

■ REPÈRES

# Forêts tropicales et cycle du carbone

Bruno Locatelli



CIRAD

## L'AUTEUR

Bruno Locatelli a effectué son stage de fin d'études de l'École polytechnique au CIRAD, dans l'unité de recherche en gestion des ressources renouvelables, environnement (Green), sur le thème du stockage et de la libération du carbone par les milieux naturels. Après avoir suivi la formation de l'École nationale du génie rural, des eaux et des forêts, il prépare actuellement une thèse.

## LE CIRAD

Le CIRAD, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales.

Il réalise, dans une cinquantaine de pays, des opérations de recherche, de développement agricole et de formation.

*Illustration de couverture réalisée par Séverine Assous*



■ REPÈRES

# Forêts tropicales et cycle du carbone

Bruno Locatelli

© CIRAD 1996  
ISSN 1251-7224  
ISBN 2-87614-225-2

# Sommaire

---

- 5 Préface
- 9 Abstract
- 11 L'intervention humaine dans le cycle du carbone
  - Les modifications climatiques
  - L'effet de serre
  - Climat et effet de serre
  - Le dioxyde de carbone
  - La biosphère
- 15 Les flux de carbone
  - Le cycle biogéochimique du carbone
  - Les échanges entre l'atmosphère et la biosphère
  - Les activités humaines et les flux entre atmosphère et biosphère
  - Les principes des calculs de flux
- 19 Le stockage du carbone dans la phytomasse
  - Estimation de la biomasse par échantillonnages destructifs
  - Estimation de la biomasse par volumes de bois commerciaux
  - Synthèse des méthodes d'estimation

- 49    **Le stockage du carbone dans les sols**  
La composition des sols  
Les déterminants de la teneur en carbone  
Estimation par type de sol : les travaux de Buringh (1984)  
Estimation par type de végétation : les travaux de Schlesinger (1984)  
Estimation par zone bioclimatique : les travaux de Post *et al.* (1982)  
Bilan des estimations
- 61    **Les flux de carbone entre la biosphère  
et l'atmosphère**  
Les perturbations du cycle du carbone  
Les transferts de la biosphère vers l'atmosphère  
Les transferts de l'atmosphère vers la biosphère  
Bilan des estimations
- 69    **Synthèse et perspectives**  
La biosphère et le carbone : des incertitudes  
Modèles et précision  
Les changements climatiques : d'autres incertitudes
- 73    **Références bibliographiques**
- 79    **Annexes**  
Estimations des taux de déforestation  
Le système de Holdridge  
La classification américaine du Soil Survey Staff  
Bibliographie

## Préface

*Le diagnostic de disparition irréversible des forêts tropicales humides pèse lourd, potentiellement, sur le choix à moyen terme des priorités de recherche en environnement et en développement. Il est donc important de partir sur des bases solides, non sur des affirmations médiatiques.*

*Une forêt stocke du carbone dans les plantes et dans le sol en prélevant du carbone atmosphérique ; elle respire et libère de l'oxygène le jour, du gaz carbonique la nuit ; la décomposition des arbres et des feuilles, ainsi que les feux, restituent du carbone dans l'atmosphère. Une forêt est donc un puits de stockage en même temps qu'une source de carbone atmosphérique.*

*L'ouvrage de Bruno Locatelli aborde les questions suivantes : comment se construisent les diagnostics relatifs au stockage et au déstockage du carbone par les écosystèmes forestiers tropicaux ; quelles sont les marges d'incertitude des résultats admis à l'échelle internationale ; quelle est la dispersion des résultats.*

*Dès 1858, J. Spotswood Wilson, dans une communication présentée à l'Association britannique pour l'avancement de la science, soutenait l'hypothèse d'un probable réchauffement de la planète, conséquence des progrès de l'industrie, et mettait en cause le rôle de la déforestation dans l'accumulation de gaz carbonique atmosphérique<sup>1</sup>. L'évolution des forêts tropicales sous l'effet des activités humaines et l'influence de cette évolution sur les modifications de l'atmosphère terrestre sont donc des sujets anciens de préoccupation.*

*Il s'agit toujours, actuellement, d'un sujet de controverses, dans les médias comme dans le monde scientifique. On se souvient d'avoir lu que « l'Amazonie est le poumon de la planète », maintes gazettes nous expliquant que la disparition de la forêt amazonienne vouerait la planète à l'asphyxie... Les organisations internationales et les centres internationaux de recherche prirent en compte les risques découlant d'une possible déforestation massive. Il s'ensuivit l'élaboration de décisions internationales et de programmes internationaux destinés à lutter contre la déforestation, donc contre l'élevage et la culture sur brûlis. Déjà, dans les organisations internationales, celle-ci était baptisée d'une expression péjorative, slash and burn, cette expression remplaçant les multiples désignations possibles de la culture sur brûlis : écobuage, essartage, etc. Les centres internationaux de recherche agricole lancèrent un programme « Alternatives to slash and burn ». Le Fonds pour l'environnement mondial et la Banque mondiale mirent au point la méthode du « coût incrémental » comme base de calcul de la contribution internationale à la préservation du carbone sur pied. Lorsqu'un pays effectuerait des investissements énergétiques, la différence*

---

1. Cette communication était intitulée « The general and gradual desiccation of the Earth and atmosphere ». (R. Grove, 1990. *The origins of environmentalism*, Nature, 345 : 11-14.)

