

## Habitats microbiens des sols ferrugineux sableux en jachère (Sénégal)

Jean-Luc Chotte\*, Lucile Jocteur Monrozier\*\*

Le sol est un milieu original formé de constituants organiques et minéraux à divers degrés d'altération. Ces particules simples s'associent pour former des agrégats dont la stabilité dépend de la nature des liaisons. La taille, la forme et l'arrangement de ces particules (simples ou complexes) et des vides associés définissent la structure du sol (Brewer, 1976). Les effets des pratiques culturales sur l'abondance et la stabilité des agrégats ou la taille des vides associés ont fait l'objet de nombreux travaux (Tiessen & Stewart, 1983). Pour des sols ferrugineux sableux tropicaux d'Afrique de l'Ouest, Feller & Milleville (1977) montrent que la mise en culture de jachères naturelles se traduit par une diminution du taux d'agrégats stables et une augmentation de la teneur en éléments fins dispersés (argiles + limons fins). Dans une étude récente conduite au Sénégal, Chotte *et al.* (1997) soulignent que la porosité totale, calculée par analyse d'image, d'un sol en jachère depuis vingt ans est quatre fois supérieure à celle d'un sol cultivé pendant une durée équivalente.

Les microorganismes qui colonisent les sols ne se répartissent pas au hasard. Elliott & Coleman (1988) proposent un modèle de distribution fondé sur la taille des pores. Des travaux conduits dans des sols argileux ont mis en évidence les relations entre l'abondance, la taille des agrégats et la distribution des microorganismes (Kabir *et al.*, 1994).

Dans le cadre du programme Jachère, les travaux, conduits dans différentes situations de terrain ont montré que les effets bénéfiques sur les statuts organique et microbiologique de ces pratiques sont faibles et parfois nuls (Masse *et al.*, 1998; Ndour *et al.*, 2000). Pour préciser la nature des processus de reconstitution de la fertilité des sols lors de la phase de jachère, des études sur l'abondance et la répartition dans les différents agrégats du sol de certains groupes microbiens ont été entreprises (Schwartzmann, 1997; Chastrusse, 1998). Cet article résume les principaux résultats de ces travaux.

### Matériel et Méthodes

#### Les situations

Les situations étudiées font partie du dispositif expérimental mis en place dans le cadre du programme Jachère sur le site de Sonkorong (communauté rurale de Thyssé Kaymor, département de Niour du Rip) situé dans la partie méridionale du bassin arachidier sénégalais. Ce site est caractérisé par un régime pluviométrique unimodale centré sur le mois d'août, une pluviométrie annuelle de sept cent millimètres et une température annuelle moyenne de

\* Institut de recherche pour le développement (I.R.D., ex-Orstom), B.P. 1386, Dakar (Sénégal).

\*\* Centre national de la recherche scientifique (C.N.R.S.), U.M.R. 5557, 69622 Villeurbanne cedex (France).

28 °C. Le sol est un sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions, développé sur grès sablo-argileux (Maignien, 1965). Notre étude porte sur les situations suivantes :

- une parcelle cultivée et laissée en jachère naturelle après l'hivernage 1993 et mise en défens (JD);
- une parcelle cultivée et laissée en jachère après l'hivernage 1977 et mise en défens en 1988 (JD).

Deux séries de prélèvements ont été effectuées l'une en décembre 1996 et l'autre en mai 1997. Les parcelles décrites précédemment sont respectivement identifiées en jachère récente en défens (So.JrD) et jachère ancienne en défens (So.JaD). Les principales caractéristiques des sols de ces deux situations sont regroupées dans le tableau I.

