas les finalités de l'évolution biologique. Au sein du vivant, ils ne sont pas les seuls à posséder une valeur intrinsèque. La responsabilité, apanage de notre espèce, ne se limite dès lors pas aux nôtres, elle englobe un milieu vivant auquel nous appartenons. Cela rappelé, les organismes investis dans les activités de recherches finalisées dans les milieux ouverts ne sont-ils pas confrontés à des injonctions contradictoires irréconciliables ? Ne rien sacrifier, la pertinence économique des métiers et des filières, leur durabilité, les intérêts contradictoires des agents concernés, le souci des générations futures mais aussi de la biosphère en tant que telle, de ses équilibres et de son évolution propre.

Une solution de facilité serait de se résoudre à la coexistence d'objectifs divers, légitimes les uns et les autres mais incompatibles entre eux. Il s'agirait seulement alors, selon les circonstances, d'en privilégier certains vus comme prioritaires car adaptés à l'urgence du moment ou aux demandes les plus pressantes. Nos organismes et leur Comité consultatif commun d'éthique ont une autre ambition, plus dialectique : accepter les contradictions, s'y adosser pour les dépasser sous la forme d'une solution innovante qui ne renie aucune des injonctions contradictoires de départ. Ce n'est pas là un objectif totalement utopique, quelques exemples peuvent en être apportés, puisés (le terme est approprié...) dans les stratégies halieutiques. Les ressources de coquilles Saint-Jacques en Bretagne, de thon rouge en Méditerranée et Atlantique, de cabillaud en Atlantique nord, de flétan en Pacifique nord ont pu être rétablies dans des conditions préservant aujourd'hui et demain l'activité des marins-pêcheurs et respectant les milieux. Les soucis du présent et de l'avenir, la prise en compte de la valeur propre de la biosphère ont pu être conjoints.

Le dessein du Comité d'éthique de nos quatre organismes, son ambition, est, partant de situations concrètes, de mettre à disposition des gouvernances, des chercheurs et de tous les personnels des pistes de nature à progresser dans ce contexte d'objectifs, d'intérêts et d'analyses divergents et d'apparences inconciliables. Il peut exister un chemin, l'identifier exige une méthode, l'emprunter une volonté.

Tous les ans environ, le Comité soumettra aux organismes le fruit de ses réflexions et de ses propositions, une contribution à leurs propres analyses et décisions. Notre premier document concerne les conflits liés à la gestion de l'eau dans les zones littorales. Les agriculteurs, les ostréiculteurs et conchyliculteurs, les professionnels du tourisme et les mouvements de défense de l'environnement, les industriels ont des visions et des intérêts fort différents, souvent opposés. Que peut-on faire, et selon quelle méthodologie ? Nous nous attaquons maintenant à un problème immense, celui des sols. Il sera sans doute décliné en plusieurs problématiques.

Le projet de longue haleine que nous lançons peut apparaître démesuré. C'est que l'importance et la difficulté des missions qui incombent aux organismes dont nous tentons d'éclairer les réflexions et les décisions exigent d'eux qu'ils conjoignent toujours la réalité des situations et la hauteur des ambitions. Le Comité a le désir d'y contribuer.

Axel Kahn

RÉSUMÉ DE L'AVIS

Cet avis prend acte des multiples alertes qui, depuis quelques années, placent la « santé des sols » au centre des préoccupations et des recherches. Cette question reconfigurant les sols comme milieu vivant plutôt que comme substrat d'activités humaines devrait situer d'emblée la recherche dans la perspective d'une éthique du soin, de l'attention, visant la préservation, la remédiation, voire la régénération des sols. La notion de « services écosystémiques » assurée par les sols est une manière de décrire les multiples relations du sol avec quantité d'êtres, relations et êtres qui sont l'objet du soin. Mais dans les pratiques de recherche, la question est souvent abordée en termes instrumentalistes à partir d'un inventaire des diverses fonctionnalités des sols visant à caractériser, quantifier et mesurer ces diverses fonctionnalités pour tenter de les concilier ou de les compenser. Cet avis analyse les tensions entre les deux perspectives – éthique du soin, attitude instrumentaliste – en présentant un certain nombre de points de conflit sur quatre catégories de sols. Il se prononce contre l'économisation de la notion de service écosystémique postulant une forme d'équivalence générale entre des êtres et des choses qui sont d'un point de vue plus moral, incommensurables. Cet avis souligne donc qu'il ne s'agit pas simplement de ménager un compromis entre les diverses fonctionnalités écologiques, économiques ou patrimoniales des sols, ni de les traiter comme de simples moyens en vue d'une fin. Il s'agit de repenser les sols comme un milieu de vie partagé par une multitude d'entités engageant des valeurs très disparates. Cela appelle donc un débat politique sur la question : qu'est-ce qui est un bien et pour qui ? Cet avis invite par ailleurs à rester vigilant sur la position des chercheurs vis-à-vis des acteurs de terrain.

AVIS SUR LES BESOINS HUMAINS,
RESSOURCES NATURELLES ET
PRÉSERVATION DE LA BIOSPHERE :
CAS DES PRATIQUES AGRICOLES ET
DE LA QUALITÉ DES SOLS

I ■ INTRODUCTION

On appelle sol la zone située à l'interface entre la lithosphère et l'atmosphère dans les terres émergées comme dans les terres immergées. Bien qu'il s'agisse d'une mince pellicule mesurée en centimètres ou quelques mètres, les sols jouent un rôle essentiel pour la vie des populations humaines en tant que facteur clé pour l'agriculture et la production d'aliments. Ils sont une niche écologique avec une très grande diversité d'organismes remplissant des fonctions écologiques importantes jouant sur les équilibres écologiques comme le maintien de la biodiversité, le stockage de carbone ou les émissions de gaz à effet de serre.

La partie émergée de la planète représente 29 % de sa surface, et 70 % de cette portion sont habitables. Toutes les surfaces émergées ne sont pas des sols car les sols se constituent grâce à des apports de matière minérale et organique et peuvent se détruire, plus vite qu'ils ne se construisent. Les sols sont vivants, ils ont donc une réalité dynamique, et ils sont toujours en évolution. D'après le rapport spécial du GIEC Climate Change and Land (2020), 12 % des sols émergés non glacés sont utilisés pour l'agriculture, 37 % pour les pâturages, 22 % pour l'exploitation forestière, 28 % sont faiblement anthropisés et 1 % sont utilisés pour des infrastructures¹.

Étant donné la pression constante exercée par l'action humaine sur les sols, leur préservation doit rentrer dans les équations des décisions futures de nos sociétés. Tenir compte des effets des actions humaines sur l'évolution des sols est un enjeu majeur de l'éthique environnementale.

II ■ HISTORIQUE

1- Le sol comme support de production agricole et le paradigme chimique

Les sols sont aujourd'hui l'objet de préoccupations croissantes. La question de leur fertilité et de sa possible détérioration n'est cependant pas nouvelle et se pose depuis les débuts de l'agriculture. Les grandes civilisations se sont développées autour des régions où les sols étaient bien renouvelés par l'apport de sédiments riches en matières organiques à chaque crue (le croissant fertile, les rives du Nil recouvertes de limon par les crues annuelles, les bassins des rivières chinoises). En Amérique Centrale, la perte de fertilité des sols amenait les villes mayas à déménager de façon périodique.

Diverses pratiques ont tenté d'améliorer cette fertilité, avec l'appui grandissant des sciences et des techniques. À la pratique traditionnelle de l'épandage de résidus organiques des animaux de rente, les chimistes, investis dès le XIX^e siècle dans l'agriculture, substituent l'épandage d'engrais riches en nitrates – disponibles notamment au Chili et au Pérou². Dès lors que l'on intensifie les cultures, les nutriments apportés par le sol (nitrates, phosphates, potassium, etc.) peuvent s'épuiser et rendre nécessaire l'utilisation d'engrais azotés, rendus disponibles dès 1909 grâce à la synthèse de l'ammoniaque à partir de l'azote atmosphérique par le procédé Haber-Bosch. Bien que, dans les années 1930 et 40, le sol ait été étudié par des chercheurs en microbiologie, les recherches agronomiques se concentrent sur la composition chimique des sols³. À partir de 1945, le développement de la « révolution verte » dans des pays comme le Mexique, le Pakistan ou l'Inde a privilégié ce paradigme chimique, qui convient mieux aux exigences de standardisation pour répondre à la demande alimentaire pressante de l'après-guerre.

Parallèlement, le labour des sols, largement pratiqué depuis l'origine même de l'agriculture, a été transformé par l'introduction de puissants tracteurs permettant d'éliminer des plantes

¹ <https://www.ipcc.ch/srccl/download>

² Le succès du livre de Justus von Liebig *Chimie organique appliquée à la physiologie végétale et à l'agriculture* (1840, trad. française en 1841) a diffusé un message simple : il faut équilibrer les intrants et les sortants. Pour tant de quintaux de blé, tant de kilos de fumier... Le paradigme chimique se concentre sur la nécessité d'apporter des minéraux, azote, phosphore, potassium, le fameux NPK.

³ Suite à la découverte de la pénicilline, plusieurs laboratoires pharmaceutiques se lancent dans la prospection de microbes ou champignons dans les sols en vue de produire de nouveaux antibiotiques. C'est ainsi que Benjamin Duggar a découvert *Streptomyces aureofaciens*, qui donne l'auroéomycine par fermentation.

adventices et d'aérer les couches supérieures de sol. Cette pratique peut avoir des conséquences potentiellement néfastes, notamment sur les organismes vivants dans les sols où ils accomplissent de nombreuses fonctions écologiques, dont on prend progressivement conscience. Ainsi, en 1935, les États-Unis créent le *Soil Conservation Service* (rebaptisé par la suite *Natural Resources Conservation Service*), pour tenter d'enrayer l'érosion éolienne des sols dans le Midwest, le fameux *Dust Bowl* qui a ravagé l'agriculture⁴.

Aujourd'hui la préservation des sols est un problème global quoiqu'il semble plus prononcé dans les pays industrialisés. C'est un problème majeur pour la santé humaine et environnementale car les nitrates et phosphates en excès contaminent les eaux, empêchant parfois leur usage humain ou favorisant la croissance incontrôlée d'organismes dans les lacs ou les rivières. Au-delà de ces effets directs, l'usage de ces engrais de synthèse a aussi un effet négatif sur le climat : en France, les émissions lors de la production et de l'utilisation des engrais azotés représentent 10 % du total des émissions nationales de gaz à effet de serre⁵, exprimées en équivalent de CO₂. En effet le protoxyde d'azote (N₂O) émis lors de l'utilisation de ces engrais a un fort pouvoir de réchauffement global, nettement plus élevé que celui du méthane et 300 fois celui du CO₂. Par ailleurs, il a été mis en évidence que le labour peut avoir des effets délétères sur les équilibres au sein du biote du sol, notamment du microbiote, équilibres dont on va voir qu'ils sont cruciaux pour la restauration des sols. La dégradation des sols a été reconnue comme un problème majeur par les milieux académiques dans les années 1990 ainsi que par les organisations internationales. En décembre 2012, la FAO crée le *Global Soil Partnership*⁶. Depuis, les alertes se multiplient car la dégradation s'accélère : d'après la FAO, 24 milliards de tonnes de sols fertiles sont perdus chaque année. La FAO déclare en 2015 que 33 % de l'ensemble des sols sont dégradés du fait de leur exploitation intensive par l'agriculture et l'urbanisation ou à cause de la pollution⁷. La question mobilise les politiques publiques car les sols ont un rôle à jouer dans plusieurs des grands défis auxquels nos sociétés doivent faire face : l'érosion, le changement climatique⁸ (désertification, stockage du CO₂), la perte de biodiversité⁹, la sécurité alimentaire et la sécurité de la santé des écosystèmes et de l'Homme. Il est donc peu étonnant que les sols tiennent une place importante dans les Objectifs de développement durable¹⁰. À l'échelle nationale, en 2019, France Stratégie a publié le rapport *Objectif Zéro artificialisation. Quels leviers pour protéger les sols ?* Et au printemps 2021, le Parlement européen s'est saisi du problème¹¹. La loi « Climat et résilience » du 22 août 2021 comporte des dispositions visant à diviser par deux d'ici à dix ans l'artificialisation des sols, celle-ci étant définie comme atteinte à la biodiversité et aux fonctions du sol : « *L'artificialisation est définie comme l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage.* »¹²

2- Retour de la microbiologie et l'émergence du sol comme milieu vivant à protéger

La microbiologie du sol était devenue marginale dans les instituts de recherche de la première moitié du XX^e siècle. Dans les années 1960, elle revient cependant à l'agenda de recherche en sciences forestières, lesquelles revitalisent la pédologie, avec une orientation qui vise surtout l'optimisation de la production.

Les travaux pédologiques mettent en évidence la composition très variée des sols autour de la planète et le fait que cette variabilité a un impact significatif sur la productivité de différentes régions agricoles. En termes généraux, les sols sont composés de 45 % de minéraux,

⁴ À la même époque et pour des raisons semblables (plus celle du surpâturage), l'administration des Eaux et Forêts a créé au Maroc et en Algérie sous domination française des services de Défense et Restauration des sols.

⁵ Source : CITEPA-SECTEN 2020 pour les émissions, et évaluation Humanité & Biodiversité pour la production d'engrais.

⁶ <http://www.fao.org/global-soil-partnership/en/>

⁷ FAO & ITPS (2015). *Status of the World's Soil Resources*. Food and Agriculture Organization. Intergovernmental Technical Panel on Soils. FAO. <http://www.fao.org/3/ca8943fr/CA8943FR.pdf>

⁸ IPCC (2019). *Special Report on Climate Change and Land*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC.

⁹ IPBES (2019). *Assessment Report on Land Degradation and Restoration*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn: IPBES.

¹⁰ Lal, R et al (juin 2021). *Soils and Sustainable Development Goals of the United Nations : An international Union of soils sciences perspective*. *Geoderma Regional*, 25 - <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352009421000432>

¹¹ Fosse, J (juillet 2019). *Objectif Zéro artificialisation. Quels leviers pour protéger les sols ?* France Stratégie - European Parliament, Committee on the Environment, Public Health, Food Safety, *Draft Motion for a resolution* 2019-2024.

¹² Article 192 de la loi n° 2021-1104 du 22/08/2021, dite loi « Climat et résilience ».

