



## La recherche française autour du programme international de recherche de l'initiative 4 pour 1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat

Sète, 7-8 novembre 2019

### Rapport

La France et en particulier les organismes de recherche français sont à l'origine de l'Initiative « 4 pour 1000 [4P1000] » et y jouent à ce titre un rôle moteur. Cet atelier co-organisé par le CEA, le CIRAD, le CNRS, l'INRA, l'IRD, et le soutien financier du Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, l'ADEME et l'ISite MUSE a réuni près de 80 participants dont certains participent à des réseaux (plus d'une trentaine représentés lors de l'Atelier).

Ce rapport présente **les fronts de science** et des **actions de recherche** à programmer de façon prioritaire pour alimenter les 4 piliers du volet recherche de l'Initiative 4P1000. Ces priorités sont organisées en 6 thèmes interdisciplinaires interconnectés (cf figure 1) :

- **Aménagement du territoire**
- **Perception et pratiques des agriculteurs**
- **Moteurs de la transition**
- **Outils d'évaluation et de suivi**
- **Conditions du succès sur le long terme**
- **Co-bénéfices (multi dimensionnels)**

Comité scientifique : Luc Abbadie (Sorbonne Université), Claire Chenu (AgroParis Tech, INRA), Jean-Luc Chotte (IRD)-coprésident du CS, Julien Demenois (CIRAD) Agathe Euzen (CNRS) Abigail Fallot (CIRAD) Christine Hatté (CEA) Thierry Heulin (CNRS, CEA), Fatima Laggoun-Defarge (CNRS), Maud Loireau (IRD), Cornelia Rumpel (CNRS, Présidente du CST de l'initiative 4p1000) co-présidente du CS, Jean-Francois Soussana (INRA), Claire Weill (INRA)

Comité d'organisation : Brigitte Cabantous (CIRAD), Jean-Luc Chotte (IRD), Julien Demenois (CIRAD), Charlotte Verger (INRA), Claire Weill (INRA)



## Sommaire

<b>1</b>	<b>RESUME OPERATIONNEL</b>	<b>4</b>
1.1	Contexte général	4
1.2	Cadre international et européen	4
1.3	Contexte national	4
1.4	Fronts de science et actions de recherche	5
<b>2</b>	<b>CONTEXTE DE L'ATELIER</b>	<b>7</b>
2.1	L'Initiative « 4 pour 1000 »	7
2.2	Le programme de recherche international « 4 pour 1000 »	7
<b>3</b>	<b>OBJECTIF DE CE RAPPORT</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>FRONTS DE SCIENCE ET ACTIONS PRIORITAIRES</b>	<b>8</b>
4.1	<b>Aménagement du territoire</b>	<b>8</b>
➤	Introduction	9
➤	Les objectifs de l'atelier	9
➤	Réponses aux questions	9
➤	Les fronts de recherche	11
4.2	<b>Perception et pratiques des agriculteurs</b>	<b>13</b>
➤	Introduction des animateurs de la session	13
➤	Réponses aux questions posées	13
➤	Conclusion	16
4.3	<b>Moteurs de la transition</b>	<b>17</b>
➤	Introduction des animateurs de la session	17
➤	Objectif du sous-groupe	18
➤	Points abordés lors des débats	18
➤	Conclusion : les fronts de recherche	20
4.4	<b>Outils d'évaluation et de suivi</b>	<b>21</b>
➤	Introduction	21
➤	Objectifs	21
➤	Synthèse	21
4.5	<b>Conditions du succès sur le long terme : quelles lacunes scientifiques ?</b>	<b>25</b>
➤	Contexte	26
➤	Quelle(s) pratique(s) pour pérenniser le stockage de carbone organique ?	26
➤	Une évaluation des pratiques	26
➤	Quels sont les processus à rechercher si on veut comprendre et agir sur le stockage du carbone organique dans les sols ?	27
➤	Quels sont les lacunes et fronts de recherche ?	28
4.6	<b>Quel environnement économique, social, organisationnel, institutionnel, et de gouvernance favorisant la séquestration (<i>enabling environment</i>)</b>	<b>30</b>
➤	Introduction	30
➤	Points abordés lors des débats	31

➤	Les solutions envisagées.....	31
➤	Les verrous .....	31
➤	Place et rôle de l'expertise scientifique .....	32
➤	Fronts de recherche .....	32
<b>4.7</b>	<b>Co-bénéfices et compromis.....</b>	<b>32</b>
➤	Introduction .....	32
➤	Questions mises au débat .....	33
➤	Conclusions .....	33
<b>5</b>	<b>ANNEXES.....</b>	<b>36</b>
<b>5.1</b>	<b>L'Appel de Sète .....</b>	<b>36</b>
<b>5.2</b>	<b>Programme complet de l'Atelier .....</b>	<b>38</b>
<b>5.3</b>	<b>Les participants.....</b>	<b>38</b>

## 1 RESUME OPERATIONNEL

### 1.1 Contexte général

- Les stocks mondiaux de carbone organique dans les sols sont deux à trois fois plus élevés que dans l'atmosphère : le carbone organique (= matière organique) des sols est donc un élément essentiel du cycle global du carbone dans le système Terre
- Ces stocks peuvent être source et puits de carbone et sont impactés par l'activité humaine, notamment les choix d'usage des sols et les pratiques agricoles.
- Une faible variation du stock de carbone organique peut avoir des conséquences majeures sur le bilan global du carbone. Ainsi, la dégradation des terres et la perte des matières organiques qui en découle a contribué à augmenter la concentration atmosphérique du CO<sub>2</sub>.
- Éviter la perte de carbone organique des sols, maintenir les stocks et les augmenter conduit à des co-bénéfices avérés sur la fertilité et la santé des sols, les propriétés physiques, la rétention en eau, la lutte contre la dégradation de sols, la biodiversité tellurique et aérienne (à vérifier pour aérienne).
- L'augmentation des stocks de matières organiques dans les sols permettra de contribuer à l'atténuation du changement climatique
- L'augmentation des stocks de matières organiques dans les sols permettra aux agroécosystèmes de s'adapter au changement climatique via le renforcement de leur résilience aux événements extrêmes (e.g. sécheresse)

### 1.2 Cadre international et européen

- En raison de ses co-bénéfices multiples, la matière organique des sols est à la croisée
  - De plusieurs Objectifs de Développement Durables (ODD 2, ODD 13, ODD 15 et les ODD 6 et 12)
  - De 3 des Conventions de Rio des Nations Unies : Climat, Biodiversité et Désertification.
  - Le stock de carbone organique est par exemple l'un des trois indicateurs de la cible 15.3 « lutter contre la désertification, restaurer les terres et sols dégradés, notamment les terres touchées par la désertification, la sécheresse et les inondations, et s'efforcer de parvenir à un monde neutre en matière de dégradation des terres ».
  - Le carbone des sols agricoles fait l'objet d'un atelier de travail spécifique dans le programme de Koronivia au sein la convention Climat.
- L'initiative 4P1000 est l'une des acteurs majeurs de cet agenda international
- La commission européenne sensibilisée par l'importance de l'agriculture et des sols dans l'atténuation et l'adaptation au changement climatique, a lancé en 2017 un appel à projet intitulé « Supporting international cooperation activities on agriculture soil contribution to climate change mitigation and adaptation SFS-50-2017 ». Le projet CIRCASA (<https://www.circasa-project.eu>) « Coordination of International Research Cooperation on Soil carbon sequestration in Agriculture » a été lancé fin 2017 pour trois ans. Il est coordonné par l'Inra (J-F Soussana) avec la participation du CIRAD et de l'IRD.

### 1.3 Contexte national

- Les principaux établissements de recherche et d'enseignement de l'ESR français sont, avec leurs réseaux de partenaires internationaux (Nord et Sud), fortement mobilisés sur les enjeux interdisciplinaires relatifs à la gestion du carbone organique dans les sols au bénéfice de l'ensemble des services écosystémiques assurés par les sols.

- Il existe un besoin urgent à la fois de recherche théorique (fondamentale) et un besoin de recherche co-construite avec les agriculteurs et d'autres acteurs, selon des contextes locaux particuliers, caractérisés par les connaissances et les pratiques des agriculteurs.
- La création au sein de l'Alliance AllEnvi d'un « Grand Enjeu Transversal "Atténuation et adaptation au changement climatique",
- La soumission d'un Grand Défi « Stockage du Carbone »
- La coordination (C Valentin) d'une concept note pour une « Collaborative Research Action » du Belmon Forum intitulée « Restauration et résilience des sols et des eaux souterraines ».

## 1.4 Fronts de science et actions de recherche

Ces besoins de recherche concernent

- L'aménagement du territoire notamment
  - Les leviers juridiques et de gouvernance pour décider de la gestion des sols
  - L'élaboration de démonstrateurs d'efficacité de changement des pratiques
  - Le lien (à réinventer) entre milieu urbain et milieu rural
  - Le cycle du carbone en milieu urbain et les impacts des activités urbaines sur ce cycle
- La perception et les pratiques des agriculteurs qui sont au cœur de l'action, il s'agit notamment de soutenir des recherches qui doivent associer les agriculteurs pour :
  - Réfléchir à l'intégration, dans l'évaluation des pratiques agricoles des multiples dimensions de leur durabilité, notamment sociales et culturelles,
  - Aborder les questions de voisinage, d'interdépendances des exploitations
  - Intégrer les processus associés à la gestion des risques dans l'élaboration de scénario pour une évolution des pratiques/techniques,
  - Prendre en compte des incertitudes à court et long termes (sur la disponibilité de la main d'œuvre, l'évolution des mécanismes incitatifs, la viabilité des exploitations, ...) dans les choix de pratiques 4P1000,
- Pour les moteurs de la transition (parfois des ruptures nécessaires) en particulier, il s'agit de :
  - Documenter et analyser les démarches innovantes au niveau des acteurs locaux, évaluer les pratiques locales notamment vis-à-vis des objectifs du 4P1000 et réaliser des évaluations contextualisées et investir dans la vulgarisation,
  - Explorer l'incitation économique au sens large, et pas seulement paiement pour services environnementaux, par exemple la labellisation, couplage de politiques publiques (pas seulement agricoles),
  - Explorer les facteurs de changements non-économiques (situation sociale, blocages en amont et en aval du secteur agricole, facteurs sociologiques) afin de trouver des pistes permettant d'augmenter la cohérence des politiques publiques
  - Etudier davantage les questions du bien public et du foncier qui sont déterminantes (vers un prix du foncier incluant sa teneur en carbone ?)
- Une recherche « bio-physique » disciplinaire renforcée pour :
  - Préciser les déterminants pédoclimatiques et les mécanismes permettant la pérennisation des stocks du carbone, afin de définir les conditions d'une transposition à d'autres régions de pratiques/techniques ayant fait leurs preuves

- Explorer l'impact potentiel d'une sélection variétale reposant sur le phénotypage racinaire et rhizosphérique, en particulier en ciblant l'enracinement profond pouvant avoir un impact positif sur la dynamique du carbone organique des horizons profonds qui reste largement sous-documentée
- Explorer la possibilité de manipulation des processus de stabilisation des matières organiques, en particulier leurs interactions avec les minéraux
- Identifier des « points chauds » (*hot spots*) de stockage et déstockage du carbone du sol et le rôle de la biologie des sols (communautés de plantes, microbiote et faune du sol) dans les processus de stockage
- Documenter les boucles de rétro-actions entre changement climatique (T°C, fertilisation CO<sub>2</sub>) et processus de stabilité, résilience des stocks de carbone organique des sols
- Une recherche « bio-physique » holistique promue afin de prendre en compte le rôle des interactions biotiques (plante-plante et plante-microbes), des réseaux trophiques, des interfaces (eg rhizosphère) et les boucles de rétroactions dans le transfert et le stockage de carbone dans les sols.
- L'environnement économique, social, organisationnel, institutionnel, et de gouvernance, qui favorisent le stockage du carbone d'un point de vue non-technique. Il s'agit en particulier de développer des recherches portant sur :
  - Des pistes de mise en cohérence de politiques agricoles, foncières, d'aménagement du territoire et commerciales qui prennent en compte à plusieurs échelles les co-bénéfices concernant les moteurs de la transition et son accompagnement
  - L'impact des chaînes de valeur et des échanges commerciaux
  - La prise en compte des expérimentations des agriculteurs comme source d'innovation et d'inspiration
  - Les modes d'usage et de propriété du foncier

Ces recherches thématiques doivent être complétées par des recherches ciblées sur le développement d'outils (mesures, modélisations, délibération) adaptés aux enjeux d'évaluation (ex-ante et ex-post) et de monitoring à différentes échelles de temps, d'espace de l'impact des pratiques/techniques 4P1000. Ces outils doivent être à destination des chercheurs et des autres parties-prenantes de la définition et la mise en œuvre de pratiques 4P1000.

## 2 CONTEXTE DE L'ATELIER

### 2.1 L'Initiative « 4 pour 1000 »

Le carbone est le principal constituant de la matière organique du sol (plus de 58%), qui joue un rôle majeur dans le maintien et l'amélioration de la fertilité et de la qualité du sol, ainsi que dans la fourniture de nombreux services écosystémiques. Or, près de la moitié des sols agricoles sont dégradés à cause de l'appauvrissement en matières organiques, et la perte de la production de céréales qui en résulte pourrait atteindre 1,2 milliard de dollars par an au niveau mondial (FAO, 2006). La poursuite de cette tendance pourrait conduire à une diminution des rendements globaux de 10% (FAO et ITPS, 2015). En conséquence, la dégradation des terres non seulement contribue aux émissions des gaz à effet de serre (Sandermann et al., 2017), mais constitue aussi une menace pour l'agriculture que le changement climatique est susceptible d'accélérer.

En outre, les stocks mondiaux de carbone organique dans les sols sont deux à trois fois plus élevés que dans l'atmosphère. Par suite, de petites variations de ces stocks sont susceptibles d'avoir un impact majeur sur la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

En outre, l'augmentation du stock de carbone organique dans les sols agricoles pourrait contribuer à la sécurité alimentaire et à la lutte contre la faim (ODD 2), notamment de par l'accroissement des rendements dans les pays en voie de développement, et à réduire l'impact de l'agriculture sur les émissions de gaz à effet de serre (ODD 13).

L'Initiative « 4 pour 1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat », lancée lors de la COP 21 à Paris, a pour objectif d'accroître la sécurité alimentaire, d'atténuer le changement climatique et de s'y adapter grâce à la séquestration de carbone dans les sols agricoles et forestiers, en se fondant sur les résultats de la recherche scientifique.

L'Initiative « 4 pour 1 000 » est multi-partenariale et construite autour de 2 grands volets :

- Un programme d'actions multi-acteurs, étatiques et non-étatiques,
- Un programme international de recherche et de coopération scientifique.

La gouvernance de l'initiative comprend une instance décisionnelle, le Consortium, ainsi qu'un Forum des membres, qui est le lieu de collaborations renforcées entre les partenaires de l'initiative, un Comité Scientifique et Technique et un Secrétariat exécutif. Ces instances ont été installées à Marrakech en 2016 pendant la COP22. Le Consortium comprend des États et des collectivités territoriales ; des organisations internationales et régionales, des banques de développement, des instituts de recherche et des universités, des organisations de fermiers, des fondations et des organisations non gouvernementales (149 membres au total). Le Forum comprend en outre des entreprises privées et des organisations à but lucratif (281 partenaires au total).

