

## Contribution à la lutte contre l'effet de serre Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?

Une Expertise scientifique collective réalisée par l'INRA  
à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

15 Janvier 2003

*Résumé. Peut-on contribuer à lutter contre l'effet de serre en stockant du carbone dans les sols agricoles de France ? L'expertise réalisée par l'Institut National de la Recherche Agronomique à la demande du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable relativise l'intérêt de cette option, du moins dans les conditions françaises : si le potentiel de stockage additionnel de carbone dans les sols agricoles métropolitains apparaît non négligeable, sa valorisation dans le cadre du Protocole de Kyoto se révèle difficile. La prise en compte de ce stockage devrait plutôt être envisagée dans un cadre plus large, incluant l'ensemble des gaz à effet de serre et intégré dans un plan global portant sur l'agriculture durable et la qualité des sols.*

L'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre (GES) induite par les activités humaines est considérée de plus en plus unanimement comme responsable du changement climatique. Le Protocole de Kyoto, qui pourrait entrer en vigueur en 2003, vise à limiter cette évolution par la réduction des émissions de GES, qui représente évidemment la politique la plus durable. Pour le gaz carbonique, qui est d'ailleurs le principal GES, le Protocole a également admis l'utilisation d'une solution complémentaire qui consiste à accroître la séquestration de CO<sub>2</sub> par la végétation et le stockage du carbone dans la biomasse et les sols. Les modalités de mise en oeuvre de cette seconde option font actuellement l'objet d'importantes négociations, pour lesquels les experts sont chargés de fournir des bases scientifiques.

### Les enjeux du stockage de carbone dans les sols agricoles

#### Le rôle de "puits" temporaire de carbone des écosystèmes terrestres

La végétation, en synthétisant de la matière organique à partir du CO<sub>2</sub> qu'elle prélève dans l'atmosphère, "stocke" ainsi du carbone, sous forme organique. Une fraction importante de cette biomasse et de ces résidus est ensuite incorporée au sol où elle est soumise à diverses transformations et dégradations. Cette matière organique du sol finit par subir une minéralisation, processus qui restitue le carbone à l'atmosphère sous forme de CO<sub>2</sub>. Le stockage de carbone organique dans le sol est donc toujours temporaire, mais il est plus ou moins important et long selon les conditions du milieu. Parce qu'ils peuvent jouer sur les apports de matière organique au sol et/ou sur la vitesse de minéralisation, l'usage des terres et les pratiques culturales sont susceptibles de modifier le niveau de ces stocks dans le sol. Or ces stocks de carbone dans les sols sont importants : à l'échelle planétaire, ils représentent quelque 1500 milliards de tonnes, soit deux fois plus que le stock dans l'atmosphère. Une augmentation même minime du stockage dans les sols pourrait donc jouer un rôle significatif dans la limitation du flux net de GES vers l'atmosphère.

#### Les enjeux du stockage de carbone dans les sols

Le stockage dans la biomasse forestière (article 3.3 du Protocole de Kyoto) a déjà fait l'objet d'accords internationaux qui fixent les contingents attribués aux différents pays. L'accroissement du stockage dans les sols au travers de changements d'occupation des sols et de pratiques agricoles ou sylvicoles a été retenu dans son principe (article 3.4), mais ses

modalités d'application ne sont pas encore définies. Les quantités de CO<sub>2</sub> que les pays pourront déduire de leurs émissions à ce titre ne seront pas plafonnées *a priori*, mais leur prise en compte sera conditionnée par l'obligation de prouver la séquestration revendiquée. Ce sont les procédures de cette vérification, actuellement en cours de négociation, qui font l'objet de controverses entre les pays signataires du Protocole.

L'enjeu est important pour la France qui ne dispose, pour respecter ses engagements à maintenir ses émissions de GES à leur niveau de 1990, que d'une marge de manœuvre limitée du fait d'émissions déjà relativement faibles (en raison de l'importance de l'électronucléaire) et qui pourrait tirer avantage de l'importance de sa surface agricole.

#### **L'expertise commandée par le MEDD à l'INRA**

C'est dans ce contexte que le Ministère chargé de l'environnement a demandé à l'INRA de conduire une expertise collective concernant les capacités d'accumulation de carbone organique dans les sols agricoles et leurs dynamiques temporelles. Il s'agissait d'examiner les changements d'usage des sols agricoles et de pratiques agricoles *a priori* éligibles au titre du Protocole de Kyoto, leur capacité à induire effectivement un stockage additionnel de carbone dans les conditions pédoclimatiques françaises, leur applicabilité dans le contexte technico-économique agricole actuel, les politiques susceptibles d'inciter les agriculteurs à adopter ces pratiques et les moyens à mettre en œuvre pour vérifier ce stockage.