**Tableau I.** Caractéristiques des sols

Situation	matière organique			pH KCl	Analyse mécanique (% du poids sol total)				CEC meq 100g-1 sol
	C (mg g-1 sol)	N	C/N		> 2000 µm	50-2000	2-50 µm	0-2 µm	
So.JrD	7,91	0,47	17	7,2	0	64,9	23,5	11,6	3,09
So.JaD	9,51	0,59	16	6,1	0	55,3	34,3	10,4	5,4

### Fractionnement granulométrique

Les habitats microbiens sont isolés par fractionnement granulométrique (Chotte *et al.*, 1994). Un échantillon de sol (0-10 cm) non perturbé est prélevé à l'aide d'un cube métallique (10 cm × 10 cm × 10 cm). Le sol est immergé dans de l'eau distillée (2 l à 4 °C) durant vingt-quatre heures en chambre froide. Il est ressuyé totalement avant fractionnement. Les racines et la fraction supérieure à deux mille µm sont récupérées sur un tamis après dissection manuelle du sol et rinçage à l'eau distillée. La fraction de cinquante à deux mille µm est obtenue par tamisage. Les fractions de deux à cinquante µm et de zéro à deux µm sont séparées par centrifugation (6 min à 90 g). Le culot (fraction 2-50 µm) est redispersé puis à nouveau centrifugé jusqu'à l'obtention d'un surnageant limpide (5 rinçages). La fraction de zéro à deux µm, contenue dans les surnageants, est floculée par centrifugation (10 min à 2 700 g) après addition de chlorure de calcium (CaCl<sub>2</sub>; concentration finale 0,05 M). La procédure requiert trois jours pour le traitement de trois répétitions. Les fractions débarrassées de l'eau libre sont conservées humide au froid (4 °C).

### Analyses microbiologiques

Une aliquote humide (sol total et fractions) est broyée au mixeur (2 min, puissance maximale) dans de l'eau stérile (équivalent 100 ml pour 10 g sol sec). La suspension subit ensuite une série de dilutions (de 10<sup>-1</sup> à 10<sup>-5</sup>).

#### *Isolement sur milieux sélectifs*

##### *Bactéries libres fixatrices d'azote*

Les bactéries libres fixatrices d'azote sont isolées sur milieux Nfb ne contenant pas de source azotée. Les comptages sont réalisés après cinq jours d'incubation à 28 °C. Trois répétitions sont effectuées par dilution.

### *Bactéries cellulolytiques*

Le dénombrement (CFU : *Colony Forming Unit*) des bactéries cellulolytiques est réalisé sur des échantillons de sol incubé sept jours à 28 °C. Les bactéries cellulolytiques sont isolées sur milieu sélectif de base Nfb (*Nitrogen free broth*) modifié (Day & Döbereiner, 1976) additionné d'un anti-fongique (cycloheximide : 100 mg.l<sup>-1</sup>) et contenant de la cellulose raffinée comme seule source de carbone (Thomas-Bauzon *et al.*, 1990 et 1995). Une aliquote de cent µl de chacune des dilutions est étalée sur boîtes de Pétri. Trois répétitions sont effectuées par dilution. Après une période de dix jours d'incubation à 28 °C, les colonies bactériennes formées sont comptées sous la loupe binoculaire (grossissement : × 120) en distinguant les colonies filamenteuses et non filamenteuses. Les différentes colonies sont ensuite repiquées sur milieu TSA pour conservation.

### *Activités métaboliques*

#### *Fixation libre potentielle d'azote*

La fixation libre potentielle d'azote est estimée par la mesure de l'activité réductrice de l'acétylène (ARA). Une aliquote (équivalent 3 g sol sec) de sol frais (total et fractions) est mis à incubé durant trois jours dans un vacutainer stérile (volume 10 ml). Un mélange d'air et d'acétylène est injecté dans le dispositif à une concentration finale de dix pour cent (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>). Un gaz standard (propane) est injecté après enrichissement du sol par un apport de substrat (milieu liquide Nfb) [Day & Döbereiner, 1976]. L'éthylène formé est dosé par chromatographie en phase gazeuse. Deux répétitions sont effectuées par échantillons.