### 2.2 Le programme de recherche international « 4 pour 1000 »

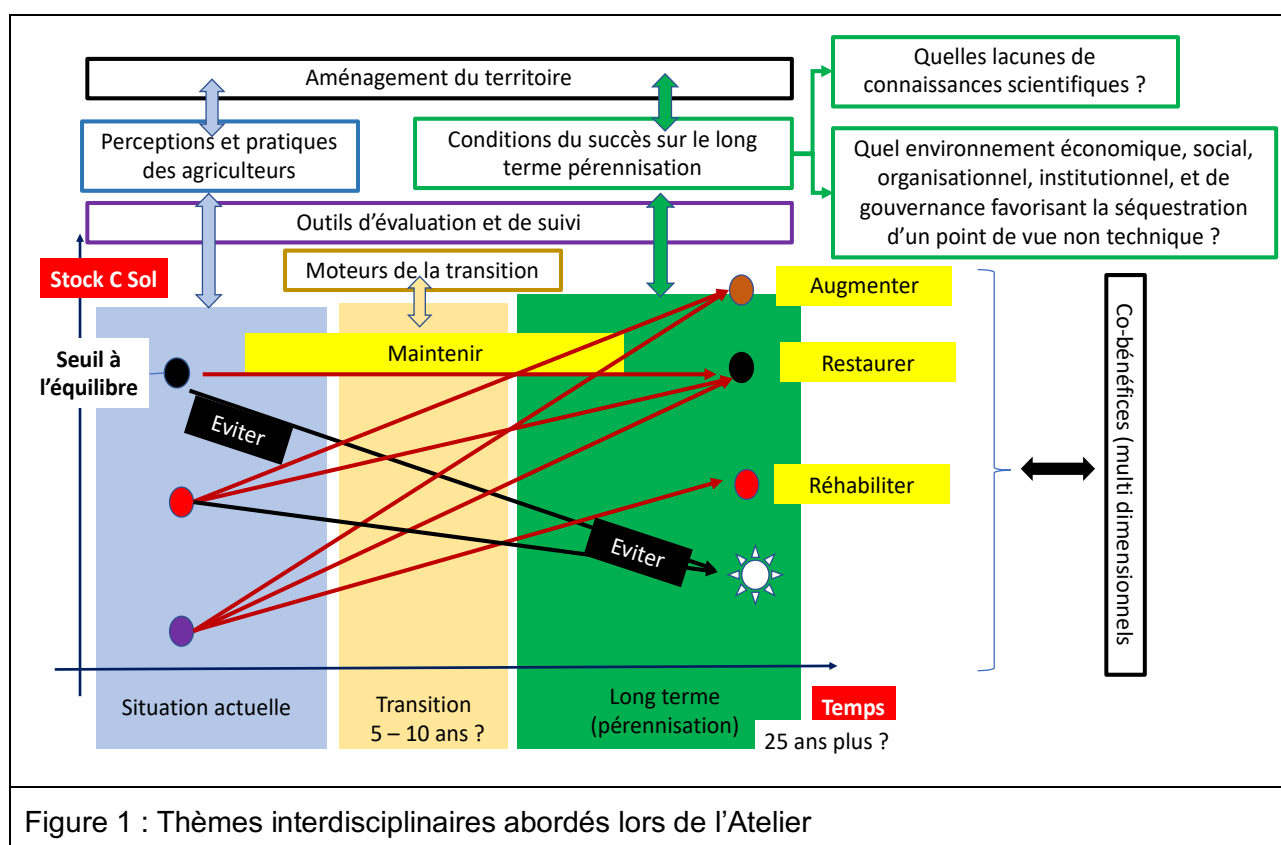
Le programme de recherche et de coopération scientifique international porte sur quatre priorités de recherche complémentaires. Ceux-ci ont été présentés en particulier dans une note du Comité Scientifique et Technique qui a été approuvée par les membres du Consortium lors de sa troisième réunion pendant la COP23. Ils comprennent :

- l'étude des mécanismes et l'estimation du potentiel de stockage du carbone dans les sols selon les régions et les systèmes;
- l'évaluation des performances des pratiques de gestion des terres vertueuses et de leurs conséquences sur la séquestration du carbone organique des sols, sur les autres services de production et de régulation ainsi que leurs impacts socioéconomiques;
- l'étude des cadres institutionnels favorables (gouvernance inclusive, participative et transparente, institutions et organisations adaptées et efficaces et politiques publiques cohérentes) au maintien et à l'augmentation du stock de carbone dans les sols à court, moyen et long terme;

- le suivi, la notification et la vérification des résultats des actions menées (MRV - measuring, reporting and verification), en particulier à destination des agriculteurs et des gestionnaires des terres.

### 3 OBJECTIF DE CE RAPPORT

La réunion de la communauté française travaillant sur les thématiques du 4P1000 à Sète en novembre 2018 avait pour but d'identifier et structurer les fronts de science et des actions de recherche à programmer de façon prioritaire pour alimenter les thèmes du programme de recherche de l'Initiative 4P1000. Ce rapport a pour objectif de présenter les résultats de cette réflexion. Pour la guider et structurer les débats les travaux en sous-groupes ont été articulés autour de 6 thèmes interdisciplinaires interconnectés (cf figure 1). Ces thèmes ont adressé les aspects environnementaux et socio-économiques à plusieurs échelles de temps. Nous avons considéré la situation actuelle, une phase de transition et le long terme pour les fronts de recherche et actions à poursuivre pour maintenir voir augmenter le stockage du carbone organique des sols afin d'assurer la transition vers les agroécosystèmes durables. Nous nous sommes intéressés aux perceptions et pratiques des agricultures, aux conditions du succès à long terme et leurs relations avec l'aménagement du territoire. Nous avons identifié les fronts de recherche en ce qui concerne les outils d'évaluation et de suivi ainsi que les moteurs de la transition. Nous nous sommes aussi interrogé sur les co-bénéfices des changements de pratiques.



### 4 FRONTS DE SCIENCE ET ACTIONS PRIORITAIRES

#### 4.1 Aménagement du territoire

Rédaction: L. Vidal-Beaudet, B. Béchet (IFSTTAR Nantes – IRSTV), E. Ceschia et C. Chenu

Participants de l'atelier: Luc Abbadie, Alberte Bondeau, Hélène Chambaut, Marie-Hélène Durand, Vincent Freycon, Olivier Husson, Eric Justes, Katja Klumpp, Armand Koné, Annette Morvan-



➤ Introduction

La gestion de l'usage des sols à l'échelle territoriale affecte fortement les stocks de carbone (changements d'usage, dispositifs linéaires, artificialisation). L'urbanisation se poursuit, mais de façon non uniforme sur le territoire, entraînant le plus souvent une perte des terres agricoles. En France, l'artificialisation des sols représente 9,3% du territoire (enquête Teruti Lucas 2014) et son augmentation se situe autour de 0,5% par an dans la moyenne européenne (Béchet et al., 2017). L'enjeu pour un aménagement durable du territoire est donc de mettre en œuvre un modèle de développement incluant des actions en faveur du 4P1000, cohérent sur l'ensemble du territoire (espace rural/espace urbain). Il s'agit d'évaluer comment les outils de planification du territoire peuvent répondre à cet enjeu : le SRADDET – Schéma régional d'aménagement du développement durable et d'égalité des territoires ; le SCOT - Schéma de cohérence territoriale, à l'échelle de plusieurs communes ou groupements de communes ; le PLU – Plan Local d'Urbanisme, à l'échelle de la commune ou intercommunal, ainsi que des plans plus focalisés thématiquement tels que les Plans Climat, les Plans Alimentaires territoriaux.... Ainsi, les objectifs à l'échelle d'un territoire, souvent multiples, peuvent se confronter ou être synergiques, par exemple un objectif de production de biomasse peut avoir aussi une finalité énergétique ou alimentaire.

➤ Les objectifs de l'atelier

Les objectifs sont d'apporter des éléments de réponses aux questions identifiées au préalable et qui s'articulent autour de deux axes principaux :

\* Politiques publiques et gestion des sols :

- Quelles politiques publiques pour protéger ou restaurer les stocks de carbone des sols ? - échelle nationale ?
- Comment gérer l'affectation des sols à l'échelle du territoire ? - échelle régionale et locale, actions à mettre en œuvre pour gérer l'occupation des sols de manière à stabiliser/augmenter les stocks de carbone ?

\* Interactions espace rural/espace urbain pour optimiser le stockage de carbone :

- Doit-on transformer les espaces urbains aux sols riches en carbone en lieux de production agricole ?
- L'agriculture urbaine peut-elle profiter du recyclage des déchets organiques dans un contexte d'économie circulaire pour augmenter la réponse aux besoins alimentaires des populations urbaines ?

La restitution des échanges sur ces questions est réalisée en trois points : (i) gestion des sols à l'échelle des territoires, (ii) milieu urbain et 4P1000 et (iii) les politiques publiques, car les éléments de discussion sur ce point justifiaient d'en faire un paragraphe particulier.

➤ Réponses aux questions

❖ *Gestion des sols à l'échelle des territoires*

Au regard des politiques publiques existantes et des documents réglementaires associés, la gestion la plus pertinente par rapport au stock de carbone doit se faire à l'échelle des territoires. Cette gestion peut s'appuyer sur les documents suivants : SRADDET, SCOT, PLU, SRCE (schémas régionaux de cohérence écologique). Cependant, ces documents de planification présentent une faible prise en compte de la qualité des sols et devraient mieux prendre en considération les sols en intégrant, non seulement la question du stockage du carbone mais plutôt l'ensemble des services écosystémiques rendus par les sols, afin d'aller vers plus de généricité sur les fonctions des sols (intégration d'autres problématiques liées).

Pour réaliser l'intégration de la problématique du carbone dans les documents de gestion, un effort de sensibilisation doit être fait : 1) pour démontrer les bénéfices du stockage de carbone dans tous les sols (sur la production par exemple...) ; 2) pour quantifier ces bénéfices à l'échelle de la parcelle (besoin des acteurs).

Cette démarche doit s'accompagner de la production d'outils permettant d'aider à la répartition des affectations des sols, notamment pour les parcelles agricoles, ainsi que de recommandations culturelles (ex. meilleurs assemblages d'espèces, modalités de gestion).

Cependant, il faut prêter attention au risque de spécialisation des territoires, si un focus trop spécifique est mis par exemple sur la sauvegarde de la biodiversité ou le stockage du carbone. Les conséquences seraient à l'heure actuelle difficiles à évaluer mais pourraient l'être via des approches de type modèle « land sharing/land sparing » (mode extensif vs intensif).

Un compromis devra être trouvé dans l'organisation territoriale entre un modèle spatial spécialisé (pouvant conduire par exemple à des hot spots de stockage de C et des hot spots de dégradation) et un modèle encore totalement sous l'emprise économique ou basé sur une utilisation de la doctrine ERC (Eviter, Réduire, Compenser) réduite à la compensation. La multifonctionnalité des sols doit être préservée et promue. Une chose est sûre : aujourd'hui, des initiatives favorables à la prise en compte des sols dans la planification existent mais les actions concrètes ne sont encore pas assez nombreuses notamment quand il s'agit de lutter contre l'urbanisation mal contrôlée.

Deux types d'actions peuvent être menés pour aider à l'organisation territoriale :

- au niveau recherche : l'étude des processus à court et long termes de stockage du carbone dans les sols et les écosystèmes pour prioriser les zones à préserver et/ou à valoriser ;
- au niveau opérationnel : optimiser et valoriser l'agriculture agroécologiquement intensive (ex. couverts intermédiaires multi-services), les techniques de stockage à bas coût à l'échelle du territoire, des initiatives tel que le programme REDD +.

En substance, deux besoins sont soulignés : le besoin d'outils d'évaluation des coûts/bénéfices du stockage de carbone et le besoin de scénarios d'évolution à l'échelle des territoires (coordination & politique recherche).

#### ❖ *Milieu urbain et 4P1000*

Les interactions entre espace rural et espace urbain sont l'objet d'une attention accrue depuis quelques années. Tout d'abord, sur un mode de confrontation face à l'urbanisation croissante inégalement répartie sur le territoire français et affectant généralement des terres agricoles, mais aussi sur un mode plus intégrateur par rapport à l'évolution sociétale pour un retour de la nature en ville, et au développement (ou redéveloppement) d'une agriculture urbaine et péri-urbaine. Dans les deux cas, ces actions impactent le stockage/déstockage du carbone. Cependant, le stock de carbone et le potentiel de stockage en milieu urbain sont encore insuffisamment documentés notamment pour les sols scellés (Cambou et al., 2018). L'hypothèse d'un potentiel de stockage faible ou fort est pour le moment entaché d'incertitudes fortes (quantités et formes du carbone, devenir, ACV...).

Les actions visant à promouvoir l'évaluation des stocks de carbone en milieu urbain présentent cependant plusieurs intérêts :

- Elles peuvent servir d'actions de sensibilisation et d'éducation vis-à-vis de l'urgence climatique ;
- Elles peuvent s'intégrer dans les politiques locales dédiées à l'économie circulaire : recyclage des déchets organiques produits par la ville, augmentation de la productivité des surfaces agricoles péri-urbaines et urbaines, affectation de surfaces supplémentaires à l'activité de production alimentaire...Un regard avisé devra être porté sur la quantité et la qualité des intrants en agriculture urbaine et sur les risques de contamination des aliments,
- Elles peuvent favoriser le développement des circuits courts d'alimentation par une production agricole de proximité sur les sols à forte potentialité agronomique et contribuer

ainsi à la réduction des impacts environnementaux (ex. moins d'émissions de GES liées au transport) ;

- Elles pourraient contribuer aux actions destinées à limiter les effets du changement climatique sur le microclimat urbain et vice versa.

L'idée d'une contractualisation ville–campagne apparaît très intéressante. Les projets alimentaires territoriaux qui se développent au niveau des grandes collectivités semblent être à ce titre des supports intéressants pour introduire les services écosystémiques de sols directement ou indirectement dans les politiques publiques locales. Ils seraient mis en cohérence avec d'autres outils de politique publique territoriale ou locale et pourraient être utilisés pour optimiser l'affectation de l'usage des sols.

#### ❖ *Politiques publiques*

Des instruments de politique publique peuvent être utilisés à plusieurs échelles :

- Au niveau européen : c'est la PAC qui pourrait faire évoluer l'attribution des aides en fonction de l'efficacité des pratiques stockantes d'un point de vue carbone ou permettant de préserver/améliorer la qualité des sols ;
- Au niveau territorial : les Plans Climat Energie Territoriaux qui se mettent en place dans les principales agglomérations ;
- Au niveau local : des achats de terrain sont une proposition intéressante afin de protéger des milieux naturels ou en contrôler la gestion sur le long terme (i.e préemption). Des exemples d'expérimentation relatives à des pratiques stockantes hors France existent : ex Costa Rica, Australie, avec des aides allouées pour expérimenter l'effet de certaines pratiques. Des initiatives en aval, sur l'alimentation (par ex aliments bio ou locaux dans les cantines) pourraient influencer la chaîne de production et donc les modes de gestion des sols.