Le travail d'expertise scientifique collective a consisté à établir une synthèse critique des données scientifiques disponibles, permettant de dégager les connaissances avérées mais aussi de mettre en évidence les incertitudes et les controverses qui subsistent. L'exercice était limité aux sols agricoles métropolitains, le puits de carbone forestier et le cas des sols agricoles tropicaux faisant l'objet d'autres travaux de synthèse. Il a été réalisé par un groupe d'experts de diverses disciplines (science du sol, agronomie, économie...).

*Comme annoncé dans son Schéma stratégique 2000-2004, l'INRA développe ses activités d'expertise collective pour répondre aux demandes formulées notamment par les pouvoirs publics. Dans cette logique a été créée une Unité d'Expertise Scientifique Collective (UESC) : responsable du suivi des dossiers et des produits éditoriaux de l'expertise, elle est en outre chargée d'élaborer des procédures de travail pour la conduite de ces projets à l'INRA et de développer les relations avec les structures d'expertise des autres organismes de recherche.*

## **Un potentiel de stockage de carbone non négligeable mais difficile à valoriser**

L'expertise montre qu'en modifiant les usages des sols et/ou certaines pratiques agricoles, il est effectivement possible d'accroître significativement le stockage de carbone organique dans les sols agricoles métropolitains. Toutefois, la réalisation de ce potentiel de stockage se heurte à de nombreuses incertitudes et difficultés.

### **Les changements d'usage des sols et de pratiques agricoles favorables au stockage de carbone**

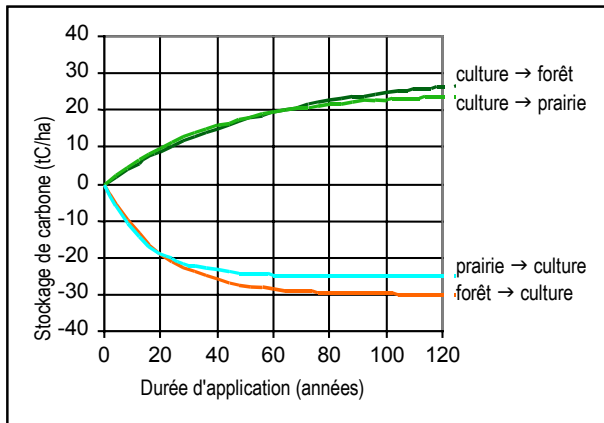
Ce sont certains changements d'usage des terres qui permettent les flux de stockage les plus élevés par unité de surface : l'afforestation ou la conversion en prairies permanentes de terres labourées peuvent induire des stockages de l'ordre d'une demi-tonne de C par ha et par an en moyenne sur une durée de 20 ans (voir Figure). L'afforestation induit de plus une augmentation du stockage dans la biomasse ligneuse et une diminution des intrants et des consommations énergétiques.

Malgré un stockage induit plus faible, certaines pratiques culturales, compte tenu des surfaces en jeu, présentent également une efficacité potentielle significative : c'est le cas de la suppression du labour, de l'implantation d'engrais verts en interculture, de l'enherbement permanent des vignobles et vergers. L'implantation de haies ou une modification des modes de gestion des prairies permanentes et temporaires, dont les effets sont plus difficiles à quantifier, sont également susceptibles de contribuer au stockage de carbone.

En revanche, les possibilités offertes par la gestion des résidus et effluents agricoles ou urbains sont apparues faibles, et l'intensification de productions déjà à hauts rendements n'apporte aucun bénéfice.

### **Le potentiel national de stockage de carbone**

Divers scénarios d'adoption des pratiques favorisant le stockage de carbone ont été testés. Ces simulations ont montré que le potentiel maximal de stockage additionnel est de l'ordre de 3 à 5 millions de tonnes de C par an pour une durée de 20 ans sur le territoire métropolitain. Des hypothèses plus réalistes concernant les modifications de pratiques aboutissent à un stockage de l'ordre de 1 à 3 millions de tonnes par an. Ce potentiel global, estimé pour les conditions françaises, est plus faible que celui avancé par d'autres experts. Bien que n'étant équivalent qu'à 1 à 2% des émissions de GES françaises, il n'est pas négligeable, puisqu'il pourrait représenter une proportion importante de l'effort à consentir pour respecter les engagements pris dans le cadre du Protocole de Kyoto.



