

Drylands Research Working Paper 15

RÉGION DE DIOURBEL : GESTION DES SOLS

**Aminata Niane Badiane
Mamadou Kouma
Modou Sène**

2000

Drylands Research
Crewkerne
Somerset TA18 8BJ
Royaume-Uni

Ce document a été présenté pour la première fois à l'Atelier sur les rapports entre politiques gouvernementales et investissements paysans dans les régions semi-arides, tenu à Bambey et Dakar (Sénégal) du 12 au 14 janvier 2000.

Les recherches présentées dans le présent document de travail s'inscrivent dans le cadre d'une étude sur les **Rapports entre les politiques gouvernementales et les investissements paysans en Afrique semi-aride**, financée par le Programme de recherche sur les politiques en matière de ressources naturelles du Department for International Development (DFID), ministère britannique du développement (Projet R 7072 CA). Les informations fournies et opinions exprimées n'engagent en aucune manière le DFID.

ISSN 1470-9384

© Drylands Research 2000

Mise en page: Drylands Research. Impression: Press-tige Print, Crewkerne.

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, stockée dans un système de recherche documentaire ni transmise sous une forme ou par un moyen quelconque (électronique, mécanique, photocopie, enregistrement ou autre) sans l'autorisation préalable et écrite de l'éditeur.

Préface

Les documents de travail du groupe Recherche sur les zones semi-arides présentent en version préliminaire les résultats d'études entreprises en association avec des chercheurs et institutions partenaires.

Le présent document de travail s'inscrit dans le cadre d'une étude visant à établir les liens entre modifications à long terme de l'environnement, croissance démographique et évolutions technologiques, et à repérer les politiques et les institutions aptes à favoriser un développement durable. Cette étude se situe dans le prolongement d'un projet entrepris par l'Overseas Development Institute (ODI) dans le district de Machakos, au Kenya, dont les résultats préliminaires ont été publiés par l'ODI en 1990-1991 dans une série de documents de travail. Ces travaux ont également donné lieu à un ouvrage (Mary Tiffen, Michael Mortimore et Francis Gichuki, *More people, less erosion: environmental recovery in Kenya*, John Wiley, 1994), présentant une synthèse et une interprétation de la dynamique du développement physique et social à Machakos. Cet ouvrage fait état d'un ensemble d'hypothèses et de recommandations en matière de politiques qu'il est nécessaire de tester dans d'autres milieux semi-arides de l'Afrique. A l'aide de méthodologies compatibles, quatre études ont été parallèlement menées dans les pays suivants:

Kenya	District de Makueni	
Sénégal	Région de Diourbel	(en association avec l'ISRA et le CSE)
Niger	Département de Maradi	(en association avec l'ODI)
Nigeria	Région de Kano	(en association avec l'ODI)

Une série de documents de travail et une synthèse seront produites pour chaque étude et passées en revue dans le cadre d'ateliers nationaux. La synthèse générale était examinée à l'occasion d'un atelier international organisé à Londres en l'an 2001. Dans la série consacrée au Sénégal, les auteurs se sont penchés sur les évolutions à long terme de l'agriculture et du monde rural pour établir des liens entre celles-ci et les investissements consentis par les petits exploitants dans la région de Diourbel au cours de la période 1960-1999.

M. Michael Mortimore est Responsable des recherches. Il est assisté par son collègue Mme Mary Tiffen. M. Michael Mortimore est Responsable des recherches. Il est assisté par son collègue Mme Mary Tiffen. Le Chef de l'équipe sénégalaise était d'abord M. Abdou Fall, assisté par M Adama Faye qui a complété le programme. Ils peuvent être contactés aux adresses suivantes:

Michael Mortimore
Cutters Cottage, Glovers Close, Milborne Port
Somerset DT9 5ER, UNITED KINGDOM

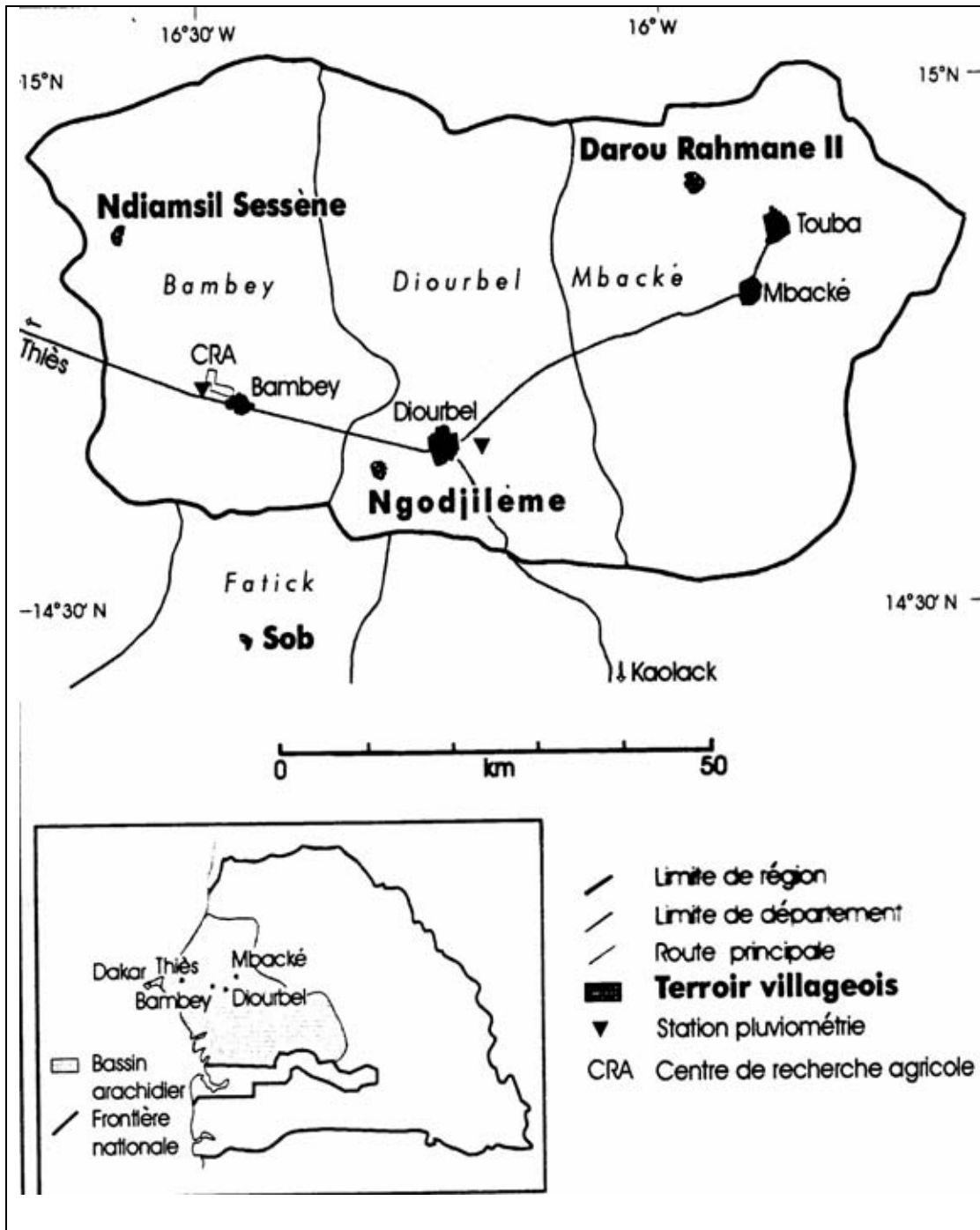
Mary Tiffen
Orchard House, Tower Hill Road,
Crewkerne, Somerset TA18 6BJ,
UNITED KINGDOM

Courrier électronique:
mikemortimore@compuserve.com
mary@marytiff.demon.co.uk
Site web: www.drylandsresearch.org.uk

Abdou Fall
International Trypano-tolerance Centre
PMB 14, Banjul
La Gambie
Courrier électronique :
abdoufal@itc.com

Adama Faye
4 Rue Maunoury,
BP 1772, Dakar, Sénégal
Courrier électronique :
Afaye@sentoo.sn

Carte



Résumé

Le matériau originel de ces sols contient une large proportion de matériaux éoliens. Les deux grands types de sols les plus courants sont appelés par les agriculteurs sols *dior* et sols *deck*. Les premiers occupent des dunes anciennes et contiennent >95% de sables et peu d'éléments nutritifs (<0.2% carbone organique, 0.01% azote à la surface 20 cm). Les seconds sont des sols hydromorphes à engorgement temporaire dû à l'eau des pluies et contiennent 85-90% de sables et sont plus riches en éléments nutritifs (0.2% carbone organique, 0.03% azote). Les champs de case cultivés autour des habitations sont utilisés pour la production de céréales et bénéficient d'un apport de déjections animales et de résidus domestiques, ainsi que du parcage du bétail la nuit. Les champs de brousse plus éloignés des résidences, sous rotation céréales-legumineuses, étaient auparavant mis en jachère; la jachère se pratiquant de moins en moins, il a fallu trouver d'autres alternatives telle que l'emploi des engrais minéraux qui s'est généralisé avec la culture de l'arachide. Mais ils sont devenus trop chers de nos jours par rapport aux revenus de la plupart des paysans. L'arbre-légumineuse *Faidherbia albida*, qui est en général protégé sur les terres agricoles, améliore également la fertilité des sols.

Des comparaisons ont été effectuées entre différents indicateurs de fertilité des sols cultivés (*dior* and *deck*, champs de case et champs de brousse) dans quatre villages de la zone d'étude, en utilisant des données de base de 1956 (Ngodjilème et Darou Rahmane II), 1966 (Sob), 1967 (Ndiamsil), et de nouvelles données provenant d'analyses de sols faites en 1999. Les sols *dior* appelés champs de case ont conservé ou amélioré leur potentiel de production sur les 30 à 40 dernières années, toutes conditions étant par ailleurs égales. Les champs de brousse ont surtout été affectés par une baisse graduelle de leur teneur en matière organique, qu'il faut relativiser en fonction de la plus ou moins forte densité de *kadd* (*Faidherbia albida*) et des pratiques culturales. Pour les sols *deck*, généralement plus riches en éléments nutritifs, le carbone et les éléments fins ont subi une certaine baisse. Si on assiste à l'augmentation des champs de case au détriment des champs de brousse, les équipements agricoles tels que les charrettes ne sont pas disponibles pour assurer le transfert de la fumure organique des concessions en brousse. L'état actuel des sols est aussi la conséquence de l'impact d'autres facteurs tels que l'évolution démographique et les politiques agricoles.

