



Eric BLANCHART <sup>1</sup>  
 Yves-Marie CABIDOCHÉ <sup>2</sup>  
 Jorge SIERRA <sup>2</sup>  
 Corinne VENKATAPEN <sup>3</sup>  
 Christian LANGLAIS <sup>4</sup>  
 Raphaël ACHARD <sup>4</sup>

1 IRD, Laboratoire  
 Matière Organique des  
 Sols Tropicaux,  
 BP 64501,  
 34394 Montpellier cedex 5

2 INRA, UR  
 Agropédologie de  
 la Zone Caraïbe,  
 Domaine Duclos,  
 97170 Petit-Bourg

3 PRAM / IRD-UAG,  
 Laboratoire de  
 Pédologie, BP 8006,  
 97259 Fort-de-France  
 cedex

4 PRAM / CIRAD,  
 BP 214  
 97285 Le Lamentin.

Fonds Documentaire IRD  
 Cote: B \* 36821 Ex:

## Stocks de carbone dans les sols pour différents agrosystèmes des Petites Antilles

### INTRODUCTION

L'agriculture des Antilles Françaises connaît depuis plusieurs années de profonds bouleversements liés à la nécessité de trouver des techniques présentant un impact environnemental relativement faible. En effet, les techniques de cultures conventionnelles présentent, dans de nombreux cas, des risques de pollution (pollution par le chlordécone, envasement des baies liés à l'érosion...) ou de dégradation peu ou difficilement réversibles. Pour de nombreux systèmes de culture, des alternatives de gestion ont été proposées par la recherche ; elles méritent d'être étudiées du point de vue du stockage du carbone.

### 1. CAS DES SYSTÈMES BANANIERS

#### 1.a ROTATIONS (MARTINIQUE)

À la Martinique, les systèmes bananiers sont généralement situés sur les sols brun-rouille à halloysite (côte Nord-Atlantique) (cf. carte des systèmes de culture). Depuis plusieurs années, le CIRAD teste de nouveaux systèmes de culture : bananeraies pérennes, bananeraies intensives (avec replantations fréquentes) et bananeraies en rotation avec la canne à sucre ou l'ananas. Les stocks de carbone ont été mesurés sous bananeraies pérennes et au bout de deux ans de rotation, avec canne à sucre ou ananas. Sur ces situations expérimentales, des parcelles d'érosion et des lysimètres ont été installés dans le but de suivre les pertes en carbone par érosion, ruissellement et drainage. Des bilans de carbone à la parcelle ont ainsi pu être calculés.

Les principales conclusions de cette étude sont que les stocks de C ne varient pas significativement entre les traitements (bien qu'une légère augmentation soit observée au bout de deux ans sous canne à sucre), excepté dans les parcelles "sol nu" où les stocks ont diminué de 2 à 4 Mg C ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>. Les pertes en C sont :

- relativement importantes et principalement sous une forme solide (carbone dans les agrégats de sol) dans les traitements "sol nu" (sans végétation) (baisse de 1,3 à 3,0 Mg C ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>),
- intermédiaires (surtout sous forme solide)

- sous ananas billonné (0,35 Mg C ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>),
- faibles (surtout sous forme dissoute – carbone soluble) sous canne à sucre (0,043 à 0,047 Mg C ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>), ananas à plat et paillé (0,045 Mg C ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>) et bananeraies (0,05 à 0,055 Mg C ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>).

Ces résultats soulignent l'importance du paillis pour réduire l'érosion. Le calcul des bilans de carbone a permis de déduire les pertes en C par minéralisation. Ces pertes (> 5 Mg C ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>) étaient beaucoup plus importantes que celles dues à l'érosion et au drainage dans les systèmes cultivés. À l'inverse, sous sol nu, les pertes en C par minéralisation (2,40 Mg C ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>) étaient aussi importantes que les pertes par érosion + drainage.