*(l'incrément) entre l'investissement le plus rentable et celui qui préserverait le plus de carbone serait prise en charge par la communauté internationale.*

*La déforestation, à l'échelle de la planète, est bien réelle : elle serait responsable d'environ un tiers de l'accroissement du taux de carbone atmosphérique. En 1980, les émissions de carbone par déforestation représentaient entre un dixième et la moitié de la quantité émise par combustion de carbone fossile (pétrole, charbon), soit entre 0,4 et 2,5 milliards de tonnes. Les recherches entreprises par le CNRS montrent, par ailleurs, que « la forêt, en particulier la forêt intertropicale, est naturellement en extension, et cela partout dans le monde. La déforestation est donc totalement à mettre au compte de l'activité humaine<sup>1</sup>. »*

*Ce constat induit des prospectives qui doivent, elles, faire l'objet de discussions. Les tendances actuelles sont-elles appelées à s'aggraver de façon linéairement liée à la croissance démographique, ou, au contraire, à l'image de l'Europe, l'accroissement de la productivité et des revenus conduira-t-il à une inversion de ces tendances ?*

*La notion de « forêt » relève de définitions encore perfectibles dans le monde des forestiers et des naturalistes. Mais la définition d'une forêt à partir de ses arbres, de la couverture du sol ou de la biodiversité, aussi précise soit-elle, restera insatisfaisante tant qu'elle ne s'appuiera pas sur le type de relations existant entre les hommes et les forêts. Les relations entre populations et forêts sont régies par des institutions et des systèmes juridiques et économiques ; elles ne sont jamais directes ni mécaniques, mais d'abord des relations entre les hommes à propos de la forêt. Le système de prix, la demande urbaine, la nature des droits d'accès et d'usage, autant de variables explicatives de l'apparent paradoxe selon lequel, à densité de population égale, deux forêts « naturelles » seront très différemment exploitées. De même, les effets de l'exploitation forestière dépendent autant des modalités d'attribution et de transfert des concessions, des restrictions à l'exportation de grumes, donc du marché, que de la connaissance de la forêt et de l'évolution technologique. Les choix individuels et collectifs ne sont jamais totalement dépendants de l'écosystème : les relations entre les hommes préexistent aux relations des hommes à la nature et aux choses.*

*Les forêts tropicales sont des écosystèmes impliquant des analyses sur le très long terme. Les scientifiques s'y consacrent, et nous montrent que le regard porté sur la dynamique forestière change en fonction de l'échelle temporelle d'observation. On trouve du charbon de savane sous des forêts primaires et des charbons de forêts primaires dans des sols de savane. Le rythme très lent d'évolution des forêts interfère sans cesse avec celui des activités humaines et*

---

1. CNRS, Centre national de la recherche scientifique, 1995. Programme « Environnement, vie et sociétés ». Rapport d'activité 1993-1994. Lettres des programmes interdisciplinaires du CNRS, 14, p. 6.



*des organisations sociales, au moins aussi complexes. Or, face à des dynamiques de très long terme, nous ne disposons que de systèmes et d'instruments de gestion de court et moyen terme. C'est ce qui justifie, au premier titre, de fonder les décisions sur un principe de précaution, dont la traduction pratique revient à prendre des décisions qui puissent avoir des effets bénéfiques même si les risques que l'on craint se révèlent ensuite être non fondés : c'est ce que les économistes appellent des « stratégies sans regret ». Il n'est pas sûr que la recherche de telles stratégies ait toujours primé sur les préconceptions à propos des relations entre populations et forêts dans la mise en œuvre des grands programmes internationaux.*

*Cet ouvrage est le premier d'une série méthodologique à l'intention des chercheurs, des étudiants, des experts. Sur des sujets donnant lieu à controverses, les objectifs sont d'une part de faire le point de la littérature existante, d'autre part de présenter une vue d'ensemble des méthodes, des résultats et des incertitudes.*

*Réalisée à l'occasion d'un stage de fin d'études de l'Ecole polytechnique, cette étude a été primée par le jury d'option de cette école. Elle a constitué une étape importante dans l'élaboration d'une action thématique sur les dynamiques forestières et la déforestation ; elle a amorcé une réflexion sur les indicateurs d'évaluation et de suivi des interactions entre populations et forêts, reprise par le programme « Environnement, vie et sociétés » du CNRS, et élargie aux interactions entre sociétés et environnement.*

Jacques Weber  
Directeur de Green  
CIRAD-GERDAT



## Abstract

Seven billion tonnes of carbon dioxide are discharged into the atmosphere yearly as a result of human activities. The global carbon cycle is modified by such sharp increases in atmospheric carbon dioxide loads. Can this phenomenon lead to changes in natural balances, thus upsetting the climate, the human environment and life on earth or, in contrast, is a new balance established with respect to biosphere-atmosphere-biosphere fluxes?