25 % d'eau, 25 % d'air et 5 % de matière organique. Les composants minéraux des sols sont formés à partir de l'érosion de roches. La présence de certains éléments, par exemple des métaux, influe sur la qualité agricole des sols. Bien que la matière organique représente la plus faible part des sols, les travaux montrent qu'elle a un rôle clé dans la richesse d'un sol. Parmi les composants organiques présents dans le sol, on trouve des microorganismes tels que des bactéries et champignons, mais aussi le système racinaire des plantes et des animaux comme des vers, des insectes et de petits vertébrés. Une grande partie des efforts de recherche en biologie des sols vise à identifier et connaître ces espèces, leurs interactions, leur rôle sur les plantes cultivées et plus globalement sur les écosystèmes. Cet effort est particulièrement intense pour les sols situés à l'interface entre la surface émergée et les milieux fluviaux et marins.

La figure du sol vivant connaît un second renouveau depuis les années 1990 et surtout à partir des années 2010, grâce aux techniques de séquençage massif qui font découvrir un monde exubérant et très diversifié¹³. Des millions d'espèces y cohabitent et interagissent, des microbes, des champignons, des plantes, des invertébrés et même quelques vertébrés. Le changement de paradigme se traduit par l'introduction de la notion de « santé des sols¹⁴ », évaluée d'après la dynamique des flux de matière et d'énergie, à la place de celle de « qualité des sols » définie par leur composition chimique¹⁵. Le sol est un milieu vivant, tout comme l'océan. Or ce milieu vivant est complexe et mal connu. Réduire le déficit de connaissances sur le comportement de ces vivants invisibles et sur leurs interdépendances devient un objectif majeur de recherche.

3- De la biodiversité aux services écologiques

La reconsidération des sols ne s'arrête pas à la mise en évidence de cette biodiversité et déborde du cadre strict de l'agriculture. Au début du XXI^e siècle, suite aux travaux d'un certain nombre d'agronomes et d'écologues, d'urbanistes et de géographes, le sol est vu prioritairement comme un territoire à protéger ou à conserver parce qu'il assure des fonctions multiples :

- régulation des cycles de l'eau : inondations, sécheresses (affecte également la qualité des eaux) ;
- stockage de sédiments ;
- stockage de carbone organique indispensable à la fertilité ;
- régulation du climat par séquestration (puits de C, N) et processus de minéralisation du carbone organique ;
- réservoir de biodiversité ;
- stockage de déchets et de pollution ;
- recyclage de déchets ;
- fonction de filtre des contaminants biologiques et chimiques ;
- production d'énergie renouvelable ;
- source de matériaux ;
- support d'infrastructures (habitations, routes, etc.) ;
- fonction de mémoire du passé de l'humanité et valeur religieuse ou patriotique.

Ces fonctions qualifient les sols comme producteurs de « services écologiques »¹⁶, et plus largement comme producteurs de services culturels au sens où l'agriculture, les infrastructures et les pratiques religieuses d'inhumation relèvent de la culture. Aussi les diverses fonctions sont-elles en étroite interdépendance : l'altération de l'une d'entre elles par certains usages

¹³ Voir le programme TerraGenome mis en place en 2009, sur le modèle du projet du génome humain. <https://www.terragenome.org/>

¹⁴ Karlen, D.L et al (1997, Jan-Feb). Soil quality : Concept, définition, and framework for evaluation. *Soil Science Society American Journal*, 61, 4-7.

¹⁵ Ce glissement sémantique nous a été signalé par Alexis Thoumazeau, chercheur en agroécologie et science du sol à l'UMR ABSys (Agrosystèmes biodiversifiés).

¹⁶ Les services écologiques ou écosystémiques désignent les bénéfices que les humains peuvent retirer des écosystèmes. Ils résultent des processus naturels de fonctionnement et du maintien des écosystèmes, sans se confondre pour autant avec ces fonctions (voir infra V.2, page 33).

perturbe toutes les autres. Dans ce système intégré, la décomposition de la matière organique au niveau trophique inférieur conditionne tous les autres processus dont dépend la santé d'un sol. Puisque les fonctions du sol ne sont pas indépendantes les unes des autres et peuvent entrer en tension, voire en conflit, il importe de bien cerner les conditions d'exercice de ces fonctions, d'avoir une vision claire des enjeux et des antagonismes éventuels en faisant appel à des expertises plurielles en vue de proposer des arbitrages éclairés et équitables.

Les sols sont généralement considérés comme la base des productions agricoles. Leur fertilité dépend de leur capacité à entretenir la vie d'une foule d'organismes qui contribuent à fournir aux plantes l'énergie et les matériaux nécessaires à leur croissance. Mais les sols ne sont pas de simples supports de la production de biomasse car ils interagissent avec les plantes. « *Il n'y a pas un sol et des plantes, mais un système sol-plante.* »¹⁷

L'écologie fonctionnelle considère les sols comme habitat d'une foule d'organismes très divers qui agissent comme « *ingénieurs du sol* »¹⁸. Les vers ont un rôle bien étudié de mélangeurs des matières organiques et minérales dans la formation des sols, mais on connaît mal les multiples fonctions des bactéries, archées et champignons. Ils jouent un rôle si fondamental que les cycles du carbone et de l'azote dans les sols sont presque entièrement dépendants de ces microorganismes.

Les sols interviennent dans le contrôle des gaz à effet de serre. En effet, ils constituent en général un puits de carbone qui absorbe 2 400 GtC/an à l'échelle planétaire, même si dans certains cas ils sont émetteurs de méthane et d'oxydes d'azote. En moyenne, la teneur en carbone est maximale sur 20 cm puis décroît de manière exponentielle avec la profondeur. L'initiative « 4 pour mille : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat » portée par la France en 2015 vise à augmenter la teneur de carbone dans les sols. Suite aux controverses scientifiques suscitées par des calculs initiaux un peu simplistes, des études plus précises ont été menées sur le potentiel de stockage des sols français¹⁹. Mais les processus de stockage ne sont pas toujours bien compris, et la pérennité des flux entrants positifs après stabilisation des pratiques favorables à l'augmentation du stock de carbone doit être précisée.

Au stockage de carbone s'ajoute le recyclage de déchets. Les microorganismes qui habitent les sols assurent la biodégradation de la matière organique, et ils peuvent produire des nutriments pour les plantes, notamment par la fixation d'azote. Certains ont même la capacité de dégrader ou de mobiliser les polluants comme des métaux toxiques en milieux miniers.

Les sols ont aussi une fonction de régulation du cycle de l'eau entre les saisons. Ce dernier est capital pour la végétation agricole ou forestière qui a besoin d'eau en été et pas en hiver. C'est pourquoi en première approche, sont dits fertiles les sols capables de retenir l'eau, par opposition aux sols caillouteux ou sableux qui drainent l'eau.

Cette approche fonctionnaliste configurant le sol comme une ressource, en termes de services écologique et alimentaire, préside à la recherche actuelle sur la *gestion des sols*. Dûment analysés et cartographiés, ils sont à conserver, protéger ou réhabiliter.

¹⁷ Abbadié, I. (2018, juillet). Fertilité des sols : la qualité par la vie. *Annales des Mines*, 91, 10.

¹⁸ Blanchart, E. et Trap, J. (2020). Intensifier les fonctions écologiques du sol pour fournir durablement des services écosystémiques en agriculture. Numéro spécial Fonctions des sols et services écosystémiques. *Étude et Gestion des Sols*, 27, 121-134.
https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers20-04/010077640.pdf

¹⁹ Pellerin, S., Bamière, L., Savini, I., Réchaudière O. (coord.) (2021). *Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel et à quel coût ?* Éditions Quæ.

4- Des services écologiques aux fonctions sociales et symboliques

À cette liste déjà longue d'attributs, il convient d'ajouter d'autres éléments :

- *Le sol comme territoire à aménager.* Dans un contexte d'urbanisation galopante, le sol est appréhendé comme une surface qui doit être distribuée en fonction des divers usages auxquels on l'affecte. Cette perspective accompagne l'artificialisation massive d'une partie des sols de la planète, soit comme zone à bâtir, soit comme zone de circulation.
- *Le sol comme poubelle, espace indéterminé qui permet de rendre invisible ce qu'on ne veut pas voir.* Si l'évacuation des excréments peut contribuer à enrichir les sols, celle des déchets industriels et ménagers pollue les sols sur des temps plus ou moins longs.
- *Le sol comme source de matériaux, par exemple pour la construction.* Depuis des siècles les terres argileuses sont utilisées pour la fabrication de briques. Depuis qu'on utilise le béton pour construire des habitations et pour les travaux publics, le sable – une forme de sol riche en silicates – est devenu la plus grande ressource en volume après le pétrole au niveau mondial.
- *Le sol comme héritage.* Dans bien des zones rurales de l'Afrique subsaharienne, mais aussi en Europe, les cultivateurs des sols considèrent qu'ils sont redevables de la gestion de ces sols non seulement envers leur famille, leur village, leur communauté, mais aussi à l'égard des ancêtres qui les leur ont transmis.
- *Le sol comme patrimoine culturel.* La plupart des sols étant anthropisés, ils constituent un palimpseste d'histoires diverses que dévoilent sans cesse les recherches archéologiques entreprises lors des projets d'aménagement. Les sols portent en effet les traces de civilisations passées, de guerres, d'aventures familiales, agricoles ou industrielles. À cet égard, ils acquièrent une valeur symbolique. Mais ces signatures ou stigmates du passé peuvent interférer avec leurs fonctionnalités actuelles, voire les empêcher.

III ■ COUP D'ŒIL SUR L'ENSEMBLE DES QUESTIONS POSÉES PAR LES SOLS

Dans une perspective instrumentaliste, la question globale est : comment concilier et harmoniser les diverses fonctionnalités des sols ? Par exemple, comment garantir sécurité alimentaire et protection environnementale ? Comment concilier logements ou infrastructures urbaines avec la conservation de l'environnement ? Mais l'effort de conciliation se complique dès lors qu'on pose la santé des sols comme une fin, car il faut reconsidérer les moyens, c'est à dire les usages du sol. La tension entre les deux perspectives – instrumentaliste ou éthique du soin – soulève plusieurs questions spécifiques.

Questions relatives au climat : Comment adapter les pratiques agricoles au changement climatique, à la sécheresse et à la perte de fertilité des sols ? Comment assurer la meilleure contribution des sols à l'atténuation du changement climatique, par un meilleur stockage du carbone ? Bannir ou réduire les intrants chimiques est un premier pas, chercher à adapter les plantes (par sélection ou transgénèse dirigée par exemple) est une autre voie, mais si l'on considère le sol comme un milieu vivant dont il faut assurer la santé, alors n'est-ce pas sur le système plante-sol qu'il faut travailler ?

Questions de temporalité : Le sol est un milieu vivant *actif et dynamique* qui a sa propre temporalité. Le processus de séquestration du carbone prend des années alors que le rejet de carbone dans l'atmosphère sous l'effet de la déforestation ou de certaines pratiques agricoles est très rapide. Comment concilier les cycles de régénération des sols et les rythmes de production agricole ?

Questions de connaissances : Les connaissances sur la santé des sols relèvent autant de la science fondamentale que de savoirs locaux populaires. En témoignent les nombreuses publications du Cirad qui procèdent à une évaluation scientifique des indicateurs de fertilité utilisés par les cultivateurs indigènes et concluent à leur bien-fondé en fonction des connaissances scientifiques actuelles. La revalorisation des savoirs locaux et populaires grâce à l'utilisation de nouvelles techniques interroge les politiques de recherche. Comment orienter les programmes de recherche pour concilier l'expertise acquise dans la pratique et l'expertise de la science agronomique ? Faut-il des programmes de recherche moins orientés vers les innovations techniques et plus tournés vers l'étude des méthodes traditionnelles et des techniques passées ? Quel contexte spatiotemporel adopter ? Comment prendre en compte la grande diversité des pays du Sud au plan géographique, écologique, climatique, économique, culturel et social ?

Questions culturelles : La santé des sols questionne les valeurs de la modernité sous un autre aspect. Leur santé implique des phénomènes de mort, de dégradation et de pourrissement. Bref, de l'impur, qui conduit à changer notre regard sur les microbes longtemps regardés comme des ennemis qu'il faut combattre ou limiter, alors que la santé des sols conduit à reconnaître les microbes comme des acteurs essentiels car leur action est aussi bienfaisante. Même si on ne parle pas des mêmes microbes, l'image de l'humus et la pratique du compostage ne font pas bon ménage avec les pratiques hygiénistes.

Questions de société : La santé des sols questionne aussi la tendance moderne à réduire le travail humain pour augmenter le temps de loisirs. En effet, les « bonnes pratiques » exigent souvent beaucoup de main d'œuvre, du travail manuel plus que mécanique, des gestes techniques moins standardisés. Or la population agricole a massivement diminué au cours du XX^e siècle du fait d'un exode rural massif. La protection des sols appelle donc une remise en cause radicale des modes de vie moderne (horaires fixes, division entre temps de travail et temps de vacances) modelés sur ceux des populations urbaines.

Questions économiques : La rentabilité économique du capital foncier peut entrer en conflit avec l'impératif de soin qui exige la protection de la biodiversité ou du patrimoine. Le rapport du ministère de la Transition écologique sur l'objectif « Zéro artificialisation nette des sols » estime à 30 000 hectares la surface des terres artificialisées chaque année en France, en moyenne, entre 2006 et 2016, hors infrastructures de transport²⁰. Les communes ont globalement intérêt à attirer l'activité économique sur leur territoire, donc à bâtir. De leur côté, les agriculteurs trouvent dans l'étalement urbain une source de valorisation foncière de leurs terrains situés en zone périurbaine en les vendant comme terrains à bâtir ou à aménager. L'artificialisation des sols entraîne non seulement une perte de production agricole mais aussi des risques accrus d'inondation et une intensification du réchauffement climatique. Ce mouvement silencieux de disparition des sols, au mépris de leurs services reconnus, se poursuit en dépit des politiques de « zéro artificialisation ».

Questions de droit : Le sol est généralement considéré comme un bien propre, propriété de particuliers ou de collectivités. Mais la dégradation des sols est un problème commun d'intérêt général. Le sol est donc un lieu de conflits potentiels entre intérêts particuliers et intérêt général. La protection des sols et l'adaptation des cultures aux objectifs de développement durable vont-elles remettre à l'honneur la pratique des « communs » ? Cela appelle des mesures juridiques et des arbitrages politiques. Par qui ? Par quelles voies ? Les sols ont besoin d'innovations sociales autant, sinon plus, que d'innovations techniques.