#### 1.b SYSTÈMES BANANIERS D'ALTITUDE (GUADELOUPE)

En Guadeloupe, la diversité des systèmes de culture bananiers d'altitude a été exploitée pour qualifier leur rôle séquestrateur du carbone (Clermont-Dauphin *et al.*, 2004) : entre un pôle de bananeraie pérenne (exploitation des rejets des pieds mères de cycle en cycle), sans intrant, et un pôle de bananeraie intensive (replantation de plants in vitro tous les trois ans avec travail du sol, fertilisation N, P, K, Mg excèdent les besoins, chaulage fréquent au calcaire broyé et à la dolomie, utilisation massive de pesticides), tous les intermédiaires ont pu être repérés selon trois classes d'intensité de 0 à 2 pour chaque variable : travail du sol (T), application de fertilisants s.l., application de nématicides-insecticides. Ces systèmes de culture sont développés sur des andosols à allophanes ou sols bruns andiques (nitisols selon FAO) à halloysite prédominante et allophane minoritaire.

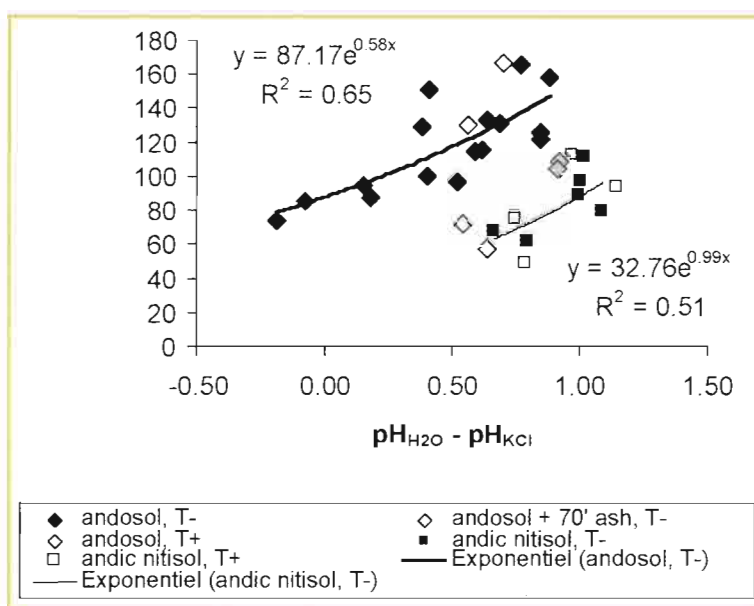
Le stockage du carbone des bananeraies pérennes sur andosol représente 70 à 180 Mg C ha<sup>-1</sup> sur 30 cm, soit des valeurs excèdent parfois largement les stocks de forêts primaires (70 à 90 Mg C ha<sup>-1</sup>). Sous les mêmes occupations, les sols bruns andiques comportent 60 à 110 Mg C ha<sup>-1</sup>. Pour chacun des sols, les valeurs minimales ont été enregistrées pour des sols travaillés tous les trois ans, respectivement 60



Figure 1.  
Etat des stocks de carbone entre 0 et 30 cm sous bananeraies d'altitude sur andosols à allophanes et sols bruns andiques, en fonction de l'état des charges variables

et 50 Mg C ha<sup>-1</sup>. Les cultures bananières pérennes, couvrantes et restituant une importante biomasse au sol, apparaissent comme favorisant la séquestration du carbone. Dans le détail, le niveau de stock apparaît conditionné par l'abondance de l'allophane,

geable : au voisinage du point de charge nulle, les fertilisations potassiques, même récentes, n'ont aucun effet significatif sur l'état du potassium échangeable (figure 2) ; elles ont au contraire un fort impact pour les sols bruns andiques, éloignés de leur point de charge nulle. D'où une hypothèse forte : les andosols, près de leur point isoélectrique, auraient une faible affinité pour le potassium, qui serait alors le premier facteur limitant de la productivité des bananeraies.



Les premiers résultats obtenus dans le cadre de la thèse de J. Sansoulet, tant en lysimétrie qu'en batch, confirment cette hypothèse : à cet état, les andosols sorbent beaucoup plus le nitrate que le potassium. Cette étude permettra d'affiner la stratégie de fertilisation s.l. des andosols, pour optimiser la productivité en mini-

mais aussi relié à l'état des charges variables, ici exprimé par la différence entre le pH<sub>H2O</sub> et le pH<sub>KCl</sub> (figure 1). L'état des charges est conditionné par le pH, et la teneur en carbone des sols (un modèle unique a été défini pour les andosols). Le pH est fortement dépendant de la teneur en calcium échangeable, et indépendant de celle en potassium.

