



Christian FELLER  
 Martial BERNOUX  
 Vincent ESCHENBRENNER  
 Bernard BARTHÈS  
 Eric BLANCHART

IRD, UR 041  
 "Séquestration  
 du carbone dans  
 les sols tropicaux",  
 911 avenue Agropolis,  
 BP 64501,  
 34394 Montpellier  
 cedex 5

Fonds Documentaire IRD  
 Cote: B\* 36824 Ex:

Figure 1.  
 Variations de  
 la température  
 des 400.000 dernières  
 années par rapport à  
 la température actuelle  
 (d'après les sondages  
 antarctiques de Vostok),  
 aux échelles actuelles

# PRAM

## Effet de serre et séquestration du carbone au niveau global : approche historique et état actuel

### 1. EFFET DE SERRE "NATUREL" VERSUS "ANTHROPIQUE"

La notion d'"effet de serre" réfère à comparer la planète Terre à une serre dont les parois en verre (ou en plastique) seraient ici représentées par notre atmosphère avec, comme à l'intérieur de toute serre, une élévation de la température de la Terre. La température moyenne de notre planète est actuellement d'environ 15°C. En absence d'atmosphère, donc d'effet de serre, elle serait de - 18°C. Le fait que notre Terre porte la vie est donc la conséquence d'un effet de serre dit "naturel" (c'est aussi la vie qui est responsable de l'atmosphère actuelle). L'amplitude de cet effet de serre est en partie déterminée par la composition de l'atmosphère en certains gaz dits à "effet de serre" (GES), souvent en très faibles concentrations, et qui sont caractérisés par un "pouvoir de réchauffement global" (PRG), comme le gaz carbonique CO<sub>2</sub>, le méthane CH<sub>4</sub> ou l'oxyde nitreux N<sub>2</sub>O.

La composition de l'atmosphère a fortement changé au cours des âges géologiques, et ceci avec une certaine chronicité : on connaît, par exemple, des variations de température pouvant atteindre 10-12°C tous les 50.000 ans environ. Signalons tout de suite que ces variations de température dues à la variation de la composition de l'atmosphère ont des conséquences très importantes sur l'ensemble des variables climatiques et le fonctionnement global des écosystèmes terrestres. Sur le plan géologique, on se situerait actuellement à un maximum de température (figure 1) et notre devenir aux échelles "géologiques" (d'ici quelques dizaines de milliers d'années) devrait donc être un âge glaciaire.

Toutefois, les nombreuses mesures de tempéra-

ture qui sont collectées depuis un siècle à la surface de la Terre indiquent une nette tendance à une augmentation de la température de notre planète, augmentation estimée à environ 0,6°C (figure 2). Parallèlement, on sait avec une très grande certitude, que la composition de l'atmosphère en GES a été fortement modifiée depuis le début de l'ère industrielle avec une croissance quasi-exponentielle des concentrations en CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O (figure 3), augmentation que l'on a tendance à mettre à l'origine de celle de la température, même si la certitude de cette causalité n'est pas encore établie de manière absolue. Ces modifications de la composition en GES de l'atmosphère sont, par contre, clairement dues aux activités humaines, que ce soit l'industrie ou l'agriculture. L'industrie est basée sur l'utilisation de combustibles fossiles, comme le pétrole, le gaz ou le charbon, qui conduisent à l'émission d'énormes quantités de CO<sub>2</sub>, mais aussi sur l'utilisation d'autres réserves carbonées comme les calcaires qui libèrent aussi du CO<sub>2</sub> lors de la fabrication du ciment. L'agriculture (sensu lato) participe aussi à l'émission de GES, à travers la déforestation (émission de CO<sub>2</sub> par brûlis), une utilisation excessive des engrais azotés (émission de N<sub>2</sub>O), une mauvaise gestion des troupeaux (émissions de CH<sub>4</sub>) ou encore de l'irrigation (émissions de CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O). On estime les participations respectives de l'industrie et de l'agriculture à ces modifications de la composition atmosphérique à respectivement 66 et 34%. C'est pour ces raisons que l'augmentation de 0,6°C observée depuis un siècle est considérée comme un effet de serre additionnel que l'on qualifie d'"origine anthropique". Et lorsque l'on évoque "l'effet de serre" actuellement, c'est essentiellement à cette augmentation récente de la température que l'on se réfère.