²⁰ <https://www.ecologie.gouv.fr/artificialisation-des-sols>

IV ■ POINTS DE CONFLITS ET NŒUDS DE CONTROVERSE

Pour mieux identifier les acteurs et enjeux des problèmes à affronter, cette partie examine d'abord les points de conflits dans quatre catégories de sols : sols forestiers, sols agricoles, zones sèches et humides et enfin les sols urbains ou périurbains. Elle aborde ensuite une question transversale capitale pour assurer la santé des sols : la question de la propriété et des communs.

1- Sols forestiers

Avant d'aborder des thématiques à l'actualité brûlante comme le rôle des forêts dans le stockage du carbone ou l'adaptation des forêts au changement climatique, un retour en arrière sur l'évolution des formes de gestion de la forêt nous semble utile à la fois pour éclairer les modes d'exploitation forestière contemporains et donner un aperçu sur les différents cadres juridiques qui ont prévalu et dont certains peuvent servir d'inspiration pour le futur.

1.1. Usages de la forêt, régimes d'exploitation et droits de propriété

Depuis le Moyen Âge et jusqu'au début du XIX^e siècle, la gestion forestière se limitait pour l'essentiel d'une part au prélèvement de bois (majoritairement bois de chauffage, et minoritairement bois de construction), et d'autre part à l'exercice d'une quantité de droits d'usage, variables d'un endroit à l'autre : pâturage en forêt, glandée (ramassage des glands, notamment pour nourrir les porcs), soutrage (ramassage du sous-bois), etc.

Dans les régions de tradition féodale restée forte jusqu'à la Révolution, ces droits étaient concédés à des collectivités bien définies (villages, hameaux, groupes de familles, etc.), selon des pratiques variables et inégalement codifiées, par le seigneur considéré comme propriétaire des forêts (parfois le roi, une abbaye ou tout autre noble).

Dans les régions qui s'étaient libérées plus tôt de la tutelle féodale, notamment toute la moitié est de la France, dans les massifs de moyenne montagne, très boisés (Vosges, Jura, pré-Alpes, Massif central), l'utilisation collective des produits forestiers s'est organisée assez tôt (fin du Moyen Âge). Les forêts étaient déjà des biens collectifs, gérés comme tels avant la constitution officielle des communes, réellement formalisées au XIX^e siècle. Les collectivités voisines avaient parfois des accords globaux d'échanges de services, par exemple droits de pâturage en alpage, droits d'eau des canaux pour irriguer les cultures et droits au bois de chauffage en forêt, sur un massif réunissant la totalité de leurs terrains.

Quelles que soient les formes de propriété en usage, la forêt constituait depuis l'Antiquité une source de matière première importante, pour le bâtiment, les constructions navales (notamment sur tout le pourtour méditerranéen) ou le chauffage domestique ou industriel. La très forte demande en bois de chauffage a conduit au développement inconsidéré du régime du taillis²¹ qui a eu des impacts catastrophiques : en effet les rejets de souches étaient exploités à blanc tous les 7 ou 8 ans dans certaines zones comme le Morvan qui approvisionnait Paris, ce qui conduisait à un appauvrissement des sols.

À partir du début du XIX^e siècle²², l'administration forestière d'État a engagé deux évolutions distinctes mais parallèles.

- La première est technique. La nouvelle doctrine forestière²³ vise dès le départ à assurer la « conversion » des taillis, où le renouvellement se fait par rejets de souche²⁴, en futaies beaucoup plus protectrices de la qualité des sols. La régénération complète du peuplement ne s'effectue qu'à peu près une fois par siècle, et très souvent par coupes progressives de régénération naturelle, donc sans mise à nu des sols, en suivant des techniques

²¹ Ce régime consiste à évaluer l'âge auquel des rejets de souche (pour les essences qui rejettent bien : chêne, charme, etc.) sont assez abondants pour permettre une récolte de bois de chauffage, à découper un massif en un nombre de parcelles égal à cet âge, et en couper une chaque année, avant de reprendre la rotation.

²² Dans les années 1820 : création de l'école forestière de Nancy en 1824, et promulgation du Code forestier en 1827.

²³ Constituée à peu près en même temps en France avec la création de l'école forestière de Nancy et en Allemagne au début du XIX^e siècle.

²⁴ Ce qui limite à quelques essences aptes à bien rejeter : charme, chêne, et produit surtout du bois de chauffage, les rejets poussant trop vite pour faire du bon bois de construction.

sylvicoles mises au point à la fin du XVIII^e dans la foulée de la pensée agronomique des physiocrates. Leur but était surtout de limiter l'appauvrissement des sols dû au taillis, et d'augmenter la production de bois d'œuvre, stratégie couronnée de succès.

- La seconde est politicoadministrative : après nationalisation des biens de la noblesse et du clergé pendant la Révolution, il a été procédé dans les forêts nouvellement domaniales à un « cantonnement des droits d'usage », consistant à purger tous les droits existants en échange d'une partie de forêt donnée en toute propriété à la collectivité usagère, quasiment toujours une commune²⁵. Les forêts communales actuelles²⁶, qu'elles résultent d'un cantonnement de droits d'usage ou d'une propriété collective plus ancienne, continuent à permettre aux communes propriétaires qui le souhaitent de distribuer directement en nature aux habitants qui le demandent, à condition que la répartition soit égalitaire, le bois de chauffage : c'est le droit d'affouage qui s'est vu donner, par des textes successifs pendant tout le XIX^e siècle et jusqu'à la loi communale de 1884, un cadre juridique qui n'existait pas vraiment avant.

Bien que le cantonnement des droits d'usage et le passage du régime du taillis à celui de la futaie aient certainement joué un rôle dans l'amélioration de la qualité des sols forestiers en un siècle, il faut bien reconnaître que la volonté des forestiers a été puissamment aidée par le développement des combustibles fossiles (charbon puis pétrole) à la place du bois de chauffage pour l'industrie et les particuliers, qui a fait chuter la demande de bois de chauffage de façon spectaculaire.

Aujourd'hui, on assiste à un retour partiel à la case départ : la surexploitation de certaines plantations résineuses intensives conduit à un appauvrissement des sols comparable à celui qui existait au début du XIX^e siècle. De plus, en Guyane par exemple, la sédentarisation des populations, en lien avec la création d'infrastructures (adduction d'eau, électrification, écoles) a eu un impact sur la viabilité des abattis-brûlis traditionnellement pratiqués, précisément par perte de fertilité des sols du fait de temps de jachère forestière trop courts.

Par ailleurs, la mise en évidence d'une multiplicité de services écosystémiques rendus par les forêts et notamment par leurs sols, amène à s'interroger sur la pertinence d'une approche par les communs, inspirée entre autres par les anciens modes de gestion collective des forêts ou des pâturages : indépendamment de l'identité du propriétaire foncier, ne devrait-on pas introduire des formes de gouvernance de ces espaces qui permettent une gestion par les groupes concernés en vue de la préservation de ces services écosystémiques ? Nous reviendrons plus bas sur cette question.

1.2. Stockage du carbone

En forêt on s'interroge sur le rôle du stockage de carbone pour compenser les émissions à l'échéance 2050, indispensable pour atteindre la « neutralité carbone » : d'où l'initiative « 4 pour 1 000 » en agriculture, ou la perspective de doubler (en gros) la séquestration de carbone par la forêt ou dans le bois extrait, d'ici à 2050. Ces estimations sont lourdement controversées, et mal documentées, sur plusieurs points, dont la capacité des sols forestiers à stocker plus – ou moins – de carbone selon le type de traitement sylvicole qu'on applique. Dans les zones de climat tempéré, le stockage du carbone dans le sol des forêts est nettement plus important que dans la végétation aérienne, et le lien entre les flux de carbone dans le sol et dans les arbres en fonction d'une sylviculture plus ou moins « dynamique » est donc essentiel.

Pour la forêt comme pour les sols agricoles, les gains attendus en stockage d'ici à 2050 sont des rattrapages temporaires, pas des flux permanents : le jour où les bonnes pratiques

²⁵ Sauf rares exceptions, par exemple les droits d'usage de la forêt domaniale de Dabo, en Moselle, qui bénéficient à un groupe de familles désignées, à titre héréditaire...

²⁶ Notamment dans le Massif central, parfois sections de communes, en fait des hameaux.

préconisées sont appliquées partout, on entre dans un système de flux net nul et de stock stable, qui ne compense plus aucune émission de gaz à effet de serre. À quelle vitesse faut-il aller vers le stockage maximal ?

Par ailleurs, les meilleurs modes de gestion du point de vue de la séquestration du carbone ne sont pas toujours optimaux pour les autres objectifs de production (production alimentaire, récolte de bois pour faire des constructions en bois plutôt qu'en béton, etc.) ou de préservation de la biodiversité. D'où la controverse en milieu forestier sur le système de compensation. Penser qu'on peut compenser les trajets aériens ou d'autres activités émettrices par des plantations d'arbres conduit nécessairement à des méthodes de plantation très intensives pour optimiser le volume de bois produit à court terme (trop souvent considéré comme seul critère d'évaluation du dispositif) par rapport au coût de la plantation. D'où la contradiction entre le souci de préserver la santé des sols (c'est-à-dire la biodiversité ou les ressources en eau) et le souci de stocker du carbone.

1.3. Conflits de stratégies pour l'adaptation au changement climatique

L'adaptation au changement climatique ou la prévention de ses effets est une condition essentielle pour assurer la santé des sols. Deux stratégies d'intervention en vue de cette fin s'affrontent. La première, dite de la libre évolution, consiste dans son principe à laisser une partie aussi importante que possible des forêts sans intervention anthropique, en se fondant sur les capacités d'adaptation naturelle des écosystèmes forestiers à des conditions écologiques en évolution, même rapides comme c'est le cas actuellement. Il est en effet probable qu'après des dépérissements importants des peuplements forestiers actuels faisant suite à des évolutions climatiques, un nouveau paysage forestier se reconstituera en quelques décennies avec des espèces pionnières (selon les stations, bouleaux, pins sylvestre, saules...). Cette stratégie privilégie l'évolution spontanée des peuplements sous l'effet de leur dynamique propre, sans préjuger des conséquences de l'adaptation des écosystèmes forestiers aux changements climatiques, y compris les événements climatiques extrêmes, notamment les sécheresses et canicules. L'autre stratégie, interventionniste, consiste à titre préventif (avant effets de dépérissements constatés) à favoriser le remplacement des espèces forestières en place par d'autres plus adaptées à des climats plus chauds et plus secs, selon des méthodes diverses (plantations en plein, ou « îlots d'avenir » destinés à servir de points d'appui à des régénérations naturelles autour d'eux). À titre curatif, cette stratégie conduit à replanter directement, après exploitation des peuplements dépérissants, des essences supposées adaptées aux conditions futures. Le choix entre ces deux stratégies dépend de critères multiples : la biodiversité et la résilience des peuplements en place par rapport aux accidents climatiques, le stockage du carbone dans le sol (affecté par l'impact des coupes et des plantations), dans la partie aérienne notamment au regard du risque d'incendie, source de déstockage massif de carbone, y compris dans la partie superficielle des sols) et dans les produits transformés, les conséquences sur l'activité économique locale, les paysages, etc. L'existence de financements facilement accessibles au titre de plans de relance favorise la stratégie interventionniste par plantation, alors même que les connaissances scientifiques et techniques en faveur de l'une ou l'autre des stratégies et des conditions de leur mise en œuvre ne sont pas stabilisées.

Comme l'illustre l'exemple historique du passage du taillis à la futaie, la question principale en matière de lien entre gestion sylvicole et santé des sols est celle de la mise à nu complète des sols à l'occasion des coupes rases, d'où l'intérêt de limiter cette pratique, et celle des labours parfois (mais heureusement de moins en moins) utilisés pour favoriser des travaux de plantation.

1.4. Conflit de temporalités

Les conditions écologiques, en particulier climatiques, ont varié de façon très significative en une centaine de siècles après la fin de la dernière glaciation. Mais aussi bien dans la « libre évolution » que dans les stratégies de sylviculture très interventionnistes, on pouvait les considérer comme stables à l'échelle du siècle, correspondant à peu près au cycle de renouvellement naturel ou artificiel d'un écosystème forestier. Or ce n'est plus le cas aujourd'hui : les variations de température actuelles sont à peu près cent fois plus rapides que celles connues depuis la fin de la dernière glaciation. Si bien que, pour les forestiers, les effets de la « libre évolution » sont devenus imprévisibles, tout comme ceux d'une sylviculture très interventionniste.

1.5. Question du régime des eaux

Dans une bonne partie de l'Europe de l'Ouest, les rapports du GIEC conduisent à estimer probable, outre une hausse des températures, un décalage des précipitations qui deviendraient plus abondantes en hiver et moins en été. Les forestiers sont confrontés actuellement dans tout le grand quart nord-est de la France à une vague de dépérissement forestier exceptionnelle, due sans doute pour l'essentiel à des étés un peu plus secs que d'habitude depuis 2018, ayant conduit à basculer au-delà des seuils d'équilibre écologique dans beaucoup de situations (y compris des situations aussi courantes que la sapinière vosgienne : contrairement à ce qui est dit parfois, le problème ne se limite pas du tout à des plantations d'épicéas faites à tort au cours des décennies récentes, même si les dégâts sont alors plus spectaculaires). Le débat forestier s'est focalisé sur les moyens nécessaires pour replanter derrière ces récoltes de bois dépérissant. Quelle conduite un peu éclairée peut-on avoir, face à un tel accident de court terme qui s'inscrit dans une tendance beaucoup plus lourde ? Et que dire aux utilisateurs de bois (scieries locales) à qui on ne vend plus que du bois sec, aux usages limités ?

2- Sols agricoles

2.1. Tensions sur l'évaluation de la santé des sols

S'il y a plusieurs critères pour évaluer la qualité des sols (texture, composition, etc.) à première vue, l'évaluation de leur santé se fonde essentiellement sur la densité de populations des vivants qui habitent les sols (microorganismes, champignons, microfaune, mésofaune et macrofaune). Mais elle n'est pas pour autant consensuelle. On estime certes qu'une réduction de 30 % dans la diversité microbienne d'un sol réduit de 50 % sa stabilité structurale et la productivité agricole car elle augmente le temps de survie de pathogènes. Toutefois, les pratiques d'évaluation font face à un dilemme : faut-il privilégier la biodiversité quantitative ou qualitative ?