Tropical forests serve as a sink for about half of all carbon contained in terrestrial biomass. The progressive deforestation that has been occurring over the last fifty years is responsible for about one third of the increase in atmospheric carbon dioxide. How do man-made environments affect biosphere-atmosphere exchanges?

These questions have prompted a great deal of research aimed at assessing carbon levels in the vegetation and soil and quantifying carbon transport between man-made environments and the atmosphere. The results of these complex studies, along with the different approaches and techniques involved, are presented here.



# L'intervention humaine dans le cycle du carbone

---

**L**e changement climatique de notre planète est actuellement l'un des thèmes environnementaux majeurs, et peut-être le plus controversé. En effet, même si un réchauffement de l'atmosphère depuis un siècle a été mesuré de façon certaine, il est difficile de répondre aux nombreuses interrogations que soulève cette observation. Les mécanismes naturels de régulation du climat ne sont pas suffisamment connus pour expliquer le processus de l'augmentation des températures, ni pour comprendre l'influence des activités humaines dans ce processus ; à fortiori, les scénarios d'évolution du climat pour les siècles à venir sont très incertains. Dans la mesure où les activités humaines influencent le climat, l'éventualité d'un réchauffement global nécessiterait, selon le principe de précaution, de limiter les actions négatives des hommes sur le climat, en particulier l'émission dans l'atmosphère de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone. De nombreuses études tentent donc de parvenir à une meilleure connaissance de l'effet de serre, du cycle global du carbone et de l'intervention humaine dans ce cycle.

## Les modifications climatiques

Si l'existence d'effets locaux des activités humaines sur le climat est évidente, comme on le peut le constater en milieu urbain, où les températures sont plus élevées que dans les campagnes environnantes, les effets globaux appa-

raissent plus complexes. A l'échelle planétaire, l'influence directe de l'homme sur le climat est limitée, dans la mesure où l'énergie libérée par les activités humaines est négligeable face à l'énergie que la Terre reçoit du Soleil. Cependant, les hommes peuvent modifier le climat de façon indirecte en changeant soit les propriétés de la surface terrestre, soit la composition chimique de l'atmosphère (SADOURNY, 1992).

Une modification de la couverture terrestre entraîne un changement d'albédo et, par conséquent, de climat. Ainsi, une forêt dense a un albédo de l'ordre de 0,12, c'est-à-dire qu'elle absorbe la quasi-totalité de l'énergie solaire reçue, soit 88 % de cette énergie, et qu'elle en renvoie 12 % vers l'espace (SADOURNY, 1992). Les régions fortement boisées absorbent beaucoup plus de chaleur que les régions à végétation basse ou herbacée et en perdent moins par rayonnement. Une réduction planétaire de la couverture forestière aurait donc tendance à refroidir la Terre par modification des albédos locaux. Cependant, la variation de la valeur moyenne de l'albédo de la surface terrestre due à la déforestation n'a pas dépassé 0,006 depuis le dernier millénaire (SADOURNY, 1992).

C'est par l'évolution de la composition chimique de l'atmosphère que les activités humaines auraient le plus d'influence sur le climat terrestre. On a constaté, depuis quelques décennies, une augmentation de la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre, ce qui contribue à un accroissement de l'effet de serre, donc à un réchauffement de l'atmosphère.

## L'effet de serre

L'effet de serre a été décrit pour la première fois avec précision par le suédois Arrhénius, il y a près d'un siècle. Sa définition scientifique moderne a alors été établie, sans la connotation catastrophique actuelle, bien au contraire (GRINEVALD, 1992).

Le rayonnement provenant du Soleil, de l'ordre de celui d'un corps noir à 6 000 K, atteint la Terre, dont la température est d'environ 300 K, et y entretient un équilibre radiatif. La quasi-totalité de l'énergie reçue dans l'ultraviolet, le visible et le proche infrarouge, de longueurs d'onde de 0,2 à 4 microns, est réémise vers l'espace sous la forme d'infrarouges dits thermiques, autour d'une longueur d'onde de 12 microns.

Mais, alors que l'atmosphère est assez largement transparente au rayonnement solaire direct, une partie importante du rayonnement infrarouge réémis par le sol est absorbée par certains constituants mineurs de l'atmosphère, en particulier par le dioxyde de carbone,  $\text{CO}_2$ , l'eau,  $\text{H}_2\text{O}$ , et le méthane,  $\text{CH}_4$ . Ce rayonnement ainsi piégé réchauffe la basse atmosphère ; c'est l'effet de serre.