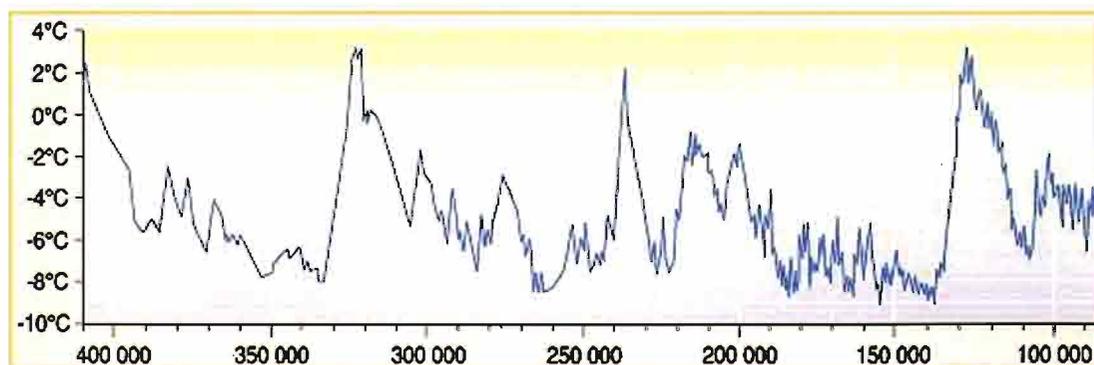
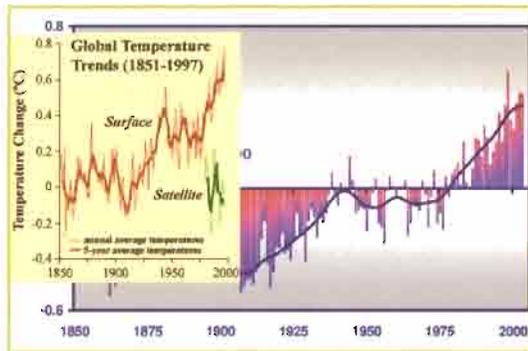


Figure 2.  
Variations de la température depuis 1850 par mesures à la surface du sol ou par satellite.  
(Sources : [www.epa.gov](http://www.epa.gov)  
[www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/](http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/)).



## 2. LE CYCLE GLOBAL DU CO<sub>2</sub>

Le CO<sub>2</sub> est le gaz qui contribue le plus à l'effet de serre. C'est donc son exemple que nous utiliserons pour illustrer nos connaissances actuelles des flux et compartiments du carbone et du CO<sub>2</sub> aux échelles globales.

Concernant les compartiments de stockage du C (estimé en giga-tonnes carbone GtC, ou milliards de tonnes C), les masses stockées sont, dans l'ordre décroissant suivant : roches, 65.500.000 ; océan, 40.000 ; combustibles

Figure 3.  
Variations depuis 1000 ans de la composition de l'atmosphère en CO<sub>2</sub> (les courbes pour CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O présentent le même comportement)