#### *Cellulolyse*

L'activité cellulolytique des bactéries isolées sur milieu Nfb et repiquées sur milieu TSA est déterminée par observation de plage de lyse formée après repiquage sur milieu Nfb à cellulose raffinée et incubation à 28 °C durant deux semaines. Ces plages sont révélées par immersion dans une solution de rouge congo (2,5 p. cent, m :v) pendant vingt minutes et élimination du colorant en excès par rinçage à l'aide d'une solution saline (NaCl 5M) et ensuite d'eau distillée. Les plages colorées en jaune-orange sont observées à la loupe bino-culaire.

#### *Analyse statistique*

Le test non-paramétrique de Mann-Whitney est utilisé pour les tests statistiques (p inférieur à 0,05).

## **Résultats**

### **Distribution pondérale des fractions**

Les bilans pondéraux des fractionnements granulométriques varient de quatre-vingt-dix-sept à cent deux pour cent. Les fractions de cinquante à deux mille µm et les argiles dispersées (F 0-2 µm) sont plus abondantes dans la jachère récente que celles isolées dans la jachère ancienne (Figure 1). Elles représentent respectivement soixante-neuf et onze pour cent du poids du sol total dans jachère récente en défens et quarante-six et deux pour cent du poids du sol total dans la jachère ancienne en défens. En revanche, c'est dans la jachère ancienne que les poids des fractions supérieures à deux mille µm et de deux à cinquante µm sont les plus élevés. En particulier, la fraction supérieure à deux mille µm est près de quatre fois plus abondante dans la jachère ancienne en défens que dans la jachère récente en défens (respectivement 28 p. cent et 7 p. cent du poids du sol total).

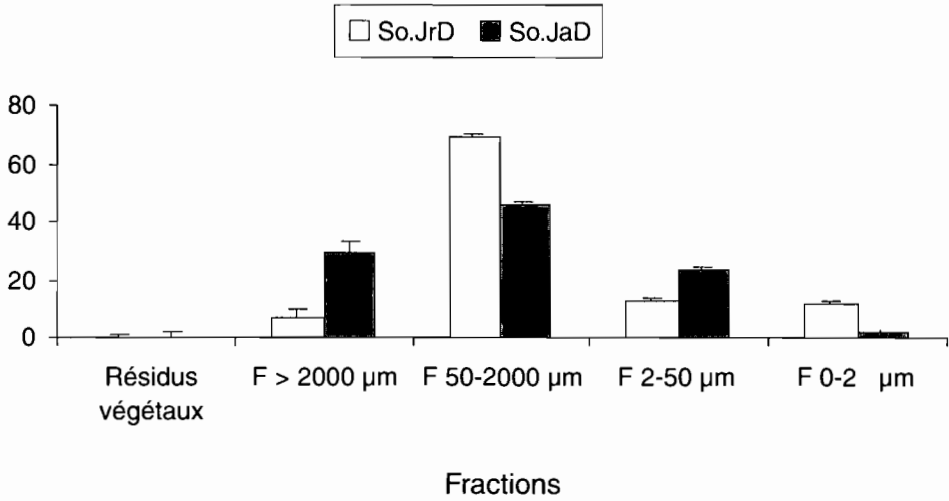


Figure 1. Distribution pondérale des fractions granulométriques.

### Distribution des microorganismes

#### *Bactéries libres fixatrices d'azote*

Le nombre total de bactéries libres fixatrices d'azote, calculées à partir de la somme des bactéries isolées dans chaque fraction est respectivement égal à  $9,1 \text{ CFU } 10^6 \text{ g}^{-1} \text{ sol}$  et  $40,1 \text{ CFU } 10^6 \text{ g}^{-1} \text{ sol}$  pour la jachère récente en défens et la jachère ancienne en défens. Cette différence n'est cependant pas significative. La comparaison des situations montre que, pour chaque fraction, le nombre de ces bactéries ( $\text{CFU g}^{-1} \text{ sol}$ ) est plus élevé pour les fractions isolées de la jachère ancienne en défens. Comme pour le sol total, ces différences ne sont pas significatives. La majeure partie de ces organismes est dispersée avec les argiles (F 0-2 µm) [Figure 2]. Elles représentent respectivement soixante et soixante-quinze pour cent des

