Institut Sénégalais
de Recherches
Agricoles

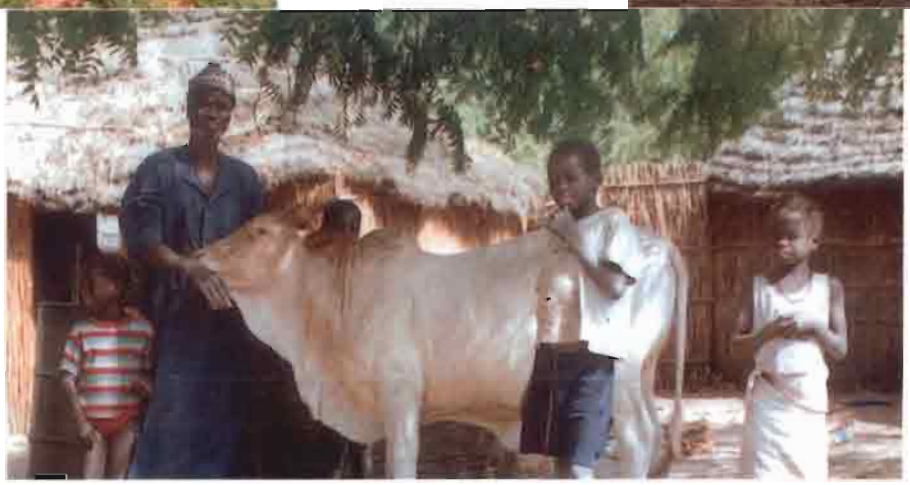
Institut du Sahel
Comité permanent inter-Etats de lutte
contre la sécheresse dans le Sahel

Centre Technique
de Coopération Agricole
et Rurale ACP-UE

GESTION ET TRANSFORMATION DE LA MATIERE ORGANIQUE

Synthèse des travaux de recherches menés au Sénégal depuis 1945

Editeurs scientifiques
Aminata Niane BADIANE
Mamadou KHOUMA
Modou SÈNE



Institut du Sahel (INSAH)

L'Institut du Sahel (Insah) est une institution spécialisée du Cilss chargée de la coordination, de l'harmonisation et de la promotion de la recherche scientifique et technique dans les pays du Sahel. Il est composé de deux programmes majeurs : Recherches agro-socio-économiques, Population et développement.

Recherches agro-socio-économiques (AGROSOC)

Dans ce programme sont menées les activités suivantes :

- *Etudes et analyses* sur les déterminants d'adoption des pratiques en gestion des ressources naturelles; les effets de la dévaluation sur les prix, les coûts de production, les revenus et la consommation des ménages; l'impact de la recherche agricole au Sahel ; les réformes institutionnelles des SNRA, l'éducation environnementale.
- *Réflexions stratégiques* sur le rôle de l'agriculture dans la transformation structurelle, les rapports entre les politiques d'ajustement et le développement durable.
- *Appui aux Etats* dans l'exécution de divers programmes sous-régionaux.
- *Information et documentation* : animation d'un réseau de centres nationaux de documentation (Resadoc), publications de différentes séries scientifiques.
- *Formation* des responsables et membres du réseau Resadoc, des auteurs et éditeurs scientifiques et des chercheurs en méthodologie d'évaluation économique de la recherche agricole, en planification stratégique, en édition scientifique, en rédaction d'articles de recherche, etc.

Population et développement

Les activités prévues dans ce programme sont les suivantes :

- *Etudes et recherches* sur population, environnement et développement, migration et urbanisation, femme, famille et développement, santé et société, sida.
- *Formation* : organisation d'ateliers, de séminaires et de stages ; octroi de bourses d'études (Maîtrise, Doctorat) ; appui à la mise en place de programmes dans les universités.
- *Assistance technique*: appui au développement des politiques et programmes de population, des programmes de SMI/PF, accueil, conception et évaluation des projets en matières de population.
- *Information*: animation d'un réseau de journalistes ; publication de différentes séries scientifiques et de vulgarisation telles que *Pop SAHEL*.
- *Informatique* : développement de logiciels appropriés, de bases de données ; traitement de données d'enquête; conseil.

Gestion et transformation de la matière organique

Synthèse des travaux de recherche menés au Sénégal depuis 1945

Equipe de rédaction

Aminata Niane Badiane
Madiagne Diagne
Abdou Fall
Adama Faye
Moustapha Kébé
Mamadou Khouma
Modou Sène

© ISRA, ISBN 0850-2277
Tous droits de traduction et de reproduction réservés
Edition ISRA, novembre 2000

Préface ---------- 7
Remerciements ---------- 9
Préambule ---------- 11
Présentation générale ---------- 13

Les facteurs d'évolution de l'agriculture sénégalaise : incidence sur la qualité des sols ---------- 15

Chapitre 1. Les grands ensembles agro-écologiques ---------- 17
Les zones agro-écologiques du Sénégal ---------- 17
Les facteurs de différenciation ---------- 17

Chapitre 2. La pression humaine et animale sur les sols ---------- **33**
L'homme et l'animal dans les grands ensembles définis ---------- 33
L'impact sur l'évolution du sol ---------- 34

Chapitre 3. Les politiques agricoles ---------- **35**
Les objectifs de développement agricole ---------- 35
Les stratégies et les mécanismes de la mise en œuvre des politiques agricoles ---------- 35

Chapitre 4. Systèmes agraires et gestion de la fertilité ---------- 40
Les systèmes agraires dans les terroirs Wolof de l'ancien bassin arachidier ---------- 40
Les systèmes agraires en pays Sereer ---------- 41
Les systèmes agraires mixtes dans les zones d'extension du bassin arachidier ---------- 42
Les systèmes agraires des zones subhumides ---------- 42