Une analyse des politiques publiques actuelles et d'initiatives diverses apparaît nécessaire.

Enfin des besoins de recherche sur l'environnement à caractère "biophysique" sont soulignés pour apporter des éléments moteur des politiques publiques:

- Des évaluations multicritères (effets climatiques nets incluant les effets biophysiques comme l'albédo, effets sur la ressource en eau, sur l'économie, les services), intégrées ;
- Des scénarios intégrant les rétroactions y compris climatiques ;
- Des modèles pour appliquer les scénarios, mettre en exergue les bénéfices des pratiques mises en œuvre, et comparer l'efficacité des mesures appliquées en milieu urbain et en milieu agricole.

#### ➤ Les fronts de recherche

Les fronts de recherche scientifique mis en avant concernent :

- Le cycle du carbone en milieu urbain (caractérisation et cartographie des stocks de carbone, processus de dégradation des matières organiques anthropiques issues des activités industrielles et de transport)
- L'évaluation multicritère et intégrée des scénarios de stockage/libération du carbone.

Les besoins de recherche plus opérationnelle concernent :

- La prise en compte des fonctions et des services écosystémiques des sols dans les documents d'urbanisme,
- L'utilisation de leviers juridiques et de gouvernance pour décider de la gestion des sols sur le long terme.

Cependant, plusieurs manques importants sont soulignés en termes d'outils d'aide à la décision :

- Les démonstrateurs d'efficacité de changements de pratiques ;
- L'organisation du transfert de connaissances vers les aménageurs des espaces urbains ;
- et le besoin de réinventer le lien entre milieu urbain et milieu rural.

## Références

- Béchet B., Y. Le Bissonnais, A. Ruas (coord.), A. Aguilera, H. Andrieu, E. Barbe, P. Billet, J. Cavailhès, M. Cohen, S. Cornu, L. Dablanc, C. Delolme, G. Géniaux, M. Hedde, C. Mering, M. Musy, M. Polèse, C. Weber, M. Desrousseaux, A. Frémont, S. Le Perchec, B. Schmitt, I. Savini, 2017. Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : déterminants, impacts et leviers d'action. Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective, Ifsttar-Inra (France), 127 p.
- Cambou, A., Shaw, R.K., Huot, H., Vidal-Beaudet, L., Hunault, G., Cannavo, P., Nold, F., Schwartz, C., 2018. Estimation of soil organic carbon stocks of two cities, New York City and Paris. *Sci. Total Environ.* 644, 452–464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.322>

## 4.2 Perception et pratiques des agriculteurs

Rédaction : Abigail Fallot, Katja Klumpp, Sylvain Pellerin, Charlotte Verger et Agathe Euzen

Participation: Hervé Ahouloukpe ; Jérôme Balesdent ; Tiphaine Chevallier ; Gatien Falconnier ; Abigail Fallot ; Charlotte Guénard; Olivier Husson ; Katja Klumpp ; Armand Koné ; Lydie-Stella Koutika; Lydie Lardy; Raphaël Larrère; François Mandin ; Sylvain Pellerin ; Anne-Sophie Perrin ; Tantely Razafimbelo ; Saïdou Sall ; Brahim Soudi ; Pierre Todoroff ; Emmanuelle Vaudour ; Charlotte Verger ; Laure Vidal-Beaudet.

### ➤ Introduction des animateurs de la session

La plupart des travaux sur les pratiques agricoles nouvelles ou différentes pour atteindre les objectifs du 4P1000 considèrent les agriculteurs soit en amont de la recherche, avant d'avoir formulé le problème auquel se confronter, soit en aval après avoir apporté des réponses et défini les bonnes pratiques que les agriculteurs devraient adopter et les politiques publiques à soutenir. Mais quelle est réellement la place des agriculteurs dans le déroulement de la recherche ? et que sait-on de leurs pratiques et de la perception qu'ils en ont ?

Etant donné la diversité des situations et des contextes, il est probable que l'adhésion à l'initiative 4P1000 ne puisse s'envisager de la même façon selon les spécificités et les dynamiques des territoires, les acteurs en présence et les singularités des pratiques culturelles mises en œuvre. Par ailleurs les agriculteurs ne sont pas les seuls acteurs dont le rôle est déterminant dans la réalisation du 4P1000.

En choisissant ici de considérer les agriculteurs plutôt que l'ensemble des acteurs sur les territoires et les filières agricoles, on cherche à circonscrire les questions qui se posent, à des aspects relativement tangibles du 4p1000, les plus directement liés aux processus même de séquestration du carbone dans les sols agricoles.

Trois questions ont été posées aux participants à l'atelier :

- Quelle prise en compte des perceptions et des pratiques des agriculteurs dans les recherches et la mise en œuvre du 4p1000 ?
- Dans quelle mesure les critères retenus par la recherche et les experts pour l'évaluation des pratiques 4p1000 reflètent-ils les objectifs et les contraintes des agriculteurs ?
- Comment les incertitudes et les risques auxquels doivent faire face les agriculteurs sont-ils pris en compte ?

### ➤ Réponses aux questions posées

#### ❖ *Quelle prise en compte des perceptions et des pratiques des agriculteurs*

Le 4P1000 renvoie généralement à des termes comme la fertilité ou la qualité des sols. Il évoque des pratiques qui contribuent à un enrichissement en matières organiques du sol ou à la réduction de l'érosion, plutôt qu'à la séquestration du carbone en tant que levier d'atténuation du changement climatique. La notion de fertilité des sols est centrale pour aborder le 4P1000 en termes opérationnels, notamment dans un contexte où l'on cherche à améliorer la productivité agricole. Cette traduction du 4p1000 selon les effets escomptés, facilite la prise en compte des perceptions et pratiques des agriculteurs et permet de faire le lien avec les préoccupations actuelles des agriculteurs et les travaux existants.

Dans la plupart des cas, les agriculteurs ont déjà leurs propres critères et indicateurs de qualité des sols, des pratiques, des connaissances, des savoir-faire traditionnels et pas seulement des perceptions. Les agriculteurs sont sensibilisés car ils ont une perception positive de la matière organique qui est associée à la fertilité des sols, à la production et à la productivité agricoles et in fine à l'amélioration des revenus. On observe cependant certains cas particuliers, de néoagriculteurs en reconversion par exemple, où il y a peu de connaissance sur le rôle de la matière organique dans les sols, et pour lesquels l'intérêt porte plutôt sur des pratiques innovantes, en cohérence avec un mouvement de pensée (la permaculture par exemple). En conséquence :

**Rapport de l'atelier**

**« La recherche française et le volet recherche de l'initiative 4P1000 »**

- Le choix des mots clés associés au 4P1000 est loin d'être neutre car il suscite des attentes en termes de résultats. Or "*l'agriculteur ne croit que ce qu'il voit*", il est donc important de préciser le lien entre stockage du carbone et amélioration de la production dans une approche intégrée facilitant les comparaisons.
- On observe souvent un décalage entre les besoins des agriculteurs et les connaissances scientifiques produites (notamment avec les résultats de modélisation). Le 4P1000 porte un risque que soient formulées des solutions de type "paquet technique" dans une démarche top-down (descendante) de diffusion de fiches techniques par exemple. Or il n'est pas envisageable d'imposer des pratiques ni de calquer un changement de pratiques d'un contexte à un autre. L'intervention du conseil rural est ici cruciale pour réduire le décalage agriculteurs-chercheurs dans la production et la transmission des connaissances scientifiques.
- Dans ce contexte plus de participation et d'échanges pour une prise en compte des connaissances des agriculteurs et de leur contexte, permettrait de mieux caractériser les pratiques et capter l'innovation (ex. peu de prise en compte des connaissances de l'agriculteur dans la construction de la recherche dans les pays du Sud). Il faut se pencher sur la cohérence entre les indicateurs des agriculteurs et les indicateurs scientifiques.

Or aujourd'hui le secteur agricole est fortement sollicité pour de nombreuses enquêtes, qui à terme, présentent un risque de circularité ("*perceptions guidées par des spécialistes, enquêtées par des spécialistes également*").

Lorsque l'agriculteur est perçu comme un objet d'étude plutôt que comme un partenaire, on observe un manque de dialogue avec un langage commun pour considérer la qualité des sols et son suivi. Il est souhaitable de plutôt partir de ce que fait le paysan, de discuter avec les paysans de leurs pratiques, par exemple en matière de gestion des résidus ou des espèces considérées envahissantes. Les agriculteurs s'engagent alors, sentant que ce qu'ils font a du sens pour la Recherche. Le lien entre chercheurs et agriculteurs est essentiel pour la réussite d'un projet visant des changements de pratiques ("*les savoirs paysans viennent nourrir les actions de recherche*").

Le besoin d'une charte de partenariat a été évoqué, avec un objectif commun, pour éviter les frustrations et les conflits d'intérêts (par ex l'imposition de choses qui ne correspondent pas à ce pour quoi les agriculteurs ont été mobilisés initialement ou des attentes qui ne correspondent pas à ce que la Recherche peut apporter en termes d'expertise).

Un message à retenir : la confiance se gagne progressivement et se perd vite.

- ❖ *Dans quelle mesure les critères retenus par la recherche et les experts pour l'évaluation des pratiques 4P1000 reflètent-ils les objectifs et les contraintes des agriculteurs ?*

Le besoin d'une approche intégrée qui tienne compte des liens entre Changement Climatique et stockage de Carbone à différents niveaux s'impose. Du point de vue de la recherche, on observe les limites suivantes.

i) L'évaluation des pratiques concerne le plus souvent leur faisabilité, avec des analyses coûts-bénéfices. Ce type d'évaluation dissimule le fait que les objectifs multiples des agriculteurs ne sont pas toujours convergents.

Parmi les insuffisances des approches actuelles, on a relevé les sujets suivants :

- La prise en compte des aspects sociaux, voire psychologiques dans l'évaluation des pratiques agricoles ;
- Les questions de voisinage, d'interdépendance des exploitations ;
- Le caractère progressif des changements de pratiques à considérer ("*on ne peut pas les changer du jour au lendemain*"), rendant nécessaire des critères évolutifs, des indicateurs dynamiques.

ii) L'évaluation des pratiques manque parfois d'une hiérarchisation explicite des objectifs et des critères. De plus, les agriculteurs peuvent hiérarchiser leurs multiples objectifs et contraintes différemment des chercheurs. Donc la recherche ne doit pas seulement tenir compte de multiples objectifs et contraintes mais envisager qu'ils n'aient pas les mêmes poids relatifs dans les décisions des agriculteurs. Cela dépendra de l'agriculteur notamment et mérite donc d'être mis en discussion avec lui dans une démarche délibérative.

iii) Généralement les critères retenus par la recherche ne reflètent qu'incomplètement ou imparfaitement les contraintes des agriculteurs. Une difficulté est que tous les agriculteurs n'ont pas les mêmes contraintes et que les contraintes auxquelles les agriculteurs sont confrontés évoluent dans le temps. Parmi les contraintes à prendre en compte on peut citer la disponibilité en main d'œuvre, le besoin de minimiser la pénibilité du travail, l'influence de la famille et de l'environnement (regard des pairs). Dans un contexte de changement, la prise en compte des objectifs et contraintes des agriculteurs est incompatible avec une seule et courte consultation très en aval (un participant mentionnait les consultations par conférence téléphonique).

La recherche participative (être dans le dialogue) favorise l'étude des facteurs limitants, des besoins, des conditions locales et de leurs évolutions afin de construire des outils de décision adaptée aux contextes locaux.

Selon les catégories d'acteurs impliqués, un travail de co-construction s'impose afin d'intégrer d'emblée un ensemble d'objectifs, de les hiérarchiser et de considérer leurs évolutions. Ce travail qui relève de la démarche d'accompagnement est parfois difficile car il est porteur d'un regard réflexif susceptible de remettre en question nos objectifs et nos méthodes de recherche. Dans ce cadre le rôle du conseil rural est important mais doit être redéfini dans son rôle d'intermédiation.

❖ *Comment les incertitudes et les risques auxquels doivent faire face les agriculteurs sont-ils pris en compte ?*

i) Les risques et prises de risque diffèrent grandement d'un contexte à l'autre, par exemple entre un pays du Sahel (rendements) et la France (discontinuités des politiques publiques). Les risques représentent de la sorte des contraintes particulières et leur gestion fait partie des objectifs et contraintes, à spécifier selon le contexte.

Les risques ou les prises de risque se manifestent dans leurs dimensions économiques mais aussi psychologique et sociologique, de perception des risques et de moyens mobilisés pour y faire face. Parmi les risques ainsi mentionnés : risques de voisinage, de vols, sur l'accès au foncier, la plantation d'arbres, de conflit des intérêts en présence. Parmi les contraintes qui déterminent les pratiques actuelles et rendent les pratiques stockantes potentiellement risquées ont été mentionnées : la pénibilité du travail, la charge de travail supplémentaire pour manipuler la matière organique, le regard des pairs. Les fermes de démonstration aux niveaux local et territorial représentent une approche intéressante pour relativiser les risques et les craintes. De même des approches systémiques, de conception de système de production, et de modélisation, permettront de traiter des incertitudes et risques et d'analyser les compromis. Un raisonnement systémique permet de repenser la manière de voir l'exploitation agricole et d'appréhender l'échelle du territoire. Enfin de nouveaux risques pourraient émerger, liés aux opportunités présentées.

ii) Il y a peu de prise en comptes des incertitudes lorsqu'il est présumé que le 4P1000 favorisera à la fois l'atténuation et la sécurité alimentaire. Les incertitudes sont souvent prises en compte par les recherches appliquées, à l'aval. A l'amont et au cours du processus de recherche, l'incertitude qui correspond à la question de recherche est mise en exergue et les autres incertitudes sont souvent ignorées pour ne pas complexifier ni introduire de doute sur le domaine de validité des travaux en cours. Ces incertitudes concernent les facteurs en cours d'évolution tels que la désaffectation des exploitations et la diminution de la main d'œuvre (sur qui pourra-t-on compter pour mettre en œuvre des pratiques stockantes ?), ou les instruments d'incitation (quelles seront les mesures incitatives "4p1000"?). L'incertitude liée à l'approche systémique et sur le long terme est souvent omise. On manque de processus évolutifs, tels qu'une démarche d'explicitation des incertitudes et une feuille de route pour leur prise en compte. Ces processus permettraient d'adapter le discours sur le 4p1000, et que les agriculteurs perçoivent les incertitudes des chercheurs également.

### ➤ Conclusion

Les agriculteurs sont au cœur de l'initiative qui est devenue un programme de recherche sur la séquestration du carbone dans les sols. Le 4P1000 offre la possibilité de revaloriser l'agriculture. La contribution des sciences humaine est attendue sur deux fronts de science au moins :

- Celui de l'élaboration d'un cadre d'analyse transdisciplinaire qui intègre les connaissances des agriculteurs et permet dans une démarche bottom-up, la traduction du 4P1000 en pratiques et moyens adéquats. Dans ce cadre d'analyse, la séquestration du carbone dans les sols est un co-bénéfice des activités agricoles. Démarche et cadre d'analyse faciliteront la co-construction de réponses 4P1000 (ferme de démonstration, guide de bonnes pratiques...) et d'indicateurs de suivi permettant de situer les innovations par rapport à l'atteinte des objectifs d'atténuation et de sécurité alimentaire affichés du 4P1000.
- Celui de la caractérisation de l'hétérogénéité des agriculteurs et leurs systèmes agricoles par rapport à la signification du 4P1000 et aux implications de sa mise en œuvre pour les agriculteurs. Besoin de typologie, y compris sur les risques perçus et les caractéristiques socio-économiques.