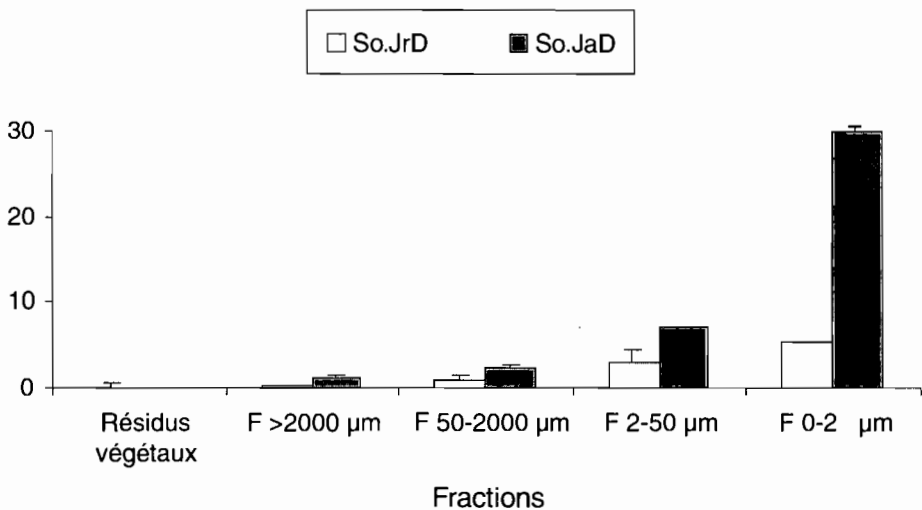
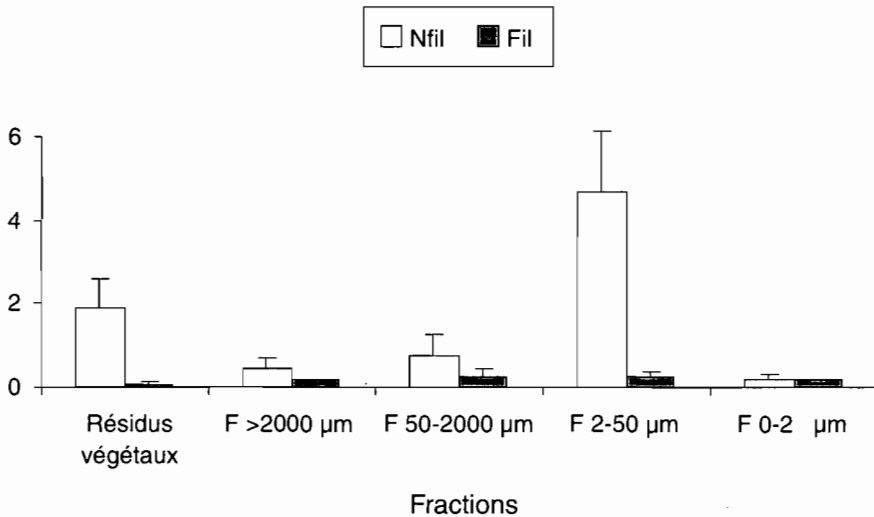


Figure 2. Distribution des bactéries libres fixatrices d'azote dans les différentes fractions granulométriques.

bactéries totales isolées du sol de la jachère récente en défens et de la jachère ancienne en défens.

### Bactéries cellulolytiques

Ces bactéries ont été étudiées uniquement dans le sol de la jachère ancienne. Le nombre total de bactéries cellulolytiques, calculé à partir de la somme des bactéries isolées dans chaque fraction, est de 8,8 CFU par gramme de sol. Près de quatre-vingt-dix pour cent de ces bactéries sont représentées par des bactéries non filamenteuses. Elles se répartissent préférentiellement dans la fraction de deux à cinquante  $\mu\text{m}$  et les résidus végétaux (Figure 3). En effet, ces fractions concentrent respectivement cinquante-huit et vingt-quatre pour cent de la totalité des bactéries non filamenteuses. Celles associées aux fractions de zéro à deux millimètres, supérieure à deux mille  $\mu\text{m}$  et de cinquante à deux mille  $\mu\text{m}$  représentent respectivement deux, six et neuf pour cent des bactéries non filamenteuses totales. À l'exception de la fraction argileuse, les bactéries filamenteuses présentes dans les autres fractions sont significativement moins abondantes que les non filamenteuses.