Bilan des recherches sur la matière organique ---------- 45

Chapitre 1. Les sources de matière organique et leurs modes de valorisation ---------- 47
Résidus pailleux des cultures (et de post-récolte) ---------- 47
Déjections animales ---------- 52

Chapitre 2. Fertilité et fertilisation des sols ---------- 55
Définitions et concepts ---------- 55

Statut organique des sols ---- 58
Evolution de la pratique de fertilisation organique du sol au Sénégal ---- 59
Evolution de la fertilité des sols sous culture ---- 59
Pratiques culturales ---- 76
Evolution de la fertilisation minérale et organo-minérale ---- 78
Conclusion ---- 86

Chapitre 3. Les processus de transformation de la matière organique ---- 89
Processus de transformation ---- 89
Incidences sur les caractéristiques du sol ---- 97

Chapitre 4. Evaluation économique et sociale des technologies sur la matière organique ---- 99
Problématique du développement rural ---- 99
Rentabilité économique et impact socio-économique ---- 101

Perspectives d'amélioration de la fertilité des sols pour une agriculture durable ---- 105

Chapitre 1. Les grands défis de l'agriculture ---- 107
Le défi démographique ---- 107
Le défi climatique ---- 108

Chapitre 2. La relance de la production ---- 109
Contexte ---- 109
Objectifs ---- 109
Stratégies ---- 110

Chapitre 3. Perspectives, conclusions et recommandations ---- 113
Perspectives ---- 113
Conclusions et recommandations ---- 113

Références bibliographiques ---- 119
Liste des tableaux et figures ---- 128
Liste des sigles ---- 130

Préface

La matière organique est un élément clé de la fertilité des sols tropicaux. Tous les chercheurs soucieux de l'amélioration de leur productivité lui ont consacré une attention soutenue. C'est particulièrement vrai au Sénégal. Il faut donc rendre hommage et féliciter les auteurs et les initiateurs de cette publication. Elle est extrêmement importante et vient à son heure quand on semble, depuis bientôt une décennie, découvrir certains principes fondamentaux de l'agronomie, pratiqués au Sénégal depuis 50 ans et qui reposent sur la notion de faire «**l'agriculture en bon père de famille**». Cette agriculture est soucieuse de préserver le patrimoine naturel par une combinaison judicieuse de l'amendement organique et de la fertilisation minérale, de bonnes méthodes culturales et de la lutte intégrée contre les maladies et les ravageurs des cultures.

Cette publication passe en revue toutes les études sur la matière organique, qui ont été menées au Sénégal depuis près de cinquante ans qu'elles aient été publiées dans des revues scientifiques ou des rapports techniques, communément appelés littérature grise et actuellement menacés de disparition avec la vogue des librairies virtuelles. Elle montre la fragilité de la matière organique en milieu tropical et particulièrement en milieu sahélien et donc le besoin de la gérer d'une manière rationnelle. Il est nécessaire dans ce milieu difficile d'augmenter et d'optimiser la biomasse produite pendant les courtes périodes de pluies. L'étude arrive à la conclusion que les sols à faibles teneurs en matières organiques valorisent peu la fertilisation, et elle reconnaît aussi qu'aucune amélioration technique prise isolément n'a autant augmenté les rendements que les engrais minéraux. Elle conclut «**la recherche d'une combinaison judicieuse, avec des formules simples, optimisant les avantages des deux types de fertilisation associés à des actions valorisantes tel que le labour doit être la priorité de tous ceux qui sont impliqués dans le processus d'édification d'une agriculture productive et durable**».

Je partage entièrement cette conclusion car je suis convaincu que la faim et la malnutrition qui sont des fléaux en Afrique ne seront pas vaincues **par l'agriculture sans ou à faibles intrants que préconisent ceux qui n'ont jamais connu la faim et plus soucieux de leur confort individuel que de la faim dans le monde**. Comme le répète inlassablement le professeur Norman Borlaug, prix Nobel de la paix et pionnier de la Révolution verte, agriculture à faible intrants signifie agriculture à faible production/productivité. Le défi de l'Afrique à l'aube du vingt et unième siècle est de vaincre la faim et la pauvreté. Elle ne pourra relever ce défi qu'en intensifiant son agriculture. Pour citer encore Borlaug, la production alimentaire *per capita* a augmenté le plus en Asie où la consommation d'engrais minéral a augmenté de plus de cinq fois pendant les 20 dernières années. En 1961, en comparant la Chine et l'Inde, il y avait un différentiel de rendement moyen de 0,4 t/ha en faveur de la Chine. Pendant des siècles la Chine a fait du recyclage de la matière organique, du fumier et des résidus de récolte son credo, alors qu'en Inde les agriculteurs indiens brûlaient le fumier de leurs troupeaux comme combustible domestique. Aujourd'hui la Chine est le plus gros producteur et importateur d'azote et le deuxième et le troisième respectivement pour la production et la consommation d'engrais phosphatés. De la même manière, l'auto-

suffisance céréalière de l'Inde en 1975 n'aurait jamais pu se produire sans des investissements considérables en engrais minéraux. Pour les défenseurs de l'environnement, il suffit de leur rappeler que ce n'est pas avec moins de 10 kg/ha de consommation annuelle moyenne de fertilisants minéraux en Afrique, que les engrais constituent un danger pour l'environnement. C'est l'agriculture minière, sans restitution d'éléments minéraux, qui dégrade les sols et constitue une menace pour l'environnement. Borlaug a montré que si les rendements de céréales en 1961 de la Chine étaient restés les mêmes en 1992, la Chine serait obligée d'emblaver plus de trois fois les surfaces consacrées aux céréales et l'Inde deux fois, pour avoir les mêmes récoltes qu'elles ont eues en 1992. Un surplus de terre évidemment inexistant dans ces deux pays. Donc l'intensification de la production permet d'éviter la mise en culture des terres marginales et fragiles et la menace de l'environnement.