En effet, dans la cartographie des sols français effectuée par INRAE Dijon, on observe des différences notables entre l'approche quantitative qui évalue le nombre d'espèces microbiennes par gramme et l'étude qualitative des réseaux d'interactions biotiques entre bactéries (« Facebook des bactéries »)²⁷. La diversité bactérienne augmente dans les sols agricoles mais le réseau d'interactions entre microorganismes y est moins cohésif. Les communautés de bactéries bénéfiques à la santé des sols étant moins stables, elles sont moins aptes à remplir les fonctions attendues. C'est dire que la valorisation de la biodiversité comme indicateur de la santé des sols est à nuancer. Le conflit entre les résultats issus des approches quantitative et qualitative conduit à la question : *en quoi* ou *à quoi* la biodiversité est-elle bonne ? Sa valeur n'est-elle pas relative au type de fonctionnalités que l'on veut tester ou développer ? Dans ce sens, le Cirad et l'IRD ont proposé un ensemble d'outils multicritères

²⁷ Voir présentation de Lionel Ranjard à la chaire Unesco Alimentations du monde, <https://vimeo.com/323201748>.

d'évaluation de la santé des sols : Biofunctool® pour évaluer la dynamique du carbone, le cycle des nutriments et le maintien de la structure du sol²⁸. Ces indicateurs reposent sur l'évaluation de l'activité biologique globale des sols (fonctions) plutôt que sur une caractérisation de la biodiversité.

2.2. Conflit entre les fonctions de stockage et de minéralisation

Les sols assument un service écologique essentiel par leur capacité de stockage de carbone sous forme organique issue des plantes ou des microorganismes. Augmenter chaque année le stock de carbone des sols agricoles de 0,4 % (ou 4 pour 1 000) dans les 30 premiers centimètres du sol par des pratiques agricoles durables – notamment en augmentant la production de biomasse – est l'objectif de l'initiative 4 pour 1 000. Mais cet objectif ne précise pas dans quel état – minéral ou organique – le carbone doit être stocké. Or le processus de minéralisation du carbone dans les sols est un levier important dans la productivité agricole car il libère les éléments minéraux assimilables par les plantes. Il faut donc trouver un équilibre entre deux phénomènes : le maintien d'une certaine quantité de matière organique dans le sol pour la rétention d'eau ou le stockage de carbone notamment et la décomposition ou minéralisation de cette matière organique pour la fertilité des sols²⁹.

Quelles sont les pratiques agricoles qui permettent d'optimiser le stockage du carbone tout en maintenant la productivité agricole ? Toutes les pratiques agricoles réputées durables – par exemple, agriculture biologique et agriculture de conservation – visent certes à préserver la biodiversité des sols, par diverses techniques : désherbage mécanique ou thermique, plantes de couverture. Mais toutes ne favorisent pas également la productivité agricole et la fonction de stockage si bien que l'on doit, pour chaque agrosystème, trouver le meilleur compromis entre le rendement et la santé des sols. Pour parvenir à un tel compromis, il faut bien reconnaître que *le débat n'est pas seulement technique*. Certes les calculs de tonnes de CO₂ économisées offrent de précieux indicateurs et la perspective de petits robots capables de détruire sélectivement et localement les adventices est séduisante. Mais il faut plus que des calculs et de l'intelligence artificielle. Trouver le bon compromis entre les fonctions de stockage et de productivité agricole, cela engage des choix de priorités, une *hiérarchisation de valeurs qui relève d'un choix éthique et d'un débat démocratique*.

2.3. Comment penser l'objectif 4 pour mille dans la durée ?

Il est relativement facile pour l'année 1 de calculer les tonnes de CO₂ économisées par le passage aux pratiques agroécologiques sur un territoire donné³⁰. Mais comment compenser les émissions annuelles tous les ans ? Admettons que d'ici à 2050 la généralisation de ces pratiques permette d'augmenter les capacités de stockage de carbone dans le sol pour compenser les émissions annuelles de CO₂ par d'autres activités telles que transports, logement et industrie. Mais au-delà de 2050, et une fois qu'on aura atteint la capacité de stockage maximal grâce à la mise en place des pratiques agroécologiques et forestières les plus favorables, il faudra bien continuer à compenser des émissions car elles ne passeront pas pour autant de 90 Mt CO₂éq à 0. D'où la nécessité de réduire drastiquement les émissions de GES et ne pas se contenter des marchés de compensation. Pour maintenir un équilibre des flux (stockage maximum) en agriculture et en forêt, il faudra trouver un autre moyen de séquestration, et surtout ne pas relâcher les moyens agricoles et forestiers au motif que les émissions auraient baissé.

3- Zones sèches et zones humides

En dépit de leurs caractères très contrastés, zones sèches et zones humides partagent une même condition : elles sont menacées par le changement climatique, la dégradation et l'urbanisation due à une démographie galopante.

²⁸ Voir Brauman, A., Thoumzeau, A. (2020). Biofunctool® : un outil de terrain pour évaluer la santé des sols, basé sur la mesure de fonctions issues de l'activité des organismes du sol. *Étude et Gestion des sols*, 27, 289-303.

²⁹ Voir Pellerin, S., Bamière, L., Savini, I., Réchaudière, O. (coord.) (2021). *Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel et à quel coût ?* Éditions Quæ.

³⁰ D'après le 163^e Conseil de la FAO, l'agroécologie comprend l'agriculture biologique, l'agroforesterie, la permaculture, la complémentarité entre élevage et culture, la couverture permanente des sols, etc. : <http://www.fao.org/agroecology/overview/overview10elements/en/>

Les zones sèches constituent environ 41 % des terres émergées et soutiennent une population d'environ 2 milliards d'humains³¹. Douze millions d'hectares sont dégradés chaque année par l'érosion, des pratiques agricoles intensives, notamment de surpâturage, ou de mauvaises pratiques d'irrigation³². De plus, beaucoup de zones agricoles sont menacées par l'essor de l'urbanisation en Afrique. Depuis quelques années, des dispositifs efficaces et très variés ont été mis en place par divers organismes pour enrayer ce processus. Par exemple, le mécanisme de neutralité en matière de dégradation des terres (NDT), comparable au principe de neutralité carbone, dans le cadre du plan décennal 2008-2018 de la Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification³³. Cet outil à disposition des décideurs vise à maintenir et augmenter les terres destinées à la production alimentaire par rapport à un état de référence : aucune perte ne doit être enregistrée (*no net loss*) sauf à être compensée par un gain de terre équivalent. Dans un autre genre, le dispositif PPZS que le Cirad a mis en place pour le pastoralisme en Afrique de l'Ouest fédère des compétences pluridisciplinaires d'institutions nationales et internationales et développe des partenariats scientifiques afin d'adapter les pratiques pastorales à l'évolution du climat et des sols³⁴. Signalons encore le rôle remarquable de l'Association pour la promotion des arbres fertilitaires de Bruno Devresse qui a développé l'agroforesterie au Togo³⁵.

Contrairement aux zones arides, les zones humides situées à l'interface entre les milieux terrestre et aquatique figurent parmi les écosystèmes les plus productifs au monde³⁶. Elles offrent une diversité de fonctions écosystémiques³⁷ : réservoirs de biodiversité, séquestration du carbone, régulation climatique, régulation hydrique, hydrogéologique, protection contre l'érosion, épuration des déchets, etc. Ce sont des milieux privilégiés où les activités humaines se sont déployées au cours de l'histoire. Les civilisations égyptienne et romaine se sont développées autour des estuaires, des deltas et des rivières. Or depuis le XIX^e siècle, les zones humides ont subi des destructions massives soit par des politiques d'assainissement, soit sous la pression de l'urbanisation et de l'agriculture intensive. De nombreux dispositifs de protection ou de réhabilitation, analogues à ceux des zones sèches, sont mis en place³⁸.

3.1. Conflit entre aménagement et conservation

Pour les sociétés occidentales contemporaines, les milieux humides sont devenus des lieux de détente, de rencontres et de loisirs et constituent un riche patrimoine paysager. Les politiques d'aménagement touristique des littoraux ont fait des ravages écologiques parfois irréversibles. De plus, elles posent le problème d'adaptation au changement climatique, du fait des prévisions de la montée sensible du niveau des mers. Quelles mesures de gestion pourraient contribuer au développement du tourisme et des loisirs responsables dans ces zones fragiles ?

3.3. Conflit entre fonctions écosystémiques et productives

Les zones humides se prêtent à diverses productions alimentaires (élevage, pisciculture, conchyliculture) ainsi qu'à la production de ressources en énergie (tourbe, bois) ou matières premières (notamment le caoutchouc en zones tropicales). Les mangroves en zones tropicales sont particulièrement riches en ressources diverses. L'exploitation de ces ressources peut ne pas affecter les services écosystémiques dans la mesure où elle s'inscrit dans une logique de développement local. Mais l'exploitation intensive menace directement la résilience de ces zones fragiles, suscitant ainsi des conflits difficiles à arbitrer. Beaucoup de forêts de mangroves ont été défrichées au cours des 40 dernières années pour l'aquaculture, notamment des crustacés comme la crevette, pour alimenter un marché mondial en forte hausse. C'est une ressource économique

31 <https://www.ipcc.ch/srccl/download/>

32 Barbut, M. (2018, juillet). La réhabilitation des terres dégradées dans les zones sèches. *Annales des Mines*, 91, 51-55.

33 https://www.un.org/fr/events/desertification_decade/convention.shtml

34 <https://www.cirad.fr/dans-le-monde/dispositifs-en-partenariat/ppzs>

35 <http://ong-apaf.org>

36 La Convention de Ramsar – traité international adopté en 1971, entré en vigueur en 1975 – définit les zones humides comme « des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres ». Le Code de l'environnement français propose une définition plus restrictive puisqu'il les limite à des « terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire » (art. L. 211-1).

37 Mitsch W. J., Gosselink J. G. (2000). The value of wetlands: Importance of scale and landscape setting. *Ecological Economics*, 35, 25-33 – Barbier, E. B., Acreman, M. C., Knowler, D. (1997). *Évaluation économique des zones humides : Guide à l'usage des décideurs et planificateurs*. Bureau de la Convention de Ramsar. – Costanza, R., et al. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-60.

38 Voir <https://www.ctc-n.org/technologies/wetland-restoration-and-rehabilitation> – <https://www.wetlands.org/>. L'Unesco est aussi très active : <https://www.unesco.org/en/legal-affairs/convention-wetlands-international-importance-especially-waterfowl-habitat> <https://www.unesco.org/en/articles/world-wetlands-day-2021>

importante qui assure la sécurité alimentaire des populations locales et limite l'exode rural. Ressource néanmoins fragile car très sensible au niveau de la mer, aux variations climatiques (température et salinité de l'eau) et aux maladies sources de graves crises. De plus, les rejets sources de pollution conduisent à l'abandon de vastes bassins, ce qui fragmentent ainsi l'espace de mangrove. Enfin le primat de la monoculture dans les bassins aquacoles comme dans les zones de plantation altère gravement la biodiversité des mangroves. Il a été considéré que 30 à 40 % des mangroves dans le monde doivent être réhabilitées³⁹.

4- Sols urbains et périurbains

L'accélération de l'urbanisation au cours des dernières décennies avec la constitution de grandes métropoles a entraîné un recul important des surfaces agricoles en zones périurbaines. Logements, zones commerciales ou artisanales, autoroutes, gares et aéroports ont peu à peu pris la place des maraîchers. Cette artificialisation massive a plusieurs conséquences directes – pollution de l'atmosphère, inondations – ou indirectes : multiplication des circuits longs, gaspillage de nourriture⁴⁰. En bref, ville et campagne sont devenues deux entités distinctes, séparées, avec des populations aux modes de vie contrastés. Le problème est mondial et mobilise les organismes internationaux⁴¹. Deux grands modèles peuvent s'opposer : un modèle où les villes se concentrent dans un espace dense et laisse des espaces pour la production agricole et pour protéger la biodiversité ou un modèle où les habitations humaines se distribuent dans le territoire avec les terrains agricoles et sauvages.

4.1. Métropoles contre sols naturels ou cultivés

La défense des terres agricoles contre les projets d'urbanisation ou d'infrastructures pour les citoyens a souvent été considérée comme une opposition de résidents à un projet d'intérêt général (syndrome NIMBY). Mais force est de reconnaître que l'artificialisation des terres agricoles, de l'ordre de 30 à 50 000 ha tous les ans en France, est un phénomène global qui appelle des ripostes urgentes et légitimes⁴². En France, face aux projets d'installation d'un aéroport, d'une gare multimodale ou d'autres infrastructures en périphérie de grandes métropoles, la résistance s'organise, parfois avec gain de cause. La lutte contre le grignotage progressif des espaces agricoles par l'étalement urbain reste beaucoup plus difficile, alors qu'il constitue l'essentiel des 30 à 50 000 ha artificialisés chaque année.

Dans les pays du Sud où se développent des mégapoles urbaines tentaculaires de manière spontanée, les mouvements de résistance ont plus de mal à se faire entendre. *N'est-il pas du devoir des chercheurs des quatre organismes de prendre position sur ces dossiers ? Et si oui quel peut être leur mode d'intervention ? S'il est tentant d'intervenir « au nom de la science » comme une autorité au-dessus de tout soupçon, il nous semble plus éthique de mettre en avant les valeurs qui animent les chercheurs et leurs organismes. Et en tout cas de faire tout leur possible pour freiner l'artificialisation des sols en pays tropicaux.*

4.2. Tensions créées par les parcs urbains et l'agriculture urbaine

Le développement des parcs urbains, des coulées vertes, répond à une double logique d'amélioration des conditions de vie (lutte contre la pollution) et de préservation de la biodiversité. Cette pratique vertueuse entre néanmoins en conflit avec la nécessité de densifier l'habitat urbain – notamment par la construction de logements sociaux – pour éviter les transports quotidiens et l'étalement urbain qui grignote la campagne. Le problème s'est posé pour le parc de La Courneuve, à l'occasion du projet des Jeux Olympiques de 2024. En ville, le sol est un enjeu de spéculation immobilière. Dans ce contexte où le foncier est rare et cher, le droit au logement exige de faire des choix. Ou bien l'accès au logement des plus démunis ou bien

³⁹ Voir Brauman, A., Thoumzeau, A. (2020). Biofunctool® : un outil de terrain pour évaluer la santé des sols, basé sur la mesure de fonctions issues de l'activité des organismes du sol. *Étude et Gestion des sols*, 27, 289-303.