**Figure 3.** Distribution des bactéries cellulolytiques (non filamenteuses et filamenteuses) dans les différentes fractions granulométriques de la jachère ancienne (SO.JaD).

### Activités métaboliques

#### Fixation libre potentielle de l'azote

L'activité potentielle fixatrice libre d'azote représente respectivement 0,788 kilogramme d'azote par hectare et 5,802 kilogrammes d'azote par hectare dans le sol de la jachère récente et celui de la jachère ancienne (Tableau II). Pour la situation de la jachère récente en défens, soixante-dix pour cent de cette activité est due aux microorganismes associés à la fraction cinquante à deux mille  $\mu\text{m}$ . Pour la jachère ancienne, cette activité est principalement le fait de microorganismes localisés dans les fractions cinquante à deux mille  $\mu\text{m}$  et supérieure à deux mille  $\mu\text{m}$ . En effet, respectivement quarante-quatre et quarante pour cent de l'activité potentielle du sol total est mesurée dans ces fractions. Ces fractions ont par ailleurs un rôle important. Les microorganismes qui y résident sont responsables respectivement de quarante et quarante-cinq de l'augmentation de l'activité potentielle du sol total lors de l'allongement de la période de jachère (JrD - JaD).

**Tableau II.** Activité potentielle de fixation libre d'azote mesurée dans les différentes fractions granulométriques.

Fractions	So.JrD		So.JaD		[So.JaD-So.JrD] en % total
	kg N g <sup>-1</sup> sol	en % total	kg N g <sup>-1</sup> sol	en % total	
Résidus végétaux	0,001	0,1 %	0,215	3,7 %	4 %
F > 2000 µm	0,087	11,0 %	2,325	40,1 %	45 %
F 50-2000 µm	0,557	70,7 %	2,582	44,5 %	40 %
F 2-50 µm	0,130	16,5 %	0,614	10,6 %	10 %
F 0-2 µm	0,013	1,6 %	0,066	1,1 %	1 %
Total	0,788		5,802		

### Cellulolyse

Le pourcentage de colonies repiquées et formant une plage de lyse est plus élevé chez les bactéries filamenteuses (Tableau III). Toutes fractions confondues, ce pourcentage varie de douze à vingt-quatre pour cent. Pour les bactéries non filamenteuses, les valeurs sont inférieures à cinq pour cent. À l'exception des résidus végétaux, les plus fortes activités ont été notées dans les argiles dispersées.

**Tableau III.** Nombre de bactéries cellulolytiques (Nfil et Fil) ayant une activité cellulolytiques.

	Nfil		Fil	
	repiquées	activité +	repiquées	activité +
Résidus végétaux	233	3	1	1
F > 2000 µm	92	5	92	17
F 50-2000 µm	139	2	59	7
F 2-50 µm	39	0	27	5
F 0-2 µm	143	2	137	56

## Discussion

### Diversité des habitats microbiens des sols sous jachère

Les résultats de ces travaux montrent que le sol ne représente pas un milieu homogène pour les microorganismes qui y résident. Il est au contraire constitué d'une mosaïque d'habitats microbiens hétérogènes. En nous inspirant du modèle proposé par Beare *et al.* (1995), il nous est possible de différencier plusieurs habitats.

Les résidus végétaux sont présents dans la porosité inter-agrégat, lieu de leur décomposition. Cette fraction libre, constituée de fragments de résidus végétaux à divers stades de

décomposition, est pondéralement peu abondante. Elle représente cependant, avec les composés organiques exsudés par les racines, une des principales voies d'entrée de carbone dans les sols. Dans la jachère ancienne, cette fraction héberge près du tiers des bactéries cellulolytiques non filamenteuses. Elle représente pour les micro-organismes du sol de nouveaux sites à coloniser et à ce titre leur gestion permet d'augmenter la biomasse microbienne totale du sol (Chotte *et al.*, 1998). Cependant, les micro-organismes qui s'y développent sont rapidement la proie des micro-prédateurs du sol (protozoaires, nématodes libres). Ils sont donc considérés comme des sites favorables, pour le développement des micro-organismes, mais non protecteurs vis-à-vis des processus de prédation (Chotte *et al.*, 1998).