Abstract

The parent materials of the soils in the Diourbel Region contain a large proportion of aeolian material. Two commonly recurring types of soil are known by the farmers as *dior* and *deck*. The first occupy former dune slopes and contain >95% sand and few nutrients (<0.2% organic carbon, 0.01% nitrogen in the surface 20 cm). The second are hydromorphic, occasionally flooded and contain 85-90% sand and rather more nutrients (0.2% organic carbon, 0.03% nitrogen). In addition to this difference in the natural soils, there is an important difference between two regimes of management on farmers' fields. These are *champs de case* (*toll keur*) and *champs de brousse*. The first are often found near houses, are used for cereal production, and benefit from fertilisation by manure and residues of the households, as well as from *parcage* (foldyard manuring) by livestock at night. The second, often found further from houses, are cultivated under grain-legume rotations, and used to be fallowed regularly; as fallows disappeared, inorganic fertilisers were introduced in association with the production of groundnuts. These are now too

costly for many farmers. The leguminous tree, *kadd* (*Faidherbia albida*), which is commonly protected on farmlands, also improves fertility.

Fertility management has evolved under the influences of (a) the extension of cultivation on to new land and on to fallows (to feed a growing population and to produce groundnuts for the market), and (b) government policies to promote the production of groundnuts and the modernisation of agriculture. Under recent conditions, inorganic fertiliser use has declined and the availability of manure, residues and other organic material is now critical.

Comparisons are made of fertility indicators of cultivated soils (*dior* and *deck*, *champs de case* and *champs de brousse*) at four study sites, using baseline data for 1956 (Ngodjilème and Darou Rahmane II), 1966 (Sob), 1967 (Ndiamsil), and new analytical data for 1999.

This study shows that these soils have evolved in vastly different ways under the influence of management regimes:

- *Dior* soils in *champ de case* (*toll keur*), which benefit from regular fertilisation by organic fertilisers such as manure and households residues, have maintained and improved their productivity over the last 30 to 40 years, all conditions being equal. It is interesting to note the high content of phosphorus in *champs de case*.
- *Dior* soils, cultivated further from houses (*champs de brousse*), have shown a continuous decline in organic material content, which is related to the higher or lower density of *kadd* (*Faidherbia albida*) and cultural practices. Soil degradation is worse at Darou Rahmane II, under higher demographic pressure and worsening climatic conditions.
- *Deck* soils, usually containing more nutrients, carbon and sand, have shown a downward trend. However *deck* soils are less degraded because they have better characteristics and are less used.

It is important to underline that even if the *champs de case* tend to grow at the expense of *champs de brousse*, agricultural equipment such as carts are not available to carry organic fertilisers to bush farms. However it is difficult to judge whether there is a real increase in the area of *champs de case*.

In general it is important to note that the actual state of the soils is also the consequence of other factors such as demographic evolution and agricultural policy.

SOMMAIRE

1	INTRODUCTION	1
1.1	Substrat géologique	1
1.2	Les grands types de sol	1
2	LES SYSTÈMES DE CULTURE	3
2.1	Les champs de case	3
2.2	Les champs de brousse	4
3	EVOLUTION DES SOLS DE 1956 À NOS JOURS	5
3.1	Fertilité des sols et changement dans les indicateurs de fertilité	5
3.2	Evolution des sols cultivés dans la zone d'étude	11
	CONCLUSION	20
	ANNEXES	21
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	24

Les auteurs

Dr. Aminata Niane Badiane : Ingénieur Agro-pédologue, Docteur en Sciences Agronomiques, travaille à l'ISRA depuis 1980, successivement sur l'amélioration des sols sulfatés acides en Basse Casamance, sur la fixation biologique de l'azote des légumineuses à graines et sur la gestion et l'utilisation de la matière organique sur les sols sableux de la zone centre-nord du Bassin arachidier. Actuellement elle est Chargé de Mission pour les recherches sur les productions végétales de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA).

Adresse : Direction Générale ISRA-Route des hydrocarbures, Bel-Air, BP 3120, Dakar Sénégal. Tel (221) 832 24 31/832 24 28

E-mail : aminiane@ns.arc.sn

Dr. Mamadou Khouma : Ingénieur Agro-pédologue, Docteur en Sciences Agronomiques, travaille depuis 1978 en Afrique de l'Ouest. Il a débuté sa carrière de chercheur dans l'étude et l'amélioration de sols sulfatés acides de Casamance. Il fut directeur du Centre de Recherches Agricoles de Richard-Toll (Nord Sénégal de 1981 à 1983. De 1983 à 1990 il occupa les fonctions de Chef de la Division de l'Agriculture au sein de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Gambie. Il a également dirigé le Centre de Recherches de Djibélor de 1995 à 1998.

Actuellement Chercheur à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles et chef du Centre National de Recherches Agricoles de Bambey.

Adresse : ISRA, BP 3120, Dakar, Sénégal

E-mail : douma@isra.refer.sn.ou

mkhouma@isra.sn

Dr Modou Sène : Chercheur à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles: Docteur en Sciences Agronomiques Option Agro-pédologie. Responsable du Service Physique des Sols au Centre National de Recherche Agricoles, Bambey.

Adresse : CNRA de Bambey, BP 53, Bambey, Sénégal.

Tel (221) 973 60 51

E-mail : modousen@isra.refer.sn

Sigles et acronymes

CFA:	Communauté Financière Africaine (franc de la)
FIDA:	Fonds International pour le Développement Agricole
FCFA:	Franc de la Communauté Financière Africaine
ISRA:	l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
ONG:	Organisation Non-Gouvernementale
PA:	Programme Agricole
SATEC:	Société d'aide Technique et de Coopération

1 INTRODUCTION

1.1 Substrat géologique

Les principales formations géologiques présentes sont (Sénagrosol, 1987) :

- Les formations éocènes se rattachant au grand bassin sédimentaire secondaire et tertiaire, souvent recouvertes par des formations quaternaires. Dans le Département de Diourbel, ces formations ne sont visibles que dans les déblais de puits et sont constituées de marnes, calcaires et niveaux phosphatés.
- Les formations mi-pliocènes et quaternaires qui comprennent :
- Le continental terminal, constitué de sable argileux avec intercalation de niveaux gréseux ou argileux, très peu présent dans la zone ;
- les calcaires lacustres, gris-blanc, tuffacés avec de nombreux grains de quartz. Ils apparaissent de manière très localisée sous forme de tâches ;
- Les dunes qui correspondent à une reprise éolienne d'un matériel alluvial ou éluvial durant la phase aride de régression marine. Ces dunes émoussées, par rabotement des crêtes et comblement des dépressions, sont les principaux facteurs du modelé actuel, caractérisé par une succession de dunes et d'interdunes avec de faibles différences de niveaux (quelques centimètres à quelques mètres). Suite à la péjoration des conditions climatiques ayant entraîné une diminution du couvert végétal, certaines de ces dunes sont remises en mouvement par l'action éolienne.

1.2 Les grands types de sol

La majorité des sols ont pour matériau originel ces sables dunaires anciens appelés erg du Cayor. On distingue deux grands types de sol : les sols *dior* et les sols *deck* représentant respectivement des proportions de 70% et 20%.

Les sols dior

Le *dior* signifie «étendue de sable» en wolof. Ils se caractérisent par une texture sableuse comprenant plus de 95% de sables totaux. Ils ont une structure particulière devenant fondue à sec. Leur teneur en matière organique est très faible (0,20% en moyenne) de même que leur teneur en azote total (0,1‰) et en bases échangeables (0,9 meq/100g pour Ca, 0,07 pour K et entre 0,1 et 1 pour Mg). Ils ont un pH entre 6 et 7, et un faible pouvoir tampon.

Lors du dessèchement, il se produit une prise en masse qui rend difficile tout travail du sol avec les moyens traditionnels de traction. Leur capacité de rétention en eau est faible. Les teneurs en eau utile des horizons de surface sont de l'ordre de 4,5% contre 6% pour les horizons de profondeur.

Ils se caractérisent aussi par leur mauvaise structure qui les rend peu perméables lorsqu'ils sont gorgés d'eau sur les premiers centimètres.

Les sols *dior* situés en position d'interdunes sont le siège d'accumulation de matériaux d'origine éolienne et hydrique constitués de sable, d'argile et de limon et se

singularisent par une couleur gris-blanc dominante. Le tableau 1 présente les caractéristiques typiques d'un sol *dior* analysé en 1956 et a servi de référence pour cette présente étude.

Tableau 1 : Sol *dior* analysé en 1956 à Diakhao, sous jachère

Profondeur en cm	0-5	5-20	50	125
<i>Texture (%)</i>				
Sable grossier	44,4	39,3	35,6	38,1
Sable fin	53,2	57,5	59,9	58,8
Limon	0,3	0,1	0,4	0,1
Argile	1,8	2,9	4,0	1,9
<i>Autres</i>				
Carbone en %	1,5	1,2	0,9	-
Azote en %	0,12	0,11	0,10	0,04
C/N	13	11	9	-
P ₂ O ₅ total en ppm	60	80	70	-
Ca meq/100g	0,8	0,7	0,6	-
Mg meq/100g	0,2	0,3	0,08	-
K meq/100g	0,05	0,05	0,05	-
Na meq/100g	0,05	0,04	0,04	-
PH eau	6,0	5,4	5,0	5,4

Source: Bonfils et Faure, 1956.