Il est temps que les décideurs politiques africains se rendent compte que sans intensification de l'agriculture, basée sur des pratiques scientifiquement prouvées, ils ne gagneront pas les batailles du troisième millénaire contre la faim et la pauvreté. Cette publication ouvre des perspectives prometteuses.

Gora BÈYE
Ancien Chef du Service du développement
de la recherche et de la technologie
de la FAO à Rome

Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier tous les collègues chercheurs du CIRAD, de l'IRD ex ORSTOM et de l'ISRA et à préciser que rien n'aurait pu être accompli sans leurs importants travaux et leurs expériences vécues au cours de ces cinquante dernières années. Les nombreuses références citées dans la bibliographie en témoignent.

Nos remerciements vont également à Nicolas Dupuy, consultant, qui nous a aidés à rassembler la masse d'informations nécessaire à la réalisation de cet ouvrage et qui nous a appuyé pour son édition.

La première version de l'ouvrage a bénéficié des critiques et commentaires fort utiles de plusieurs lecteurs scientifiques dont les avis pertinents et les encouragements nous ont permis de l'améliorer. Nous avons le plaisir de reconnaître en eux à la fois des maîtres et des amis à qui nous adressons nos profonds remerciements et particulièrement au « doyen » Gora Bèye, Chef du Service du développement de la recherche et de la technologie à la FAO, qui nous a fait l'honneur de préfacer notre ouvrage.

Il convient de souligner que le présent ouvrage n'aurait probablement jamais vu le jour si le Directeur scientifique de l'ISRA, Jean Pierre Ndiaye, n'avait pas discerné l'importance et l'enjeu de faire la synthèse des acquis des travaux de recherches portant sur la matière organique au Sénégal. Nos remerciements vont à Monsieur Jacques Faye, ancien Directeur général de l'ISRA qui, en son temps, avait bien voulu autoriser cette synthèse et enfin à Monsieur Pape Abdoulaye Seck, Directeur général de l'ISRA, qui dans la foulée, nous a soutenu au cours de cette réflexion jusqu'au bout.

Les moyens financiers qui ont été dégagés par le projet ISRA-NRBAR/USAID pour ce travail de longue haleine, la collaboration franche de toute son équipe de gestion en particulier de Monsieur Tom Cusack, chef d'équipe du projet, de M^{me} Candide Leguede, administrateur du projet, et de M^{me} Faty Mbengue, assistante administrative, n'ont jamais fait défaut. Qu'ils trouvent ici l'expression de nos vifs remerciements. Nous ne saurions terminer sans avoir remercié l'Institut du Sahel (INSAH-CILSS) à Bamako et le Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) à Wageningen qui ont bien voulu appuyer l'ISRA dans l'édition de notre ouvrage.

Les éditeurs scientifiques

Préambule

Dans tous les écosystèmes cultivés du Sénégal, la gestion et l'utilisation de la matière organique d'origines végétale et animale constituent de véritables défis à l'augmentation de la productivité agricole et, en particulier, à l'amélioration des sols. La gestion de la fertilité de ces sols est une nécessité absolue compte tenu de la baisse généralisée de la fertilité engendrée par la dégradation physique et chimique du milieu naturel.

Plus de cinquante années de travaux de recherche basés sur l'utilisation de la matière organique ont animé ce besoin de réhabilitation des sols sénégalais. Pourtant, comme l'a si bien signalé Piéri (1989) « trop d'écrits, peu diffusés, difficilement disponibles font courir le risque de la perte de ce capital de connaissances ». Pour aller plus loin, la faible diffusion des résultats a parfois conduit les chercheurs à mener des activités déjà réalisées antérieurement et ignorées par la plupart des plus jeunes d'entre eux. Au moment où les moyens financiers se font de plus en plus rares, **l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA)** a jugé nécessaire et opportun de réunir, ordonner et analyser cette masse d'informations et d'en tirer des conclusions et perspectives pour une meilleure prise en charge future des activités de recherche sur la gestion et l'utilisation de la matière organique.

Ce présent document a des limites. Il n'a pas la prétention de passer en revue toutes les sources de matière organique utilisées ou étudiées au Sénégal. Il n'a pas été possible de consulter tous les documents s'y rapportant. Nous n'avions pas non plus suffisamment de recul pour tenir compte des travaux récents, intéressants mais encore embryonnaires. Certes, des travaux réalisés récemment sur les techniques agroforestières font références mais beaucoup de choses restent à confirmer. Cet ouvrage met l'accent sur les éléments les plus utilisés à travers le pays et qui restent les résidus de culture et les déjections animales. C'est une première ébauche qu'il s'agira de critiquer, de compléter et de consolider.

Dans le contexte actuel de la volonté politique d'une relance de l'agriculture, il est opportun de tirer les leçons du passé afin de mieux préparer l'avenir. Ceci ne pouvait se faire sans l'analyse des politiques agricoles antérieures qui ont accompagné les actions de développement et dont un des objectifs était l'amélioration de la productivité agricole.

Cet ouvrage est d'abord destiné aux scientifiques et aux agents engagés dans des actions de développement agricole. Il peut aussi être une importante source documentaire pour les étudiants s'intéressant à la question qui y trouveront une bibliographie exhaustive.

Présentation générale

Problématique et cadre de l'étude

L'accroissement des besoins vivriers dans le contexte actuel d'une stagnation voire d'une baisse de la production agricole constitue un problème majeur en zone tropicale sèche et notamment au Sénégal.

Il est bien établi que le statut organique joue un rôle primordial dans la productivité des terres mais aussi un rôle de régulateur. La synthèse la plus récente sur cette question a été réalisée par Piéri (1989). Cette synthèse montre, comme tous les autres travaux entrepris ces dernières années, une dégradation croissante de la fertilité des sols incluant une perte de leur capacité régulatrice et, en particulier, de leur pouvoir tampon. Cette situation menace gravement la reproductibilité des systèmes de production et leur capacité à subvenir aux besoins alimentaires des populations.