Les habitats supérieurs à deux mille  $\mu\text{m}$  : les sols étudiés ne comportent pas de particules minérales de cette taille. Cette fraction est donc constituée d'agrégats. Leur abondance varie avec l'âge de la jachère : ils sont les plus abondants dans la jachère âgée. Les micro-organismes associés à ces agrégats sont rares (2 p. cent à 18 p. cent des micro-organismes). Cependant, dans la jachère âgée, l'activité potentielle de fixation d'azote par les bactéries diazotrophes présentes dans ces habitats représente près de quarante pour cent du potentiel total du sol.

Les habitats cinquante à deux mille  $\mu\text{m}$  : ils sont constitués d'agrégats, le poids de cette fraction étant supérieur à celui des particules minérales (Tableau II). Les micro-organismes qui y résident sont proportionnellement plus abondants que ceux présents dans les habitats supérieurs à deux mille  $\mu\text{m}$  (de 6 p. cent à 30 p. cent des micro-organismes). Dans la jachère récente, plus des deux tiers du potentiel de fixation d'azote du sol sont dus aux bactéries libres de cette fraction.

Les habitats de deux à cinquante  $\mu\text{m}$  : il est difficile de conclure quant à la nature de cette fraction. Elle a la particularité de concentrer plus de la moitié des bactéries cellulolytiques du sol. Deux hypothèses peuvent expliquer ce résultat : la présence de fibres de cellulose finement divisées ou une activité microbienne non strictement cellulolytique.

Les pores inter-agrégats : les résultats obtenus précédemment indiquent que cet habitat correspond aux argiles dispersées de la surface des agrégats lors du fractionnement granulométrique (Kabir *et al.*, 1994). Cette fraction est riche en bactéries libres fixatrices d'azote (respectivement 51 p. cent et 73 p. cent des bactéries dénombrées dans la jachère récente et la jachère ancienne). À l'opposé, la surface externe des agrégats ne représente pas un habitat pour les bactéries cellulolytiques. En effet, à peine deux pour cent des bactéries cellulolytiques non filamenteuses et vingt pour cent des filamenteuses sont dénombrées dans cette fraction.

### **Effet du raccourcissement de la période de jachère**

Le raccourcissement de la période de jachère a pour conséquence une diminution de l'abondance des agrégats supérieurs à deux mille  $\mu\text{m}$  et une augmentation de la quantité d'argiles dispersées. Cette modification de la structure des sols se traduit aussi par une baisse de la porosité totale des sols (Chotte *et al.*, 1998). En ce qui concerne le fonctionnement microbiologique du sol, le nombre total des bactéries libres fixatrices d'azote semble peu affecté par la réduction du temps de jachère. Néanmoins, l'apport d'azote via la fixation libre est fortement réduit lors du raccourcissement des temps de jachère. Cette réduction est par ailleurs associée à l'absence d'agrégats supérieurs à deux mille  $\mu\text{m}$  dans les jachères récentes.

Ces travaux montrent que, contrairement aux stocks organiques, le fonctionnement microbiologique des sols ferrugineux sableux est très sensible aux pratiques agricoles. Il est donc essentiel que les usages qui visent à raccourcir les temps de jachère puissent, par leurs actions sur les propriétés des sols (agrégation), favoriser l'expression de leur potentiel biologique.