Les sols deck

Ce sont des sols hydromorphes à engorgement temporaire dû à l'eau des pluies (tableau 2). Ils sont sableux mais beaucoup plus argileux que les sols *dior* avec des teneurs en argile de 3 à 8% et environ 2% de limon. L'hydromorphie peut être de surface ou de profondeur. On les rencontre souvent en position dépressionnaire sur du sable reposant sur des formations marno-calcaires. Ils contiennent parfois une argile de type Montmorillonite. Ils sont donc plus lourds, et mieux structurés que les sols *dior*.

L'eau utile est de l'ordre de 5% en surface et 8% en profondeur. Les sols ont une réaction acide (pH entre 5 et 7) devenant neutre sur substrat marno-calcaire. Leur teneur en matière organique bien que supérieure à celle des sols *dior* reste inférieure à 1% (entre 0,5 et 0,8%).

L'azote total varie entre 0,2 et 0,4%. Le phosphore y constitue l'une des principales carences minérales.

Les teneurs en bases échangeables sont dans l'ensemble supérieures à celles des sols *dior*.

Les caractéristiques ont été établies (Tableaux 1 et 2) il y a quarante deux ans. Elles peuvent donc servir de référence pour apprécier le stade d'évolution actuelle de ces sols. Il convient cependant de signaler que ces caractéristiques sont souvent meilleures à

proximité des *kadds* (*Faidherbia albida*) qui avec une densité de 20 arbres/ha peuvent apporter environ 110 kg/ha de Ca, 40 de K et 30 de Mg.

Tableau 2 : Sol *deck* analysé en 1956 à Bambey

Profondeur en cm	0-20	20-60	60-140	140-200
<i>Texture (%)</i>				
Sable grossier	33,7	33,6	33,5	31,4
Sable fin	55,2	53,2	55,6	55,4
Limon	2,0	1,9	2,2	3,6
Argile	8,6	11,0	8,2	9,2
<i>Autres</i>				
Caco ₃ %	0,0	0,0	0,3	0,5
Carbone total ‰	2,4	1,5	0,9	0,5
Azote total ‰	0,29	0,19	0,12	0,11
C/N	8	8	8	5
P ₂ O ₅ total en ppm	120	70	50	60
Ca meq/100g	5,0	6,0	7,5	10,0
Mg meq/100g	1,8	1,85	3,6	-
K meq/100g	0,1	0,1	0,08	0,08
Na meq/100g	0,13	0,13	0,15	0,1
PH eau	6,6	7,0	7,0	7,0

Source: Bonfils et Faure, 1956.

2 LES SYSTEMES DE CULTURE

Le système de culture se caractérise sur le plan spatial par l'existence de deux types de champs, les champs de case et les champs de brousse.

2.1 Les champs de case

Dans cette appellation on regroupe tous les champs cultivés autour des habitations et qui bénéficient d'un important apport de fumure organique constituée principalement de déjections animales (zone de parcage du bétail ou apport) et de résidus domestiques. Ces champs sont emblavés en mil et peuvent être considérés comme des zones de culture intensive. Ils sont cultivés chaque année en mil avec des rendements souvent plus élevés que partout ailleurs.

Le constat empirique que les céréales cultivées autour des habitations, où le bétail est généralement parqué, donnait de meilleurs rendements a été à la base de la généralisation par les agriculteurs de la fumure organique dans les champs de case et à l'extension de cette pratique dans les champs plus éloignés lorsque la disponibilité en matière organique le permettait.

2.2 Les champs de brousse

Ces champs éloignés recouvrent une gamme variée de situations :

- rotation arachide-mil-jachère
- rotation arachide-mil-arachide-mil
- rotation arachide-niébé

La rotation arachide-mil-jachère se pratique de moins en moins complètement du fait de la rareté des terres qui n'autorise plus la jachère. La rotation arachide-mil-arachide est de plus en plus remplacée par la rotation arachide-niébé par manque de semences d'arachide.

Dans le bassin arachidier, la technique classique de compensation de perte de fertilité est la jachère de longue durée. Cette jachère de longue durée se pratiquant de moins en moins, il a fallu trouver d'autres alternatives comme l'emploi des engrais minéraux qui s'est généralisé avec la mise en place du Programme Agricole (PA), de 1960 à 1980, qui permettait aux paysans d'acquérir des intrants subventionnés à crédit. Depuis la suppression du PA, en 1980, la consommation d'engrais a connu une chute vertigineuse, passant du record de 86 670 tonnes en 1976 (soit 34 kg/ha cultivé) à moins de 28 000 tonnes en moyenne (soit 18 kg ha cultivé) pour la décennie 1981-1991, toutes cultures confondues. Les conséquences ont été dramatiques sur le maintien de la fertilité des sols qui se sont davantage appauvris.

Dans cette zone la présence des *kadds* (*Faidherbia albida*) a permis d'atténuer partiellement les conséquences de cet appauvrissement. Cet arbre présente une phénologie atypique se caractérisant par une feuillaison en saison sèche et une défeuillaison en saison des pluies. Cette défeuillaison en saison des pluies contribue à l'enrichissement du sol en matière organique. Sous couvert d'*Faidherbia albida*, les rendements du mil (*Pennisetum typhoides*) sont plus élevés, les conditions microbiologiques et microclimatiques y sont également plus favorables aux cultures (Dancette et Sarr, 1985). Cet effet améliorateur s'estompe d'ailleurs en présence d'une forte fertilisation minérale.

Le rôle du *kadd* dans le maintien de la fertilité des sols a été étudié par Poulain (cité par Dancette et Sarr, 1985) à Silane dans les environs de Bambey. Les résultats obtenus sur le mil montrent les effets positifs de l'arbre en l'absence de toute fumure (tableau 3).

Tableau 3 : Rendements de grain de mil (en kg/ha)

Traitement	Sous <i>Faidherbia albida</i>	Hors <i>Faidherbia albida</i>
Témoin sans fumure	934	457
NPK + 60 unités d'azote	1388	1340
NPK + 120 unités d'azote	-	1541

Source : Dancette et Sarr, 1985.

L'activité biologique est 2 à 5 fois plus forte sous *Faidherbia albida* quelle que soit la période de prélèvement. La présence de l'arbre ne semble pas influencer sur la densité de la microflore, sauf sur celle des champignons qui est plus élevée sous la cime (Jung, cité par Sall, 1993).

Le brûlage des résidus, après nettoyage des champs se traduisant par une grosse perte en carbone et un enrichissement relatif en potassium, est une pratique très répandue dans la zone d'étude. C'est une technique fort ancienne que les agriculteurs pratiquent pour nettoyer les parcelles.

3 EVOLUTION DES SOLS DE 1956 A NOS JOURS

Les principaux facteurs ayant guidé l'évolution de ces sols sont d'une part, liés aux facteurs naturels tels que le climat et d'autre part aux pratiques culturales. L'incidence du climat a surtout été perceptible à travers les déficits hydriques consécutifs qui ont marqué les trois dernières décennies qui ont eu comme conséquence une raréfaction de la couverture végétale rendant les sols plus vulnérables aux effets du vent et de l'eau. Les pratiques culturales ont été dominées au début de la période par une extensification qui s'est faite au détriment des objectifs affichés d'intensification encouragés par les pouvoirs publics à travers la mécanisation agricole et la fourniture d'engrais minéraux subventionnés.

3.1 Fertilité des sols et changement dans les indicateurs de fertilité

Les études menées en 1989 dans la région de Diourbel, prise dans son ensemble, avaient montré que les cultures associées étaient pratiquées par 76% des ménages dont 59% font arachide - niébé, 8% arachide - niébé - oseille, 8% mil - niébé.

En 1989, 8% des ménages avaient utilisé des engrais dont 5% sur mil et 3% sur arachide. 30% avaient épandu du fumier et 37% avaient pratiqué la jachère.

Dans le département de Diourbel, 93% des ménages avaient déclaré favoriser la régénération du *kadd* dont l'utilité était appréciée par 96% des exploitants pour la fertilité des sols. 22% des chefs de ménage avaient au moins clôturé un champ pour empêcher la divagation du bétail, délimiter les parcelles et assurer une protection contre le vent. Parmi ceux qui n'avaient pas clôturé, 54% auraient souhaité aménager une haie vive. Parmi les essences choisies, le *kadd* venait en tête avec 31%, contre 8% au *jujubier* (*Ziziphus mauritiana*), 5% au *soump* (*Balanites aegyptiaca*), 4% au *neem* (*Azadirachta indica*) et 3% à l'acajou (*Anacardium occidentale*).

Du point de vue de la motivation pour les actions forestières, il apparaît que le revenu monétaire espéré, la consommation des fruits et l'alimentation du bétail l'emportait sur le désir de restauration et de protection des sols.

Il n'y a presque pas eu d'utilisation d'engrais minéral entre 1980 et 1987 dans cette zone. L'engrais venait en troisième position dans l'allocation des ressources, derrière les vivres et les semences sauf pour le maraîchage en zone littorale et en riziculture

irriguée. Les revenus permettant d'acheter des engrais provenaient généralement d'autres activités telles que le maraîchage, l'élevage, la pêche et le commerce.

Evolution des systèmes de cultures

Les caractéristiques communes à tous les villages sont :

- des champs de case situés à proximité immédiate des résidences, cultivés en mil de façon continue. Ces champs reçoivent régulièrement une fumure organique sous forme de déjections animales apportées ou provenant du parcage des animaux pendant la saison sèche. Ils peuvent également recevoir des déchets et détritiques ménagers;
- des champs de brousse plus éloignés des résidences et sur lesquels sont cultivés en rotation l'arachide et le mil, avec une nette tendance vers la diminution de la part de l'arachide au profit du niébé par manque de semences.

Toutes les variétés à cycle long comme le mil sanio et l'arachide rampante (73-30) ont disparu de la zone d'étude au cours des deux dernières décennies et sont remplacées par des variétés à cycle plus court comme le mil souna ou l'arachide non dormante (55-437). Le *niébé* (*Vigna unguiculata*) tend à se substituer à l'arachide lorsque les semences de celle-ci font défaut. La pastèque fait partie des cultures dont la pratique se généralise un peu partout.