⁴⁰ <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/flw-data>

⁴¹ Voir l'initiative Villes vertes de la FAO <http://www.fao.org/green-cities-initiative/fr/> et C40 Cities <https://www.c40.org/>

⁴² Dossier : Sols en danger : réduire l'artificialisation. *Annales des Mines*, n° 91, juillet 2018. http://annaes.org/re/2018/re_91_juillet_2018.pdf

l'écologie urbaine, tel est souvent le dilemme. Il s'agit véritablement de repenser la manière de faire la ville. De quel type d'expertise les municipalités ont-elles besoin pour mener une politique d'espace vert ?

Un dilemme similaire est posé par l'agriculture urbaine⁴³. Les pouvoirs publics (depuis l'Union européenne jusqu'aux municipalités) encouragent les initiatives d'agriculture urbaine avec des subventions pour promouvoir la « ville durable ». Trois piliers du développement durable fournissent les arguments à l'appui :

- *Environnemental* : les espaces cultivés en ville diminuent l'empreinte carbone, régulent les cycles de l'eau, réduisent les îlots de chaleur, diminuent les déchets en favorisant le compostage des déchets alimentaires, favorisent la biodiversité.
- *Économique* : les potagers contribuent à l'autonomie alimentaire et à une nourriture de qualité en diminuant le gaspillage. Ils sont sources d'emplois.
- *Social* : les jardins collectifs ou partagés sont une source de savoirs et de savoir-faire. Ils créent des solidarités de quartier, du lien social... et atténuent la fracture entre populations agricole et urbaine, entre nature et ville.

L'agriculture urbaine a son festival annuel de 48 h au mois de mai, organisé par plus de 20 villes françaises plus Bruxelles et Genève⁴⁴. Elle gagne du terrain et des adeptes chaque année en lien avec le souci de *se nourrir bien*. Elle se développe sur les toits (par exemple l'aménagement de 1 500m² de toiture de supermarché à Ixelles), entre les immeubles, sur les espaces verts, sur des terrains vagues, sur des friches industrielles. Même si elle est parfois associée à un style un peu « bobo », l'agriculture urbaine renoue avec des pratiques philanthropiques du passé. La Ligue du coin de terre, fondée en 1895 par des bourgeois et des ecclésiastiques près de Sedan avait pour slogan « à chaque ouvrier son coin de terre et son foyer insaisissable ». Elle est toujours active 120 ans après. Et d'autres associations militent pour son développement.

Toutefois le développement de l'agriculture urbaine crée de multiples tensions. Logements sociaux ou jardins potagers ? Outre ce dilemme déjà mentionné à propos des parcs urbains, se pose la question de la main d'œuvre chargée de l'entretien de ces jardins. Souvent confié à des chômeurs ou à des volontaires, ce travail est peu rémunéré et considéré comme non qualifié. Aussi ces initiatives sont-elles parfois abandonnées, faute de travailleurs. Néanmoins quand l'agriculture urbaine ou périurbaine s'implante de manière durable, elle est une manière de contourner les circuits de grande distribution et de favoriser les associations coopératives ou les marchés fermiers, bref, les circuits courts. C'est parfois explicitement une contestation de la Politique agricole commune accusée de favoriser les grandes exploitations et la mécanisation.

Enfin, des initiatives d'agriculture urbaine sur des sols qui ont été pollués par des installations industrielles donnent lieu à de curieux affrontements entre les autorités municipales et les agriculteurs qui défient les mesures de sécurité pour redonner vie à des sols. Face aux interdits de culture au nom des risques pour la santé, les citoyens cultivant sur des sols pollués semblent revendiquer un droit à être moins protégés, à prendre des risques pour faire revivre un sol et lui redonner la santé⁴⁵.

4.3. Problèmes de remédiation des friches industrielles et de restauration des sols pollués

La politique de zéro artificialisation des sols imposant de redonner vie aux sites abandonnés, c'est-à-dire réhabiliter les sites urbains ou industriels, présuppose de reconnaître que les sols sur lesquels on a vécu sont pollués. L'ADEME a pour mission l'identification des

⁴³ Prônée par plusieurs urbanistes – comme Rob Hopkins fondateur du mouvement Villes en transition ou Carlos Moreno défenseur des « villes vivantes » –, l'agriculture urbaine vise à surmonter le clivage entre ville et campagne. On exclut ici les cultures hors-sol, comme l'aquaponie, pour ne considérer que les potagers urbains qui seuls concernent la gestion des sols.

⁴⁴ <https://www.les48h.fr>.

⁴⁵ Voir le récit rapporté dans : Cahn, L., et al. (2017). *Terres des villes. Enquêtes potagères de Bruxelles aux premières saisons du 21^e siècle*. Éditions de l'éclat.

caractéristiques du sol, la mise en sécurité des zones polluées et l'aide à la reconversion⁴⁶. L'objectif étant de restaurer 15 000 ha de sols pollués pour en faire des sols agricoles.

Deux solutions techniques sont envisagées en fonction de l'usage futur envisagé. Car pour les sols (contrairement aux eaux), il n'y a pas de seuil de pollution. Le seuil dépend de l'usage des sols (plus strict pour des logements par exemple que pour des magasins). Il faut donc commencer par déterminer l'usage pour le choix d'une solution technique :

- soit par reconstruction du sol après excavation et remblai avec des matériaux adaptés à usages bien contrôlés (ni pollution ni espèces invasives) ;
- soit par génie écologique pour remédier à la dégradation en apportant des micro-organismes et en améliorant les capacités d'infiltration et de végétalisation.

Dans les deux cas la réhabilitation écologique des sols demande du temps : plusieurs dizaines d'années pour redonner vie à des sols.

4.4. Tension entre qualité des sols et valeur foncière

Deux visions du sol s'opposent ici frontalement. Le sol comme milieu vivant qui est objet de recherche dans les quatre organismes ne doit pas faire oublier que le sol est aussi un bien foncier qui a un prix. Quelles mesures peut-on envisager afin de freiner la tendance à surestimer le prix des terrains en zones péri-urbaines en anticipant une extension de l'urbanisation ? Comment intégrer les diagnostics de qualité des sols dans la détermination du prix des sols agricoles périurbains ? Comment arbitrer le débat entre les deux visions du sol comme valeur foncière et comme un ensemble de fonctionnalités ou services ? La fonction habitat peut-elle être considérée comme un service écosystémique ?

V ■ QUESTIONS TRANSVERSALES

1- La question des communs

La mise en œuvre des politiques de préservation ou de réhabilitation se heurte parfois aux intérêts privés, locaux ou internationaux. Inventer ou adapter des outils juridiques, afin d'éviter ou d'atténuer de tels conflits, fait partie intégrante de la recherche orientée vers une bonne gestion des sols. Quel type de droit peut-on mettre en place pour faire émerger un intérêt collectif en vue de protéger ou réhabiliter des sols ?

La conception juridique dominante attribue l'essentiel des prérogatives sur le sol à celui ou celle qui est propriétaire de l'espace défini par un tracé sur un sol-surface⁴⁷. Dans quelle mesure les sols doivent-ils être considérés comme un bien commun dans la mesure où de leur bonne santé dépend la réalisation d'un certain nombre de fonctions qui participent des droits humains fondamentaux comme se nourrir, se vêtir, accéder à une eau de qualité, etc. ?

À l'échelle mondiale, la question des communs se pose depuis la conférence de Rio (1992) à propos des forêts tropicales. Ces réserves de biodiversité et de carbone rendent des services écosystémiques si importants qu'il a été proposé de les considérer comme un patrimoine commun qui devrait être soumis à un régime international de protection. Ainsi les pays tropicaux deviendraient gardiens d'un bien appartenant à l'humanité⁴⁸. Mais cette proposition, issue des pays du Nord industrialisés, se heurte aux pays du Sud comme le Brésil qui voient dans leurs forêts une ressource économique (bois et foncier). La tension entre service écosystémique et ressource locale ou nationale se retrouve au niveau juridique.

De plus, dans bien des pays du Sud coexistent deux types de droits de propriété plus ou moins observés par les populations en fonction des circonstances. Le droit dit moderne hérité du

⁴⁶ Voir Cécile Grand, intervention au séminaire INRAE « Déconfiner les sols », 23 avril 2021.

⁴⁷ L'article 552 du Code civil stipule que « La propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous ». Il existe des limitations à ce droit qui concernent par exemple les richesses minières et les vestiges archéologiques.

⁴⁸ Karsenty, A. Les forêts tropicales, des communs ? In Delmas, B., Le Roy E (dir.). (2019). *Les communs aujourd'hui. Enjeux planétaires d'une gestion locale des ressources renouvelables* (pp. 123-33). Karthala.

système colonial reconnu par le pouvoir public et le droit coutumier ou traditionnel ancré dans la culture et souvent observé par les populations. Ce qui complique encore les prises de mesures pour sauver les sols.

En 2006, l'Europe a tenté d'instaurer une directive sur ce thème, avec l'objectif de promouvoir une utilisation durable des sols, initiative qui s'est apparemment fracassée sur le mur des lobbys du monde agroalimentaire. En France cependant, le statut du fermage, jusqu'ici plus favorable à la recherche de productivité qu'aux fonctions écologiques, a été révisé pour garantir le maintien de la santé des sols. Depuis les années 2010, un principe de gestion économe des sols a été introduit dans le Code de l'urbanisme ; le schéma de cohérence territoriale (SCOT) et le plan local d'urbanisme (PLU) doivent inclure une réflexion sur l'utilisation des sols – lutte contre l'étalement urbain, préservation de la biodiversité sont des thèmes qui peuvent être abordés⁴⁹. Très récemment, ce bilan s'est enrichi avec la loi Climat et résilience⁵⁰ qui a introduit une définition de l'artificialisation comme « altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol » et une obligation d'introduire dans les SRADDET⁵¹, SCOT et PLU des objectifs de réduction du rythme d'artificialisation. Même si l'on note des progrès, c'est encore insuffisant au regard des défis, d'autant que les indicateurs qui permettraient aux pouvoirs publics de caractériser les sols et de décider en connaissance de cause sont largement insuffisants.

Face au hiatus entre l'importance des sols et la faiblesse des instruments permettant de les gouverner, certains en appellent à des approches différentes.

1.1. Transformer les exploitations en entreprises à mission ?

La première approche repose sur l'engagement unilatéral de ceux dont l'activité implique une exploitation des sols. Il s'agit par exemple de transformer l'exploitation agricole en entreprise à mission, comme le propose Bertrand Valiorgue⁵². Ce statut, créé par la loi pacte relative à la croissance et la transformation des entreprises, permet à une entreprise de préciser sa raison d'être en ajoutant aux objectifs économiques des objectifs sociaux et environnementaux, tels le maintien ou la restauration de la qualité des sols, que la société se donne pour mission de poursuivre dans le cadre de son activité⁵³. Un organe spécifique, composé de représentants des parties prenantes au sens large, est chargé de contrôler le respect des objectifs sociaux et environnementaux. Selon Valiorgue⁵⁴, cette stratégie est susceptible de produire des effets en cascade, permettant de générer des engagements opposables, de créer des relations plus équilibrées avec les partenaires commerciaux, et éventuellement de drainer des financements spécifiques. Là encore, la difficulté demeure de la définition et du monitoring de la qualité des sols.

1.2. Réinventer les communs ?

La seconde approche en appelle à une transformation de la propriété renouant avec la notion de communs. Cette approche s'appuie sur les travaux d'Elinor Ostrom qui montrent, à partir de l'analyse d'un certain nombre de cas concrets, que des communautés sont capables de gérer efficacement l'utilisation, la conservation, voire le développement d'une ressource, sans intervention d'une autorité centrale ou du marché pour son allocation⁵⁵. Le commun est donc constitué à la fois de la ressource et d'un ensemble de règles et d'organisations qui permettent sa gestion par la communauté. Pour constituer des communs on peut s'appuyer sur des exemples historiques d'anciens communs dont il reste quelques vestiges : droits de pâture en altitude par exemple, ou encore forêts sectionales appartenant à des communes mais avec des ayants droit spécifiques⁵⁶ ; et d'autres formes apparaissent comme les jardins partagés en milieu urbain⁵⁷.

⁴⁹ Cette analyse repose sur le travail de Philippe Billet : Billet, P. (2018). Le statut juridique des sols face à l'artificialisation : État des lieux et perspectives. *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 91(3), 24-28.

⁵⁰ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924?r=d3tp66Zql7>, articles 191 et suivants.

⁵¹ Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires.

⁵² Valiorgue, B. (2020). Le défi agricole de l'Anthropocène. *La Vie des idées*. https://laviedesidees.fr/IMG/pdf/20201006_valiorgue.pdf

⁵³ Article 176 de la loi du 22 mai 2019 <https://www.economie.gouv.fr/cedef/societe-mission>

⁵⁴ Valiorgue, B. (2020). *Refonder l'agriculture à l'heure de l'anthropocène*. Le Bord de l'Eau éditeur.

⁵⁵ Ostrom, E. (2010). *Governing the Commons : The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge University Press – Traduction française: Gouvernance des biens communs : Pour une nouvelle approche des ressources naturelles. De Boeck.

⁵⁶ Voir la tribune du *Monde* du 28 août 2021 : Les communs fonciers peuvent servir de modèle pour relever les défis écologiques, https://www.lemonde.fr/idees/article/2021/08/28/les-communs-fonciers-peuvent-servir-de-modele-pour-relever-les-defis-ecologiques_6092597_3232.html.

⁵⁷ Donadieu, P., Rémy, E. & Girard, M.-C. (2016). Les sols peuvent-ils devenir des biens communs ? *Natures Sciences Sociétés*, 24(3), 261-9.

En cette affaire, la question du droit de propriété est, comme le dit Sarah Vanuxem, à la fois première et secondaire⁵⁸. Secondaire, car les communs peuvent s'accommoder de tous les régimes de propriété foncière : les terres sur lesquelles se construisent des communs peuvent aussi bien être propriété publique que privée, individuelle ou communale. Première, parce que les communs supposent une transformation de la conception du droit de propriété : à la place d'une relation exclusive entre le propriétaire et la chose qu'il possède, ils installent un « faisceau de droits »⁵⁹, selon l'expression d'Ostrom, qui lie de manière différenciée une pluralité d'acteurs entre eux et avec un milieu/une ressource. Ces droits sont définis par des règles qu'Olivier Weinstein décline de la manière suivante⁶⁰ :

- des règles opérationnelles qui définissent les droits d'accès à la ressource, les capacités d'appropriation et leurs modalités (pratiques et techniques) ;
- des règles de « choix collectifs » qui définissent les droits d'intervention sur la définition des droits d'accès et d'usage ;
- des règles de « choix constitutionnels » qui définissent les droits de modification des règles de choix collectif.