Dans ce contexte, le problème de l'entretien organique des sols se pose avec acuité. L'ensemble des régions du Sénégal est concerné par la problématique du maintien et de la restauration de la fertilité des sols. De gros efforts et de grands moyens humains et financiers ont été déployés au cours des cinquante dernières années pour lutter contre leur dégradation et leur appauvrissement. Les solutions proposées ou apportées peuvent, dans la forme, paraître différentes d'une région à l'autre. Elles dépendent de la disponibilité des résidus organiques et des techniques ou technologies en place. De plus, elles sont étroitement liées aux conditions écologiques, bioclimatiques, pédologiques, aux choix agronomiques mais aussi, et non des moindres, aux réalités socio-économiques de la région concernée. Toutefois, dans le fond, les solutions visent toutes à l'amélioration et/ou au maintien de la fertilité des sols.

A partir de 1948, le Centre National de la Recherche Agronomique de Bambey (un des plus anciens centres de recherches en zone Ouest Africaine) a abrité de nombreuses recherches sur la fertilité des sols (Bouffil, 1950 et Bouyer, 1962). Depuis cette date jusqu'à nos jours, une multitude de travaux de recherche et de développement agricole se sont succédé sur toute l'étendue du territoire du Sénégal.

Trois périodes peuvent être distinguées dans les priorités accordées aux recherches :

❶ de 1945 à 1960, les travaux de recherche ont été basés sur deux conceptions : d'une part, une conception d'ordre économique envisageant une amélioration partielle et à court terme de la fertilité des sols et, d'autre part, une conception d'ordre technique visant une amélioration complète et durable de la fertilité. Ces recherches ont été essentiellement axées sur la fertilisation minérale et l'étude de la matière organique a essentiellement porté sur la gestion de l'engrais vert. Cette politique de fertilisation n'a pas atteint les objectifs escomptés.

❷ de 1960 à 1975, les gouvernements en place ont appliqué une politique agricole basée sur l'utilisation des engrais minéraux à grande échelle. Les paysans ont alors « découvert » l'effet positif des engrais minéraux sur les rendements des cultures. De fait, les possibilités offertes par la matière organique d'origine végétale et/ou animale ont été quelque peu négligées.

❸ de 1975 à nos jours, avec la crise de l'énergie et la dévaluation du franc CFA, on a assisté à un double échec de la politique d'intensification par les engrais minéraux. Les terres cultivées ont atteint une acidification très élevée. La détérioration de la situation climatique a rendu la réponse des cultures à la fumure très aléatoire. Dans les conditions actuelles, compte tenu de la

cherté des engrais minéraux et de la nécessité de maintenir, voire d'améliorer la fertilité des sols pour augmenter la productivité, on assiste à nouveau à un regain d'intérêt pour l'amendement organique.

Ce regain d'intérêt a été pris en compte par la recherche à travers ses programmes. La gestion rationnelle des ressources organiques est une composante incontournable du développement agricole au Sénégal. Elle est souvent présentée comme une alternative plausible pour juguler la baisse tendancielle de la production agricole dans un pays où les besoins alimentaires de la population sont de plus en plus élevés. Il est connu de tous que le maintien de la fertilité du sol est un élément important de l'utilisation durable des terres. Au cours de ces dernières décennies, d'importants échanges d'idées et d'expériences sur le recyclage de la matière organique dans l'agriculture ont eu lieu et ont permis de préconiser des techniques rationnelles. Toutefois des contraintes socioculturelles, insuffisamment prises en compte, ont contribué à la non adoption de ces techniques dans certaines zones.

La diversité et l'importance des activités de recherche réalisées au cours de ces cinq dernières décennies rendaient nécessaire l'établissement d'un bilan qui doit permettre aux chercheurs de faire le point sur les recherches menées pour mieux redéfinir leurs orientations. Pour cette raison, l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) a décidé de réaliser une synthèse sur les travaux portant sur la gestion et les transformations de la matière organique au Sénégal. A cet effet, un référentiel bibliographique a été préparé et proposé pour dresser les fondations scientifiques de la problématique (Dupuy, 1996).

Objectifs

Ce présent ouvrage passe en revue l'essentiel des travaux de recherches sur la gestion et les transformations de la matière organique.

Ses deux principaux objectifs sont :

❶ faire le point sur les acquis et l'état des connaissances de la recherche dans le domaine de la gestion de la matière organique au Sénégal ;

❷ envisager de nouvelles stratégies et dégager de nouveaux axes de recherche et de collaboration pouvant apporter des solutions durables au problème de la fertilité des sols au Sénégal.

Un autre objectif est de faire partager aux pays de la sous-région, concernés par la restauration et le maintien de la fertilité des sols, l'expérience acquise au Sénégal.

Organisation du document

Le document comporte trois grandes parties. La première partie porte sur les principaux facteurs d'évolution de l'agriculture sénégalaise et leur incidence sur la qualité des sols. Le bilan des recherches sur la matière organique a été réalisé dans la deuxième partie. Pour terminer, les perspectives d'amélioration de la fertilité des terres pour une agriculture durable sont examinées dans la troisième partie. Dans cette partie, les grands défis de l'agriculture sénégalaise, la relance de la production et les besoins et orientations en matière de recherches seront développés.