L'utilité de l'arbre est partout reconnue, comme élément de fertilité des sols, pourvoyeur d'ombre (bien utile lors des pauses). Le *kadd* arrive en tête parmi les essences citées pour leur rôle fertilisant, suivi du *soump* (*Balanites aegyptiaca*).

A une exception près, tous les paysans interrogés affirment constater une baisse des rendements au cours des deux dernières décennies imputable à la sécheresse et à la baisse de fertilité des sols.

Fertilité et fertilisation des sols

Le raisonnement des techniciens de SATEC dans les années soixante était que

la seule façon économique de relever le niveau de fertilité de ces terres est leur mise en jachère. Puisque les paysans ne veulent pas réduire les superficies consacrées à l'arachide, il faut donc réduire les superficies consacrées au mil (culture vivrière). Cette «logique» mathématique et commerciale a magnifiquement prouvé son inefficacité puisque, face à la crise, le paysan a réduit l'arachide pour le mil (passant de 1 à 3 en faveur de la première à un rapport inverse) et que le gouvernement a dû relever le prix d'achat, éponger les dettes (Copans, 1988).

Pour encourager l'utilisation de semences améliorées, d'engrais et de matériel agricole, le gouvernement du Sénégal avait initié au début de l'indépendance du pays un Programme Agricole subventionné permettant aux paysans d'acquiescer à crédit, en début de campagne, des intrants et du matériel.

Les engrais minéraux

Depuis l'arrêt de la subvention sur les engrais minéraux, les quantités épandues ont connu une très forte baisse. Le PA a assuré en moyenne 70 000 tonnes d'engrais par an toutes formules confondues, avec un record de 86 670 tonnes en 1976. Depuis l'arrêt du PA l'utilisation des engrais minéraux a connu une chute vertigineuse avec une moyenne de consommation au cours des dernières années inférieure à 25 000 tonnes.

Malgré la libéralisation, on a noté ces dernières années un relâchement du commerce des engrais par les opérateurs économiques privés qui estiment que « sans semences d'arachide suffisantes, l'engrais ne se vend pas ». La dose moyenne d'engrais sur arachide qui était estimée à 50 kg/ha dans les années soixante est actuellement de l'ordre de 25kg pour une recommandation par la recherche de 150 kg/ha (Gaye, 1998). La consommation d'engrais par hectare cultivé est passé de 1,23 kg en 1979/80 à 0,5 kg en 1990/91 (David et Niang, 1995). Les paysans interrogés reconnaissent dans leur grande majorité l'utilité des engrais minéraux mais déclarent ne plus en faire usage depuis plusieurs années. La principale raison avancée par les paysans pour expliquer cette situation est la faiblesse de leurs revenus monétaires qui ne leur permet pas d'acheter de l'engrais ni à crédit, ni au comptant. Les études économiques ont montré que le pouvoir d'achat de l'arachide par rapport aux engrais s'est détérioré d'environ 3% par an de 1960 à 1994. En cas de sécheresse sévère, l'utilisation des engrais minéraux est financièrement pénalisante et les incertitudes liées à la pluviométrie des deux dernières décennies n'ont guère été favorables à l'utilisation de ces engrais par les paysans dont la stratégie repose en bonne partie sur la minimisation des risques.

Ces trois dernières années ont été marquées par un programme de phosphatage de fond subventionné par le Gouvernement sénégalais dans le but de relever le niveau de fertilité des sols. Le Département de Diourbel a reçu 890 tonnes de mélange (phosphate tricalcique, phosphogypse) pour la campagne 1997/98 et 1380 tonnes pour la campagne 1998/99. Le Département de Bambey a reçu 2 040 tonnes en 1997/98 et 1 760 en 1998/99. Pour le Département de Mbacké les quantités sont respectivement de 2 480 et 540 tonnes (Direction de l'Agriculture, 1998). Ce programme qui a suscité beaucoup d'intérêt de la part des organisations paysannes soulève des questions sur l'efficacité technique de certains produits comme le phosphogypse qui devrait être réservé à des zones particulières et non généralisé à l'ensemble du pays. La disponibilité à temps des produits au niveau des communautés rurales et leur distribution aux paysans ont également pénalisé le programme. Au total 45 486 tonnes de produits ont été distribués pour la campagne 1997/98 et 59 894 tonnes pour la campagne 1998/1999 pour l'ensemble du Sénégal. On peut cependant retenir que les quantités d'engrais minéraux distribuées en milieu rural à travers ce programme sont les plus importantes depuis plus d'une décennie. Leur impact sur la fertilité des sols ne pourra être connu qu'au terme de la campagne agricole 1999/2000 en cours.

La fumure organique

Parmi les sources de matière organique disponibles dans le bassin arachidier, les résidus pailleux et les déjections animales ont été les plus étudiés. Les principaux acquis de telles recherches insistent sur les aspects relatifs à la disponibilité des sources de matière organique considérées, à l'approche méthodologique du problème de leur valorisation et à la pertinence, dans le contexte actuel, des options techniques proposées.

Disponibilité

L'évaluation du disponible a fait l'objet d'enquêtes réalisées par différents chercheurs (Allard *et al.*, 1983) qui ont travaillé sur l'économie de l'azote et la gestion des résidus de récolte. Ces enquêtes ont concerné le bassin arachidier (régions de Thiès et Diourbel en 1978, Sine-Saloum en 1979 et Casamance en 1980).

Le tableau 4 résume les principaux résultats des enquêtes. Les productions de paille rapportées à l'hectare sont relativement faibles dans le nord du bassin arachidier devenant de plus en plus élevées au sud de cette zone et en Casamance avec une variabilité intrazonale non moins importante. Les productions de résidus varient de 1 à 3 t/ha en fonction de la culture et du lieu. Mais les quantités réellement disponibles pour la restitution et les divers modes de valorisation sont déterminées par les priorités accordées aux différents usages qu'en font les agriculteurs dans les différentes zones agroécologiques.

Tableau 4: Production, utilisation et disponibilité des résidus pailleux dans les systèmes cultureux du bassin arachidier

Zone	Culture	Paille (t/ha)	Ramassage (%)	Utilisation	Disponible
Nord	Arachide	0,7 - 1,0	100	Animaux	Nulle
	Mil	1,0 - 2,0	50 - 100	Domestique + Animaux	Nulle
	Jachère	0,4 - 3,0	50 - 100	Domestique + Animaux	Nulle
Sud	Arachide	0,7 - 1,7	100	Animaux + Vente	Nulle
	Mil	1,7 - 3,0	10 - 15	Domestique	1,0 - 2,5
	Jachère	0,4 - 3,0	10 - 15	Domestique	0,2 - 2,5
	Arachide	0,2 - 0,8	élevé à très élevé	Animaux + Vente	Nulle

Source : Allard *et al.*, 1983.

Les investigations plus récentes de Pichot (1985) et Badiane (1993) effectuées dans le Nord du bassin arachidier confirment la faible disponibilité en résidus pailleux à l'hectare avec une légère baisse par rapport à 1978.

Quant à la matière organique d'origine animale, les travaux de Sagna-Cabral (1989) ont montré que la production de fumier s'établit entre 0,75 et 6,5 tonnes par exploitation et que le fumier produit est un fumier non composté, constitué d'un mélange de déjections et de pailles. La valeur fertilisante du fumier produit en milieu rural varie selon sa nature et diminue rapidement dans le temps en raison de l'action des termites et le dessèchement par le soleil d'où l'intérêt de procéder aux techniques de compostage. Celles ci permettent d'améliorer le fumier produit en vue d'une fertilisation organique plus efficace.

Plus de dix ans après de telles recherches, la satisfaction des besoins en matière organique des exploitations agricoles demeure un problème qui interpelle encore la recherche.

Utilisations concurrentes

Le tableau 4 montre que dans le Nord du bassin arachidier les résidus pailleux sont répartis entre l'alimentation animale et les usages domestiques. Il s'agit pour ces derniers de la construction et de la réfection des palissades et des toitures. Dans toutes ces zones, les pailles d'arachides (fanés) sont essentiellement destinées à l'alimentation animale soit localement soit hors exploitation voire même hors zone par le biais de la commercialisation. Ces usages correspondent globalement à des exportations qui représentent des pertes considérables pour les sols cultivés.

Dans la pratique paysanne, la préparation des champs consiste essentiellement à les nettoyer en brûlant des résidus pailleux ayant échappé aux différents prélèvements. C'est alors la cendre qui contribue au recyclage minéral.

La recherche s'est donc orientée vers les formes de matière organique plus décomposées. Celles-ci ont des effets très positifs sur les caractéristiques chimiques, la teneur en matière organique et le pH des sols. Elles procurent également d'importants accroissements de rendements notamment dans le Nord du Bassin Arachidier avec respectivement des augmentations de l'ordre de 100%. Il faut cependant noter que l'apport de matière organique étant un amendement, ses effets ne sont généralement notables qu'à court terme, à partir de deux à trois applications successives effectuées tous les deux ans sur la céréale de la rotation ou dans certains cas sur la légumineuse. En outre les résultats expérimentaux obtenus avec le fumier montrent que les doses ayant des effets significatifs, environ 10 t/ha tous les deux ans, sont supérieures à celles que l'on peut apporter dans les conditions actuelles du monde rural (1 à 3 t/ha du Nord au Sud du pays).

Pour ces raisons, la recherche s'est orientée vers l'étude des conditions d'efficacité agronomique de faibles doses de fumier (1 à 5 t/ha), d'apports de matière organique sous forme de compost-biogaz ou de faibles doses de compost de pailles de céréales. Les programmes de recherches ont mis au point des techniques de compostage en milieu rural. La dose de 3 t/ha de compost a été proposée pour les céréales. Les études concernant la réponse aux faibles doses de fumier ont fait ressortir après dix ans que les doses comprises entre 3 et 4 t/ha/an suffisent à accroître les rendements du mil et de l'arachide dans les principales zones agroécologiques du pays, (Ganry, 1985 et Badiane, 1993).