Dans cette perspective, la propriété foncière ne définit plus en elle-même la relation d'un individu à une chose car elle se trouve en quelque sorte enchâssée dans un ensemble de droits et d'obligations qui définissent les relations qu'un ensemble d'individus entretiennent entre eux et avec cette chose : les canaux d'irrigation dans les Alpes sèches qui étaient gérés en commun par les agriculteurs locaux constituent un bon exemple de cet « effacement » du foncier. En effet le droit de bénéficier de l'eau s'accompagnait de l'obligation de participer aux travaux d'entretien, réalisés ensemble lors de journées dédiées, sans aucune référence à la propriété foncière des tronçons de canalisation. Pour Sarah Vanuxem, on gagnerait « à concevoir la propriété comme une faculté des personnes d'habiter les choses, alors conçues comme des lieux de vie, milieux ou écosystèmes. Dans cette vision, les personnes n'ont jamais la propriété des choses mêmes, mais seulement d'un droit, c'est-à-dire d'une place au sein de choses, en lesquelles demeure toujours, dans une certaine mesure, la communauté. »⁶¹ En d'autres termes, les communs peuvent avoir pour effet « de dissocier le droit absolu de propriété du sol des droits d'usage de ses services écosystémiques, sociaux, culturels qui deviendraient inappropriables, car produits par une gouvernance territoriale des sols »⁶². On voit tout l'intérêt de cette approche dès lors qu'il s'agit de reconnaître la pluri-fonctionnalité des sols et préserver ou restaurer leur santé.

Ces usages et ces services n'étant pas forcément compatibles entre eux, il s'agit d'éviter l'arbitrage par un propriétaire tout puissant qui impose ses choix. L'approche par les communs reconnaît la nature potentiellement conflictuelle des intérêts qui s'attachent à ces usages et services et construit les conditions d'un débat entre les différentes parties : les règles qui définissent la gouvernance ont pour objet la « mise en compatibilité des intérêts de ces acteurs distincts qui participent au commun, en partant du principe qu'ils ne sont pas nécessairement identiques »⁶³.

1.3. Des initiatives novatrices

Concrètement, les auteurs qui se sont intéressés à la question proposent différents types d'arrangements pour construire les communs de demain : Bernard Valiorgue imagine des chambres territoriales des communs agricoles et alimentaires qui piloteraient les changements et gèreraient les financements ; l'objectif étant de sortir les exploitations de leur isolement, de les inscrire dans leur territoire et de permettre une participation des acteurs du territoire dans

⁵⁸ Sizaire, V. (2020). Protéger la diversité juridique pour préserver le projet politique des communs. Entretien avec Sarah Vanuxem. *Délibérée*, 10(2), 12-18.

⁵⁹ *Bundle of rights* en anglais.

⁶⁰ Weinstein, O. (2013). Comment comprendre les « communs » : Elinor Ostrom, la propriété et la nouvelle économie institutionnelle. *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs*, 14.

⁶¹ Protéger la diversité juridique pour préserver le projet politique des communs. Entretien avec Sarah Vanuxem, Propos recueillis par écrit par Vincent Sizaire (2020). *Délibérée*, 10(2), :12-18.

⁶² Donadieu, P., Rémy, E., & Girard, M.-C. (2016). Les sols peuvent-ils devenir des biens communs ? *Natures Sciences Sociétés*, 24 (3), 261-9. Philippe Billet, dans l'article cité plus haut, fait le parallèle avec « le régime juridique applicable aux monuments historiques, en vertu duquel le bâtiment appartient à son propriétaire, mais son historicité à la collectivité, justifiant ainsi des contraintes pesant sur l'usage dudit bien. »

⁶³ Benjamin Coriat (Éd.). *Le retour des communs. La crise de l'idéologie propriétaire*. Paris: Les liens qui libèrent, 2015.

l'organisation de l'agriculture, la question des sols n'étant qu'un point parmi d'autres⁶⁴. D'autres auteurs en font un instrument fondamental dans la gestion des sols en milieu urbain et périurbain, notamment pour lutter contre l'artificialisation des sols et prévoient d'associer État, collectivités territoriales, propriétaires, locataires, élus, usagers, habitants, etc.

Certaines initiatives sont purement privées⁶⁵ : Terre de liens est sans doute la plus aboutie en France aujourd'hui. Créée en 2003, elle regroupe un réseau d'associations locales dont les missions sont d'accompagner les projets d'acquisition de terre, de mobiliser la société civile autour des enjeux liés à la terre, de sensibiliser et d'accompagner les collectivités territoriales pour favoriser une gestion responsable du territoire ; une entreprise d'investissement solidaire ouverte aux citoyens dont le capital sert à acheter des fermes louées ensuite à des paysans engagés ; et une fondation habilitée à recevoir des legs et donations de fermes. Au total, Terre de liens était propriétaire en 2021 de 250 fermes et 7 000 hectares.

Pour les forêts tropicales, deux systèmes sont envisageables⁶⁶. Soit instaurer des communs globaux par le haut, à partir de la Convention climat. Dans ce cas, les pays du Nord s'engagent à rémunérer les pays forestiers du Sud pour qu'ils préservent les forêts comme services écosystémiques. Soit construire des communs locaux par le bas – dans les forêts africaines notamment – sous la forme des concessions forestières multiusages (agricoles, économiques, écosystémiques) instaurées de manière inclusive avec les acteurs locaux et nationaux.

Comme Ostrom le soulignait déjà, les montages possibles sont d'une très grande diversité, bien qu'au final insuffisamment explorés : une des grandes questions qui demeurent est de savoir comment sont déterminés les participants aux différents niveaux de gouvernance. Les exemples dont on dispose concernent souvent des communautés de petite taille ; par ailleurs, les « bénéfiques » communs sont plutôt circonscrits (irrigation, bois de chauffe, accès à des pâturages) et définissent d'emblée certaines catégories de bénéficiaires. Nous nous trouvons aujourd'hui face à des défis un peu différents, puisqu'il s'agit de préserver des ressources beaucoup plus diffuses comme la biodiversité ou des espaces politicoagricoles complexes : quels sont les acteurs du territoire fondés à participer aux chambres territoriales des communs agricoles et alimentaires imaginées par Bernard Valiorgue par exemple ? Juristes, économistes, sociologues... seraient bien inspirés de développer des recherches et d'accompagner des expérimentations sur ces sujets en lien avec la question de la préservation des sols.

Pour le développement, il importe de combler les lacunes du droit des communs et d'inventer des formules originales de droit négocié avec les parties. Le Comité technique foncier et développement, créé en 2016, insiste sur les valeurs éthiques de solidarité, de justice et de durabilité, qui sous-tendent le droit des communs⁶⁷. Dans la mesure où il instaure des collectifs humains en relation avec des non-humains, le droit des communs vise à instaurer des socioécosystèmes résilients dans un monde où les ressources naturelles sont limitées. C'est pourquoi il nous paraît particulièrement approprié pour développer une éthique du soin axée sur la santé des sols.

2- Avantages et limites de l'approche « services écosystémiques »

La notion de service écosystémique, figurant dans les publications scientifiques depuis 1997, suscite un véritable engouement depuis les années 2000⁶⁸. Elle est reconnue par l'ensemble des institutions en charge de préservation de la biodiversité⁶⁹. Elle présente en effet de nombreux avantages. D'abord en associant le concept scientifique d'écosystème au terme « service » qui relève du langage courant, cette expression a le mérite de faire sens pour le grand

64 Valiorgue, B (2020). *Refonder l'agriculture à l'heure de l'anthropocène*. Le Bord de l'Eau éditeur.

65 Le rapport *Des terres en commun ! Stratégies locales d'accès à la terre pour l'agriculture paysanne et l'agroécologie* recense un certain nombre d'expériences en Europe (<https://landportal.org/es/node/92454>).

66 Karsenty, A. Les forêts tropicales, des communs ? op. cit.

67 Aubert, S. & Karp, P. Comment envisager le droit des communs tissés autour de la terre et des ressources qu'elle porte. In Delmas, B & Le Roy, E (dir.). (2019). *Les communs aujourd'hui. Enjeux planétaires d'une gestion locale des ressources renouvelables*. Karthala, 73-99.

68 Voir Serpentini, G, Méral, P. & Bidaud, C. (2012). Des bienfaits de la nature aux services écosystémiques. *Vertigo, la revue électronique des sciences de l'environnement*, 12 (3) <https://doi.org/10.4000/vertigo.12924> – Devictor, V. (2021) *Gouverner la biodiversité ou comment réussir à échouer*. Éd. Quæ.

69 Notamment par l'*United Nations Environment Program* (UNEP) en 2012, et la plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES).

public. L'ouvrage de Gretchen Daily *Nature's Services* (1997) a eu une fonction d'analyse des enjeux socioéconomiques résultant des pertes de biodiversité et d'alerte, attirant l'attention des décideurs et du public sur la nécessité de protéger la biodiversité⁷⁰. De plus, cette notion traduisant les fonctions des écosystèmes en services ou bénéfiques pour l'espèce humaine a été soulignée dans le cas des écosystèmes agricoles dans l'article de Robert Costanza et al. (1997). Ce dernier procède à une deuxième traduction en termes économiques et examine comment quantifier, en termes de capital, l'importance socioéconomique des écosystèmes⁷¹. Cet article, abondamment cité, a participé à la diffusion du concept de services écosystémiques qui a été consacré par le *Millenium Ecosystem Assessment* (2001-2005), lequel propose des scénarios de préservation des écosystèmes sous l'égide des Nations unies. Il s'agit donc clairement d'une notion interdisciplinaire, entre écologie et économie, mais aussi hybride, à l'interface du scientifique et du politique. Un de ses mérites est d'inviter à l'action en mettant en avant les enjeux socioéconomiques de la santé des sols⁷². Elle a ainsi permis d'éclairer la décision, par exemple de quantifier les bénéfices économiques d'un scénario agro-écologique, face à un scénario « conventionnel » à l'échelle de la Grande-Bretagne⁷³. Ses promoteurs ont d'ailleurs participé à la création du « GIEC de la biodiversité », l'*Intergovernmental Panel on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES) qui fonctionne sur le modèle du GIEC.

L'application de ce concept à l'étude des sols a joué un rôle très positif pour étendre le champ des recherches agronomiques : de l'amélioration des plantes au soin du système plantes-sols. Elle a, de plus, permis la quantification de diverses fonctions des sols et l'invention de leviers d'action (fiscalité, compensation...), dans l'objectif de contribuer à leur préservation ou régénération. Elle a permis de constituer un outil de prise de décision, une base de données internationale sur l'évaluation des services écosystémiques (ESVD) qui fournit des informations dûment validées, facilement accessibles, sur les bienfaits des écosystèmes ou de la biodiversité, et les coûts de leur perte⁷⁴.

Les tentatives d'objectivation de la notion de services écosystémiques dans ces bases de données ne sauraient toutefois faire oublier qu'elle n'est descriptive qu'en apparence. C'est une notion qui est hautement *prescriptive*, voire moralisatrice chez Daily dans la mesure où elle postule la valeur intrinsèque de la biodiversité. De plus, lorsque l'on parvient à quantifier précisément les enjeux locaux (ce qui se révèle très difficile en pratique), il y a une dimension performative du recours aux chiffres et aux graphiques. Selon certains, c'est une notion chargée des valeurs qui dominent dans les milieux écologiques états-uniens au tournant du XXI^e siècle : une vision conservacionniste de la nature investie par le système capitaliste, où les écosystèmes et les vivants figurent comme un capital au service de l'espèce humaine. Pour d'autres, c'est simplement un système de traduction, pour faire entrer les enjeux de biodiversité dans la logique politique, qui doit arbitrer entre différents enjeux socioéconomiques et éthiques. Comme tous les concepts, c'est un concept *situé*. Il pourrait passer pour universel à la faveur de l'approche globale du système Terre et de la biodiversité qui autoriserait à traiter des fonctions des écosystèmes dans l'abstrait, indépendamment de leur inscription dans un lieu, un paysage, une culture. D'où les problèmes que pourrait poser l'application de cette notion à la gestion des sols dans des pays et des cultures qui ne partagent ni cette vision, ni ces valeurs.

De plus, la traduction économique des diverses fonctions des écosystèmes permet la mise en place de dispositifs concrets d'action, comme la méthode Care⁷⁵. Un enjeu pour toute comptabilité environnementale est de tenir compte de la diversité des territoires, d'éviter un double processus d'abstraction, déjà initié par le transfert des fonctions écosystémiques de la biosphère vers la datasphère des bases de données. La difficulté est que, pour déployer une

⁷⁰ Daily, G.C. (ed.). (1997) *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press.

⁷¹ Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & Van Den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387, 253-60.

⁷² La possibilité de mise en pratique dans une perspective pragmatique de « sauvetage de la planète » reste toutefois à démontrer.

⁷³ Bateman, I. J., Harwood, A. R., Mace, G. M., Watson, R. T., Abson, D. J., Andrews, B., ... Termansen, M. (2013). Bringing ecosystem services into economic decision-making: land use in the United Kingdom. *Science*, 341(6141), 45-50.

⁷⁴ Ecosystem Services Valuation Database (ESVD) : <https://www.esvd.net/>

⁷⁵ <https://blog.agiris.fr/des-chiffres-et-moi/le-role-de-la-comptabilite-au-service-de-l'environnement>

telle comptabilité, il faut traduire en termes socioéconomiques des fonctions hétérogènes et disparates dans le cas des écosystèmes. Notamment, si on négligeait pour dresser l'inventaire de la biodiversité que les espèces vivantes sont en interaction et en évolution constante, on réduirait la diversité et la complexité des écosystèmes afin de rendre toute chose commensurable, susceptible d'être alignée sur une unique échelle de valeurs. Ce danger est souligné par Daily et al. (1997). Les auteurs montrent, dans deux chapitres successifs, que la notion de service écosystémique ne sera pas déployée de la même manière dans des territoires occupés par des peuples autochtones en Inde, et par des populations caucasiennes aux États-Unis, car les enjeux sont très différents. Toute comptabilité environnementale – notamment pour mettre en place une finance verte – suppose un certain nombre d'arbitrages qui ne devront pas être dissimulés, mais au contraire explicités et arbitrés démocratiquement. Les difficultés sont importantes : Comment, par exemple, évaluer le gain écologique d'un écosystème sur le long terme ? Comment quantifier la valeur patrimoniale d'un sol ou la valeur d'un sol tenu pour sacré par une culture locale ? Faut-il chiffrer le coût des charges pour le maintenir en l'état ? Le danger est que, sous couvert d'objectivité, on tente de rendre tous les services commensurables en les monétarisant, et qu'ainsi on procède à des arbitrages tacites – par exemple en établissant une équivalence entre le nombre de lombrics dans 1 m² de sol et sa valeur de paysage – afin d'instaurer un mécanisme de compensation. On doit donc s'interroger sur les limites de cette approche à l'objectif du soin de la santé des sols, lorsque la monétarisation établit des coefficients de correspondance arbitraires entre des services écosystémiques ou des valeurs patrimoniales qui sont fondamentalement incommensurables, parce que relevant de systèmes de valeurs hétérogènes et susceptibles d'entrer en conflit.