PREMIÈRE PARTIE

Les facteurs d'évolution de l'agriculture sénégalaise :
incidence sur la qualité des sols

Chapitre 1

Les grands ensembles agro-écologiques

Pays sahélien situé à la pointe ouest du continent africain, le Sénégal s'étend sur une superficie de 196.720 km². Il est délimité par la Mauritanie au nord, le Mali à l'est, la Guinée Conakry et la Guinée Bissau au sud et l'Océan Atlantique à l'ouest. Le pays est essentiellement rural. Soixante dix pour cent (70%) de la population active occupent le secteur primaire et la part de ce secteur dans le PIB national est importante (11% entre 1987 et 1993 contre 19% au secteur secondaire pour la même période ; Ministère de l'Agriculture, DPDA, 1994).

La péjoration climatique a considérablement affecté les ressources naturelles. Elle a été d'autant plus ressentie qu'elle a été exacerbée par une action anthropique négative consistant essentiellement en des pratiques culturales inappropriées, des coupes d'arbres abusives, des feux de brousse et une surexploitation des ressources en eau et des pâturages.

La combinaison de ces actions est en partie à l'origine de la dégradation des sols qui constituent une des bases productives des ressources naturelles. Le mauvais état actuel des sols est aussi la conséquence de l'impact d'autres facteurs tels que l'évolution démographique et, dans une certaine mesure, la faiblesse des politiques agricoles. En définitive, un ensemble de contraintes ont considérablement réduit le potentiel biologique (couvert herbacé, cheptel, faune...) et diminué la productivité des systèmes agraires. Malgré les efforts déployés ces dernières années au Sénégal pour améliorer les performances du secteur agricole et l'offre alimentaire en général (Plan Stratégique ISRA, 1998), ceux-ci n'ont pas été suffisants pour renverser les tendances fortes enregistrées telles que la baisse des productions agricoles, la paupérisation et la dégradation des ressources naturelles. Le désengagement de l'Etat, le processus de décentralisation/régionalisation, la dévaluation du franc CFA, la libéralisation et la mondialisation des échanges commerciaux, l'intégration régionale, le déficit pluviométrique sont autant de changements survenus ces dernières années qu'il convient désormais de prendre en compte dans la relance tant souhaitée de l'agriculture sénégalaise.

Les zones agro-écologiques du Sénégal

En s'inspirant des travaux d'élaboration du plan stratégique de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), un découpage en huit (8) zones agro-écologiques a été proposé sur la base de critères physiques, humains et agricoles (Basse et Moyenne Casamance, Sénégal Oriental/Haute Casamance, Centre Nord Bassin Arachidier, Sud Bassin Arachidier, Fleuve, Zone Sylvo-Pastorale, Niayes, Zone Maritime). Ce découpage permet non seulement une régionalisation rationnelle de la programmation et de l'exécution des activités de recherche mais aussi d'être présent au niveau de chaque région administrative et de répondre spécifiquement aux demandes des autorités et des producteurs. Ces huit zones montrent notamment une importante diversité de leurs agro-systèmes s'intégrant dans de grands ensembles sous-régionaux marqués par des systèmes de production spécifiques (figure 1 et tableau 1).

Les facteurs de différenciation

Le climat

Sur le plan climatique, la délimitation du Sénégal peut être basée sur la durée de la saison des pluies. D'une manière assez simplifiée, on détermine le nombre de mois humide par an, c'est-à-dire avec plus de 50 mm. Sur cette base, du nord au sud, la durée de la saison des pluies passe de deux à cinq mois. Cela correspond approximativement à des cumuls pluviométriques annuels variant respectivement de 250 à 1300 mm. La sécheresse intervenue au cours des trois dernières décennies a causé un glissement important des isohyètes vers le sud (figures 2 et 3). Dans les pays du Sahel, le Sénégal constitue un cas particulier. En effet, pour une même

hauteur de pluviométrie annuelle, la durée de la saison des pluies y est plus courte ce qui constitue une contrainte importante aussi bien pour l'alimentation hydrique des cultures que pour les opérations culturales (préparation du sol en particulier, Charreau, 1978). Ainsi, au Sénégal, la pluviosité présente deux caractéristiques majeures non favorables à l'agriculture. Premièrement, la très forte variabilité dans le temps pose un problème de stress hydriques fréquents au cours du cycle des cultures. Ceci affecte en général les composantes du rendement qui s'expriment lors des phases de l'implantation et de la fructification (Sène, 1995).

Deuxièmement, les fortes intensités des pluies leurs confèrent un très grand pouvoir érosif.