Pour les composts, les contraintes au niveau du monde rural (concurrence entre les différentes utilisations des pailles, disponibilité en eau, main- d'œuvre) rendent difficiles l'application généralisée des résultats acquis sur la fabrication et l'utilisation du compost en milieu réel.

Néanmoins cette technologie est largement utilisée dans la zone nord et centre du bassin arachidier. Le compost est une fertilisation vulgarisée et permet de réaliser des économies substantielles d'engrais minéraux sans diminution de rendements.

La fumure organique dans la zone de l'étude

La fumure organique qui est principalement constituée d'épandage de déjections animales sur les parcelles s'est maintenue et s'est systématisée dans les quatre villages étudiés. Les animaux présents dans l'exploitation constituent la principale source de cette fumure (bœufs, chevaux, ânes, moutons et chèvres). Les quantités disponibles et épandues sont fonction du nombre d'animaux et de la main d'œuvre de l'exploitation. L'épandage sur la parcelle est rarement uniforme, car elle se fait en fonction de la sévérité de la baisse de fertilité telle que la perçoit l'agriculteur. Les endroits les plus dégradés de la parcelle reçoivent toujours plus de fumure. Les quantités épandues sont très variables et peuvent aller de 5 à 28 charrettes avec une moyenne de 11 charrettes par parcelle. Ramené à la moyenne des parcelles cultivées en mil (5,2 ha), cela représente environ deux charrettes par hectare, soit 500 kg par hectare.

D'une manière générale, l'emploi de la fumure organique a augmenté au cours des deux dernières décennies pour suppléer les engrais minéraux inaccessibles et la rareté de la jachère. Cette augmentation semble être en concordance avec l'augmentation du cheptel des exploitations (chevaux à Ngodjilème et ânes et chevaux à Sob) telle que l'atteste le tableau 5.

Tableau 5 : Changements des cheptels entre la date de leur établissement et celle de l'enquête (moyen par exploitation)

Village	Chevaux	Anes	Chèvres	Moutons	Bovins
Darou Rahmane II	-0,60	-0,14	-2,33	-5,54	-1,29
Ndiansil	-0,36	-0,73	-0,81	-5,64	-5,00
Ngodjilème	+0,67	-0,30	-4,22	-0,11	-13,22
Sob	+0,12	+0,11	+4,11	-2,56	-17,55

Source : A. Faye, ISRA.

Il est difficile de quantifier les apports en fumure organique par unité de superficie, car non seulement la part du parcage est mal connue mais aussi parce que l'épandage de cette fumure est très sélective au sein d'une même parcelle et se fait selon l'appréciation du paysan. Lors des entretiens, il est apparu clairement que les quantités de fumure organique épandues sont liées d'une part au nombre de têtes de bétail et d'autre part à la main d'œuvre disponible dans l'exploitation. La plus forte moyenne estimée revient au village de Ngodjilème avec 12 charrettes par hectare soit environ 3 000 kg. Cette matière organique est la plupart du temps épandue en surface. Avec ce mode d'épandage, les pertes en azote peuvent être importantes.

Le compostage de résidus divers est une pratique que les services de recherche et de vulgarisation agricole, en collaboration avec certaines ONG encouragent de plus en plus. Le compostage des tiges de mil et des déchets ménagers dans une fosse située près des habitations est préconisée.

Dans un travail sur le bassin arachidier, Bene (1993) a montré que chaque franc CFA investi pour utiliser du compost rapporte au paysan 2,47 FCFA. N'doye (1996) a aussi montré que l'utilisation simultanée de semences améliorées et de compost a permis à la

plupart des ménages de deux villages étudiés dans la région de Thiès d'assurer entièrement leur sécurité céréalière dès la première année et de dégager des surplus de production variant entre 2 180 et 4 430 kg. La vente de semences de mil a permis aux ménages d'obtenir des revenus supplémentaires de 13 250 FCFA. Malgré l'efficacité technique et la rentabilité économique des fosses compostières cimentées, leur adoption en milieu paysan reste encore faible.

On peut noter une remarquable concordance sur les principaux indicateurs de fertilité des sols que sont : la couleur noire du sol et la présence de certaines espèces comme :

- Le *siwandan* ou *coumba diargandal* (*Digitaria velutina*)
- Le *xa xam* (*Cenchrus biflorus*);
- Le *dougoubou pith* (*Brachiaria mutica*)

D'autres espèces moins citées sont : le *coumba nioulé*, le *xereb*, le *ndour* (*Cassia tora*), le *niakh bu goor*, le *rol* ou *ndir* (*Cyperus esculentus*), le *ngok* et le *fi* seul.

Parmi les indicateurs de dégradation les éléments les plus cités sont la couleur blanche du sol et la présence de certaines espèces comme :

- Le *salgouf* (*Cyperaceae*) ;
- Le *ndatukan* (*Spermacoce radiata*) (*Sieber ex Hiern* synonyme *Boreiria radiata Candolle*);
- *Djuxum* (*Striga hermonthica*) ;
- *djambul* (*Panicum hystrix*) ;
- Le *ndakargnik* ou *homhom* (*Centaurea senegalensis*)

D'autres espèces moins citées sont : le *ndara* (*Mitracarpus scaber*).

3.2 Evolution des sols cultivés dans la zone d'étude

La comparaison des caractéristiques des sols dans les années 50 et en 1999 a été faite en essayant d'avoir le moins de biais possible. Là où des analyses de sols avaient été antérieurement faites, nous avons ré-échantillonné les mêmes sols. Là où nous ne disposons pas d'analyses ponctuelles, nous avons fait appel aux résultats disponibles ailleurs sur les mêmes sols. Dans ce dernier cas, le découpage des horizons n'est pas strictement le même dans les deux situations mais nous n'avons comparé que ce qui pouvait l'être.

Ngodjilème

Dans ce village, la superficie moyenne cultivée est de 6,18 hectares dont 61,95% en arachide, 36,32% en mil et 1,73% pour les autres cultures. Les sols *dior* représentent 67,49% des superficies cultivées, les *deck* 16,76% et les *deck-dior* 15,75%. Tous les agriculteurs disposent de champs de case presque invariablement cultivés en continu avec du mil.

Dans ce village les bouses de vache sont de plus en plus utilisées comme combustible pour la cuisine. L'occasion nous a été donnée au cours de nos investigations de rencontrer un groupe de femmes s'adonnant à cette pratique.

Comparé au profil de référence, les sols *dior* de Ngodjilème se caractérisent par un pH moins acide (Tableau 6), 6,5 en moyenne contre 6. L'acidité potentielle représentée par la différence entre pH eau et pH Kcl reste cependant forte dans l'ensemble. Toutes les autres caractéristiques sont au moins égales à celles du profil de référence.

Tableau 6 : Caractéristiques comparées (1956-1999) de deux sols *dior* à Ngodjilème

	0-10 cm			30-40 cm		
	(1)	(2)	1999	(1)	(2)	1999
pH eau	7,0	6,0	6,0	5,5	5,3	5,0
pH Kcl	6,2	4,9		4,4	4,2	
Argile + limon	3,2	2,8	2,1	4,3	5,5	2,0
Carbone total ‰	1,5	1,0	1,5	0,9	0,9	0,9
Azote total ‰	0,2	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1
P ₂ O ₅ assimilable ppm	27	16		18	19	

Source : Bonfils et Faure, 1956 et échantillonnage lors des enquêtes, 1999.
1999 : 5 échantillons au hasard.

Tableau 7 : Caractéristiques comparées de deux sols *deck* à Ngodjilème

	0-10 cm			30-40 cm		
	(1)	(2)	1999	(1)	(2)	1999
pH eau	6,5	6,4	6,6	6,5	6,1	7,0
pH Kcl	5,3	5,6		5,3	5,3	
Argile + limon	7,8	7,8	10,6	14,3	11,8	12,9
Carbone total ‰	2,2	2,5	2,4	2,2	2,1	1,5
Azote total ‰	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
P ₂ O ₅ assimilable ppm	46	36		24	19	

Source : Bonfils et Faure, 1956 et échantillonnage lors des enquêtes, 1999.
1999 : 5 échantillons au hasard.

On note une baisse de pH dans l'horizon 30-40 cm des sols *deck* sur la période considérée (Tableau 7). La teneur en argile + limon est passée de 7,8% à 10,6% en moyenne dans le premier horizon, alors qu'elle est restée sensiblement la même dans le deuxième horizon, traduisant un certain enrichissement en éléments fins dans le premier horizon. Le carbone total, qui n'a pas subi de variation sensible dans le premier horizon, est passé de 2,2‰ à 1,5‰ en moyenne dans l'horizon 30-40 cm sur la période de 43 ans qui sépare les analyses. L'azote total n'a pas subi de variation importante. La teneur en phosphore assimilable actuelle de ces sols est supérieure à 15 ppm, généralement considérée comme seuil entre sols peu et bien pourvus en P₂O₅.

Ndiansil

La superficie moyenne cultivée y est de 7,12 hectares dont 52,33% en arachide, 26,10% en mil et 21,56% pour les autres cultures. Les sols *dior* représentent 50,88% des superficies, les sols *deck* 48,02% et les *deck-dior* 1,11%. Dans ce village les proportions de *dior* et de *deck* sont pratiquement identiques.

Une pratique assez courante dans ce village est de mélanger la semence de mil avec de l'engrais minéral (14-7-7) à raison de 1,5 à 2 kg par kg de semence. Le mélange s'effectue dans le semoir. Cette pratique peut être considérée comme une variante de l'application d'engrais à effet starter destinée à donner une impulsion à la jeune plantule de mil en début de cycle. Dans le passé, des activités de compostage étaient menées dans ce village avec la collaboration d'ONG et de l'ISRA. Les fosses compostières cimentées existent toujours mais ne sont plus utilisées par manque d'eau, la priorité étant donnée à l'alimentation humaine qui reste insuffisante. Le puits alimentant le village a connu une baisse de débit et était en surcreusement au moment des enquêtes.