Il apparaît, sur l'ensemble des andosols, une relation croissante entre l'état des charges variables et la teneur en potassium échan-

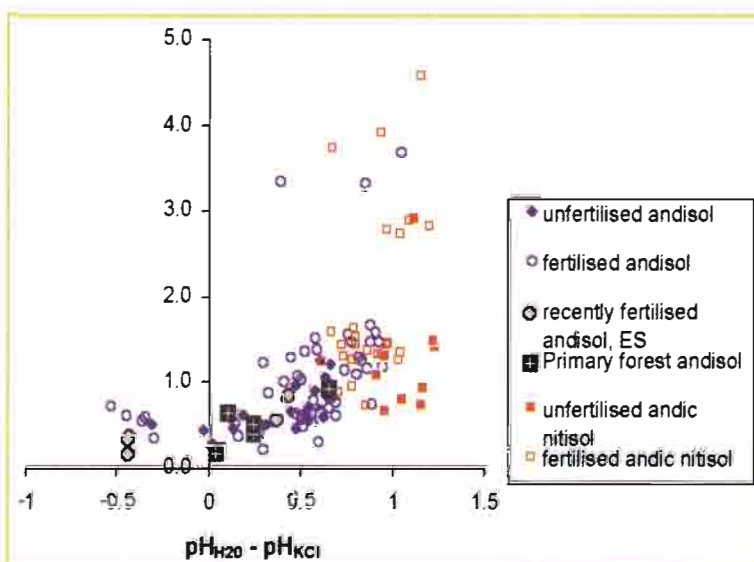
misant les pertes de solutés fertilisants et en maximisant la séquestration du carbone.

## 2. CAS DES SYSTÈMES AGROFORESTIERS

Dans son rapport de l'année 2000, l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) a estimé que l'agroforesterie, notamment sous les tropiques, pourrait apporter 40% de la séquestration de carbone (C) à l'échelle planétaire à l'horizon 2010, dont 8% dans les sols. Pourtant, l'information disponible actuellement montre que la disponibilité en azote peut limiter sévèrement la séquestration de C dans le sol (Koskela et al., 2000). L'objectif de ce travail était d'analyser la relation entre la séquestration de C et la teneur en azote dans un vertisol calcique de Guadeloupe sous culture agroforestière (légumineuse arbustive *Gliricidia sepium* et graminée *Dichanthium aristatum*), où

Figure 2.  
Relation entre stock de carbone (0-30 cm) et teneurs en éléments fins (0-20 μm) pour les différents modes d'occupation des terres.

Légende :  
MaFi/ViFi = Cultures maraîchères ou vivrières fortement intensifiées (plusieurs cultures par an),  
Mami/Vimi = Cultures maraîchères ou vivrières moyennement intensifiées,  
Mafi/Vifi = Cultures maraîchères ou vivrières peu intensifiées (1 culture/an).



La relation entre le stock de carbone et le pH est plus complexe que celle observée pour les andosols. Elle est influencée par le mode d'occupation des terres et le statut de fertilisation. Les sols fertilisés, en particulier les andisols, montrent une teneur en carbone plus élevée à pH donné. Les sols primaires forestiers ont également une teneur en carbone élevée, mais à des pH plus faibles.



la présence de la légumineuse a contribué significativement à l'augmentation du stock organique du sol (Dulormne *et al.*, 2003). Nous avons mené une expérimentation sur deux parcelles (P2 et P6, de 20 m x 13 m chacune) installées en 1989. Le système a été géré en "cut-and-carry" : les résidus de la taille de l'arbre (tous les deux ou six mois en P2 et P6, respectivement) et de la fauche de l'herbe (tous les 40 ou 80 jours en P2 et P6, respectivement) ont été enlevés de la parcelle. Avec ce type de gestion, la litière de l'arbre est négligeable, seules ses racines sont une source de C et d'azote (p.ex. exsudats, recyclage de racines et de nodosités après la taille) (Dulormne *et al.*, 2003). La méthode de l'abondance naturelle <sup>13</sup>C a été utilisée à la fois pour identifier l'origine de C du sol (légumineuse ou graminée), et pour quantifier la biomasse racinaire de chaque espèce.