Figure 1 : Limite des zones agro-écologiques du Sénégal

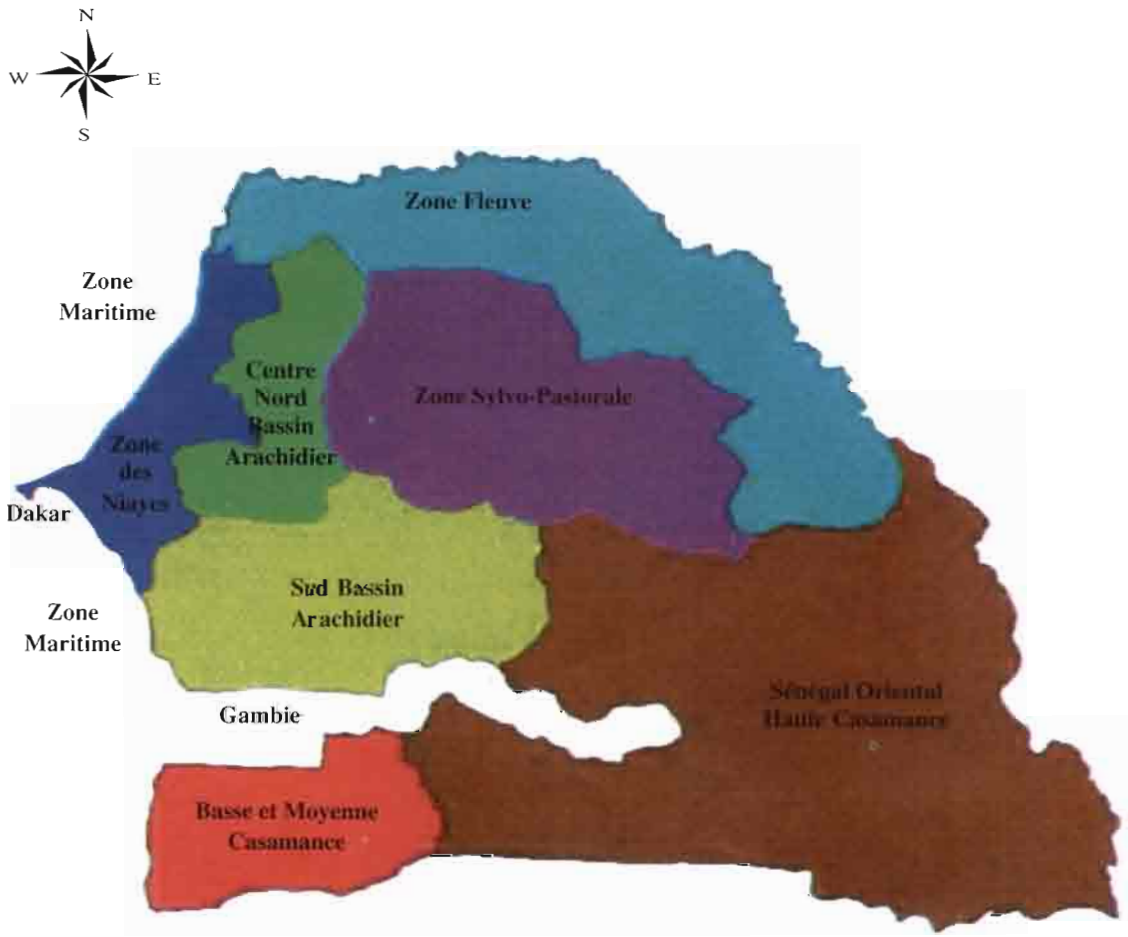


Figure 2. Situation de la pluviométrie durant la période humide

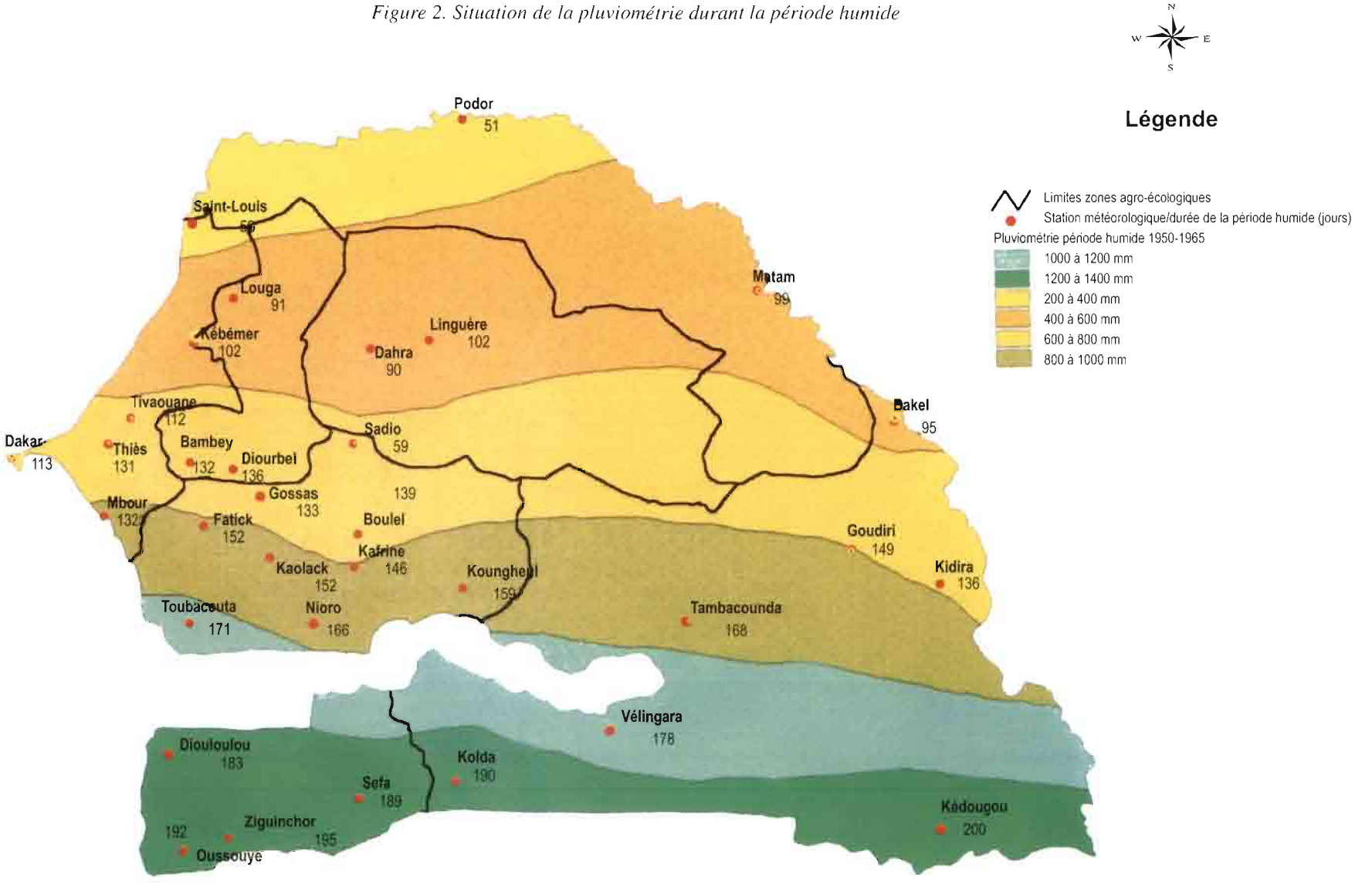


Figure 3. Situation de la pluviométrie durant la période sèche

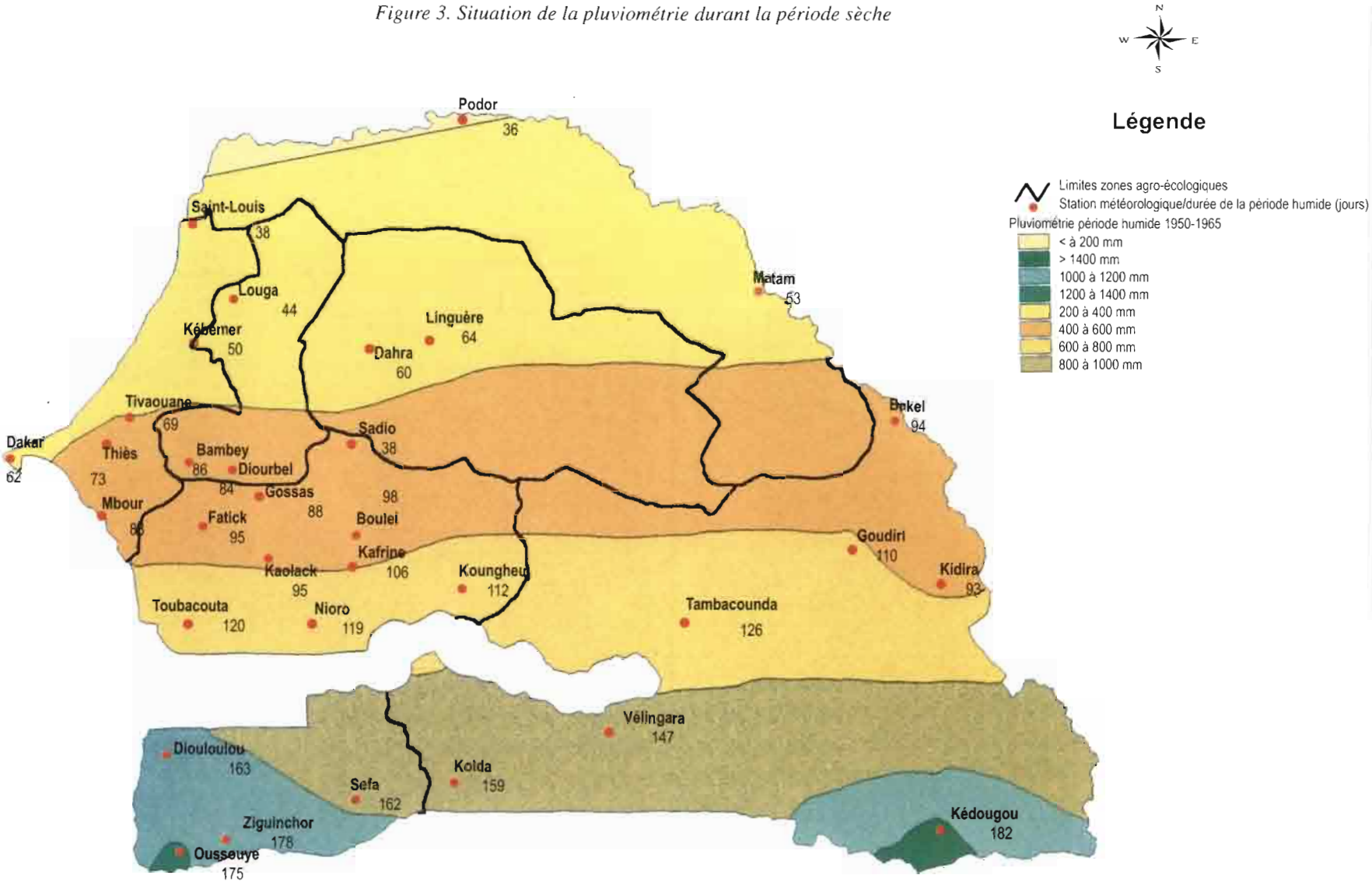


Tableau 1. Principales caractéristiques des zones agroécologiques

Zone	Systèmes	Caractéristiques
Fleuve	Nord sahélien à pastoralisme dominant 200 à 400mm de pluie	• s'étend le long de la rive gauche du fleuve Sénégal depuis Saint-Louis jusqu'à Bakel exclu ; • 44 127 km² avec 700 000 habitants, 35 % des superficies sont occupées par les cultures pluviales où domine le mil suivi du sorgho, du béref, du niébé et de l'arachide ; • l'aménagement des barrages de Diama et Manantali a réduit les cultures pluviales au bénéfice de l'agriculture irriguée (culture du riz et du maïs) ; • pastoralisme dominant dans la moyenne et haute vallée ; • dégradation de l'environnement due au bouleversement écologique, à la salinité croissante des terres irriguées du delta, aux vents asséchants, à une mauvaise gestion de l'eau et à des pratiques agricoles inadaptées.
Zone Sylvo-Pastorale	Nord sahélien à pastoralisme dominant	• communément appelé Ferlo couvre la région de Louga excepté le département de Kébémer ; • 56 269 km² avec 850 000 habitants • abrite 22 à 30 % du cheptel national de bovins et petits ruminants, système de production organisé suivant un mode extensif transhumant (disponibilité en pâturage et en points d'eau) ; • au sud de la zone, dominent les systèmes agro-sylvo-pastoraux (culture de niébé, de béref, cultures maraîchères, élevage, embouche bovine et collecte de lait) ; • détérioration des conditions écologiques (déficit en ressources ligneuses et fourragères).