Il existe dans ce village des parcelles clôturées par *Euphorbia balsamifera* grâce au projet FIDA, abritant des régénérations de *kadd* ou des cultures de manioc.

De tous les villages enquêtés, Ndiansil est le seul où la jachère existe encore. La forte émigration et l'absence de semences seraient à l'origine de cette situation.

Situation des sols prélevés à Ndiansil : Sur sept parcelles, trois correspondent à des champs de cases (Tableau 8) et quatre à des champs de brousse (Tableau 9). Nous avons utilisé comme référence un profil étudié dans la zone en 1967 par une équipe de chercheurs de l'ISRA.

Tableau 8 : Caractéristiques d'un sol *dior* cultivé (champs de case) à Ndiansil, analysé en 1967 et 1999

	Référence			Exploitants, 1999			Référence			Exploitants, 1999		
	1967	1	2	3	1967	1	2	3	1967	1	2	3
<i>Profondeur (cm)</i>		0-10				30-40						
pH eau	6,7	7,1	7,2	7,8	5,8	6,6	6,8	8,2				
pH kel	5,8	6,8	6,8	7,3	4,7	6,2	5,8	6,7				
Argile et limon %	5,7	4,5	2,2	4,2	6,4	4	4	6,7				
Sables %	94,3	95,5	97,8	95,8	93,6	96	96	93,3				
Carbone total ‰	1,6	10,4	3,5	8,1	1,1	4	1,1	4,2				
Azote total ‰	0,14	0,9	0,3	0,8	0,1	0,4	0,1	0,4				
P ₂ O ₅ assimilable*	30	274	48	726	37	227	36	617				

Source: Pochtier (1968) et échantillonnage lors des enquêtes, 1999.

Exploitants: 1 = Ousmane Fall ; 2 = Cheikh Fall ; 3 = Modou Mb.

* ppm

Champs de Case (Toll Keur : Tableau 8)

L'évolution de ce sol cultivé montre des teneurs en carbone, azote et phosphore assimilable très élevées par rapport au sol témoin analysé en 1967 dans la zone étudiée. Il s'agit d'un sol situé aux alentours de la maison communément appelée champ de case ou « toll keur ». Ces parcelles reçoivent une quantité assez importante de fumure (fumure d'origine animale – fumier) et d'ordures ménagères (en particulier de la cendre de feu de bois). L'ensemble de ces déchets peut expliquer la trop grande richesse en matière organique et phosphore assimilable de cette parcelle.

Dans l'ensemble le pH des horizons de surface et de profondeur a sensiblement augmenté.

Champs de brousse

Sols dior

Les faits marquants dans l'évolution du sol de champ de brousse (Tableau 9) sont :

- la diminution de la teneur en carbone de l'horizon de surface qui a une baisse de 25% sur les 32 années qui séparent les mesures;
- la diminution de la teneur en phosphore assimilable dans le premier horizon qui est passée de 30 ppm à 11 ppm, une baisse de plus de 45% sur la période considérée. Ces parcelles sont carencées en phosphore car les teneurs minimales considérées comme seuil sont 15 ppm.
- La diminution de la teneur en éléments fins du premier horizon qui a une baisse de plus de 25% pour la période considérée.

Tableau 9 : Caractéristiques d'un sol *dior* cultivé (champs de brousse) à Ndiamsil, analysé en 1967 et 1999

	Référence Exploitants, 1999			Référence Exploitants, 1999		
	1967	1	2	1967	1	2
<i>Profondeur (cm)</i>		0-10			30-40	
pH	6,7	5,9	6,8	5,8	5	5,4
pH	5,8	5,1	6	4,7	4,2	4,4
Argile et limon %	5,7	3,7	2,2	6,4	7	6,5
Sables %	94,3	96,3	97,8	93,6	93	93,5
Carbone total ‰	1,6	1,2	1,18	1,1	0,9	1,2
Azote total ‰	0,14	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
P ₂ O ₅ assimilable*	30	11,4	16,43	37	13,4	21,9

Source: Pochtier (1968) et échantillonnage lors des enquêtes, 1999.

Exploitants: 1 = Dame Fall ; 2 = Mor Ngom.

* ppm

Sols *deck-dior*

Le pH de ces parcelles a légèrement baissé durant la période considérée. Dans l'ensemble du profil, les teneurs en éléments fins ont augmenté en profondeur. Au cours de la période considérée, les teneurs en matière organique ont aussi évoluées :

- le carbone a une hausse en surface et en profondeur ;
- les teneurs en azote augmentent en surface et en profondeur de respectivement 48% et 100% ;
- la teneur en phosphore assimilable, par contre, a considérablement diminué au cours de la période considérée.

Tableau 10 : Caractéristiques d'un sol *deck-dior* cultivé (champs de brousse) à Ndiamsil, analysé en 1967 et 1999

	Référence Exploitants, 1999			Référence Exploitants, 1999		
	1967	1	2	1967	1	2
<i>Profondeur (cm)</i>		0-10			30-40	
pH eau	6,7	6,2	6,5	5,8	5,5	5
pH kel	5,8	5,5	5,5	4,7	4,5	4,2
Argile et limon %	5,7	5,5	8,7	6,4	13,5	13,5
Sables %	94,3	94,5	91,3	93,6	86,5	86,5
Carbone total ‰	1,6	1,9	2,1	1,1	1,7	1,6
Azote total ‰	0,14	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2
P ₂ O ₅ assimilable*		30	17,9	37	20,1	31

Source: Pochier (1968) et échantillonnage lors des enquêtes, 1999.

Exploitants: 1 = Moussa D, 2 = Mbaye Fall

L'étude comparée des analyses de sols prélevés à Ndiamsil (période 1967-1999) a montré que les caractéristiques physico-chimiques de l'ensemble des champs de cases étudiés (trois) ont évolué positivement. On n'a pas observé de dégradation mais un certain enrichissement en matière organique et en phosphore assimilable. Ceci peut être expliqué de plusieurs manières :

- Les parcelles ont eu des précédents culturaux mil, culture qui reçoit beaucoup d'attention de la part des agriculteurs ; ils apportent beaucoup de matière organique d'origine animale par exemple du fumier, des ordures ménagères composées de beaucoup de cendres etc., et tous ces éléments contribuent à l'enrichissement des parcelles.
- Il faut souligner que toutes ces parcelles sont des sols type *dior*.

Concernant les quatre parcelles de champs de brousse, on a observé une dégradation plus accentuée avec des baisses notables des teneurs en matière organique (pour les sols type *dior*) et en phosphore assimilable (pour l'ensemble). La fumure y est apportée seulement sur le mil mais à des doses plus faibles. Contrairement aux champs de cases, ces parcelles peuvent aussi subir des cultures sans aucun amendement.

Darou Rahmane II

La superficie moyenne cultivée y est 14,88 hectares (31,9 ha. si on inclut dans l'échantillon le représentant du marabout qui exploite une centaine d'hectares). 52,4% sont emblavés en arachide contre 19,4% pour le mil et 28,1 pour les autres cultures. 75,1% des parcelles sont sur sols *dior* contre 10,4% sur sol *deck* et 14,4% sur *deck-dior*. De tous les villages enquêtés, c'est celui qui connaît le plus fort état de dégradation des ressources naturelles. On y note la plus faible densité de végétation et les sols les plus pauvres. Dans ce village, il y a 32 ans, le mil *souna* et le mil *sanio* étaient produits en quantités égales. Aujourd'hui seul le *souna* est produit. Il y a deux fois plus de surface cultivée en arachide qu'en mil, avec cependant un nombre de parcelles identiques.

Tableau 11 : Caractéristiques comparées (1956 et 1999) d'un sol *dior* à Darou Rahmane II

Profondeur	0-10 cm		30-40 cm	
pH eau	7,1	6,0	6,4	5,0
pH Kcl	6,5		5,9	
Argile et limon (%)	2,5	2,1	3,7	2,0
Carbone total ‰	3,2	1,5	1,4	0,9
Azote total ‰	0,3	0,1	0,1	0,1
P ₂ O ₅ assimilable* ppm	57		26	

Source : Bonfils et Faure(1956) et échantillonnage (5 par hasard) lors des enquêtes, 1999.

Tableau 12: Caractéristiques comparées (1956 et 1999) d'un sol *deck* à Darou Rahmane II

Profondeur	0-10 cm		30-40 cm	
<i>Période</i>	1956	1999	1956	1999
pH eau	5,6	6,6	5,0	7,0
pH Kcl	4,6		4,1	
Argile et limon	10,6	4,2	12,9	7,7
Carbone total ‰	2,4	1,5	1,5	1,1
Azote total ‰	0,2	0,3	0,1	0,2
P ₂ O ₅ assimilable ppm	15		7,0	

Source : Bonfils et Faure, 1956 et échantillonnage lors des enquêtes, 1999.

Comparés au profil de référence, les sols *dior* de Darou Rahmane II (tableau 11) ont connu une chute de pH d'une unité pour l'horizon de surface et de 1,4 unités pour le deuxième horizon. La teneur argile et limon a diminué. La teneur en carbone est passée de 3,2 à 1,5‰, soit une chute de 53% en valeur relative.

Dans l'ensemble, tous les paramètres du sol *deck* (tableau 12) ont évolué en baisse, comparés à ce qu'ils étaient en 1956. La plus importante baisse est celle de la teneur en argile + limon. La teneur en carbone de l'horizon de surface a connu une baisse relative

de l'ordre de 38%. Les teneurs en phosphore assimilables en 1956 sont les plus faibles des sols étudiés.

Tableau 13: Caractéristiques d'un sol d'un champ de case à Darou Rahmane II en 1999

	0-10 cm	10- 20 cm	20-30 cm	30-40 cm
pH eau	6,3	5,8	5,7	5,3
pH Kcl	4,7	4,7	4,6	4,4
Argile + limon	4,5	4,5	5,2	5,5
Carbone total ‰	1,0	1,0	1,0	1,0
Azote total ‰	0,1	0,1	0,1	0,1
P ₂ O ₅ assimilable* ppm	10,5	8,5	8,0	6,0

Le sol cultivé en champ de case ne présente aucune amélioration notable par rapport au même type de sol cultivé en plein champ (tableau 13). Les caractéristiques sont même plus défavorables dans le premier cas.