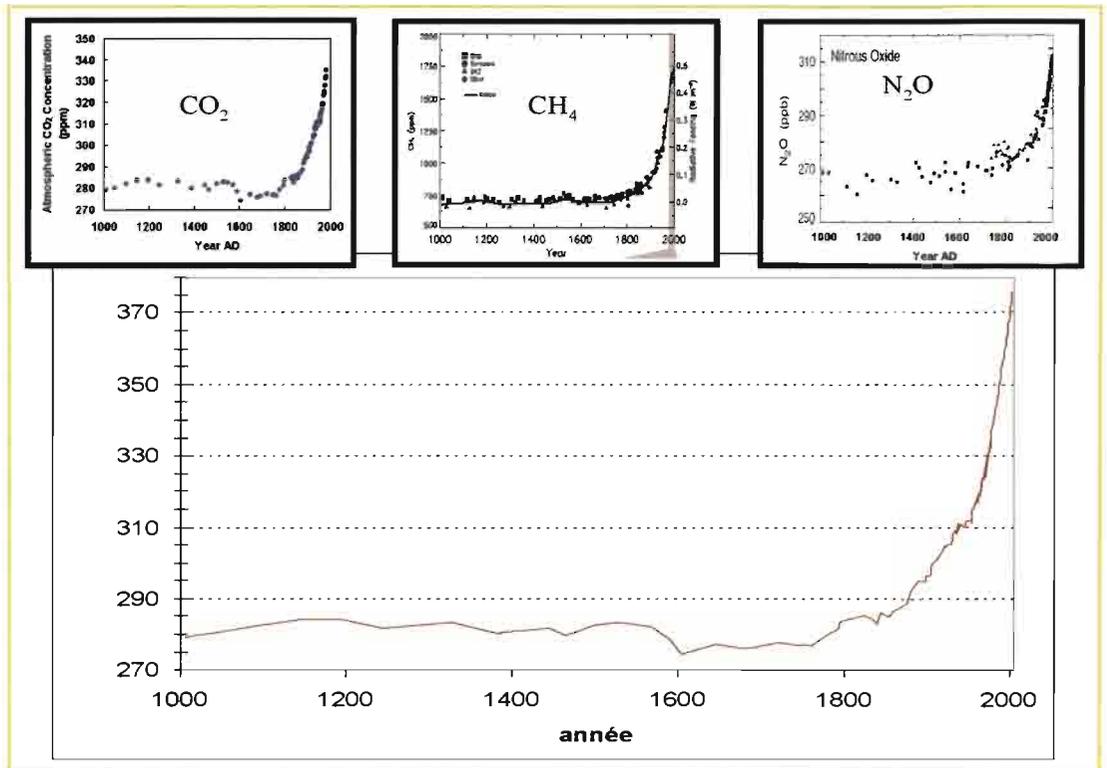
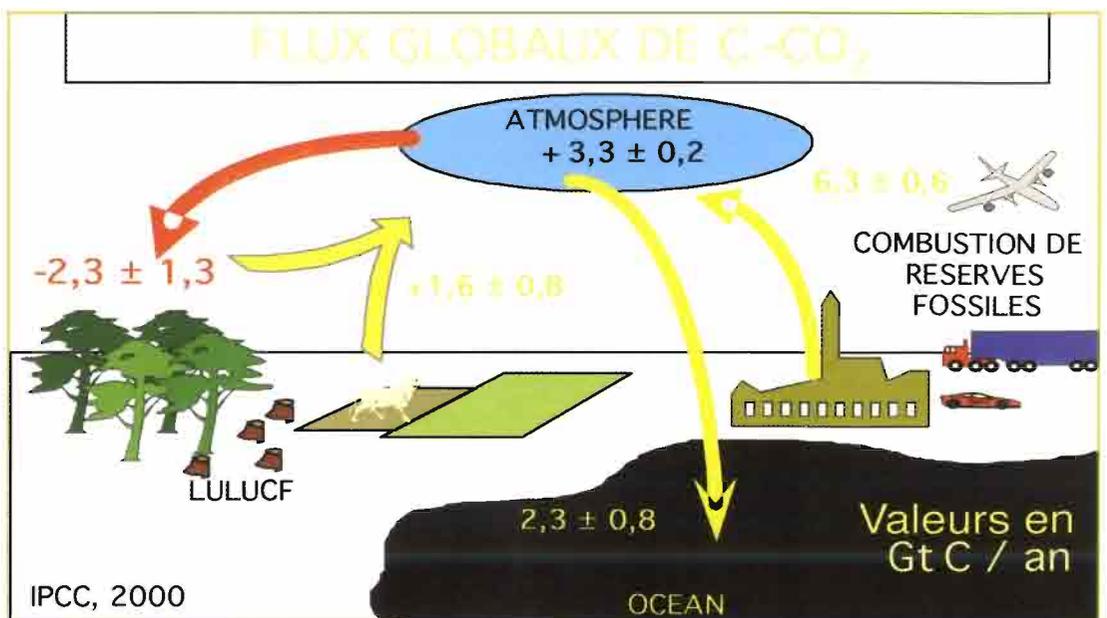


Figure 4.  
Flux annuels de C-CO<sub>2</sub> à l'échelle globale, exprimés en giga-tonnes de C (GtC)





fossiles, 10.000 ; sols 1500-2000 GtC sur 0-100 cm ou 700 sur 0-30 cm ; atmosphère, 730 et végétation, 470-655. Il faut donc noter que le seul compartiment sol est supérieur à ceux de l'atmosphère et de la végétation.

Concernant les flux annuels de C-CO<sub>2</sub>, l'utilisation des réserves fossiles conduit à émettre 6,3 GtC qui vont alimenter l'atmosphère. L'agriculture participe aussi à ces émissions avec 1,6 GtC-CO<sub>2</sub>. En revanche, les écosystèmes (sol-plante) continentaux absorbent, via la photosynthèse, environ 2,3 GtC du C-CO<sub>2</sub>. L'atmosphère est également en équilibre avec l'océan qui réabsorbe 2,3 GtC du C-CO<sub>2</sub> total émis. Le bilan final est donc une augmentation annuelle de 3,3 GtC-CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (figure 4).