Aussi l'approche écologoéconomique des services rendus par les sols doit-elle faire l'objet d'un débat. Certes elle favorise la prise de conscience écologique, elle sensibilise aux enjeux socioéconomiques des dégâts dus à la pollution dans toute société, en particulier dans les économies néolibérales où le profit est la valeur suprême⁷⁶. Une monétarisation sans éclairage ni réflexion rendrait implicites et invisibles des choix de valeurs éthiques et politiques qu'il faudrait précisément expliciter pour les mettre en débat.

Est-il légitime d'appliquer une logique de financier à la gestion d'un capital naturel ? Dans l'éthique environnementale issue de l'écologie profonde, la nature a une valeur intrinsèque, elle est une fin en soi et ne peut donc avoir une valeur monétaire⁷⁷. Introduite pour souligner l'interdépendance des humains et des autres vivants, pour éviter l'exploitation prédatrice des ressources naturelles, la notion de service écosystémique pourrait devenir, à la faveur de la monétarisation, quelque chose comme un outil d'administration de biens, qui instrumentalise les écosystèmes en invoquant leurs bienfaits pour l'espèce humaine. D'où l'urgence de mener une réflexion critique sur les usages de cette notion, et d'ouvrir un vrai débat sur les outils mis en place, afin de les améliorer⁷⁸.

3- Complémentarité entre local et global

L'approche globale procède de haut en bas, comme une vue de satellite qui permet de distinguer des masses uniformes et d'identifier les zones à risques. L'étude locale exige une approche holistique qui focalise sur les flux plutôt que sur les stocks de carbone ou d'autres éléments parce que le sol est un milieu complexe multicomposant et multifonction qui, de plus, implique une multiplicité d'acteurs. Des méthodes quantitatives comme Biofunctool[®] permettent soit de comparer la santé des sols forestiers avec celle des sols de divers agrosystèmes à un temps t, soit de mesurer l'évolution temporelle de la santé d'un sol. L'approche locale s'impose car les sols sont extrêmement variables d'un lieu à un autre. Néanmoins cette approche écologique

⁷⁶ Costanza, R. et al. (2013). Vivement 2050. Programme pour une économie soutenable et désirable. Institut Veblen. Par exemple en 2007, la FAO a évalué à 150 milliards d'euros la valeur économique des insectes pollinisateurs pour contrebalancer les profits issus des pesticides.

⁷⁷ Marris, V. (2004). *Nature à vendre*. Éditions Quæ.

⁷⁸ Dans la foulée de la mission présidée par Bernard Chevassus-au-Louis qui proposait d'établir une autorité de régulation indépendante, *Approche économique de la biodiversité et des services écosystémiques*, Documentation française, 2009.

multicritère de la santé des sols se prête difficilement à l'édiction de standards scientifiques et techniques pour inciter les agriculteurs à changer leurs pratiques. D'où la question : comment monter en généralité et inventer des outils pratiques adaptés à tous les acteurs de terrain ?

Ces deux niveaux d'intervention nous paraissent complémentaires. Ils convoquent une multiplicité de disciplines et de modes d'intervention. Pourquoi et comment les articuler ? Au niveau local, les chercheurs procèdent à un diagnostic de santé des sols et font des recommandations pratiques selon les missions des quatre organismes de recherche. L'intervention d'experts pour conseiller les autorités publiques nationales ou internationales en charge des réglementations n'est cependant pas moins importante, en particulier pour décloisonner les discussions concernant les rapports entre production alimentaire et changement climatique. Dans ce cadre, la participation des chercheurs des quatre organismes dans les travaux des organisations internationales comme la FAO ou le GIEC est capitale. C'est peut-être un moyen de surmonter le clivage entre visions globales et décisions locales⁷⁹. En effet, des chercheurs peuvent alerter les politiques sur les limites des « bonnes solutions » pour le climat comme l'agroécologie ou l'agroforesterie. Ils invitent à prendre en compte les impacts locaux sur la main d'œuvre, la taille des exploitations, les variations du marché mais aussi sur la durabilité de ces solutions.

4- Comment interagir avec les acteurs du territoire ?

Au-delà du diagnostic, les projets de conservation ou d'agriculture biologique doivent impliquer les acteurs locaux, prendre en compte les indicateurs identifiés par les acteurs du territoire pour la construction et l'évaluation de scénarios. Mais les chercheurs chargés du diagnostic et de la cartographie des sols se heurtent parfois aux intérêts d'acteurs locaux qui défendent leurs propres intérêts : certains veulent la promotion de leur région et développent des politiques de réhabilitation en plantant des espèces mal adaptées (*green washing*). D'autres (compagnies industrielles ou ONG) s'emparent des indicateurs forgés par les chercheurs pour faire avancer leur propre cause plutôt que l'intérêt général. Ceci pose la question du suivi des campagnes de réhabilitation. Qui est habilité à assurer le suivi sur la durée ? Qui a légitimité pour assurer la surveillance des sols menacés ou réhabilités ?

Plus généralement, comment envisager la participation des parties prenantes ? La science participative est activement promue dans les quatre organismes comme le moyen par excellence d'impliquer les acteurs de terrain pour une saine gestion des sols. Pourtant, ce consensus sur les mérites de la participation dissimule mal quelques tensions sur le rôle des diverses parties prenantes.

Sur le rôle des agriculteurs, certains chercheurs parlent de coproduction de savoir. Ils soulignent que les acteurs de terrain ont la capacité de questionner leurs hypothèses et leurs protocoles de recherche, et que le foisonnement de leurs pratiques spontanées d'innovation leur permet d'identifier des tendances robustes et donc d'augmenter la généricité de leurs préconisations. D'autres chercheurs, en revanche, parlent plutôt de sensibiliser, voire de former les agriculteurs suivant un modèle très pédagogique, à sens unique, de leur relation avec les acteurs de terrain.

Sur le rôle des autres parties prenantes, les avis sont également partagés. Certains chercheurs soulignent que les acteurs territoriaux sont indispensables pour intégrer les effets des scénarios envisagés sur le revenu des agriculteurs et plus largement sur l'économie d'une région. Mais d'autres soulignent que leurs scénarios peuvent être biaisés par certains représentants des acteurs locaux. Comment garantir l'indépendance des résultats de recherche alors même qu'on est à l'écoute des divers acteurs ? Et comment évaluer la légitimité de chacun des acteurs ? En particulier, la voix des ONG qui interviennent sur des terrains – Madagascar par

⁷⁹ Voir l'entretien avec Martial Bernoux qui relate son expérience au sein du « Koronivia joint work on agriculture » de la FAO et de l'Organisation des Nations unies sur le changement climatique pour proposer des décisions prenant en compte en même temps les impacts de l'agriculture sur le climat et les besoins de production agricole.

exemple – est-elle plus légitime que celle des agriculteurs ou des élus locaux ? Enfin, alors même que les chercheurs estiment que leurs résultats procèdent d'un point de vue impartial, ils courent le risque de fournir une caution scientifique à une décision ou des projets d'aménagement qui ne préservent pas la santé des sols.

5- Comment interagir avec les politiques ?

L'interaction des chercheurs avec les acteurs politiques qui prennent les décisions est source de difficultés. Les chercheurs interviennent à titre d'experts externes en amont de l'élaboration des plans sur l'usage ou la réhabilitation des sols. On leur demande le plus souvent de donner une opinion scientifique sur un problème posé par les politiques plutôt que par eux. Leur réponse consiste à faire un état de l'art et, dans certains cas, à proposer des stratégies. Cependant les experts ne sont pas appelés à participer aux processus de décision, ni même à la rédaction des textes de réglementation. D'où la frustration des chercheurs ayant consacré une partie de leur temps à ces fonctions d'expertise qui déplorent le manque d'efficacité de leur action. Mais il est clair qu'ils ne peuvent pas non plus demander à être intégralement suivis par les politiques, sauf à tomber dans le scientisme ou la technocratie.

Ce sentiment de frustration conduit à réfléchir sur la question des valeurs embarquées dans les expertises scientifiques. Entre expert et militant, l'engagement des chercheurs ne connaît pas de ligne de partage bien nette. Alors que les experts ont tendance à considérer que leur opinion est neutre parce qu'elle repose sur des connaissances solides, objectives, validées par la communauté scientifique, dans l'arène politique leur avis est rarement neutre, surtout s'il arrive à des propositions concrètes et ne se limite pas à des critères ou objectifs généraux. Leurs connaissances sont effectivement situées, dans la mesure où elles sont élaborées en réponse à certaines problématiques qui, elles, sont associées à des valeurs comme la santé des sols. Ce n'est pas la même chose de travailler pour un industriel sur les effets de l'utilisation de tel ou tel intrant ou de travailler pour un groupement d'agriculteurs engagés dans l'agroécologie sur les effets de telles ou telles pratiques. L'avis des experts est déterminé par le cadre de questionnement posé au départ, et ce cadre est éminemment politique, au sens où il repose sur une certaine analyse du monde actuel et des directions dans lesquelles se projeter pour le monde à venir. Il est donc important d'explicitier les enjeux et de mettre en évidence les valeurs et les intérêts qui y sont intriqués, de sorte que les chercheurs puissent plus clairement s'en revendiquer, voire réorienter leurs choix de recherches.

V ■ RECOMMANDATIONS

1- Recommandations générales

1. Engager les chercheurs dans un travail de réflexivité fondée sur un intérêt de connaissance, à l'exclusion des intérêts particuliers. La réflexivité implique une attention au point de vue des parties concernées (parties prenantes et parties mandantes), en portant un soin égal à toutes les dimensions non quantifiables de la question traitée.
2. Ce travail de réflexivité peut s'engager sur des notions telles que celle des services écosystémiques, sur son adéquation au souci de contribuer à la santé des sols comme sur les effets non intentionnels qu'entraînent les dispositifs de construction d'une commensurabilité entre ces services (monétarisation, indicateurs non monétaires, etc.).
3. Pour organiser la réflexivité et favoriser les partenariats avec les acteurs locaux, on recommande l'organisation de rencontres ou d'ateliers, afin de discuter des priorités de recherche et d'explicitier en toute transparence les intérêts et valeurs de chacun des protagonistes.
4. Élaborer en commun une charte des relations avec les acteurs de terrain (élus, organisations professionnelles locales, ONG) pour les quatre organismes. Dans le cas des pays extérieurs à l'Europe, anticiper les impacts des organismes français sur l'économie et la politique du pays tiers.
5. On attend des chercheurs non seulement des publications grand public en direction des décideurs politiques et citoyens pour diffuser les connaissances de base et les bonnes pratiques, mais aussi un devoir d'alerte du public sur les menaces. Une réflexion en commun des quatre organismes doit spécifier les modalités et conditions d'exercice de ce devoir d'alerte.
6. Pour les chercheurs agissant en tant qu'experts dans les instances de politique agricole, alimentaire ou climatique, présenter de manière impartiale un état des connaissances, en dégageant clairement les hypothèses qui sous-tendent les modèles ou simulations de scénarios possibles, les limites des connaissances ainsi que les zones d'incertitude.
7. Cette posture d'expert engagé au service d'une cause ne peut dispenser les chercheurs d'adopter clairement une posture de partie prenante défendant une cause (la santé des sols) et des valeurs plutôt qu'une posture « d'expert au-dessus de la mêlée » afin de favoriser une gestion démocratique plutôt que technocratique des problèmes.

2- Recommandations plus spécifiques aux recherches sur les sols

1. Approfondir la notion de santé des sols, en veillant à l'interprétation des données issues des techniques de séquençage massif, et en s'appuyant sur l'écologie fonctionnelle pour mieux appréhender « la sociabilité » des microorganismes, leurs effets de synergie avec les plantes, ainsi que les relations entre la composante biologique des sols et la composante inorganique.
2. Poursuivre la caractérisation des effets des différentes pratiques agricoles et sylvicoles sur la composition et la structure des sols, approfondir l'analyse des formes de biodiversité présentes dans le sol, étudier leur évolution sur le long terme et fournir aux agriculteurs et sylviculteurs des prises pour l'amélioration de leurs pratiques.

3. Approfondir les recherches sur les diverses temporalités en jeu dans la sylviculture et l'agriculture. Ceci s'impose pour ménager le temps nécessaire à la régénération des sols dans les dispositifs mis en place, et pour clarifier la place des sols agricoles et forestiers dans la stratégie nationale bas carbone, aux différentes échéances, 2030, 2050 et au-delà.
4. Élargir la palette de disciplines, au-delà de l'agronomie, de la biologie et de la chimie, dans les équipes de recherche en intégrant des géographes (pour les outils de cartographie), des historiens (pour étudier les usages du sol dans les siècles passés), des anthropologues, des économistes et des sociologues (pour cerner les limites et les effets pervers de la monétarisation des services liés au sol).
5. Au-delà de l'interdisciplinarité, intégrer à la recherche sur les sols les savoirs locaux populaires, les inventorier de manière à les prendre en compte dans les expérimentations et recherches menées en vue d'améliorer les pratiques.
6. Intensifier l'élaboration d'outils permettant aux différents acteurs (aménageurs, pouvoirs publics, collectivités locales, ONG, etc.) de caractériser les sols, leur état et les fonctions qu'ils assurent, selon une pluralité de critères. Ces outils sont précieux pour lutter contre l'artificialisation des sols et pour éclairer le débat public autour des choix d'allocation des espaces.
7. Poursuivre le développement de dispositifs de gestion des sols en partenariat avec les acteurs locaux (agriculteurs, élus, associations, etc.), en particulier dans le cas des zones humides.
8. Engager des réflexions sur les différents dispositifs possibles de propriété des sols, notamment les communs, et la capacité de ces différents dispositifs à assurer un compromis acceptable entre intérêts privés et intérêt général, ainsi qu'entre visées de court terme et visées de long terme.

Annexe 1

RÉFÉRENCES DES PERSONNES RENCONTRÉES

RENCONTRE DU 21 SEPTEMBRE 2020

Présentation introductive au sujet « sols », en séance plénière du Comité d'éthique.