La littérature sur le sujet doit être analysée, avec un état de l'art où l'on examinera les travaux dans lesquels les agriculteurs sont pris en compte, sur le 4P1000 spécifiquement puis plus largement sur les réponses d'atténuation et d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques, et l'ajustement dans le temps de ces réponses. Il s'agira aussi d'observer les réalisations et besoins en termes d'adaptation de la communication, de pilotage ou co-pilotage de la recherche par les agriculteurs et de partage des budgets de la recherche. L'enjeu est finalement de mieux délimiter le 4P1000 comme thématique de recherche (mieux = de façon moins biaisée par quelques travaux, plus complète, mais aussi spécifique).



### 4.3 Moteurs de la transition

Rédaction : Marie-Hélène Schwoob, Charlotte Guénard, Gatien Falconnier, Julien Demenois

Participants à la discussion : Hervé Ahouloukpe (INRAB), Cristina Arias-Navarro (INRA), Laure Bamière (INRA), Nadira Benhaïssa (INAT), Vincent Blanfort (Cirad), Lieven Claessens (IITA), Patrice Dumas (Cirad), Thomas Eglin (ADEME), Raphaël Larrère (INRA), Raphaëlle Preget (INRA), Jean Marc Touzard (INRA Montpellier), Charlotte Verger (INRA), Claire Weill (INRA)

#### ➤ Introduction des animateurs de la session

Les changements, parfois de rupture, des pratiques pour atteindre les objectifs du 4P1000, nécessitent des moteurs d'enclenchement de la transformation des structures agraires en lien avec les changements de pratiques (par exemple vers l'agroécologie). Ces nouvelles trajectoires doivent être soutenues, pendant cette période de transformation qui peut être parfois longue, par des mesures d'incitation aux changements des pratiques des agriculteurs et autres acteurs des filières agricoles.

Cette question de l'incitation au changement des pratiques agricoles, clé pour maintenir, restaurer ou augmenter le stock de carbone dans les sols, a été abordée par de nombreux travaux de recherche. Certains se penchent sur la réponse des acteurs en général – et des agriculteurs en particulier – aux incitations de nature économique telles que les signaux de marché, les prix, ou encore les paiements pour services environnementaux (Pérez Dominguez et al., 2016; Wreford et al., 2017). D'autres insistent sur l'importance d'autres facteurs dans l'adoption ou le changement de pratiques, comme l'âge, l'éducation ou la connaissance (Lastra-Bravo et al., 2015 ; Aubert et al., 2016; Koesling et al., 2008).

Cependant, le champ de recherche sur les moteurs de la transition pose encore de nombreuses questions :

- Quelle doit être la forme des paiements pour services environnementaux (PSE) ?
- Quels sont les instruments disponibles ? Plusieurs éventualités sont actuellement débattues i) PSE fondés sur les résultats ou (ii) PSE fondés sur la mise en œuvre des pratiques. Dans le premier cas, plusieurs interrogations demeurent : e.g. comment valoriser les co-bénéfices, comment diminuer les coûts de la vérification, comment prendre en considération les facteurs extérieurs pour ne pas pénaliser indûment les agriculteurs ? Dans le second cas, il faut s'assurer que les pratiques mises en œuvre sont adaptées au contexte local en produisant bien les effets escomptés.

Néanmoins, la difficulté – pratique mais aussi éthique – d'instaurer des rémunérations de services environnementaux pérennes étant reconnue, l'existence de co-bénéfices durables dans le temps associé aux changements de pratiques est généralement considérée comme un facteur important du changement et de la pérennisation des pratiques dans le temps. Comment alors évaluer et valoriser les co-bénéfices ? Certains co-bénéfices peuvent se retrouver au niveau individuel (e.g. amélioration de la fertilité des sols de l'exploitation agricole), mais parfois non, si le capital foncier n'est pas détenu par celui qui met en œuvre la pratique séquestrante. En relation avec cette question, comment aborder la question d'un bien public (le carbone du sol) dans des situations contrastées pour le foncier (propriété, droits d'usage, etc.) ?

Par ailleurs, si un certain nombre de politiques publiques ciblent encore principalement l'agriculteur, des obstacles aux changements de pratiques peuvent être présents à des échelles qui dépassent la seule exploitation agricole. Comment identifier ces obstacles et comment élaborer puis mettre en œuvre des politiques publiques cohérentes ? La rémunération économique est un aspect du problème, mais des besoins se font sentir en termes :

- d'innovations techniques et organisationnelles,
- de marchés, et donc d'un changement des préférences de consommation (pouvant ou non reconnaître des critères liés au 4 pour 1000),

- de politiques publiques, pour encourager la formation et la pérennité de ces marchés au travers, par exemple, du développement d'infrastructures d'organismes stockeurs etc.,
- de cohérence – par exemple, bien souvent les politiques encourageant la spécialisation des territoires conduisent à l'adoption de systèmes agricoles dans lesquels le retour au sol des matières organiques issues de l'élevage est faible.

Enfin, quels sont les besoins en termes d'éducation/formation ?

➤ Objectif du sous-groupe

L'objectif de l'atelier était de discuter ces questions afin d'identifier les verrous de connaissances (research gaps) ainsi que les fronts de recherche interdisciplinaires. Les participants, au cours de leurs interventions, ont discuté ces questions. Nous avons choisi de synthétiser les interventions des participants autour des cinq grands moteurs de la transition : les connaissances, l'incitation économique, la valorisation des co-bénéfices, la cohérence des politiques publiques, et la question du bien public.

Suite à cette introduction, il est souligné par les participants qu'un bon cadrage suppose une combinaison entre incitations, contraintes, appui au renforcement de capacité (formation, conseil, R&D) le tout dans une perspective claire à moyen terme au moins (i.e. transparence, agenda, fiabilité du cadre politique et juridique... ex versement de paiement selon calendrier prévu, pas 3 ans après...) et dans un dispositif efficace et pas trop bureaucratique (e.g. surcharge administratif, contrôle).

➤ Points abordés lors des débats

**I. Les connaissances**

**A. Le financement de la recherche et du développement**

Plusieurs participants ont souligné la nécessité d'investir sur la recherche, pour des besoins de formation allant bien au-delà de l'éducation et de la vulgarisation agricole.

Au-delà de la formation, la recherche et le développement doivent permettre de produire des références, des arguments pour renforcer des engagements, soutenir des plaidoyers, permettre un soutien aux politiques publiques ou informer les consommateurs.

**B. Une connaissance spécifique des conditions socio-agro-pédologiques**

La nécessité de comprendre les intérêts liés aux contextes socio-culturels et les enjeux locaux a été évoquée, pour assurer l'adoption de pratiques innovantes (e.g. la pratique doit être en cohérence avec les objectifs des agriculteurs vis-à-vis de l'utilisation de la biomasse).

**C. Une connaissance co-construite**

La co-construction des pratiques avec les agriculteurs (e.g. prise en compte des nombreux savoirs locaux) et les autres acteurs de la filière a été évoquée comme nécessaire par plusieurs participants (e.g. Climathon dans la commune de Murviel). Il a en effet été souligné qu'il y avait une opportunité à développer une science participative, organisée autour d'agriculteurs innovant dans leurs pratiques et contribuant aux observations (e.g. sur l'état du sol).

**D. La formation des acteurs au-delà des agriculteurs**

Le besoin d'une communication spécifique au contexte des agricultures des Suds a été mentionnée: sécurité alimentaire et co-bénéfices à ne pas négliger, lien avec les politiques agricoles nationales à assurer, liens entre conseillers agricoles et agriculteurs à maintenir). La question de la cible des formations a été discutée par les participants. La nécessité d'un changement de paradigme a été évoquée, ainsi que les besoins de former d'autres acteurs, pas seulement les agriculteurs. Les participants ont mis en exergue la nécessité d'une implication de la recherche dans les débats de société. À cet égard, la mise au point et le transfert d'outils, de méthodes de bilan du carbone destinées à des conseillers techniques, des décideurs est essentielle pour concrétiser les actions de formation. La mobilisation de ces outils peut permettre d'orienter les changements de pratiques. Les modèles conceptuels, de simulation sont d'excellents supports de dialogue et d'analyse d'une

*Rapport de l'atelier*

*« La recherche française et le volet recherche de l'initiative 4P1000 »*

situation (Martin et al, 2011). Enfin, un bon article scientifique peut être par exemple repris par les médias et produire de l'impact, mais les participants se sont interrogés sur l'existence d'autres canaux et les nécessaires efforts à faire sur la dissémination.

## **II. L'incitation économique**

### **A. La rémunération**

Les participants se sont accordés sur le fait que la rémunération peut être une incitation à la transition. Le prérequis de connaître le potentiel de séquestration des pratiques en prenant en compte la variabilité des contextes a été discuté. Les participants sont revenus sur le débat entre paiement sur résultats ou paiement sur pratiques. La nécessité d'un lien clair entre le paiement et l'utilisation de ce paiement a été évoquée. Un participant a évoqué les besoins de compléter des politiques publiques nationales par des initiatives locales.

Les participants sont revenus sur le fait que l'insécurité foncière pouvait être un élément limitant de l'adoption des pratiques sur le long terme, bien que cela ne semble pas être le cas en France.

### **B. La valorisation des co-bénéfices pour pérenniser les pratiques sur le long terme**

Les co-bénéfices ont été évoqués comme une garantie de pérennisation de la pratique, au travers d'exemples de projets dans lesquels un arrêt des paiements associés à la fin d'un projet s'accompagnait d'un arrêt de la mise en œuvre des pratiques. La nécessité d'identifier les objectifs des agriculteurs et les compromis existants sur l'utilisation de la biomasse a été à nouveau mentionnée.

Différentes formes possibles de co-bénéfices ont été mentionnées : (i) des avantages économiques grâce à des labels et des indications géographiques et/ou une meilleure structuration des filières et (ii) des formes décentralisées de financement : compensations (e.g. paiement de touristes viticoles à travers des taxes de séjour locales), labels locaux. La possibilité d'une certification « 4P1000 » a également été mentionnée. Au final, les exemples mentionnés ont permis de souligner le fait qu'il peut y avoir des bénéfices (e.g. sur la structure du sol) sans gain en termes de séquestration du carbone ; il peut s'avérer que des conditions du milieu empêchent de séquestrer du carbone.

Certains participants ont fait part de la nécessité de travaux en sciences politiques pour mieux définir les conditions d'application des co-bénéfices (e.g. projet Typoclim). À ce titre, l'analyse du pilier II de la PAC pourrait être riche d'enseignements. Celui-ci permet, d'une certaine manière, de rémunérer des services écosystémiques par le biais des subventions agri-environnementales. Or, il y a un recul de plus de 20 ans et il n'y a peu de pays dans le monde où des PSE en agriculture ont été effectivement mis en place (e.g. Costa Rica essentiellement).

## **III. La cohérence des politiques publiques pour lever les obstacles au changement en amont et en aval**

Un participant s'est interrogé : « Pourquoi les agriculteurs ne font-ils pas davantage de séquestration de carbone dans le sol si cela est si bénéfique pour eux ? » Selon lui, le modèle de production d'après-guerre, fondé sur l'artificialisation du milieu et son homogénéisation, est en cause. Le participant pose la question de la cohérence des politiques publiques en donnant l'exemple du soutien étatique à l'irrigation en Tunisie en contradiction avec la durabilité des systèmes agricoles. Enfin, un participant a insisté sur le fait que la séquestration de carbone dans le sol n'est qu'un élément de diverses politiques (e.g. prévention des inondations, des incendies, économie circulaire, lien ville-milieu rural) et que de nombreux secteurs sont concernés.

## **IV. La question du bien public (le carbone du sol) dans des situations contrastées pour le foncier**

Les participants se sont accordés sur le déficit d'expertise dans ce domaine dans le sous-groupe et posent la question de l'existence d'une équipe (au CIRAD, au Pôle Foncier et Développement de Montpellier) qui pourrait éclairer cette question. Les participants considèrent que l'insécurité foncière limite l'adoption et la pérennisation de pratiques innovantes. Un participant mentionne l'existence d'une opportunité : les documents d'urbanisme en France intègrent la protection du foncier agricole.

➤ Conclusion : les fronts de recherche

Les fronts de recherche suivants ont émergé des discussions :

- Documenter et analyser les démarches innovantes au niveau des acteurs locaux, évaluer les pratiques locales notamment vis-à-vis des objectifs du 4P1000, réaliser des évaluations contextualisées ;
- Travailler sur la communication des résultats de recherche et l'implication des acteurs au-delà des agriculteurs et des services de vulgarisation agricole ;
- Explorer l'incitation économique au sens large (pas seulement paiement pour services environnementaux) (e.g. labellisation, couplage de politiques publiques) ;
- Explorer les facteurs de changements non-économiques (situation sociale, blocages en amont et en aval du secteur agricole, facteurs sociologiques) pour rechercher de la cohérence dans les politiques publiques ;
- Etudier davantage les questions du bien public et du foncier qui sont déterminantes (vers un prix du foncier incluant sa teneur en carbone ?).

Références citées

- Aubert M., Enjolras G., Bouhsina Z. (2016). How does the choice of a marketing channel influence the adoption of organic farming ? Conference paper for les Journées de recherches en sciences sociales (JRSS), Dec 2016, Paris, France.
- Koesling M., Flaten O., Lien G. (2008). Factors influencing the conversion to organic farming in Norway. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology* 7 (1-2), 78-95. <https://doi.org/10.1504/IJARGE.2008.016981>
- Lastra-Bravo X.B., Hubbard C., Garrod G., Tolón-Becerra A. (2015). What drives farmers' participation in EU agri-environmental schemes?: Results from a qualitative meta-analysis. *Environmental Science & Policy* 54, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.06.002>
- Martin R., Gaurut M., Lardy R), Carrere P., Graux A-I, Drouet J.L., Fiorelli J.L., Blanfort V., Capitaine M., Duretz S., Gabrielle B., Cellier P., Soussana J-F, 2011. Des modèles pour comprendre la réponse des écosystèmes prairiaux au changement climatique. *Innovations Agronomiques* 2 (20), 97-08.
- Pérez Domínguez I., Fellmann T., Weiss F., Witzke P., Barreiro Hurlé J., Himics M., Jansson T., Salputra G., Leip A. (2016). An economic assessment of GHG mitigation policy options for EU agriculture - EcAMPA 2. JRC Science for Policy Report, EUR 27973 EN, 10.2791/843461
- Wreford A., Ignaciuk A., Gruère G. (2017). Overcoming barriers to the adoption of climate-friendly practices in agriculture. *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers*, No. 101, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/97767de8-en>

#### 4.4 Outils d'évaluation et de suivi

Rédaction : Emmanuelle Vaudour, Lydie-Stella Koutika, Abad Chabbi, Jean Luc Chotte

Participants : Nicolas Baghdadi (IRSTEA), Lauric Cécillon (IRSTEA), Abad Chabbi (INRA), Jean-Luc Chotte (IRD), Frank Enjalric (CIRAD), Lydie-Stella Koutika (CRDPI), Paul Luu (4p1000), Beata Madari (UMR ECO&SOLS, EMBRAPA), Raphaël Manlay (AgroParisTech), Sylvain Pellerin (INRA), Noémie Pousse (ONF), Pierre Todoroff (CIRAD), Emmanuelle Vaudour (AgroParisTech)

Relecture : Dominique Arrouays (INRA), Nicolas Baghdadi, Eric Ceschia, Lauric Cécillon

##### ➤ Introduction

Les dynamiques de stockage ou de déstockage du C organique (Corg) dans le sol et la variabilité des pratiques séquestrantes imposent le développement de stratégies d'échantillonnage ou de suivis distants (ex. par télédétection) distribués dans l'espace géographique et répétés au cours du temps. Il s'agit de renseigner les stocks de Corg dans les sols et de suivre leur évolution en fonction des pratiques. Ce suivi doit se faire à des niveaux d'organisation spatiale qui recouvrent des territoires, c'est-à-dire des espaces géographiques gérés et administrés, où se prennent les décisions.