Lutter contre l'effet de serre, c'est à la fois diminuer les émissions de GES vers l'atmosphère et augmenter leur fixation par les compartiments carbonés terrestres. Ce dernier processus est appelé "séquestration". En fait, on ne sait pas encore "gérer" la séquestration par l'océan, mais, par contre, on peut tenter de gérer celle des écosystèmes continentaux en mettant en place des modes de gestion des terres qui sont favorables à une séquestration des GES, et, en particulier du C-CO<sub>2</sub> dans la végétation et dans les sols. La séquestration du C dans la végétation sera effective dès lors que l'on met en place, sur le long terme (plusieurs dizaines d'années), de nouveaux systèmes qui impliquent l'arbre. Cela peut être la reforestation, les plantations sylvicoles ou l'agroforesterie. Cette séquestration dans la végétation est accompagnée aussi d'une séquestration du C dans les sols, car les restitutions organiques au sol sont alors augmentées par rapport aux situations antérieures à ces nouvelles pratiques. Par contre, tous les autres modes de gestion agricole des terres comme les cultures annuelles ou pérennes ou les pâturages ne permettent pas, sur le long terme, une séquestration de C dans la végétation. Mais, selon les techniques culturales ou pastorales appliquées, le compartiment sol peut fonctionner, soit comme un compartiment émetteur de GES, soit comme un compartiment séquestrant. Les 30 premiers centimètres des sols du monde contiennent X GtC. Il suffirait d'augmenter annuellement leur stock actuel de 0,5% pour que cette augmentation compense la totalité des émissions dues à la consommation des combustibles fossiles. Or selon le mode de gestion des sols, on sait que l'on peut facilement aug-

menter de 10 à 30% le stock de carbone des sols cultivés, sur des périodes de 10 à 30 ans. On réalise ainsi que, sur le moyen terme (0 à 30 ans), le sol représente un compartiment important de séquestration du C.

### 3. APPARITION ET SIGNIFICATION DES TERMES "SÉQUESTRATION DE C DANS LE SOL"

L'utilisation de la locution "séquestration du C dans le sol" est d'usage courant de nos jours et, très souvent, dans un sens strictement identique à celui de "stockage de C dans le sol". On peut donc s'interroger sur : (1) la date d'apparition de la locution "séquestration du C dans le sol", (2) de la signification que l'on doit lui attribuer : identique ou non à la notion générale de "stockage de C dans le sol" ?

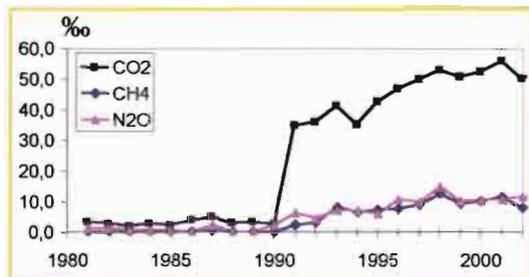
Une analyse bibliométrique de l'utilisation simultanée des trois termes : "sol (ou soil)", "carbone (ou carbon)" et "séquestration (ou sequestration)" a été faite sur ISI-Web of Science pour des références indexées de 1940 à 2003 concernant leur présence, soit dans le titre, soit dans le texte (tableau 1). La première apparition simultanée des trois termes date de 1991 pour le texte (Thornley et al.) et de 1992 pour le titre (Dewar & Cannell).

Années	Références
1991	1
1992	5 (1)
1993	14 (1)
1994	7
1995	22 (1)
1996	24
1997	36 (2)
1998	47 (3)
1999	38 (3)
2000	94 (8)
2001	104 (14)
2002	149 (15)
2003 (jusqu'au 17 juin)	69 (9)
<b>Total (1940-2003)</b>	<b>594 (56)</b>

La même interrogation a été faite pour les termes et formules "sol (ou soil)", "gaz (ou gas)" pour "CO<sub>2</sub> ou CH<sub>4</sub> ou N<sub>2</sub>O" afin de situer la notion de "séquestration du C" à celle de l'importance des études sur les flux de GES donc de problématique d'effet de serre et de "changement global". Les résultats rapportés à

*Tableau 1. Nombre de références indexées dans le ISI-Web of science (1940-2003) avec les trois termes "sol (ou soil)", "carbone (ou carbon)" et "séquestration (ou sequestration)" respectivement dans le texte et dans le titre (entre parenthèses).*

Figure 5.  
Nombre relatif  
de références indexées  
dans le ISI-Web  
of science (1940-2003)  
pour les trois gaz CO<sub>2</sub>,  
CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O avec la  
demande "sol ET gaz"  
en % du nombre de  
références obtenues  
avec la seule demande  
"Sol".