Sob

La superficie moyenne cultivée est de 9,2 hectares dont 57% en arachide, 40% en mil et 2,5 pour les autres cultures. 5,9% des parcelles sont sur sol *dior*, 40,3% sur sol *deck* et 1,8% sur *deck-dior*. Dans ce village, le système traditionnel de rotation triennale (jachère-arachide-mil) avec parcage des animaux dans la jachère a été abandonné suite au manque de terres ayant conduit à la disparition de la jachère. Le terroir de Sob est saturé.

Les faits marquants dans l'évolution du type LR3 sont:

- la diminution de la teneur en carbone de l'horizon de surface qui est une baisse de 20% sur les 33 années qui séparent les mesures ;
- la diminution de la teneur en phosphore assimilable dans le deuxième horizon qui est une baisse de 66% ;
- la diminution de la teneur en éléments fins du deuxième horizon qui est une baisse de 27% ;
- le pH est le seul paramètre ayant connu une hausse de l'ordre d'une unité. L'origine de cette hausse n'est pas apparente.

Tableau 14 : Caractéristiques comparées des sols de Sob en 1966 et 1999

Profondeur (cm)	0-10				50-60				30-40											
Sol*	LR3		LR7		LR11		LR13		Moyenne		LR3		LR7		LR11		LR13		Moyenne	
	<i>Dior</i>		<i>Dior</i>		<i>Dior</i>		<i>Dior-deck</i>				<i>Dior</i>		<i>Dior</i>		<i>Deck</i>		<i>Dior-deck</i>			
<i>Période</i>	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
pH eau	5,6	1,1	5,9	0,7	6,3	1,4	7	-1	6,2	0,5	5,0	1,0	6,5	-0,5	6,6	0,1	6,5	-0,6	6,1	0
pH Kel	4,3	1,4	4,7	0,9	5,0	1,9	5,7	-0,6	4,9	0,9	4,1	0,6	4,7	-0,1	5,0	0,5	5,1	-0,4	4,7	-0,1
Argile et limon (%)	4,3	0	4,8	0	11,3	-5,3	8,3	-2,5	7,2	3,9	9,3	-2,5	4,2	0,3	15,0	1,7	15,1	-2,6	13,4	-0,5
Carbone total (%)	2,0	-0,4	2,6	-0,5	4,2	-1,3	4,1	-1,7	3,2	-1,0	1,2	-0,1	1,8	0,5	4,1	-2,1	2,5	-0,1	2,4	0,4
Azote total (%)	0,2	0	0,3	-0,1	0,4	0	0,3	0	0,3	0	0,2	0	0,2	0	0,2	0,04	0,2	0,1	0,2	0
Rapport C/N	10	-2,0	9,0	2	11,0	-5	14	-6	11	-3	9	-3	9,0	3	11,0	-3	6	2	8,7	-0,2
P ₂ O ₅ assimilable ppm	11	-1,6	11,0	2,8	16,0	-5,6	24	-14,1	15,5	-3,2	29	-18,6	12,0	-5	22,0	-12,1	14	-6,6	19,2	-10,6

Source : Charreau, 1970 et échantillonnages lors les enquêtes, 1999.

*LR3 : Sassagne ; LR7 : Ndemate ; LR11 : Mbediala ; LR13 : Pindacobe.

Période : (1) = 1966 ; (2) = Change à 1999

Dans le type LR7, on peut noter que le premier horizon n'a pas subi de modification importante, sauf que le taux de carbone a connu une baisse sur la période considérée. Pour le deuxième horizon, une baisse de pH et du phosphore assimilable s'est produite.

Pour le premier horizon du sol LR11, le pH eau de ce type de sol a connu une hausse. La baisse des teneurs en éléments fins est assez sensible. Le taux de carbone total a une diminution de l'ordre de 31%.

Pour le deuxième horizon les évolutions les plus importantes concernent le carbone qui a diminué de l'ordre de 51%, et la teneur en phosphore assimilable de 55%.

Toutes les caractéristiques du sol LR13, hormis la teneur en azote total ont connu une baisse.

De tous les sols étudiés dans le terroir de Sob, c'est celui qui a connu la plus forte détérioration de ses qualités intrinsèques. L'arachide a été la dernière culture pratiquée sur le sol échantillonné.

Les résultats d'analyses des échantillons prélevés dans deux champs de case de ce terroir sont consignés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Caractéristiques de deux sols cultivés (champ de case) à Sob, 1999

Profondeur (cms)	0-10		Moyenne 1966*		10- 20		20-30		30-40		Moyenne 1966**
pH eau	8,0	8,1	6,2	8,2	8,2	8,1	8,0	8,0	8,2	6,1	
pH Kcl	7,2	7,5	4,9	7,2	7,7	7,0	7,3	7,0	7,6	4,7	
Argile et limon %	12,5	4,5	7,2	5,0	5,8	6,0	5,5	6,0	6,0	13,4	
Carbone total ‰	3,7	4,4	3,2	3,0	4,0	3,0	3,1	2,2	2,4	2,4	
Azote total ‰	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	
P ₂ O ₅ assimilable ppm	116	274	15,5	96	267	99	294	95	304	19,2	

* 4 sols (tableau 14)

** 2 sols 30-40 cm, 2 sols 50-60 cm (tableau 14)

Tous les paramètres indicateurs de qualité des sols sont plus élevés dans les champs de case dans l'ensemble. Ce qui indique que l'apport continu de matières organiques permet de maintenir les qualités nutritionnelles des sols. Le pH légèrement basique de ces sols peut surprendre, mais l'explication pourrait se situer au niveau des apports de cendre et de déchets ménagers abondamment effectués par les paysans.

CONCLUSION

Cette étude menée dans trois villages du Nord du bassin arachidier fait ressortir une évolution contrastée des sols intimement liée au mode de gestion :

- les sols cultivés près des habitations communément appelés champ de case (*toll keur*), qui bénéficient d'un apport régulier de fumure organique sous forme de déjection animales et de déchets ménagers divers ont conservé ou amélioré leur potentiel de production sur les 30 à 40 dernières années, toutes conditions étant par ailleurs égales. On note à cet égard la richesse exceptionnelle des champs de case en phosphore. Ce sont généralement des sols *dior*.
- Les sols *dior* cultivés loin des habitations (champs de brousse) ont surtout été affectés par une baisse graduelle de leur teneur en matière organique, qu'il faut relativiser en fonction de la plus ou moins forte densité de *kadd* (*Faidherbia albida*) et des pratiques culturales. Le village de Darou Rahmane II soumis à une pression humaine plus forte combinée à une péjoration des conditions climatiques a connu la plus forte dégradation de la qualité de ses sols.
- Pour les sols *deck*, généralement plus riches en éléments nutritifs, le carbone et les éléments fins ont subi une certaine baisse. Cependant les sols *deck* sont moins dégradés parce qu'ayant de meilleures caractéristiques et étant moins sollicités.

Il faut souligner que si on assiste à une propension à l'augmentation des champs de case au détriment des champs de brousse, les équipements agricoles tels que les charrettes ne sont pas disponibles pour assurer le transfert de la fumure organique des concessions en brousse. Les champs de case reçoivent tous les déchets ménagers des concessions et c'est ce qui explique leur richesse. Mais il nous est difficile de juger si on assiste à une augmentation réelle des superficies concernées par les champs de case ou non.

En général il faut souligner que l'état actuel des sols est aussi la conséquence de l'impact d'autres facteurs tels que l'évolution démographique et les politiques agricoles.

ANNEXES

Tableau A1 : Méthodes d'analyses

Types d'analyses	Méthodes
pH eau et Kcl	Suspension 1/2,5, Electrode à pont KCL
Granulométrie A+L	Méthode Robinson
Azote total	Kjeldahl
Carbone total	Black & Walkley
Phosphore assimilable	Olsen

Tableau A2 : Analyses des sols, Darou Rahmane II

Paysans	Culture	Horizons	pH eau	pH kcl	A+L %	C %	N %	P ₂ O ₅ ass. ppm
Samba S	Mil	0-10	7,12	6,45	2,5	3,21	0,3	57,25
		10-20	6,92	6,14	3,2	2,18	0,19	31,86
		20-30	6,86	6,08	11,2	2	0,17	28,87
		30-40	6,39	5,91	3,7	1,39	0,13	25,89
Samba S	Mil	0-10	6,31	5,24	2,5	1	0,11	10,45
		10-20	5,84	4,74	4,5	1,04	0,12	8,45
		20-30	5,65	4,57	5,2	1,04	0,13	7,97
		30-40	5,27	4,42	5,5	1	0,11	5,97
Ablaye Faye	Arach.	0-10	5,6	4,62	4,17	1,46	0,16	15,43
		10-20	5,1	4,18	6,2	1,11	0,14	10,45
		20-30	5,07	4,13	6,7	1,21	0,14	9,46
		30-40	4,96	4,08	7,7	1,11	0,14	6,97