Evolutions du stock de carbone dans le sol associées aux changements d'usage des terres provoquant les stockages (0,5 tC/ha/an durant les 20 premières années) ou les déstockages (1 tC/ha/an) extrêmes.

### Les incertitudes et la variabilité des stockages

Les potentiels de stockage retenus sont assortis d'une forte incertitude relative, de l'ordre de 50% au niveau des flux par unité de surface, de l'ordre de 100% au niveau de l'estimation nationale. Les résultats sont très sensibles aux conditions pédo-climatiques et agricoles locales, et donc très contrastés selon les régions.

De plus, les estimations réalisées ne tiennent pas compte des émissions d'autres GES (N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub> notamment) induites par l'adoption des pratiques favorisant le stockage de carbone, qui seraient à déduire de la séquestration de CO<sub>2</sub>. Enfin, les stockages pourraient être plus faibles si le changement climatique devait avoir un effet sur la minéralisation de la matière organique des sols plus fort que prévu actuellement, ou s'il interdisait certaines options consommatrices d'eau.

### Les conditions de réalisation

Les stockages de carbone envisagés impliquent des changements massifs de pratiques et d'usage des terres, dont certains sont contraires aux évolutions actuelles (tendance à la diminution des prairies permanentes...) ou nécessitent des choix de politique agricole forts (afforestation des jachères fixes...). Ils supposent des engagements de très longue durée des agriculteurs (pour la constitution de stocks additionnels puis leur maintien), d'autant plus difficiles à consentir que le contexte politico-économique agricole est susceptible d'évoluer rapidement. Ils nécessiteront des mesures incitatives, dont la nature, le critère d'attribution et le financement ne sont pas faciles à définir.

### Les conditions techniques de vérification

Pour être pris en compte dans le bilan national, les stockages additionnels de carbone devront être

prouvés et contrôlables. Les procédures de vérification devraient comporter la vérification, d'une part du stockage par unité de surface induit par un changement d'usage ou de pratique agricole, d'autre part des surfaces concernées par ces changements. Pour aucun des deux volets, on ne dispose actuellement d'outils d'observation adéquats.

La mise en évidence de stockages additionnels annuels très variables, et faibles par rapport aux stocks (eux-mêmes très variables) ; la détermination de la base de référence (stockage en l'absence de mesures le favorisant) ; le contrôle des surfaces soumises à des changements de pratiques culturelles... seront de toute façon délicats à réaliser.

Les dispositifs de vérification seront nécessairement lourds et donc coûteux à mettre en œuvre. Si le niveau d'exigence retenu est trop élevé, la vérification sera techniquement impossible à mettre en place pour la première "période d'engagement" (2008-2012) définie par le Protocole, et son coût deviendra prohibitif par rapport au prix de la tonne de carbone.

Enfin, contrairement à la réduction des émissions, **le stockage de carbone dans les sols ne constitue pas une solution durable** de réduction du CO<sub>2</sub> atmosphérique, puisque les stocks cessent de croître après quelques dizaines d'années, et que les terres agricoles mobilisables sont en quantité finie.

Toutefois, ce stockage pourrait permettre une certaine flexibilité vis-à-vis des engagements pris dans le cadre du Protocole de Kyoto, et il s'accompagne le plus souvent de bénéfices agronomiques et environnementaux connexes.

### La nécessité d'envisager une politique globale vis-à-vis de l'effet de serre, à intégrer dans une politique agricole plus large

Compte tenu des incertitudes sur les résultats, des contraintes de mises en œuvre et du prix vraisemblablement modeste de la tonne de carbone par rapport aux aides agricoles existantes, **une politique spécifique, limitée au stockage du C dans les sols, apparaît peu réalisable et peu efficace. Les mesures visant ce stockage de C devront être intégrées dans une politique plus large.**

Une politique globale de lutte contre l'effet de serre devrait permettre de :

- prendre en compte l'ensemble des gaz à effet de serre d'origine agricole, et notamment les émissions de N<sub>2</sub>O. Ce dernier point devrait conduire à

considérer la gestion des intrants azotés comme prioritaire au même titre que la gestion du C ;  
- s'assurer que l'adoption d'une pratique à un endroit n'induit pas ailleurs une émission ou un déstockage de carbone (question du *leakage*) ;  
- comparer le stockage de C dans les sols à l'alternative énergétique (cultures pour la production de biocarburants et valorisation énergétique des résidus agricoles et urbains) ;  
- et le comparer aux réductions d'émission possibles dans les autres secteurs économiques.