- **Claire CHENU**, enseignante à AgroParisTech détachée à INRAE, directrice de recherche UMR AgroParisTech-INRAE Écologie fonctionnelle et écotoxicologie des agroécosystèmes (ECOSYS) à Thiverval-Grignon/université Paris-Saclay ; pôle Science du sol. Ambassadrice spéciale pour l'année internationale des sols pour la FAO en 2015. Membre du comité scientifique et technique de l'initiative internationale « 4 pour 1 000 ». Laurier d'excellence de la recherche agronomique de l'Inra en 2019 pour « Les sols : une ressource naturelle à la croisée de nombreux enjeux ».

RENCONTRES DU 1^{ER} FÉVRIER 2021

- **Tiphaine CHEVALLIER**, pédologue, chercheuse à l'IRD, UMR Eco&Sols à Montpellier : « Les impacts sur les sols de l'agroécologie à Madagascar » ;
- **Martial BERNOUX**, agropédologue, directeur de recherche à l'IRD, UMR Eco&Sols, chargé des ressources naturelles à la FAO : « Le sol comme objet de gestion et management de territoires ».

RENCONTRES DU 3 FÉVRIER 2021

- **Julien DEMENOIS**, chercheur en écologie fonctionnelle, Cirad, animateur d'un champ thématique stratégique « Accompagner toutes les agricultures du Sud au changement climatique », chargé de mission « 4 pour 1 000 » pour la direction générale déléguée à la Recherche et à la stratégie du Cirad ;
- **Lilian BLANC**, chercheur en écologie forestière tropicale, Cirad, unité de recherche Forêts et sociétés (Montpellier). Domaine de recherche : anthropisation des forêts tropicales, analyse de l'origine des perturbations et de leurs conséquences sur les services écosystémiques, en Guyane française et au Brésil ;
- **Alexis THOUHAZE**, chercheur en agroécologie et science du sol, Cirad, UMR ABSys (Agrosystèmes biodiversifiés, Montpellier). Domaine de recherche : indicateurs d'évaluation de la santé des sols. Sujet de thèse : « Comment évaluer l'impact de l'usage des terres sur le fonctionnement des sols ? » (soutenance en 2018).
- **Hélène DESSARD**, ingénieur agronome et docteur en sciences, spécialiste en biométrie, Cirad, unité de recherche Forêts et sociétés, chef du projet ForLand (restauration des paysages forestiers et aide à la décision en Amazonie). Domaine de recherche : trajectoires des socioécosystèmes selon diverses modalités de gestion des ressources, incluant la restauration des paysages forestiers tropicaux.

RENCONTRES DU 3 MARS 2021

Séquence « sols et zones humides » : mangroves et marais

- **Christophe PROISY**, physicien, IRD, UMR AMAP (botanique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des végétations) à Montpellier et Hugues LEMONNIER, biologiste, Ifremer, unité Lagons, écosystèmes et aquaculture durable en Nouvelle-Calédonie : « Aquaculture et mangroves : un avenir partagé » ;
- **Pierre POLSENAERE**, biogéochimiste et écologue, laboratoire Environnement et ressources des Pertuis Charentais, station Ifremer de La Tremblade : « Marais littoraux et budgets de carbone : rôle, processus et échanges associés ».

RENCONTRES DU 17 MAI 2021

Rencontres avec des chercheurs du centre INRAE Bourgogne-Franche-Comté (Dijon). Avec la participation de [Nathalie MUNIER-JOLAIN](#), présidente du centre et [Bertrand SCHMITT](#), directeur de recherche au Centre d'économie et de sociologie rurales appliquées à l'agriculture et aux espaces ruraux (CESAER)-INRAE Dijon, animateur de l'axe Territoires, environnement et aliments de l'I-SITE Bourgogne-Franche-Comté.

Qualité des sols et agriculture :

- [Lionel RANJARD](#), INRAE, UMR Agroécologie, « La qualité microbiologique des sols au service de la production agricole » ;
- [Jean-Sauveur AY](#), INRAE, UMR CESAER, « Qualité des sols et prix des terres agricoles ».

Services rendus par les sols et impacts des activités agricoles sur les sols :

- [Philippe LEMANCEAU](#), INRAE, UMR Agroécologie, « Biodiversité tellurique et interactions biotiques : des leviers essentiels pour l'agroécologie » ;
- [Fabrice MARTIN-LAURENT](#), INRAE, UMR Agroécologie, « Agriculture, biodiversité des sols et dysservices : évaluation de l'impact écotoxicologique des intrants chimiques sur les microorganismes des sols agricoles ».

Sols et expérimentations systèmes :

- [Stéphane CORDEAU](#), INRAE, UMR Agroécologie, « Ca-SYS : plateforme d'expérimentation en agroécologie – Focus sur l'agriculture de conservation ».

MEMBRES DU GROUPE DE TRAVAIL ISSU DU COMITÉ D'ÉTHIQUE AYANT INSTRUIT CET AVIS, DISCUTÉ EN SÉANCES PLÉNIÈRES ET ADOPTÉ DÉFINITIVEMENT LE 17 JANVIER 2022

- [Bernadette BENSAUDE-VINCENT](#) (rapporteuse),
- [Pere PUIGDOMENECH](#) (rapporteur),
- [Michel BADRÉ](#),
- [Hervé THÉRY](#).

COMPOSITION DU COMITÉ CONSULTATIF COMMUN D'ÉTHIQUE INRAE-CIRAD-IFREMER-IRD (JUILLET 2022)

- **Michel BADRÉ, président du Comité d'éthique.** Ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts (École polytechnique, École nationale du génie rural, des eaux et des forêts), vice-président du Comité consultatif commun d'éthique INRAE-Cirad-Ifremer-IRD d'avril 2016 à octobre 2021 ; membre du CA de l'association Humanité et Biodiversité ; membre du Conseil économique, social et environnemental (CESE) de 2015 à 2021, vice-président de 2018 à 2021, au titre du groupe des associations environnementales ; membre de la commission particulière du débat public puis président depuis 2020 de la commission « orientations » du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs ; président depuis avril 2022 de la commission particulière en charge d'organiser le débat public sur le projet de construction de deux réacteurs nucléaires « EPR2 » dans le cadre du programme de nouveaux réacteurs nucléaires en France ; président du comité ODISCÉ (ouverture et impulsion du dialogue avec la société civile sur l'expertise) de l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) depuis 2022 ; ancien président de l'Autorité environnementale (2009-2014).
- **Bernadette BENSAUDE-VINCENT, vice-présidente du Comité d'éthique.** Professeure émérite à l'université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, rattachée au Centre d'études des techniques des connaissances et des pratiques ; agrégée de philosophie et docteur ès Lettres et Sciences humaines. Membre du Comité consultatif commun d'éthique INRAE-Cirad-Ifremer-IRD depuis 2016, du Comité éthique et société de l'Andra depuis 2020. Membre du comité éditorial de l'*International Journal for the philosophy of Chemistry* (Hyle). Membre du Comité national français d'histoire et de philosophie des sciences. Membre de l'Académie des technologies.
- **Madeleine AKRICH,** directrice de recherche à l'École des mines de Paris (Centre de sociologie de l'innovation), ingénieur de l'École des mines de Paris et docteur en socioéconomie de l'innovation.
- **Catherine BOYEN,** directrice de recherche au CNRS, docteure en biologie végétale, directrice de la station biologique de Roscoff (Centre de recherche et d'enseignement en biologie et écologie marines, Sorbonne université-CNRS). Principales thématiques scientifiques : biologie marine, biologie des algues, génomique, évolution, microbiome, biodiversité marine et biotechnologie marine.
- **Denis COUVET,** professeur au Muséum national d'histoire naturelle, président de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité, professeur associé à l'université de Lausanne et à SciencesPo Paris, ingénieur agronome, docteur en sciences de l'évolution et écologie.
- **Mireille DOSSO,** directrice de l'Institut Pasteur de Côte-d'Ivoire, professeure de microbiologie.
- **Mark HUNYADI,** professeur de philosophie sociale et politique à l'université catholique de Louvain ; professeur associé à l'Institut des mines-Télécom Paris et à l'EHESS ; membre du Comité éthique d'Orange ; membre du Comité d'orientation et du Comité de pilotage du Forum vies mobiles.
- **Youba SOKONA,** professeur, 40 années d'expérience dans le domaine de l'eau, de l'énergie, de l'environnement et du développement durable en Afrique. Participation aux travaux du GIEC dès 1990 ; élu vice-président en octobre 2015. Successivement cofondateur du Programme énergie d'ENDA-TM, secrétaire exécutif de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) et coordinateur de African Climate Policy Centre (ACPC). Jusqu'en 2020, conseiller principal pour le développement durable au South Centre. Membre de l'Académie africaine des sciences.
- **Marie-Geneviève PINSART,** philosophe, professeure à l'université libre de Bruxelles, pôle de recherche en éthique appliquée. Membre du Comité consultatif d'éthique pour la recherche en partenariat (CCERP) de l'IRD.
- **Pere PUIGDOMENECH,** professeur de recherche au CSIC (Conseil supérieur de la recherche scientifique en Espagne) au sein de l'Institut de biologie moléculaire de Barcelone, spécialisé en biologie moléculaire des plantes, docteur en sciences biologiques.

ANCIENS MEMBRES DU COMITÉ CONSULTATIF COMMUN D'ÉTHIQUE INRAE-CIRAD-IFREMER-IRD AYANT CONTRIBUÉ À CET AVIS (MANDATS ÉCHUS)

- **Céline BOUDET**, coordinatrice scientifique à l'Ineris, spécialiste de l'analyse des risques dans le domaine santé et environnement (épidémiologie, toxicologie, biostatistiques).
- **Jean-Louis BRESSON**, médecin nutritionniste, professeur des universités, fondateur du Centre d'investigation clinique Necker-Cochin.
- **Françoise GAILL**, directrice de recherche CNRS, chargée de mission auprès de la direction générale du CNRS – a dirigé l'Institut écologie et environnement (INEE). Biologiste, spécialiste des écosystèmes profonds océaniques.
- **Stéphanie LACOUR**, directrice de recherche CNRS, docteure en droit privé. Directrice adjointe de l'Institut des sciences sociales du politique (ENS Paris-Saclay). Directrice du GDR Normes, sciences et techniques du CNRS.
- **Lyne LÉTOURNEAU**, professeur au sein du département des sciences animales à l'université Laval de Québec (Canada). Titulaire d'un doctorat en droit, elle enseigne sur les enjeux éthiques de l'agroalimentaire contemporain et sur l'intégrité en recherche. Vice-doyenne aux études « sciences de l'agriculture et de l'alimentation ».
- **Louis-Étienne PIGEON**, philosophe en éthique environnementale, docteur en philosophie diplômé de la faculté de philosophie de l'université Laval (Québec, Canada) ; chargé d'enseignement à l'université Laval.
- **Michel SAUQUET**, diplômé de l'Institut d'études politiques de Paris, docteur en économie appliquée. Enseignant spécialisé dans les questions interculturelles.
- **Hervé THÉRY**, géographe, professeur associé à l'université de São Paulo (Brésil), directeur de recherche émérite au CNRS.

Annexe 3

SECRETARIAT COMMUN DU COMITÉ D'ÉTHIQUE INRAE-CIRAD-IFREMER-IRD

Le secrétariat du comité est assuré conjointement par les 4 organismes, le support administratif, logistique et la gestion de l'instance étant pris en charge par INRAE pour le compte commun.

- **INRAE** : Christine CHARLOT, secrétaire générale, et Claire LURIN, avec l'appui de Nathalie HERMET
- **Cirad** : Marie DE LATTRE-GASQUET
- **Ifremer** : Marianne ALUNNO-BRUSCIA
- **IRD** : Chloé DESMOTS

LES PRINCIPES ET VALEURS DU COMITÉ D'ÉTHIQUE INRAE-CIRAD-IFREMER-IRD

- 1 Le Comité commun d'éthique considère la reconnaissance de la dignité humaine comme valeur fondamentale. Il s'attachera dans ses recommandations à en donner une application concrète, mettant en œuvre les droits rappelés dans la Déclaration universelle des droits de l'Homme de 1948.
- 2 Plus généralement, le Comité considère que les valeurs du corpus de déclarations et conventions édifiées depuis plusieurs décennies par l'Organisation des Nations unies et les organisations spécialisées, notamment l'Unesco, font partie de son cadre de référence, parmi lesquelles la protection et la promotion des expressions culturelles, et la biodiversité. La mise en œuvre de ce corpus passe par des accords internationaux normatifs.
- 3 Il ne faut pas dégrader l'environnement de vie pour les générations futures et ne pas hypothéquer l'avenir de façon irréparable, notamment en épuisant les ressources naturelles ou en mettant en cause les équilibres naturels. Un tel principe de développement durable impose au Comité de travailler sur le long et le très long terme, et pas seulement sur le court terme. En revanche, le principe d'une réversibilité totale paraît utopique et impraticable.
- 4 Le monde constitue un système. Toute action sur l'un de ses éléments a des impacts sur d'autres éléments : l'analyse doit alors explorer les effets seconds et induits d'une action et les dynamiques et stratégies qu'elle peut susciter ou favoriser. Les problèmes doivent donc être traités de façon privilégiée à l'échelle mondiale, tout en assurant néanmoins la compatibilité entre le global et le local et en prenant en compte les réalités de terrain.
- 5 Le Comité considère que la robustesse et l'adaptabilité d'un système sont des éléments positifs. Ainsi, même dans une société ouverte, une certaine autosuffisance des systèmes de production est souhaitable au niveau national et régional.
- 6 Le progrès implique une société ouverte aux innovations techniques et sociales, en sachant qu'il faut analyser et prévoir l'impact de ces innovations sur les modes de vie, leur contribution au développement humain, et s'assurer d'un partage équitable des bénéfices qu'elles peuvent apporter.



Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE)
147, rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 07

<https://www.inrae.fr/comite-dethique>



Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad)
42, rue Scheffer, 75116 Paris

<https://www.cirad.fr/nous-connaître/organisation-et-gouvernance/instances-et-comites>



Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer)
155, rue Jean-Jacques Rousseau, 92138 Issy-les-Moulineaux

<https://www.ifremer.fr/L-institut/Ethique-deontologie-et-integrite-scientifique2/Comite-d-ethique-consultatif-commun>



Institut de recherche pour le développement (IRD)
44, bd de Dunkerque, 13572 Marseille Cedex

<https://www.ird.fr/lethique>