##### ➤ Objectifs

Les questions posées au groupe de discussion étaient les suivantes :

- Quelles méthodes et quels outils pour l'évaluation et le suivi du stock de C sur de grands territoires à destination des décideurs ?
- Quelles sont les évolutions technologiques à concevoir pour réduire la lourdeur des actuelles stratégies d'échantillonnage et de mesures ? (avec quel(s) partenaire(s) (privés) ?)
- De quels types de données acquises à quelles échelles (spatiales et temporelles) les chercheurs et les décideurs ont-ils besoin ? Incertitudes associées (cf. Global Soil Map) ?
- Harmonisation des outils d'évaluation ? Prise en compte de la biomasse aérienne ? Différenciation agroécosystèmes grandes cultures/agroforestiers/ formations forestières ?

##### ➤ Synthèse

Afin de caractériser la variabilité spatiale des teneurs et des stocks de Corg du sol, et de les mettre à jour, il faut disposer d'importants jeux d'échantillons de sols pourvus d'analyses de leurs teneurs et stocks en Corg. Bien que la précision de la mesure standard en laboratoire de la teneur en Corg (combustion sèche ; NF ISO 10694, 1995, en g par kg de terre fine) varie selon les types de sol, l'utilisation de spectroscopie infrarouge permet de démultiplier l'estimation de ces teneurs (Cécillon et al., 2009 ; Bellon-Maurel et McBratney, 2011). En France, une harmonisation des méthodes de mesure des concentrations en Corg du sol est nécessaire, la méthode « Anne » (NF X31-109, 1993) étant encore utilisée pour les analyses de terre en routine dans la plupart des laboratoires régionaux d'analyse de sol. En termes de mesures des stocks de C, il importe de disposer de mesures de densité apparente, ainsi que de volumes d'éléments grossiers. Un raisonnement en masse de sol équivalente est-il préférable et dans quels cas peut-il être mis en œuvre ? Un verrou demeure le caractère encore peu aisé des mesures de densité apparente comme de masses et volumes d'éléments grossiers. Dans les situations où la pierrosité et la variabilité spatiale de la densité apparente du sol sont faibles, la spectroscopie infrarouge peut parfois prédire directement les stocks de Corg du sol à un échelon intraparcellaire (Cambou et al., 2016).

Les décideurs expriment le besoin de cartes de teneurs ou de stocks de Corg du sol, et de connaître la fiabilité de la comparaison d'une date  $t$  à une date  $t+1$ , tout en indiquant le degré d'incertitude. À cet égard, on doit aussi quantifier le temps de résidence du Corg dans les sols ce qui impose une combinaison coordonnée de plusieurs techniques, qui méritent d'être approfondies, telles que l'analyse thermique Rock-Eval (Cécillon et al., 2018). De telles mesures combinées à des modèles de processus (cf. plus bas) simulant l'évolution des stocks de Corg du sol pourraient en améliorer la précision.

Certains suivis spatialisés des bilans de C (Veloso, 2014), des teneurs superficielles en Corg du sol (e.g ; Castaldi et al. 2019 ; Vaudour et al., 2019), ou encore des différents facteurs influents sur les stocks de Corg, tels que les cultures (Atzberger 2013), peuvent être réalisés via des images de télédétection. Les potentialités qu'offrent les nouvelles missions spatiales comme Sentinel doivent être approfondies, en ce qui concerne les teneurs superficielles en Corg, ou les autres propriétés superficielles du sol, susceptibles d'influencer leur détection, telles que la rugosité ou l'humidité. Les images radar Sentinel-1 permettent par exemple de produire des cartes à résolution fine de la rugosité du sol (Baghdadi et al. 2018) tandis que les images optiques Sentinel-2 permettent une cartographie détaillée des teneurs superficielles en Corg dans certaines régions de grandes cultures, seules (Castaldi et al. 2019 ; Vaudour et al., 2019) ou combinées à des covariables morphométriques (Zaouche, 2019). Combinées à diverses variables morphométriques, lithologiques et d'indices de végétation à l'échelon national, des images Sentinel-2 assemblées en mosaïque ont permis d'améliorer la précision d'estimation des teneurs en argile du sol, particulièrement en surface (Loiseau et al., 2019 en révision), et ce travail doit être poursuivi pour les teneurs en Corg. La fréquence de revisite des séries Sentinel et le couplage radar/optique, qui permet de détecter les variations de rugosité dues aux opérations culturales (Vaudour et al., 2014) sont à même d'augurer la perspective d'une mise à jour régulière ou « monitoring » des cartes des teneurs en Corg des sols de surface. Dans l'optique d'un monitoring incluant des prélèvements *in situ* et des mesures de laboratoire, un des intérêts supplémentaires de ces cartes à haute résolution spatiale est qu'elles permettent d'optimiser le plan d'échantillonnage en plaçant de façon raisonnée le minimum de prélèvements nécessaires pour estimer une valeur moyenne et son incertitude sur une surface donnée (parcelle, exploitation, commune, département, état...). Ceci réduit considérablement le coût lié aux prélèvements et facilite la production de statistiques temporelles simples, robustes et faciles à comprendre pour le décideur.

On constate de fait la disponibilité et l'emboîtement d'une cascade de méthodes pour la mesure et le suivi des teneurs et des stocks de Corg fondées tour à tour sur : (i) des modèles de processus comme les modèles AMG (Saffih-Hdadi et Mary, 2008) ou SAFYE-CO2 (Veloso, 2014) ; (ii) des modèles reliant un signal électromagnétique à une propriété de sol ; (iii) des modèles de statistiques spatiales, ou géostatistiques. Les approches ii) et iii) peuvent être combinées, les données de ii) pouvant servir de co-variables aux modèles de statistiques spatiales (Zaouche, 2019 ; Loiseau et al. 2019 en préparation). En ce qui concerne la dimension géographique et la production de cartes, l'incertitude spatiale doit être restituée ainsi que les programmes internationaux de cartographie numérique des sols le préconisent (Arrouays et al., 2014, 2018). En ce qui concerne les prédictions temporelles, un verrou majeur est lié au caractère fluctuant du scénario de référence (« baseline ») sous l'influence du changement climatique. Certaines régions du monde, notamment en Afrique, disposent de très peu de données analytiques pour renseigner le scénario de référence. Dans ces situations, on est tenté par une approche indirecte, via la biomasse aérienne. Cependant, la minéralisation de cette biomasse étant souvent très forte dans ces milieux, la seule biomasse ne suffit pas, il faut au moins aussi des données climatiques. En outre, beaucoup de la biomasse aérienne ne retourne jamais au sol car elle est utilisée à d'autres fins (constructions, paillage des cases, énergie pour la cuisson, etc.).

Les simulations temporelles doivent aussi tenir compte, non seulement des pratiques agricoles actuelles, mais aussi des pratiques modifiées (stockantes), pour un agroécosystème considéré, décrit par des caractéristiques physiographiques, géopédologiques et géomorphologiques, ainsi qu'un historique des pratiques qui lui sont spécifiques.

Pour divers agroécosystèmes, des modèles de processus ont été paramétrés sur des réseaux de sites de suivi de long terme (Wattenbach et al., 2010 ; Clivot et al., 2017). Un enjeu de recherche vise à les combiner à des données environnementales et de pratiques de gestion agricoles (outil SIMEOS-AMG, <http://www.simeos-amg.org/> ; démarche ABC'TERRE, <http://www.agro-transfert-rt.org/projets/abcterre-2a/> ; et plateforme MAELIA, <http://maelia-platform.inra.fr/>), ou à développer des modèles spécifiquement conçus pour assimiler des données de télédétection (ex. SPA voir Sus et al., 2010 ou Revill et al., 2013 ; SAFYE-CO2 voir Veloso 2014) à des données spatialisées, telles qu'issues de télédétection (ex. indices de végétation, cartes des cultures ou de couverts intermédiaires), afin de produire des flux/bilans de Corg spatialisés. L'enjeu est alors, non seulement de spatialiser ces processus en prenant en compte l'effet des pratiques identifiables directement par

téledétection (ex. couverts végétaux) ou renseignées via des bases de données spatialisées, mais aussi de faire le lien entre les teneurs et stocks de Corg présents dans le sol et le bilan de gaz à effet de serre de l'agroécosystème. Existe-t-il des indicateurs permettant de simplifier un tel bilan auprès des décideurs publics ? On souligne l'importance, pour ces décideurs et acteurs des territoires, de disposer d'informations simplifiées et fiables. Quelle que soit la démarche de simplicité recherchée, une interaction entre analyse en laboratoire, mesures sur le terrain et un transfert d'échelon spatial utilisant la téledétection satellitaire est pressentie comme la plus efficace et doit être évaluée. En outre, de simples approximations de la séquestration du C dans le sol, qui peuvent être évaluées par les agriculteurs / éleveurs ou au moyen d'analyses de routine effectuées par les services de vulgarisation, contribueront à sensibiliser le public à la dynamique du C et à l'identification des zones les plus prometteuses en matière de séquestration.

## Références

- Arrouays, D., Grundy, M.G., Hartemink, A.E., Hempel, J.W., Heuvelink, G.B.M., Young Hong, S., Lagacherie, P., Lelyk, G., McBratney, A.B., McKenzie, N.J., Mendonça-Santos, M.L., Minasny, B., Montanarella, L., Odeh, I.O.A., Sanchez, P.A., Thompson, J.A., Zhang, G.L., 2014. GlobalSoilMap: toward a fine-resolution global grid of soil properties. *Advances in Agronomy*, 125, 93-134.
- Arrouays, D., Richer de Forges, A., McBratney, A. B., Hartemink, A. E., Minasny, B., Savin, I., Grundy, M., Leenaars, J. G. B., L. Poggio, Roudier, P., Libohova, Z., McKenzie, N. J., van den Bosch, H., B. Kempen, Mulder, V. L., Lacoste, M., Chen, S., Saby, N., Martin, M., Roman Dobarco, M., Cousin, I., Loiseau, T., Lehmann, S., Caubet, M., Lemerrier, B., Walter, C., Vaudour, E., Gomez, C., Martelet, G., Krasilnikov, P., Lagacherie, P., 2018. The globalsoilmap project; past, present, future, and national examples from France. *Bulletin of Dokutchaev Soil Science Institute*, 95, 22 p. , DOI : 10.19047/0136-1694-2018-95-3-23.
- Atzberger, C., 2013. Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. *Remote Sensing* 5, 949–981. <https://doi.org/10.3390/rs5020949>
- Bellon-Maurel, V., McBratney, A., 2011. Near-infrared (NIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopic techniques for assessing the amount of carbon stock in soils : Critical review and research perspectives. *Soil Biology & Biochemistry* 43, 1398–1410. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.02.019>
- Cambou, A., Cardinael, R., Kouakoua, E., Villeneuve, M., Durand, C., Barthès, B.G., 2016. Prediction of soil organic carbon stock using visible and near infrared reflectance spectroscopy (VNIRS) in the field. *Geoderma* 261, 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.07.007>
- Castaldi, F., Hueni, A., Chabrillat, S., Ward, K., Buttafuoco, G., Bomans, B., Vreys, K., Brell, M., van Wesemael, B., 2019. Evaluating the capability of the Sentinel 2 data for soil organic carbon prediction in croplands. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 147, 267–282. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.11.026>
- Cécillon, L., Barthès, B.G., Gomez, C., Ertlen, D., Genot, V., Hedde, M., Stevens, A., Brun, J.J., 2009. Assessment and monitoring of soil quality using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS). *European Journal of Soil Science* 60, 770–784. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01178.x>
- Cécillon, L., Baudin, F., Chenu, C., Houot, S., Jolivet, R., Kätterer, T., Lutfalla, S., Macdonald, A., van Oort, F., Plante, A.F., Savignac, F., Soucémarianadin, L.N., Barré, P., 2018. A model based on Rock-Eval thermal analysis to quantify the size of the centennially persistent organic carbon pool in temperate soils. *Biogeosciences* 15, 2835–2849. <https://doi.org/10.5194/bg-15-2835-2018>

- Clivot, H., Mary, B., Valé, M., Cohan, J.P., Champolivier, L., Piraux, F., Laurent, F., Justes, E., 2017. Quantifying in situ and modeling net nitrogen mineralization from soil organic matter in arable cropping systems. *Soil Biology & Biochemistry* 111, 44–59. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.03.010>
- Loiseau, T.; Chen S; Richer-de-Forges, AC, Lagacherie P., Vaudour E., Gomez C., Arrouays, D. (en préparation). Remote sensing data integration for soil clay content prediction at national scale. In preparation for *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (submission planned around 8th March 2019)
- Revill, A., Sus, O., Barrett, B. and Williams, M., 2013. Carbon cycling of European croplands: A framework for the assimilation of optical and microwave Earth observation data. *Remote Sensing of Environment*, 137: 84-93.
- Saffih-Hdadia, K., Mary, B., 2008. Modeling consequences of straw residues export on soil organic carbon. *Soil Biology & Biochemistry* 40, 594–607. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.08.022>
- Sus, O. et al., 2010. A linked carbon cycle and crop developmental model: Description and evaluation against measurements of carbon fluxes and carbon stocks at several European agricultural sites. *Agriculture, ecosystems & environment*, 139(3): 402-418.
- Vaudour, E., Baghdadi, N., Gilliot, J.M., 2014. Mapping tillage operations over a peri-urban region using combined SPOT4 and ASAR/ENVISAT images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 28, 43–59. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.11.005>
- Vaudour, E., Gomez, C., Fouad, Y., Lagacherie, P., 2019. Sentinel-2 image capacities to predict common topsoil properties of temperate and Mediterranean agroecosystems. *Remote Sensing of Environment* 223, 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.006>
- Veloso, A. (2014). Regional estimates of the production, fluxes and budgets of carbon and water for winter wheat by using high resolution remote sensing data combined with a crop model: Application to southwest France (Doctoral dissertation). Université Toulouse III- Paul Sabatier, Toulouse, France, 304p.
- Wattenbach, M. et al., 2010. The carbon balance of European croplands: a cross-site comparison of simulation models. *Agriculture, ecosystems & environment*, 139(3): 419-453.
- Zaouche, M., 2019. Modélisation spatiale multi-sources de la teneur en carbone organique du sol d'une petite region francilienne. Univ. Paris Sud, Doctoral dissertation, to be defended on March 15th.