Niayes	Agropastoraux sahéliens à agriculture sèche 400 à 600mm	• bande côtière de 10 km de large s'étendant de Dakar à Saint-Louis et intégrant les départements de Thiès et de Mbour ; • forte concentration de la population (plus de 2 millions d'habitant) avec Dakar qui renferme 21 % de la population nationale sur 0.28 % du territoire ; • agriculture périurbaine intensive : activités maraîchères (80% de la production nationale) ; • émergence d'un secteur moderne de production : embouche industrielle, ovine et bovine, aviculture industrielle, élevage bovin laitier ; • surexploitation des nappes avec des prélèvements dépassant leurs capacités réelles.
Centre Nord Bassin Arachidier	Agropastoraux sahéliens à agriculture sèche 400 à 600 mm de pluie	• couvre les régions de Diourbel et de Thiès et le département de Kébémer dans la région de Louga et s'étend sur 14 783 km² avec 1 726 319 hbts; • forte pression démographique : • zone marquée par une sécheresse persistante au cours des 20 dernières années ; • dégradation accélérée des écosystèmes sous l'effet de la pression anthropique et l'évolution climatique : épuisement du patrimoine foncier tant au niveau de la fertilité des sols qu'à celui des ressources ligneuses ; • production de type pluvial marquée par la prédominance du mil (52,5 %) et de l'arachide (38.9 %), le niébé et le sorgho occupent 6.9 % et 1,6 % des surfaces cultivées ;