Douze ans après l'installation des parcelles, la teneur en C du sol a augmenté de 26 tonnes/ha en P6 (18 tonnes de C proviennent de l'arbre et 8 tonnes de la graminée) et 14 tonnes/ha en P2 (16 tonnes de C proviennent de l'arbre et -2 tonnes des graminées). Concernant l'azote, l'augmentation a été de 2,5 et 1,7 tonnes/ha en P6 et P2, respectivement. En P2 les résultats indiquent une perte nette du C initial du sol (cf. -2 tonnes de C). L'augmentation du stock d'azote dans cette parcelle a pourtant réduit cette perte, en contribuant à la séquestration du C de la litière produite par la graminée. Les contributions respectives de l'arbre et de la graminée à la séquestration totale de C ont

reflété la quantité (plus grande pour l'arbre) et la qualité des apports (rapport carbone/azote plus faible pour l'arbre).

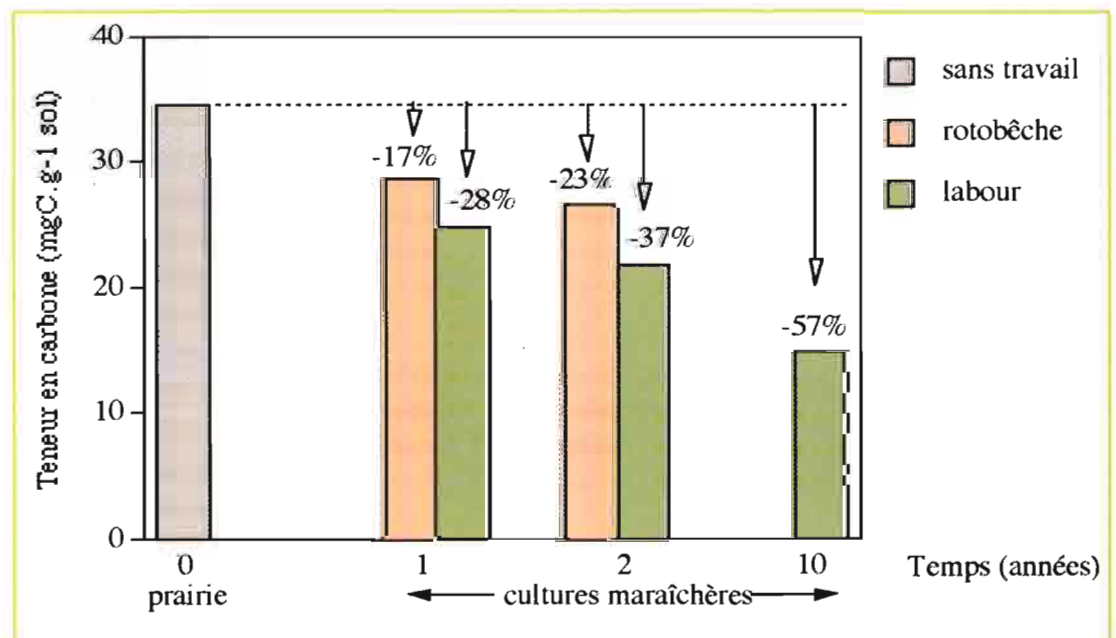
Les différences entre parcelles sont dues aux conséquences de leur gestion différente (fréquence de taille de l'arbre et de fauche de la graminée) sur les entrées et les sorties de C et d'azote : (1) les quantités de racines de l'arbre recyclées après taille (source de C et d'azote) et de litière de la graminée (source de C) sont plus grandes en P6 ; (2) l'exportation d'azote de la parcelle (taille + fauche) est plus grande en P2 (Dulormne *et al.*, 2003).