## Références

- Beare M.H., Coleman D.C., Crossley D.A., Hendrix P.F., Odum E.P. (1995). « A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling », *Plant and Soil*, n° 170 : pp. 5-22.
- Brewer R. (1976). *Fabric and Mineral Analysis*, New York, R. E. Krieger, 482 p.
- Chastrusse C. (1998). *Impact de la dessiccation sur les populations de bactéries cellulolytiques. Cas de sols ferrugineux tropicaux sous jachère dans la zone semi-aride du Sénégal*, D.E.A. univers. Lyon-I, 54 p.
- Chotte J.-L., Masse D, Pontanier R., Bellier R. (1997). « Transformation, durant la jachère, de l'horizon superficiel (0-10 cm) d'un sol ferrugineux du bassin arachidier sénégalais (Thyssé Kaymor) », in Floret & Pontanier (éd., 1997) : pp. 41-45.
- Chotte J.-L., Vilemin G., Guilloiré P., Jocteur Monrozier L. (1994). « Morphological aspects of micro-organism habitats in a vertisol », in Ringose-Voase & Humphreys (éd., 1994) : pp. 395-403.
- Chotte J.-L., Ladd J.N., Amato M. (1998). « Sites of microbial assimilation and turnover of <sup>14</sup>C soluble and particulate substrates decomposing in a clay soil », *Soil Biology and Biochemistry*, vol. XXX, n° 2 : pp. 205-218.
- Day J.M., Dobereiner J. (1976). « Physiological aspects of N<sub>2</sub>-fixation by a *Spirillum* from Digitaria roots », *Soil Biology and Biochemistry*, n° 8 : pp. 45-50.
- Elliott E.T., Coleman D.C. (1988). « Let the soil work for us », *Ecol. Bill.*, n° 39 : pp. 23-32.
- Feller C., Milleville P. (1977). « Évolution des sols de défriche récente dans les Terres Neuves (Sénégal Oriental). I. Présentation de l'étude et évolution des principales caractéristiques morphologiques et physico-chimiques », *Cah. Orstom, Sér. Biologie*, n° 12 : pp. 199-211.
- Floret Ch., Pontanier R. (éd.). (1997). *Actes de l'Atelier Jachère et maintien de la fertilité*, Bamako, 2-4 oct. 1997, Floret & Pontanier, I.E.R. (Mali)-Orstom, Dakar, 146 p.
- Kabir M.D.M., Chotte J.-L., Rahaman M., Bally R., Jocteur Monrozier L. (1994). « Distribution of soil fractions and location of soil bacteria in a vertisol under cultivation and perennial grass », *Plant and Soil*, n° 163 : pp. 243-255.
- Maignien R. (1965). *Notice explicative ; carte pédologique du Sénégal en 1/1 000 000*, Dakar, Orstom, 63 p. + 1 carte.
- Masse D., Cadet P., Chotte J.-L., Diatta M., Floret Chr., N'diaye-Faye N., Pate E., Pontanier R., Thioulouse J., Villenave C. (1998). « L'exploitation des jachères naturelles : un facteur compromettant son influence sur la restauration de la fertilité du milieu semi-aride au Sénégal », *Agriculture et Développement*, n° 18 : pp. 31-38.
- Ndour Y., Fardoux J., Chotte J.-L. (2000). « Statut organique et microbiologique de sols ferrugineux tropicaux en jachère naturelle : Cas du Sénégal », in Floret & Pontanier (éd., 2000) : vol. I, pp. 399-406.
- Ringose-Voase A.J., Humphreys G.S. (éd.). (1994). *Soil Micromorphology : Studies in Management and Genesis*, Amsterdam, Elsevier.
- Schwartzman A. (1997). *Diversité des microorganismes sous jachère d'âges variables dans les sols ferrugineux tropicaux de la zone semi-aride du Sénégal*, D.E.A., univers. Claude-Bernard Lyon-I, 50 p.
- Thomas-Bauzon D., Kiffer E., Janin G., Toutain F. (1995). « Méthodologie de recherche de bactéries cellulolytiques diazotrophes appliquée aux meules de *Sphaerotermes sphaerotherax* », *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie, Ecologie.*, n° 318 : pp. 699-707.
- Thomas-Bauzon D., Kiffer E., Pizelles G., Petitdemange E. (1990). *Fixation d'azote et cellulolyse : activités nitrifiantes et/ou cellulose d'organismes fixateurs d'azote et/ou cellulolytiques*, Nancy, Presses universitaires, 158 p.
- Tiessen H., Stewart J.W.B. (1983). « Particle size fractions and their uses in studies of soil organic matter. II. Cultivation effects on organic matter composition », *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n° 47 : pp. 509-514.