## 4.5 Conditions du succès sur le long terme : quelles lacunes scientifiques ?

Rédaction : J. Balesdent, C. Hatté, T. Razafimbelo, C. Rumpel

Pour pouvoir répondre aux nombreux enjeux, notamment pour être en capacité d'atténuer le changement climatique et d'améliorer la productivité des sols sur le long-terme, le stockage du carbone organique (C) dans les sols envisagés par l'initiative 4P1000 devrait être maintenu. Or, par sa nature, le stockage du C dans les sols est transitoire et peut changer en fonction des modifications des conditions environnementales et des systèmes de gestion. Il a été rappelé au cours de cet atelier, que dans le cadre de l'initiative 4P1000, on souhaite mettre en œuvre des pratiques de gestion des terres durables, permettant d'augmenter le stockage de C dans les sols par rapport à une situation de référence (Fig. 1). Il ne s'agit donc pas d'augmenter les stocks de C dans l'absolu, mais d'augmenter le stock par rapport à des pratiques courantes qui sont non-stockantes, ou, pire, perdent du carbone. Définitivement, il faut répondre aux détracteurs qui affirment que les actions de stockage de carbone dans les sols n'auraient pas d'effet sur le réchauffement climatique parce que le réchauffement futur annulerait ledit stockage. Le réchauffement climatique sera plus rapide et pire en cas de non-action.

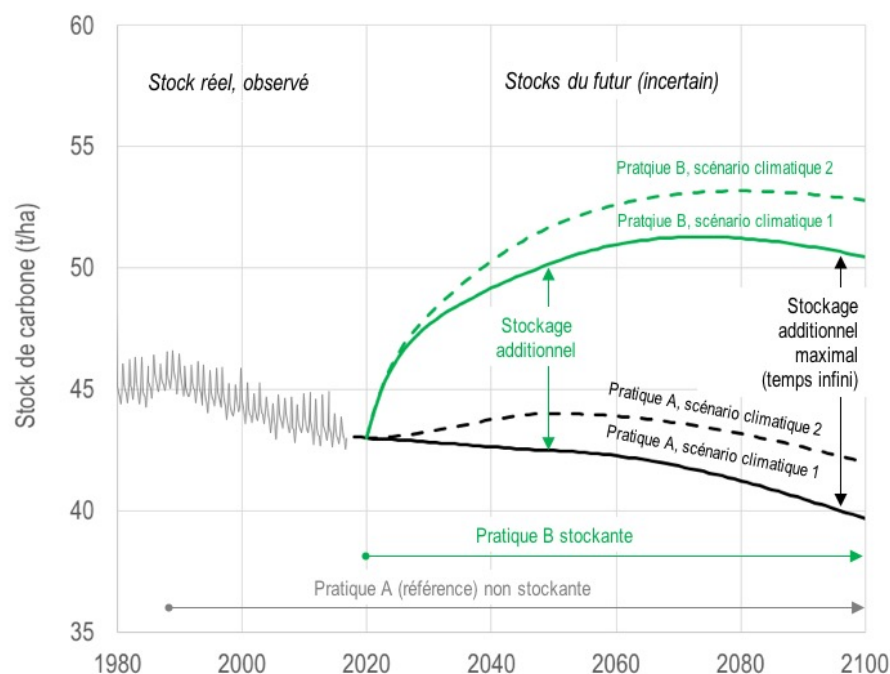


Fig. 1. Représentation théorique de la cinétique du stockage de carbone dans un sol, consécutif à l'adoption en 2020, puis la pérennisation, d'une pratique stockante.

Dans cet atelier, nous avons abordé les questions suivantes :

- Quelles lacunes des connaissances pour appréhender le succès d'une pratique à long-terme ?
- Peut-on extrapoler les résultats obtenus sur un type de sol, un type d'usage et un climat particulier à d'autres environnements ?
- Comment intégrer l'impact du changement climatique et notamment ses répercussions à l'échelle régionale/locale dans l'évaluation de la pérennité des pratiques et du stockage ?

### ➤ Contexte

La complexité des sols et plus généralement des écosystèmes nécessite une approche holistique pour agir sur le stockage du C. Il est nécessaire de prendre en compte toutes les composantes du système, réunir plusieurs disciplines et considérer toutes les échelles temporelles et spatiales. Il faut également considérer le contexte pédoclimatique, l'histoire du sol ainsi que les conditions socio-économiques et politiques, présentes et à venir. Pour les questions de stockage du C dans les sols et notamment sa pérennité, les temps de résidence et la localisation (horizons profonds ou en superficiels) sont à prendre en compte. Il faut également bien identifier l'échelle spatiale et temporelle à laquelle on se situe (local versus global ; année versus décennies voire siècles). Il faudra raisonner en termes de temps de résidence du C dans les sols. L'idéal serait d'orienter, si possible, les apports de C vers le pool de stockage à long-terme.

### ➤ Quelle(s) pratique(s) pour pérenniser le stockage de carbone organique ?

Pour que le stockage du C dans les sols soit pérenne, il faut en premier lieu que les pratiques stockantes soient pérennes. Plusieurs critères doivent être réunis pour qu'une pratique soit pérennisée par les acteurs :

- Pertinence agronomique,
- Pertinence socio-économique,
- Adaptation/adaptabilité au changement climatique,
- Sécurité sanitaire de la pratique,
- Lisibilité de l'effet de la pratique sur le C du sol.

Ce dernier point est important : il sera nécessaire que le stockage de C additionnel dû à la pratique soit perçu par l'agriculteur ou les acteurs. Les expérimentations ou d'exploitations modèles, démonstratrices, permettant de comparer des systèmes de culture de façon objective, ont ici un rôle important. La comparaison avec les systèmes non stockants doit rester possible. Ces systèmes d'observation peuvent alimenter la connaissance mécaniste, pour aborder la pérennité du C, il faudra élucider l'effet des pratiques sur les différents compartiments et types du C et leurs temps moyen de résidence.

### ➤ Une évaluation des pratiques

Si les pratiques changent, le stockage du C dans les sols risque de changer aussi ; en conséquence, il semble opportun d'évaluer une pratique, pas uniquement via son impact sur les stocks si elle est maintenue, mais aussi via son impact sur les stocks si elle est arrêtée.

Il est donc indispensable de déterminer la ligne de base à partir de laquelle l'évaluation d'un potentiel accroissement du stock et de sa durabilité pourra se faire. Pour cela, il faut garder à l'esprit le fait que le potentiel de stockage du C dans un sol donné dépend de l'historique du sol, pas uniquement de son état à l'instant  $t$  du changement de pratiques.

La définition de cette ligne de base peut être le point de départ d'une évaluation prospective, en cours de route, au fur et à mesure de la mise en place de la pratique, ou le point de départ d'une approche rétrospective, basée sur l'état à l'instant  $t$  comme résultat de l'histoire du sol et de ses pratiques dont on pourra modéliser l'impact. Cette piste de recherche pourra être investiguée grâce à l'association de l'histoire et des savoirs populaires ainsi que des savoirs d'agriculteurs aux projets scientifiques. Nous nous plaçons ici dans l'esprit de la science participative pour, par ex., conceptualiser les pratiques efficaces inventées par les agriculteurs eux-mêmes (par ex. : grassroot innovation).

Les stockages du C dans les sols se caractérisent par une grande variabilité spatiale à l'échelle de la parcelle, de la région, du territoire. Il pourrait être important de démêler l'impact des différents facteurs de forçage, qui agissent indépendamment les uns des autres probablement en fonctions de leur histoire. Des techniques d'analyses statistiques de la variabilité des stocks du C devront être exploités en se basant sur les réseaux de mesure (observatoires type RMQS) pour connaître la

variance et pour trouver des facteurs explicatifs. Toutefois, il est possible, qu'il soit nécessaire de compléter le jeu de donnée avec d'autres paramètres, qui se sont révélés comme facteurs importants.

Afin d'illustrer l'importance de considérer le système dans son ensemble et de réaliser une évaluation holistique du bien-fondé des pratiques alternatives, l'épandage des déchets organiques, levier important pour le stockage de C, a été cité. En effet, au-delà d'évaluer l'augmentation du stock de carbone, la sécurité sanitaire des produits épandus est primordiale. Les contenus en métaux toxiques, polluants organiques persistants, polluants dits émergents (antibiotiques, pharmaceutiques, perturbateurs endocriniens) doivent être minimisés. L'innocuité des épandages implique d'adapter en amont toutes les filières des produits, de l'épuration et du recyclage.

➤ Quels sont les processus à rechercher si on veut comprendre et agir sur le stockage du carbone organique dans les sols ? :

- Une revisite des concepts

Afin de pérenniser le stockage du C et de prédire son évolution, il est nécessaire de comprendre les mécanismes responsables de sa stabilisation et sa déstabilisation et d'intégrer dans la réflexion les voies d'apport de C dans le sol par la végétation et par les amendements. Là encore la vision holistique du système est de mise.

La littérature récente se fait le miroir d'un changement de paradigme dans notre vision des processus responsables d'une stabilisation du C sur le long terme. L'interaction entre la matière organique et la phase minérale est invoquée pour les temps longs de résidence du C dans les sols. Les horizons profonds ont été identifiés comme zone de stockage avec des durées longues et sont désormais au centre de toutes les attentions. Les matières organiques présentes dans ces horizons peuvent servir de modèles qui nous aideront à comprendre l'importance des processus, censés renforcer ou annuler la pérennité de leur stockage. Pour avancer dans notre compréhension de la pérennité du stockage de C, il faudra revisiter les concepts concernant la nature, l'origine et les processus affectant des matières organiques stabilisées :

- Le concept de la pérennité du C adsorbé sur la surface des minéraux
- Le concept de saturation en C, qui postule que la quantité du C stabilisée à long-terme est limitée par la disponibilité des surfaces minérales libres
- Le concept de mille-feuilles, qui postule, qu'il y a un empilement de molécules organiques, par couches successives (zone de contact, zone d'interactions hydrophobes et zone externe cinétique), à partir de la surface des minéraux
- Le concept de la stabilisation préférentielle des exsudats racinaires à la surface des minéraux
- Le concept de l'effet 'priming' pour la déstabilisation du C dite pérenne

Pour faire avancer notre compréhension des mécanismes contrôlant la pérennité du C dans les sols, les études devront prendre en compte les interactions plante-microorganismes-sol. Par ailleurs, les propriétés des différents types de sol doivent être prises en compte et la caractérisation doit être réalisée sur des ensembles homogènes chimiquement et physiquement, c'est-à-dire les horizons de sols plutôt que des profondeurs.

- Une différenciation selon les climats

Même si l'initiative 4P1000 concerne la totalité de la surface terrestre du globe, il semble nécessaire de s'intéresser d'abord à certaines régions considérées comme des points chauds, des lieux où la capacité d'accroissement est la plus grande. Il faudra les identifier et déterminer les pratiques adaptées pour assurer la maintenance, voir l'augmentation des stocks de C dans ces endroits.

Par ailleurs, ils existent des spécificités auxquelles il faut s'adapter. Par exemple, en milieu aride et semi-aride, le carbone organique du sol est majoritairement en condition de déstockage dû à faible production de biomasse et faible retour à la terre (<35%). Compte-tenu de la distribution du stock

mondial du C dans les sols, dont 30% se situe dans des zones humides, les tourbes, il semble nécessaire de maintenir ces stocks.

- Les approches à mettre en œuvre

Il est important de changer d'échelle et d'avoir une vision holistique du système dans la durée. Dans ce contexte, les essais de longue durée et les SOEREs prennent toute leur importance. Il serait souhaitable d'installer et de maintenir des essais en conditions tropicales, car tous les processus étant trois à cinq fois plus rapides qu'en milieu tempéré ou froid, les connaissances sur les processus dits "à long terme" sont obtenues rapidement.

Pour pouvoir changer d'échelle, bien comprendre l'importance des processus et pour valider les modèles, la gestion et la mise à disposition des données des sols sont très importantes. Les efforts entamés pour établir des bases de données avec les paramètres des différents sols doivent être maintenus. L'acquisition des données dans les observatoires doit être couplée aux expérimentations et au développement des modèles pour nous permettre de hiérarchiser les processus affectant la pérennité du C. Il semble important, de prendre en considération la biodiversité des sols, en particulier la faune et les communautés microbiennes.

Vu l'ampleur de défis environnementaux et sociaux, il est urgent d'agir. En conséquence, il est nécessaire de faire des paris intelligents pour répondre à l'urgence par la mise en œuvre de nouvelles pratiques couplées à une recherche fondamentale effectuée simultanément pour faire avancer les connaissances.

➤ Quels sont les lacunes et fronts de recherche ?

- Des lacunes de connaissance concernent la mise en œuvre des pratiques de gestion de terre adaptées aux différentes régions du monde. On ne sait pas dans quelle mesure on peut les transposer d'un site à l'autre. Ceci dépend des milieux et des socio-écosystèmes. Ils manquent des croisements entre les différents facteurs pour répondre d'une façon univoque. L'effet des interactions doit être pris en compte. En particulier, de nombreuses pratiques ont un impact sur le C via la modification de l'humidité du sol, cet impact sera très dépendant du climat régional.
- La sélection ou l'obtention variétale doivent mieux prendre en compte, et donc phénotyper, l'enracinement et la rhizodéposition de composés carbonés. Concernant les horizons profonds, il est avéré que le temps de résidence du C en place est plus élevé qu'en surface. Cependant l'impact de l'apport de C dans les horizons profonds, via l'enfouissement ou via les systèmes racinaires, sur le stockage net reste à évaluer.
- Manipuler l'association entre les matières organiques et minéraux offrirait un potentiel de stockage important, mais les possibilités de manipulation sont encore à explorer.
- Pour bien caractériser les processus contribuant à stabilisation à long-terme, il est important d'étudier les points chauds de stockage et déstockage, leur distribution spatiale aussi bien que temporelle. C'est ici que la biologie des sols intervient et joue un rôle important. Il existe de grandes lacunes en ce qui concerne le rôle des communautés de plantes, la faune du sol et les microorganismes. En particulier, les interactions entre organismes ayant un impact sur le carbone ne sont quasiment pas étudiées. Plusieurs processus biotiques qui régulent (limitent) la minéralisation par les bactéries et donc favorisent le stockage, telles que la prédation, les antagonismes, qui ont été détectés dans les systèmes naturels, doivent être étudiés, voire mis en œuvre dans les agrosystèmes.
- Les pratiques doivent s'adapter au changement climatique. Un des verrous concerne l'impact du climat (réchauffement global, événements extrêmes, sécheresses accrues) sur les pratiques. On se pose les questions suivantes : est-ce que les bénéfices des pratiques vertueuses mises en place seront perdus ? Est-ce qu'ils seront différents ? Quelle est la balance entre l'impact de la fertilisation par l'augmentation en CO<sub>2</sub> et le déstockage lié à l'augmentation de la température ? Quel sera l'impact sur le stockage du C des pathogènes et ravageurs des cultures dont le changement climatique pourrait induire la propagation ou l'émergence ? Comment évolueront les stocks de C en réponse à l'hétérogénéité micro-climatique évoluant avec les effets des

événements extrêmes ? Les recherches sur l'adaptation au changement climatique devront donc prendre en compte systématiquement les impacts sur la pérennité du C dans des sols.