Nos résultats montrent que, en fonction de la gestion du système, une culture agroforestière peut entraîner la perte d'une partie du carbone du sol même si la séquestration totale reste positive, grâce à la contribution de la légumineuse arbustive. Par ailleurs, l'augmentation du stock d'azote observée dans le sol de nos parcelles (175 kg d'azote/ha an en moyenne), est environ 750 fois plus grande que les pertes d'azote par dénitrification citées par quelques auteurs dans des systèmes agroforestiers (ex. 0,23 kg d'azote/ha/an, Millar & Baggs, 2004). Le bilan de cet élément est donc largement positif dans ce type de système.

### 3. CAS DES SYSTÈMES MARAÎCHERS SUR VERTISOLS - TRAVAIL SUPERFICIEL DU SOL

Après de longues décennies de culture de canne à sucre, les vertisols du sud-est de la Martinique ont été, vers le début des années

Figure 3. Evolution des teneurs en carbone (0-10 cm) après mise en culture d'un vertisol sous prairie selon deux modes de préparation du sol (labour à 40 cm et rotobèche à 10 cm), après un et deux cycles de culture de melon. Comparaison avec une prairie âgée et une culture maraîchère de dix ans (Blanchart *et al.*, 1997).





## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CLERMONT-DAUPHIN C., CABIDOCHÉ Y.M., MEYNARD J.M. (2004), Effects of intensive monocropping of bananas on properties of volcanic soils in the uplands of the French West Indies, *Soil use and management* 20 (2) : 105-113.

DULORMNE M., SIERRA J., NYGREN P., CRUZ P. (2003), Nitrogen-fixation dynamics in a cut-and-carry silvopastoral system in the subhumid conditions of Guadeloupe, French Antilles. *Agroforestry Systems* 59, 121-129.

KOSKELA J., NYGREN P., BERNINGER F., LUUKKANEN O. (2000), Implications of the Kyoto Protocol for tropical forest management and land use : prospects and pitfalls. *University of Helsinki Tropical Forestry Reports* 22.

MILLAR N., BAGGS E.M. (2004), Chemical composition, or quality, of agroforestry residues influences  $N_2O$  emissions after their addition to soil. *Soil Biology & Biochemistry* 36, 935-943.

SAFFACHE P., THOMAS Y.F., VANKATAPEN C., DURANTY J. (2000), Etude de l'envasement de la baie du Marin (Martinique). Rapport commandé par le Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, 14 p. multigr. (+ 63 p. d'annexes).

**Figure 4.**  
*Flux de C ( $MgC.ha^{-1}$ ) en cinq ans (0-20 cm) sous prairie (antécédent culture maraîchère) dans un vertisol (modifié d'après Chevallier, 1999).*

### SITE WEB

<http://honeybee.helsinki.fi/tropic/kyoto.pdf>

### CONTACT

Eric BLANCHART  
e-mail : [eric.blanchart@mpl.ird.fr](mailto:eric.blanchart@mpl.ird.fr)