Tableau A3 : Analyses des sols, Ndiamsil

Paysans	Culture	Horizons	pH eau	pH kcl	A+L %	C ‰	N ‰	P ₂ O ₅ ass. ppm
Dame Fall	Mil	0-10	5,98	5,12	3,7	1,21	0,15	11,45
		10-20	5,35	4,38	6,2	1,07	0,14	11,95
		20-30	5,19	4,28	5,7	1,04	0,13	10,45
		30-40	5,04	4,26	7	0,96	0,14	13,44
Ousmane Fall	Mil	0-10	7,13	6,8	4,5	10,39	0,96	274,3
		10-20	6,41	6,25	4,7	10,64	0,99	294,1
		20-30	6,3	6,01	4,5	5,89	0,58	264,4
		30-40	6,62	6,26	4	4	0,4	227,35
Cheikh Fall	Mil	0-10	7,2	6,84	2,2	3,5	0,36	48,79
		10-20	6,96	6,34	3	1,61	0,19	41,82
		20-30	6,78	5,98	3,2	1,25	0,15	41,32
		30-40	6,8	5,88	4	1,14	0,14	36,84
Mor Ngom	Arach	0-10	6,82	6,04	2,2	1,1,18	0,14	16,43
		10-20	6,2	5,14	4	1,32	0,13	20,91
		20-30	5,6	4,49	5,2	1,18	0,14	21,9
		30-40	5,41	4,39	6,5	1,21	0,14	21,9
Moussa D	Mil	0-10	6,23	5,58	5,5	1,96	0,21	17,92
		10-20	5,68	4,76	7,7	1,82	0,2	14,94
		20-30	5,52	4,58	10,2	1,82	0,2	16,19
		30-40	5,52	4,54	13,5	1,75	0,21	20,12
Modou Mb	Mil	0-10	7,85	7,36	4,2	8,18	0,81	726,5
		10-20	8,11	7,64	4,5	4,5	0,43	662,3
		20-30	8,1	7,68	5	4,21	0,41	519
		30-40	8,27	7,8	6,7	4,21	0,41	617,8
Mbaye F	Mil	0-10	6,54	5,52	8,7	2,07	0,27	27,97
		10-20	5,71	4,72	11,2	1,82	0,22	23,06
		20-30	5	4,35	10,7	1,62	0,19	22,08
		30-40	4,97	4,24	13,5	1,58	0,19	31,41

Tableau A4 : Analyses des sols, Ngodjilème

Paysans	Culture	Horizons	Ph eau	Ph kcl	A+L %	C %	N %	P ₂ O ₅ ass. ppm
Mor Dione	Mil	0-10	6,81	5,98	3,7	2,78	0,3	85,38
		10-20	6,73	5,86	4	2,64	0,28	117,77
		20-30	6,59	5,79	4,2	1,97	0,25	112,37
		30-40	6,56	5,68	6,5	1,62	0,21	107,96
Wali Séne	Mil	0-10	7,57	7,33	3	2,54	0,28	116,79
		10-20	7,65	7,15	3,2	2,04	0,21	85,88
		20-30	7,55	7,07	3,2	1,62	0,18	83,91
		30-40	7,48	7,01	3,5	1,48	0,17	85,38
Diégane Ngom	Arach	0-10	7,09	6,24	3,2	1,51	0,19	26,99
		10-20	6,22	4,75	4,5	1,13	0,13	17,67
		20-30	5,9	4,52	3,5	1,02	0,13	15,21
		30-40	5,54	4,38	4,3	0,88	0,11	17,67
Adiouma Ngom	Arach	0-10	5,96	4,89	2,8	1,02	0,15	16,19
		10-20	5,51	4,31	3,8	0,81	0,12	17,18
		20-30	5,54	4,44	3,8	0,77	0,13	17,67
		30-40	5,32	4,24	5,5	0,85	0,13	19,14
Gogui Diouf	Mil	0-10	6,48	5,34	7,8	2,22	0,25	45,64
		10-20	6,19	5,19	10	2,12	0,26	33,86
		20-30	6,49	5,34	12,3	2,12	0,21	27,48
		30-40	6,47	5,34	14,3	2,18	0,21	24,05
Jaraf Seck	Mil	0-10	6,38	5,62	7,8	2,46	0,24	35,59
		10-20	6,19	5,14	10,3	2,08	0,19	20,76
		20-30	6,22	5,21	4,5	1,94	0,17	22,24
		30-40	6,11	5,26	11,8	2,08	0,16	19,77

Tableau A5 : Analyses des sols, Sob

Paysans	Culture	Horizons	Ph eau	Ph kcl	A+L %	C % ₀	N % ₀	P ₂ O ₅ ass. ppm
Gorgui Tine	Mil	0-10	7,99	7,24	12,5	3,73	0,38	116,64
		10-20	8,16	7,16	5	2,99	0,25	95,58
		20-30	8,1	7,02	6	2,96	0,25	99,34
		30-40	8,07	6,96	6	2,22	0,2	94,9
Gorgui Diouf	Mil	0-10	8,05	7,54	4,5	4,37	0,39	274,3
		10-20	8,16	7,67	5,8	4,01	0,34	266,9
		20-30	8,03	7,34	5,5	3,06	0,24	294,1
		30-40	8,22	7,62	6	2,36	0,14	303,95
Ndémate	Mil	0-10	6,56	5,59	4,8	2,11	0,17	13,84
		10-20	5,94	4,55	9,5	2,15	0,18	12,85
		20-30	5,62	4,43	10,8	2	0,19	9,39
		30-40	5,97	4,79	14,5	2,29	0,24	6,92
Pindacobe	Mil	0-10	6,04	5,13	5,8	2,39	0,28	9,89
		10-20	5,47	4,78	10,5	2,96	0,27	8,9
		20-30	6,75	4,67	11,5	2,32	0,26	5,93
		30-40	5,87	4,74	12,5	2,43	0,25	7,42
Mbédiala	Arach	0-10	7,74	6,94	6	2,89	0,41	10,38
		10-20	6,52	5,54	10,5	2,43	0,31	10,38
		20-30	6,74	5,53	12,5	2,11	0,23	6,92
		30-40	6,67	5,48	13,3	2	0,24	9,89
Sassagne	Arach	0-10	6,72	5,71	4,3	1,62	0,22	9,39
		10-20	6,55	5,4	4,3	1,48	0,19	8,9
		20-30	5,98	4,72	6,5	1,34	0,18	9,39
		30-40	6,03	4,64	6,8	1,13	0,16	10,38

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALLARD, J.L., BERTHEAU, Y., DREVON, J.J., SEZE, O. et GANRY, F. (1983) « Ressources en résidus de récolte et potentialités pour le biogaz au Sénégal », *Agronomie Tropicale*, 38/32 : 213-221.
- BADIANE, N. A. (1993) *Le statut organique d'un sol sableux de la zone centre-nord du Sénégal*. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy.
- BENE, H. (1993) *Intérêt de l'analyse économique dans le choix d'un type de fertilisation des sols à Baback : mémoire de fin d'études*. Option Planification économique. Ecole Nationale d'Economie Appliquée/Winrock International.
- BONFILS, P. et FAURE, J. (1956) « Les sols de la région de Thiés : Annales du Centre de Recherches Agronomiques de Bambey au Sénégal », *Bulletin Agronomique*, 16 : 6-92.
- CHARREAU, C.L. (1970) « Note sur les sols du terroir de Sob (document photocopie) : Sob en pays sereer », *Observations agricoles de 1965 à 1969*. ORSTOM, Dakar.
- COPANS, J. (1988) *Les marabouts de l'arachide: La confrérie mouride et les paysans de Sénégal*. Editions Harmattan, Paris.

- DANCETTE, C. et SARR, P.L. (1985) *Dégradation et régénération des sols dans les régions centre-nord du Sénégal (Cap-Vert, Thiès, Diourbel, Louga)*. Département de Recherches sur les Systèmes de Production et le Transfert de Technologies en Milieu Rural, ISRA, Dakar.
- DAVID, R. et NIANG, O.K. (1995) « Case study, Diourbel, Senegal », in *Changing places? Women, resource management and migration in the Sahel*. SOS Sahel, Londres.
- FAYE, A., FALL, A. et COULIBALY, DJIBRIL (2000) 'Région de Diourbel: Evolution de la production agricole', *Drylands Research Working Paper 16*. Drylands Research, Crewkerne, Royaume-Uni.
- GANRY, F. (1985) *Programme de valorisation agricole des ressources naturelles*. Service de biochimie des sols. Synthèse des résultats, 1984. Centre National de Recherches Agronomiques de Bambey, Bambey.
- GAYE, M. (1998) *Les politiques d'ajustement dans le secteur agricole sénégalais : Analyse critique des implications sur la filière arachidière*. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, Belgique.
- N'DOYE, A.F. (1996) *Evaluation des impacts socio-économiques du projet collaboratif Winrock International/ISRA/CCF/NRBAR sur les ménages ruraux*. Mémoire, diplôme d'ingénieur agronome, Département Economie rurale, Ecole nationale supérieure d'agronomie (ENSA), Thiès.
- PICHOT, J. (1985) « Les résidus culturaux peuvent-ils assurer le maintien du statut organique des sols tropicaux », in Pichot, J. (ed.) *Actes de l'atelier Gemos*. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Montpellier.
- POCHIER, G. (1968) *Note sur quelques facteurs pédologiques des sols de la zone nord du bassin arachidier Sénégalais : Etat des lieux et situation des sols de Diamysyl*. Annales du Centre des Recherches Agricoles, Bambey.
- SAGNA-CABRAL, M.A. (1989) *Utilisation et gestion de la matière organique d'origine animale dans un terroir du centre nord du Sénégal*. Mémoire d'Etude, Centre National d'Etudes Agronomiques des Régions Chaudes (CNEARC), Montpellier.
- SALL, P.N. (1993) *Etat des connaissances sur la végétation à parcs traditionnels au Sénégal*. Institut sénégalais de Recherches Agricoles : Productions Forestières/ISCAF, Dakar.
- SENEGAL, DIRECTION DE L'AGRICULTURE (1998) *Première évaluation du programme de phosphatage de fond des sols, campagnes agricoles, 1997/98 et 1998/99*. Ministère de l'Agriculture, Dakar.
- SENEGAL, MINISTÈRE D'HYDRAULIQUE (1994) « Bilan - diagnostic des ressources en eau du Sénégal. Systèmes d'Informations Géographiques sur les ressources en Eau du Sénégal (SIGRES) », Projet MH/PNUD/DDSMS-SEN/87/006, Office des Recherches Scientifiques et Techniques d'Outremer, Dakar.
- SENAGROSOL (1987) *Etude d'évaluation de la dégradation de la fertilité des sols*. Projet agroforesterie conservation des sols et des eaux, Société de développement et de vulgarisation agricole /USAID, Dakar.
- SENAGROSOL (1989) *Etude de la filière engrais au Sénégal, Rapport de synthèse*. Direction de l'agriculture/USAID, Dakar.