#### 4. DÉFINITION DE LA SÉQUESTRATION DU CARBONE DANS LES SOLS

La notion de "séquestration du C dans les sols" est donc bien totalement associée à celle de flux de GES à l'interface sol-plante-atmosphère et ; elle est utilisée à partir des années 1990. La question qui se pose maintenant est de savoir si la notion de "séquestration" est strictement similaire à celle de "stockage" ? Cet aspect est largement résumé ci-dessous.

A notre avis, la notion de "séquestration de C" n'est pas strictement équivalente à celle de "stockage de C", et ce, pour deux raisons majeures :

- la "séquestration" réfère seulement au stockage de C dans le sol provenant directement ou indirectement, pendant l'échelle de temps et la surface de sol considérées, du C du CO<sub>2</sub> atmosphérique (C-CO<sub>2</sub>). Cela signifie que des stockages de C provenant de la matière organique (MO) d'origines industrielles issues en partie des réserves fossiles comme des composts urbains ne peuvent être considérés dans la notion de séquestration. De même toutes les variations de C au niveau parcellaire liées aux cycles "érosion-sédimentation" comme le dépôt de C érodé puis déposé ne peuvent entrer simplement dans un bilan de C séquestré, car il ne s'agit que d'un transfert de C du sol d'un point à un autre et non à un flux de C entre l'atmosphère et le système sol-plante. Or, les transferts de C par érosion-sédimentation, à l'échelle parcellaire, sont du même ordre de grandeur que celles provenant d'un stockage de C-CO<sub>2</sub>, et donc, l'on peut ainsi sous- ou surestimer fortement les bilans de "C séquestré" si l'on ne prend pas en compte ces aspects ;

- la "séquestration" réfère aussi dans diverses définitions aux flux de GES. Et dans cette optique, la notion de "séquestration du C" devrait être élargie à celle de l'ensemble des flux de GES au niveau du système sol-plante et exprimée en équivalents C-CO<sub>2</sub>, prenant en compte le potentiel de réchauffement global de chaque GES (CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) en référence à celui du CO<sub>2</sub>.

Ceci nous a conduit à proposer une nouvelle définition de la "séquestration du C dans le sol" (ou le système sol-plante) et que nous donnons ci-dessous :

La "séquestration du carbone dans le sol" ou encore "séquestration du carbone dans le système sol-plante" pour un agroécosystème donné, en comparaison avec un agroécosystème de référence, et pour une période et une surface données, doit être considérée comme le résultat du bilan net, exprimé en équivalents (eq.) C-CO<sub>2</sub> ou eqCO<sub>2</sub>, de tous les flux de GES, à l'interface sol-plante-atmosphère du site de mesure.

L'acceptation de cette définition pour la "séquestration du C dans les sols", due à un changement d'usage des terres ou une modification des itinéraires techniques, implique donc les mesures suivantes pour l'estimation de bilans de "C séquestré", pour un espace et une durée donnés :

- variations du stock total de C des sols et, si possible, la part correspondant au C déposé ou érodé et du C soluble (ruisselé et lixivié), afin d'en déduire la part du C séquestré (correspondant strictement à la fixation de C-CO<sub>2</sub>) ;
- variations des flux des autres GES, en particulier CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O.

Cette définition implique aussi que lorsque nous parlons de variations de stocks de C dans le sol sans faire référence exclusivement à la part qui concerne les seuls flux de C-CO<sub>2</sub> (via la plante), il vaut mieux utiliser le terme de "stockage de C dans le sol" que le terme de "séquestration de C dans le sol".

Enfin, nous attirons l'attention sur les problèmes et artefacts liés au mode de détermination du stockage du C dans le sol (approche "synchronique" vs "diachronique") que nous ne reprendrons pas ici, mais qui sont essentiels pour une évaluation correcte du C séquestré dans le sol.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Buenos Aires Decisions (1998), Report of the Conference of the Parties on fourth session, held at Buenos Aires from 2 to 14 november 1998.

UNFCCC/CP/1998/16/Add.1.  
<http://www.unfccc.org/>

Kyoto Protocol (1997), Kyoto Protocol to the United Nations Framework, Convention on Climate Change. Kyoto, 11/12/1997.

<http://www.unfccc.org/>

#### CONTACT

Christian Feller

e-mail :

[christian.feller@mpl.ird.fr](mailto:christian.feller@mpl.ird.fr)

n°4 Décembre 2004

*Les Cahiers du*

**PRAM**

Pôle de Recherche Agronomique  
de la Martinique

# LES STOCKS DE CARBONE DANS LES SOLS DES ANTILLES

## Importance agronomique et environnementale

B\* 36821

Fonds Documentaire IRD



010036821