#### **4.6 Quel environnement économique, social, organisationnel, institutionnel, et de gouvernance favorisant la séquestration (*enabling environment*)**

Rapportion : Hèlene Chambaut, Paul Luu, Sébastien Treyer, Claire Weill

Participants : Gaël Alvarez (INRA), Cristina Arias-Navarro (INRA), Béatrice Bechet (IFSTTAR), Nadira Benhaïssa (INAT), Alberte Bondeau (CNRS), Rémi Cardinael (CIRAD), Abbad Chabi (INRA), Hèlene Chambaut (Institut de l'Élevage), Claire Chenu (AgroParisTech), Julien Demenois (CIRAD), Marie-Hélène Durand (IRD), Thomas Eglin (ADEME), Eve Fouilleux (CIRAD), Christine Hatté (CEA), Paul Luu (Secrétaire exécutif 4P1000), Beata Madari (UMR ECO&SOLS, EMBRAPA), Raphaëlle Preget (INRA), Cornelia Rumpel (CNRS), Marie-Hélène Schwoob (Iddri), Sébastien Treyer (Iddri), Claire Weill (INRA)

##### ➤ Introduction

Par environnement favorable on entend à la fois l'environnement économique, social, organisationnel, institutionnel ainsi que par des modes de gouvernance inclusive, participative et transparente. Trois questions étaient posées :

- Dans quelles dynamiques et politiques structurantes sur le long terme peut-on inscrire des pratiques agroécologiques durables favorisant la séquestration du carbone dans les sols ?
- Quels sont les verrous à lever pour le maintien du carbone à long terme (régime foncier...), et quelles solutions / expérimentations proposer dans différentes régions du monde ?
- En Europe, quelles peuvent être les marges de manœuvre des Etats au regard de la politique européenne ? Quelle place et quel rôle pour l'expertise scientifique ? La dernière question est élargie aux autres régions du monde

Pour mettre en place des dynamiques structurantes pour le long terme, il importe de distinguer :

- De distinguer les cas où il faut maintenir un stock et éviter sa dégradation de ceux où il s'agit de restaurer un stock puis le maintenir (il faut raisonner en termes de différentiel de stockage par rapport au business as usual -> le cadre comptable ne s'applique pas à la notion de stockage).
- De contrer les dynamiques/tendances qui ont conduit ou risquent de conduire au déstockage et de favoriser les dynamiques permettant d'initier le processus de stockage

En outre, l'adaptation à long terme concerne tant :

- Celle des pratiques que des systèmes
- L'adaptation aux changements climatiques, économiques et sociaux.

Les solutions en termes de gouvernance (institutions, capital social, gestion en bien commun, filières, projets territoriaux...) peuvent comprendre :

- La mémoire des pratiques / historicité sur des décennies/un siècle
- La question des incitations à court terme qui comporte des risques de non permanence auxquelles il convient d'apporter des solutions (paiements permanents/autres)
- Pour déclencher la transition et garantir la pérennisation, des co-bénéfices sont à rechercher au-delà de la seule valence carbone du sol : la question est en effet structurelle et la solution ne résidera pas dans une seule réaction à une incitation économique
- Des politiques incohérentes entre elles constituent des verrous à lever
- Des systèmes d'innovation sont à réinventer
- En termes de sélection variétale orientée vers le phénotypage racinaire et rhizosphérique
- Lorsque des situations sont conflictuelles, des solutions sont à trouver notamment dans la recherche participative / le *crowdsourcing*

Les besoins en termes de formation et d'éducation sont importants et à préciser selon les acteurs

**Rapport de l'atelier**

**« La recherche française et le volet recherche de l'initiative 4P1000 »**

L'élaboration de politiques publiques cohérentes et ambitieuses – notamment très amont - peut s'avérer nécessaire au maintien à long terme du carbone dans le sol. L'expertise scientifique a un rôle important à jouer notamment dans l'analyse critique de cas régionaux - possibles effets néfastes de la Politique Agricole Commune et dans l'élaboration de propositions d'amélioration.

➤ Points abordés lors des débats

Politiques structurantes : constats

Dynamiques structurantes

Les politiques passées ont été structurantes et il faut les infléchir pour renforcer la prise en compte des pratiques stockantes sur le long terme :

- PAC => spécialisation des régions
- => ? Pertinence des 5 ans pour le classement des PT/ stockage : un verrou à lever dans la PAC pour inciter à passer de 4 à 8 ans de prairie dans les assolements par exemple.
- Les productions commerciales favorisées
- Paiements des services environnementaux pas toujours cohérents avec les autres politiques

Tunisie et Maroc

- Les états favorisent l'agriculture minière (problème des ressources en eau, sol, et intrants)
- Des filières tournées vers l'export et dépendantes des imports,
- Agribusiness vs agriculture familiale (recyclage des Matières Organiques, faibles intrants)
- Présence de capitaux étrangers (location des terres peu compatible avec stockage sur le long terme)

➤ Les solutions envisagées

Sensibiliser les politiques : orientation des décisions (garantie de pérennisation)

- Revoir les méthodes de comptabilité carbone : évaluer les pratiques *baseline/business as usual* est difficile, tant au niveau individuel des exploitations (successions) que statistique (état des pratiques il y a 50 ans : succession, fertilisation, interculture, TCS, ... ?)
- Outils d'aménagement du territoire : Plan Local d'Urbanisme Fournir des éléments quantifiés aux décideurs pour préserver la qualité des sols face à la pression économique
- Utiliser les circuits commerciaux (labels, circuits courts) pour promouvoir les pratiques séquestrantes : France, Union européenne, monde
- Limiter la prise de risques financiers pour les Exploitations Agricoles innovantes => accompagnements privés et publics - relation commerciale (AMAP - Association pour le maintien d'une agriculture paysanne)
- Veiller à la cohérence globale des leviers techniques incités dans les différentes politiques environnementales françaises et EU : mesures de protection de la qualité de l'eau, de l'air, du sol

➤ Les verrous

Verrous fonciers

- Location de terres et transmission => proposer des outils d'évaluation de la qualité des sols
- Vérifier la cohérence des politiques foncières (morcellement des ilots forestiers privés et Surface Agricole Utile)

Exemple du plan de biodiversité

- Prise de conscience par la société civile de l'intérêt du stockage du carbone => rôle des associations à l'interface avec la science (messages simples)
- Rendre l'agribusiness plus transparent /Flux

➤ Place et rôle de l'expertise scientifique

- Sortir de son laboratoire pour participer à une dynamique collective
- Eclairer les incohérences au sein des politiques (européennes), et fournir des solutions pour les rendre plus cohérentes
- Tester et promouvoir des success story sur le 'stockage long terme', et accompagner les démarches pour lever les blocages et combler les manques de connaissances => exemple Brésil Up/Down

➤ Fronts de recherche

L'introduction à la session par Sébastien Treyer constitue un cadre important et utile de catégorisation des situations et des questions à traiter pour l'action mais aussi pour la recherche. La discussion qui s'en est suivie permet de repérer notamment les axes de recherche suivants :

- À partir d'exemples de politiques régionales et d'étude de cas infrarégionales, proposer des pistes pour des politiques agricoles/foncières/commerciales plus cohérentes au regard de l'enjeu de séquestration du carbone du sol en étudiant, dans une perspective de cobénéfices à différentes échelles : pour les agriculteurs, les territoires, les acteurs nationaux (Europe ; Etats-membres) et régionaux:
  - Les moteurs possibles d'une transition
  - L'accompagnement d'une transition
- Les situations sont très contrastées selon les régions du monde (part d'agriculture familiale prédominante versus continuum dans la taille des exploitations). Les tendances lourdes et les moteurs puissants relèvent des modes de consommation mais aussi des structures commerciales et des chaînes de valeur. Des travaux scientifiques sur l'impact climatique des chaînes de valeur et des échanges commerciaux sont à encourager.
- À l'autre extrémité du spectre, l'intérêt des expérimentations menées localement a été souligné. Elles sont à la fois sources d'innovation et d'inspiration pour la part des transitions à mener qui relèvent du bottom up.
- Parmi les verrous à lever figurent également les modes d'usage et de propriété du foncier qui empêchent les agriculteurs de tirer / conserver les bénéfices de leurs pratiques séquestrantes du fait de modes d'usage et de propriété du foncier.

#### **4.7 Co-bénéfices et compromis**

Rédaction : Raphael Manlay et Sébastien Fontaine, Laure Bamière et Luc Abbadie

Participants : Thierry Heulin

➤ Introduction

Accroître le taux de matière organique dans les sols agricoles engendre un bénéfice climatique évident via l'accumulation stable de carbone d'origine atmosphérique dans l'écosystème, mais aussi de multiples bénéfices agricoles et environnementaux (biodiversité, sécurité alimentaire, sécurité nutritionnelle, qualité des sols, résilience aux événements climatiques extrêmes, etc.). La matière organique des sols en lien avec les activités rhizosphériques des plantes est la composante principale de la fertilité des sols. L'augmentation de sa concentration dans les sols peut, sous condition d'une gestion adéquate, permettre une réduction substantielle de le recours à des fertilisants azotés notamment dont le procédé de fabrication génère des émissions importantes de CO<sub>2</sub>. La matière organique est aussi un déterminant majeur de la structuration des sols qui joue dans le sens d'une réduction de l'érosion et des pertes d'éléments nutritifs associées. La matière organique des sols est un produit de l'activité du vivant, végétal, microbien-animal, et elle est aussi le substrat premier sur lequel repose la productivité biologique et la biodiversité tant souterraine qu'aérienne. Il existe un lien positif entre le taux de matière organique des sols, la biomasse (et



souvent la diversité) microbienne, la biodiversité de la faune du sol et celles des végétaux avec, probablement, des conséquences sur les réseaux trophiques animaux. Par conséquent, et en vertu des théories couramment admises sur les liens diversité et stabilité des écosystèmes, on peut attendre de l'augmentation du taux de matière organique des sols un gain de résistance des agrosystèmes et des forêts aux aléas climatiques et peut-être aux aléas sanitaires. Le niveau de matière organique des sols est positivement corrélé au degré d'activité du microbiote, de la faune du sol et des racines. Quand il est élevé, il s'accompagne d'un accroissement de la porosité des sols : le processus d'infiltration s'en trouve facilité, les sols et les nappes se chargent mieux en eau, ce qui confère aux agrosystèmes et aux forêts une protection accrue contre la sécheresse ; corrélativement, le ruissellement est réduit, ce qui diminue les risques d'inondation en aval.

Il existe donc un lien positif entre le taux de matière organique des sols et la résilience écologique de l'écosystème considéré. Par ailleurs, les gains de productivité et les économies d'intrants qui peuvent découler d'un taux élevé de matière organique dans les sols sont susceptibles de contribuer à une amélioration de l'équilibre financier des exploitations et à une plus grande indépendance des fluctuations des marchés (prix des intrants). Enfin, l'accroissement de la quantité de matière organique dans les sols peut provenir de l'utilisation directe des matières végétales produites sur place, de l'utilisation secondaire de ces matières après valorisation énergétique (par méthanisation par exemple), ou de l'utilisation de matières « exogènes » (issues du compostage urbain par exemple).

#### ➤ Questions mises au débat

- Dans quelles proportions et selon quelles modalités la gestion de la matière organique des sols peut constituer une composante majeure des transitions écologiques et climatiques de l'agriculture et de la foresterie ?
- Comment combiner les deux intérêts majeurs du 4P1000 : augmentation du stockage du carbone, et sécurité-autonomie alimentaire ?
- La gestion de la biodiversité aérienne est-elle un levier pour la cible 4P1000 ?
- Quel est le niveau de connaissance des gestionnaires de terres concernant les liens entre stockage du carbone dans les sols et les autres services rendus par les sols ?
- Dans quelle mesure ces autres services sont pris en compte par les décideurs et les praticiens ?

#### ➤ Conclusions

La quantité et la qualité du carbone dans les sols sont la résultante de la dynamique de l'ensemble de l'écosystème, et singulièrement de sa composante végétale. La mise en œuvre du 4P1000 exige une compréhension du fonctionnement global de l'écosystème en lien avec la biodiversité. Les approches réductionnistes sont essentielles afin d'identifier les composantes biotiques et abiotiques du cycle du carbone : rôle de l'eau, de la chimie des matières organiques, des minéraux, de l'allocation du carbone dans la plante (profondeur d'enracinement par exemple), des espèces et cultivars etc. Cependant, ces approches réductionnistes doivent être complétées par des **études holistiques des (éco)systèmes** afin de prendre en compte le rôle des interactions biotiques (plante-plante et plante-microbes), des réseaux trophiques, des interfaces (eg rhizosphère) et les boucles de rétroactions dans le transfert et le stockage de carbone dans les sols. À partir de ces connaissances il sera possible de tirer des orientations en matière de sélection variétale, de mélange d'espèces et d'itinéraires techniques promouvant l'accumulation de carbone dans les sols

Ces considérations indiquent clairement que gérer le carbone du sol, c'est gérer la biodiversité (espèces, variétés) : la biodiversité apparaît ainsi à la fois comme l'outil et comme le bénéficiaire de la séquestration du carbone. Ces considérations indiquent aussi les leviers d'action possibles qui vont déterminer les itinéraires techniques et les modalités d'intervention pertinentes en fonction de l'échelle temporelle assignée. Nos discussions ont également pointé les antagonismes potentiels entre les diverses fonctions d'un agrosystème. Dans un monde aux ressources finies (eg

photosynthèse limitée par unité de surface), l'augmentation de l'incorporation de carbone dans les sols par les plantes pourrait se faire au détriment de leur production aérienne signifiant une baisse des rendements agricoles. Cependant, l'allocation du carbone au souterrain par les plantes peut être compensée si l'activité photosynthétique globale est augmentée grâce aux effets fertilisants des matières organiques des sols et à une couverture végétale tout au long de l'année sur les sols cultivés (e.g. agriculture de conservation). Les antagonismes potentiels entre les diverses fonctions d'un agrosystème pointent les arbitrages et les compromis entre bénéfices et intérêts qui doivent être raisonnés et décidés. Il faut aussi souligner que les modalités de séquestration du carbone sont toujours dépendantes du contexte : il y a diverses façons pertinentes de faire, et il est probable que ces façons différeront très fortement selon le type de sol et de zone climatique (tempérée vs tropicale par exemple), et selon le contexte socio-économique.