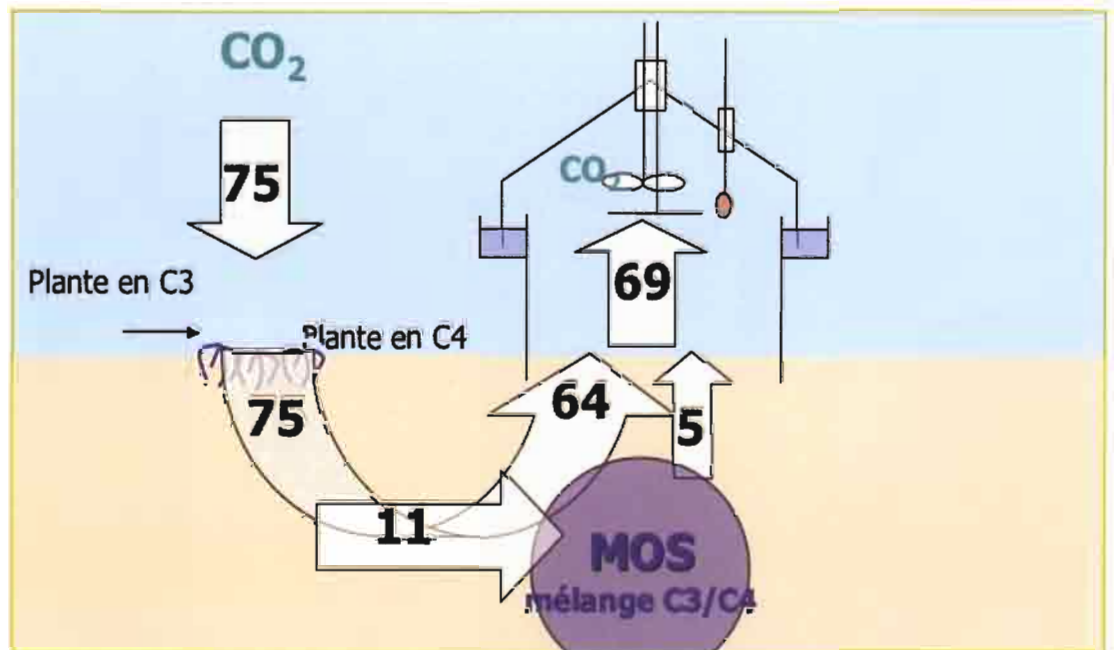
80 et suite au développement d'un périmètre irrigué, utilisés pour des cultures prairiales et maraîchères. Les sols sous canne à sucre présentaient en moyenne pour 0-10 cm des stocks de C de  $23 MgC.ha^{-1}$  ; après dix années, les prairies irriguées et fertilisées présentaient des stocks de  $36 MgC.ha^{-1}$  et les cultures maraîchères, des stocks de  $16 MgC.ha^{-1}$ . Les stocks de carbone sont donc particulièrement faibles dans les vertisols sous cultures maraîchères et sont responsables des importantes pertes en terre enregistrées, ceci expliquant en partie l'envasement de la baie du Marin.

La mise en culture maraîchère d'une prairie (dont le sol est riche en carbone) entraîne une dilution de la matière organique dans l'horizon labouré et un accroissement des pertes en C par minéralisation et érosion (thèse de J.F. Ndandou, 1998).

$MgC.ha^{-1}$  sous culture maraîchère avec labour, alors que la prairie âgée présente un stock de  $93,3 MgC.ha^{-1}$ .

## 4. INSTALLATION DE PRAIRIES SUR VERTISOLS

La dynamique et les déterminants du stockage de carbone dans un vertisol auparavant cultivé en maraîchage et transformé en prairie a été étudiée en détail dans le cadre de la thèse de T. Chevallier (1999). En cinq ans de prairie, l'entrée de C sous forme de racines et de litière a été estimée à  $75 MgC.ha^{-1}$  (figure 4). Sur ces  $75 MgC.ha^{-1}$ ,  $11 MgC.ha^{-1}$  ont été stockés dans le sol en cinq ans tandis que  $64 MgC.ha^{-1}$  ont été minéralisés. A celles-ci s'ajoutent  $5 MgC.ha^{-1}$  résultant de la minéralisation de MO ancienne (d'origine maraîchère). Lors de la transformation d'une culture



La diminution des teneurs en C de l'horizon 0-10 cm est importante, notamment lorsque la mise en culture maraîchère est faite de façon conventionnelle (labour à 40 cm, nombreuses reprises) : pertes de 28% en un an et pertes de 37% en deux ans (figure 3). En revanche, la mise en culture maraîchère selon une technique conservatrice du sol (travail superficiel à la machine à bêcher) réduit ces diminutions des teneurs en C (23% en deux ans). Au final, après deux ans de culture de melon, les stocks de C pour l'horizon 0-40 cm sont égaux à  $82,6 MgC.ha^{-1}$  sous culture maraîchère avec travail superficiel du sol et  $71,1$

maraîchère en prairie, le stockage sur 20 cm de profondeur est donc de  $6 MgC.ha^{-1}$  sur cinq ans (soit un stockage moyen de  $1,2 MgC.ha^{-1}.an^{-1}$ ).

Ces deux dernières études montrent d'une part que le travail superficiel du sol en cultures maraîchères préserve les stocks de C et d'autre part que les prairies irriguées et fertilisées représentent un moyen satisfaisant de stocker du C dans les vertisols. La mise en place de rotations cultures maraîchères / prairies constituerait donc un moyen performant de conserver les stocks de C et de limiter l'envasement des baies du sud de la Martinique fortement lié à l'érosion de ces sols.

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