Les pratiques tendant à stocker du carbone dans le sol présentent quasi-systématiquement **d'autres bénéfices environnementaux** : limitation de l'érosion, amélioration de la qualité des sols et des eaux, économie d'énergie fossile, biodiversité plus élevée... Cette compatibilité avec d'autres objectifs environnementaux permet d'intégrer les mesures incitatives "carbone" dans des mesures agri-environnementales plus larges, dans le cadre de la PAC. L'existence de certains effets négatifs (emploi accru de pesticides en non-labour, fermeture des paysages par afforestation...) nécessitera toutefois quelques arbitrages entre objectifs environnementaux.

Réciproquement, des actions de politique agri-environnementale (agriculture intégrée, protection des sols...) peuvent s'accompagner de bénéfices en terme de stockage de carbone. Ces gains, à condition de pouvoir montrer leur caractère intentionnel, pourraient être revendiqués au titre de l'application du Protocole de Kyoto ; cette reconnaissance de politiques agri-environnementales globales incluant un volet "carbone" est nécessaire à la mise en œuvre de telles actions.

Toute politique de ce type aura nécessairement une dimension territoriale forte. Elle devra se raisonner selon les enjeux environnementaux et territoriaux locaux, en prenant en compte des unités de fonctionnement dépassant la parcelle agricole (exploitations, bassins versants, zones d'alimentation des nappes souterraines...).

### Pour en savoir plus

Arrouays, D., J. Balesdent, J.C. Germon, P.A. Jayet, J.F. Soussana et P. Stengel (eds), 2002, *Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France?* Expertise scientifique collective. Synthèse. INRA. 32 p.

Cette synthèse, ainsi que le rapport d'expertise (332 p.), sont disponibles sur le site INRA : [www.inra.fr](http://www.inra.fr)

### La nécessité de développer les recherches et l'acquisition de références

L'examen critique de la bibliographie française et internationale réalisé pour cette expertise souligne les lacunes dans les connaissances et l'impossibilité de quantifier précisément la plupart des phénomènes. Cette situation se traduit par des estimations accompagnées de marges d'incertitude fortes. Or le potentiel de stockage de carbone des sols français ne pourra à terme être valorisé que si les conditions pédoclimatiques et agricoles assurant l'efficacité des mesures visant le stockage peuvent être identifiées systématiquement, et si des méthodes fiables de quantification des gains obtenus sont développées.

La poursuite des recherches et l'acquisition de références supplémentaires s'avèrent donc nécessaires dans plusieurs domaines :

- la compréhension des mécanismes de biotransformation du carbone dans les sols ;
- la modélisation globale du comportement du carbone dans les sols, ainsi que le développement des dispositifs d'expérimentation de longue durée et d'observation pour acquérir les références nécessaires au calibrage puis à l'application des modèles ;
- l'établissement du bilan d'émission/séquestration de GES et du bilan environnemental global des activités agricoles ;
- le suivi des évolutions de l'utilisation des terres et des systèmes de production agricoles, nécessaire pour la vérification des pratiques revendiquées, mais aussi pour la conception et l'adaptation des politiques incitatives ;
- la modélisation intégrée, articulant les impacts des modifications de l'utilisation des terres, du changement climatique et des politiques agri-environnementales, à développer pour éclairer le décideur public et informer les agents économiques.

L'enjeu de ces travaux dépasse largement la question immédiate de la mise en œuvre nationale du Protocole de Kyoto ; il se situe dans le cadre de la gestion planétaire et à long terme du problème de l'effet de serre et d'une gestion durable des sols. L'importance de ces enjeux justifie l'intérêt que la recherche doit porter à ces questions.

Contacts :

. Dominique Arrouays : Unité Infosol – INRA – Avenue de la Pomme de Pin – Ardon – BP 20619 – 45166 Olivet cedex ; [arrouays@orleans.inra.fr](mailto:arrouays@orleans.inra.fr)

. Claire Sabbagh : Unité d'Expertise Scientifique Collective – INRA – 147 rue de l'Université – 75338 Paris cedex 07 ; [sabbagh@paris.inra.fr](mailto:sabbagh@paris.inra.fr)