Le degré de compréhension de l'impact des traits biologiques des plantes sur la dynamique du carbone dans les sols est encore faible, notamment si on se place dans une optique opérationnelle : il existe un **besoin urgent de recherche théorique et appliquée** dans ce domaine. Il y a un réel besoin de mieux connaître les règles d'assemblage des espèces végétales afin d'éco-concevoir des mélanges de plantes annuelles cultivées avec des plantes à hautes performances environnementales (e.g. stockage de carbone, rétention des nutriments) extraites des milieux naturels. Cette éco-conception de nouveaux systèmes de culture doit également prendre en compte les mécanismes d'autorégulation des écosystèmes (e.g. synchronisation offre du sol en nutriments au besoin des plantes) assurant leur pérennité. Dans un certain sens, l'absence de prise en compte jusqu'à présent de la complexité des agrosystèmes a conduit précisément à la perte considérable de carbone par les sols agricoles. Néanmoins, des connaissances existent et permettent de cadrer et d'engager une stratégie immédiate de séquestration du carbone dans les sols. Les résultats produits par une recherche future devront permettre d'améliorer les performances écologiques, agronomiques et économiques de ces stratégies. Ce cadrage passera nécessairement par un effort de conceptualisation et de dévoilement du système sol-plante à destination des non spécialistes, qui précise clairement le degré d'incertitude des connaissances acquises.

Le filtre de la complexité nécessaire à la mise en œuvre du 4P1000 ne se limite pas au système 'sol-plante' : il doit être appliqué à l'ensemble du système de production et à l'exploitation toute entière, voire au-delà. Par exemple, si la séquestration peut résulter d'un changement de certaines pratiques pour un niveau constant de production, elle peut aussi s'envisager via une augmentation de la production. Il se pose alors la question d'une fertilisation « additionnelle », minérale ou organique, de son coût économique et de son coût environnemental (risque d'émission supplémentaire de gaz à effet de serre, effets sur la biodiversité). Par ailleurs, on peut aussi s'interroger sur le choix entre l'enfouissement de davantage de biomasse versus son exportation pour la production d'énergie par exemple : le bilan final en terme de retrait ou de non injection de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère dépend très largement du degré de circularisation des approches adoptées (par exemple, méthanisation avec retour des digestats à la parcelle) et peut donc varier selon les situations socio-économiques. En ce sens, le 4P1000 s'inscrit parfaitement dans la démarche agroécologique. En fait, on ne peut pas dissocier le 4P1000 de l'agroécologie puisqu'il s'agit en fait de concevoir différemment les systèmes de culture, qui seront basés sur la diversité des assemblages de types de plantes (plantes annuelles cultivées, arbres, plantes auxiliaires) et des cultivars, sur le recours à la lutte biologique à travers la complexification des réseaux trophiques, etc., pour des bénéfices multiples (économiques, climatiques, de biodiversité), y compris pour les grandes cultures. **C'est en cela que le 4P1000 relève de l'agroécologie**, et non de la géo-ingénierie. Sur le principe, le 4P1000-agroécologie est applicable aux forêts. Pourtant, il n'est que très peu envisagé en milieu forestier. Il est possible que cela soit lié à la difficulté de prouver l'additionnalité en matière de séquestration sous modalités de gestion de la forêt modifiées, ce qui explique probablement l'effondrement des compensations REDD. Il y a un **besoin de recherche fort sur les liens entre biodiversité et carbone du sol**, en forêt bien sûr, mais plus généralement sur l'ensemble des écosystèmes terrestres (prairies, systèmes méditerranéens, etc.).

La complexité à prendre en compte est aussi celle du socio-écosystème. En d'autres termes, qui assume les coûts de la séquestration du carbone, qui en reçoit les co-bénéfices, qui décide, qui pilote les compromis et la gestion des tensions, à quelles échelles de temps et d'espace ? La question est brûlante pour l'agriculteur qui ne peut pas assumer tous les risques et toutes les

charges, au profit des autres membres de la société. Elle peut l'être aussi pour le sélectionneur, qui est amené à s'engager sur une décennie ou plus, et doit faire face à des coûts élevés, pour une mise en œuvre dans un futur de plus en plus incertain (changement climatique, crise de la biodiversité). On a à l'évidence besoin de stratégies politiques à long terme, qui **placent la question de la justice et de l'équité sociale et environnementale** au premier plan en tant que condition de l'action. Le 4P1000 ne pourra pas être mis en œuvre autrement que par une démarche collective et solidaire, dont la concrétisation peut être le paiement pour service environnemental (reconnaissance de la valeur sociale de la séquestration du carbone), l'aide au financement de la transition.

Le 4P1000 ne peut donc être qu'une composante, certes majeure, de la transition écologique de la société. Sa mise en œuvre doit être vue comme une contribution au développement de l'agroécologie, elle-même vue comme une stratégie d'atteinte des objectifs du développement durable. Dans tous les cas, le 4P1000 ne devrait pas être poursuivi dans le cas de bilan environnemental, social et économique négatif (compromis entre divers coûts et bénéfices sociaux, économiques, climatiques, écologiques, énergétiques, etc.), à ce titre le 4P1000 doit être positif, il peut être neutre, mais il ne peut pas être négatif.

## 5 ANNEXES

### 5.1 L'Appel de Sète

Qui n'engage uniquement ses signataires

#### **Un programme scientifique ambitieux pour la mise en œuvre du volet recherche de l'initiative « 4P1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat »**

Sète 8 novembre 2018

L'initiative internationale « **4 pour 1000 : les sols pour la sécurité alimentaire et le climat** » a été lancée par le gouvernement français le 1<sup>er</sup> décembre 2015 lors de la COP 21 à Paris. À la fois un plan d'action et un programme de recherche et de coopération scientifique, elle a conduit la communauté internationale à s'engager dans la voie qui vise à montrer que le secteur « Agriculture-Foresterie-Autres usages des terres » joue un rôle essentiel pour renforcer la sécurité alimentaire, atténuer les changements climatiques et s'y adapter. Accroître la quantité de carbone stockée durablement dans les sols via la photosynthèse de la biomasse végétale (transformation du CO<sub>2</sub> atmosphérique en carbone organique) pourrait contribuer à diminuer le CO<sub>2</sub> atmosphérique et par suite l'augmentation de la température à la surface de la planète. Selon l'Accord de Paris, celle-ci ne devrait pas excéder 2°C. Or les réductions des émissions de gaz à effet de serre consenties par les États signataires de l'Accord ne permettent pas d'atteindre cet objectif. Si en priorité une réduction immédiate des émissions anthropogéniques des gaz à effet de serre de tous les secteurs doit être promue, celle-ci devra s'accompagner d'un stockage de carbone dans les sols. Cela permettra d'améliorer simultanément la qualité des sols, la production agricole et l'adaptation des systèmes agricoles aux changements climatiques.

Nous, chercheurs et acteurs de terrain réunis à Sète les 7 et 8 novembre 2018, affirmons que la préservation et l'augmentation durable du stock du carbone dans les sols est un objectif scientifiquement fondé et techniquement faisable. Nous affirmons également que compte tenu des urgences relatives au climat, à la biodiversité et à la dégradation des terres, l'initiative « *4 pour 1000* » doit être, dès à présent, soutenue pour sa mise en œuvre. Nous n'avons cependant pas, aujourd'hui, toutes les clés pour agir. Pour les trouver ainsi que pour favoriser l'insertion de la séquestration du carbone dans les sols dans l'ensemble des stratégies en appui à l'accord de Paris visant aussi les Objectifs du Développement Durable, la recherche est nécessaire.

Pour éclairer et accompagner l'action, un effort de recherche théorique, expérimentale et participative est nécessaire. Nous rappelons qu'intervenir sur la dynamique du carbone dans les sols, c'est intervenir sur des systèmes complexes et diversifiés. Cela nécessite la prise en considération des savoirs locaux des acteurs de terrain, mais également la mobilisation d'une large expertise scientifique (pédologie, agronomie, écologie, anthropologie, économie, géographie, sociologie, droit et sciences politiques, climatologie) dans une démarche interdisciplinaire qui hybride les savoirs des chercheurs à ceux des acteurs de terrain.

Trois ans après le lancement de l'initiative « *4 pour 1000* », la mobilisation des chercheurs de tous les établissements de recherche français doit pouvoir s'appuyer sur un effort de recherche substantiel, à la hauteur des enjeux et de leur urgence.

**Les chercheurs et les acteurs de terrain réunis à Sète les 7 et 8 novembre 2018 déclarent que les enjeux de l'initiative «*4 pour 1000*» imposent le financement immédiat par la France d'un programme scientifique ambitieux.**

Ils se mettent à la disposition des autorités compétentes pour en concevoir les objectifs et les modalités de mise en œuvre.

---

<sup>1</sup> <https://www.4p1000.org/>



## **5.2 Programme complet de l'Atelier**

A voir

## **5.3 Les participants**

## **Mercredi 7 novembre**

8h30-9h30 Accueil café (salle Méditerranée)

**9h30 : Introduction de l'atelier et de ses objectifs**

Jean-Luc Chotte et Cornelia Rumpel

**9h50 : Présentation de l'initiative 4p1000**

Paul Luu, Secrétaire exécutif

**10h15 : Présentation du programme européen CIRCASA**

Jean-François Soussana

**10h25 : Présentation des participants (réseaux et chercheurs) et échanges en plénière**

**12h00 : Présentation des sous-groupes de travail : enjeux, attendus, composition des sous-groupes**

12h30 : Déjeuner et installation dans les chambres

**14h : Travaux en sous-groupes interdisciplinaires**

Sur les verrous de connaissances ou *research gaps* et les fronts de recherche interdisciplinaire

16h00 : Pause-café

**16h30 - 18h00 : Restitution en plénière (salle Méditerranée)**

19h00 : Verre de bienvenue et dîner

**20h30 - 22h00 : Soirée Controverses** : Etat des débats scientifiques et des controverses sociétales sur l'initiative « 4 pour 1000 », replacées dans le contexte des controverses historiques sur le changement climatique. Comment la communauté scientifique peut-elle s'organiser pour y répondre?

Introduction par Raphaël Larrere, sociologue et animation par Claire Chenu et Claire Weill

## **Jeudi 8 novembre**

### **8h30 : Travaux en sous-groupes interdisciplinaires**

10h30 : Pause-café

### **11h : Restitution en plénière (salle Méditerranée)**

12h30 : Déjeuner

### **14h00 : Table ronde avec les porteurs d'enjeux et débat avec la salle**

L'objectif de la table ronde réunissant des porteurs d'enjeux est d'instaurer un dialogue et de discuter du sens que chacun.e attribue à l'initiative 4 pour 1000 et à la mise en œuvre de pratiques de séquestration du carbone dans l'agriculture et la gestion des territoires. Identifier d'éventuelles différences d'interprétation de l'initiative 4p1000 et partager des visions différentes sur les conditions de sa mise en œuvre sont aussi le moyen de renforcer la synergie entre tous les acteurs mobilisés autour de cette initiative.

La table ronde sera organisée autour de deux questions successivement abordées par les participants à la table ronde (5 minutes) suivi d'un débat avec les participants de l'atelier

- Quelles appropriations possibles et souhaitables de l'initiative 4p1000, avec quelle hiérarchisation des priorités ? Comment les changements de pratiques participent-ils du 4 pour 1000 ? (selon enjeux, acteurs, territoires)
- Dans quelle mesure l'initiative 4p1000 s'associe-t-elle à une transformation ? Participe-t-elle d'une transition ?

Animateur : Thierry Heulin (Directeur de Recherche au CNRS). Invités :

- Aurélien Noraz, chargé de missions, Conservatoire d'Espaces Naturels de Haute Normandie
- Typhaine Adell-Légrand, Responsable du pôle Climat Energie et de l'Espace INFO ENERGIE, Parc naturel régional de la Narbonnaise en Méditerranée
- Céline Rives-Thomas, animatrice développement, Directrice de Rhizobiome
- Patrice Burger, président du CARI (Association de solidarité internationale, populations rurales du pourtour saharien)
- François Mandin, vice-Président de l'APAD (Association pour la Promotion d'une Agriculture Durable)
- Michel Pieyre, directeur Mission développement durable, étude et prospective au Conseil départemental de l'Hérault

### **15h30 : Synthèse des échanges**

Jean-Luc Chotte et Cornelia Rumpel

### **15h45 : Conclusions**

Marie-Hélène Tusseau-Vuillemin, Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

### **16h00 : Pause-café et fin de l'atelier**



<b>Nom</b>	<b>Prénom</b>	<b>Etablissement d'appartenance</b>
Abbadie	Luc	Sorbonne Université
Aholouké	Hervé	CRA-PP/INRAB
Alvarez	Gael	INRA
Arias-Navarro	Cristina	INRA
Baghdadi	Nicolas	IRSTEA
Balesdent	Jérôme	INRA
Bamière	Laure	INRA
Bechet	Béatrice	IFSTTAR
BenAïssa	Nadhira	Institut National Agronomique de Tunisie
Bertrand	Isabelle	INRA
Blanfort	Vincent	CIRAD
Bondeau	Alberte	CNRS
Cabantous	Brigitte	Cirad
Cardinael	Rémi	CIRAD
Cécillon	Lauric	IRSTEA, Université de Rouen Normandie
Ceschia	Eric	INRA
Chabbi	Abad	INRA
Chambaut	Hélène	Institut de l'Elevage
Chenu	Claire	AgroParisTech
Chevallier	Tiphaine	IRD
Chotte	Jean-Luc	IRD
Claessens	Lieven	International Institute of Tropical Agriculture (IITA)
Demenois	Julien	Cirad
Derrien	Delphine	INRA
Dingkuhn	Michael	CIRAD
Dumas	Patrice	CIRAD
Durand	Marie-Hélène	IRD
Eglin	Thomas	ADEME
Enjalric	Frank	CIRAD
Falconnier	Gatien	CIRAD
Fallot	Abigail	CIRAD
Fontaine	Sébastien	INRA
Freycon	Vincent	CIRAD
Guénard	Charlotte	Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
Guibert	Hervé	CIRAD
Hatté	Christine	CEA
Heulin	Thierry	CNRS
Husson	Olivier	CIRAD
Justes	Eric	CIRAD
Klumpp	Katja	INRA
Koné	Armand	Université Nangui Abrogoua, Abidjan
Koutika	Lydie-Stella	CRDPI
Laggoun	Fatima	CNRS
Lardy	Lydie	IRD
Larrère	Raphaël	INRA - retraité
Luu	Paul	Initiative "4 pour 1000"
Madari	Beata	UMR Eco&Sols
Mandin	François	APAD
Manlay	Raphaël	AgroParisTech
Melgarejo	Paloma	Initiative "4 pour 1000"
Morvan-Bertrand	Annette	Université de Caen Normandie

Noraz	Aurélien	Conservatoire d'espaces naturels Normandie-Seine
Oliva	Priscia	Université Paul Sabatier Toulouse III/CNRS/IRD/CNES
Pellerin	Sylvain	INRA
Perrin	Anne-Sophie	Terres Inovia (ITA)
Pousse	Noémie	Office National des Forêts
Préget	Raphaële	INRA
Prin	Yves	CIRAD
Rass	Gérard	APAD
Razafimbelo	Tantely	Université d'Antananarivo
Rives Thomas	Celine	RHIZOBIÔME
Roggy	jean-christophe	INRA-UMR EcoFog
Rumpel	Cornelia	CNRS
Schwoob	Marie-Hélène	IDDRI
Soudi	Brahim	Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
Soussana	Jean-François	INRA
Todoroff	Pierre	CIRAD
Treyer	Sébastien	IDDRI
Vadez	Vincent	IRD
Vaudour	Emmanuelle	AgroParisTech
Verger	Charlotte	INRA
Vidal-Beaudet	Laure	Agrocampus Ouest
Weill	Claire	INRA