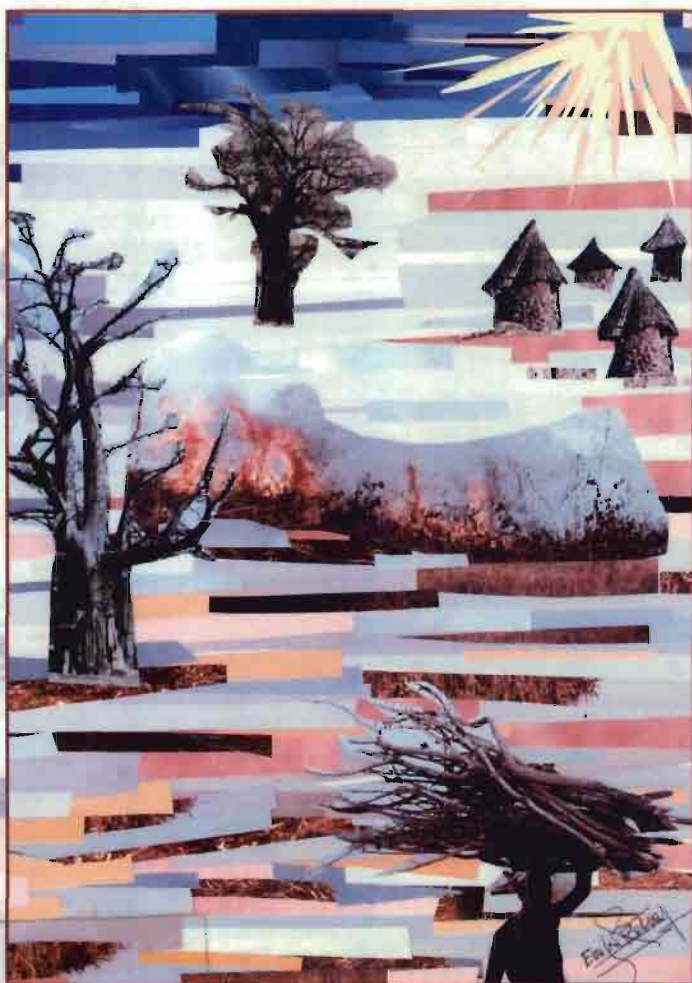
# La jachère en Afrique tropicale

*Rôles, Aménagement, Alternatives*

*Ch. Floret et R. Pontanier*

Volume 1

Actes du Séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999



**La jachère en Afrique tropicale.  
Rôles, aménagement, alternatives**

*Fallows in tropical Africa.  
Roles, Management, Alternatives*

Volume I

Actes du Séminaire international

Dakar, 13-16 avril 1999

*Proceedings of the International Seminary*

*Dakar, Avril 13-16, 1999*

Édité par

Ch. Floret et R. Pontanier



ISBN : 2-7099-1442-5

ISBN : 2-7420-0301-0

**Éditions John Libbey Eurotext**

127, avenue de la République, 92120 Montrouge, France

Tél : (1) 46.73.06.60

e-mail: [contact@john-libbey.eurotext.fr](mailto:contact@john-libbey.eurotext.fr)

[http : www.john-Libbey.eurotext.fr](http://www.john-Libbey.eurotext.fr)

**John Libbey and Company Ltd**

163-169 Brompton Road,

Knightsbridge,

London SW3 1PY England

Tel : 44(0) 23 80 65 02 08

**John Libbey CIC**

CIC Edizioni Internazionali

Corso Trieste 42

00198 Roma, Italia

Tel. : 39 06 841 26 73

© John Libbey Eurotext, 2000, Paris