Tableau 1. Suite et fin

Zone	Systèmes	Caractéristiques
		• concentration des cultures maraîchères dans la région de Thiès ;
		• importance de l'élevage bovin et des petits ruminants et de la pêche artisanale.
Sud Bassin Arachidier	Agropastoraux sahéliens à agriculture humide 600 à 800 mm de pluie	• couvre deux régions administratives Fatick et Kaolack ;
		• zone caractérisée par une forte pression (avec une population de 1 314 000 habitants sur une superficie de 23 945 km²)
		• une dégradation du milieu (érosion éolienne et hydrique) ;
		• région à vocation agricole pluviale : les cultures dominantes sont l'arachide et le mil (90 % des superficies emblavées), le maïs, le coton, et le niébé constituent d'autres cultures de rente ;
		• ressources forestières soumises à de fortes pressions (culture et élevage) ;
		• élevage important de type transhumant ;
		• production halieutique non négligeable.
Sénégal Oriental/ Haute Casamance	Agropastoraux soudaniens 800 à 1200 mm	• Couvre les régions de Tambacounda et les départements de Kolda et Vélingara ;
		• 73 335 km² avec 850 000 habitants ;
		• renferme d'importantes ressources naturelles (sols, cours d'eau, flore et faune), les terres agricoles faiblement utilisées et les réserves forestières très importantes ;
		• diversification des systèmes de production : la riziculture de bas-fonds, le sorgho, le mil, et le maïs connaissent un important développement ;
		• les cultures de rente sont le coton et l'arachide ;
		• importance de l'élevage trypanotolérant en Haute Casamance et des potentialités halieutiques dans la zone du bassin de l'Anambé ;
		• contraintes majeures (enclavement, trypanosomiase et onchocercose).
Basse et Moyenne Casamance	Agropastoraux soudaniens 800 à 1200 mm	• couvre les régions de Ziguinchor et le département de Sédhiou ;
		• 14 632 km² dont 1 million d'hectares arables avec 680 000 habitants ;
		• dispose d'un fort potentiel en ressources naturelles (eau...) ;
		• les principales cultures vivrières sont : le riz, le mil, le sorgho, le maïs et le fonio ;
		• les cultures de rente sont : l'arachide, le coton et le sésame ;
		• importantes ressources fauniques, forestières et halieutiques ;
		• augmentation du taux de salinité, de l'acidité, de la toxicité du fer et de l'aluminium des rizières et extension des cultures pluviales.
Maritime	Halieutiques	• englobe le plateau continental sénégalais et le littoral maritime, son territoire est commun à cinq zones agro-écologiques (Niayes, Fleuve, Casamance, Sud Bassin Arachidier, Sénégal Oriental/Haute Casamance) ;
		• forte production halieutique ;
		• diminution des ressources démersales (exploitation abusive).

La végétation

La végétation au Sénégal est en relation étroite avec le gradient climatique. Il faut cependant signaler l'importance de l'action anthropique sur cette végétation rendant pratiquement impossible la reconstitution de la végétation climatique. Qu'elle soit naturelle ou cultivée, la végétation est influencée par les caractéristiques du sol, notamment par ses propriétés physiques et chimiques. Inversement, elle exerce une action directe sur les propriétés des sols et le profil cultural et a une incidence sur les rendements agricoles des cultures qui lui succèdent. On distingue du nord au sud le domaine sahélien, le domaine soudanien et le domaine guinéen.

Il convient de souligner que ces trois domaines montrent des potentialités forestières limitées et mal réparties, une déforestation de plus en plus rapide, une mauvaise répartition des ressources, une exploitation abusive de produits ligneux. Les ressources forestières sont confrontées à une dégradation continue. Le potentiel ligneux a connu une baisse de 18 millions de mètres cubes entre 1981 et 1990 (CONSERE, 1995). Cette dégradation des ressources naturelles se manifeste par une chute de la productivité des formations naturelles, une sérieuse érosion génétique et une modification floristique de la strate ligneuse et herbacée qui a abouti, dans de nombreux cas, à une extinction d'espèces ou à une réduction du nombre d'individus mettant des espèces en péril.

Les sols

Les caractéristiques pédologiques du Sénégal sont bien connues (figure 4). Piéri (1976) mentionne 46 références bibliographiques concernant les études de sols sur l'ensemble des régions du pays. Dans ce paragraphe, seuls les sols exondés et en culture pluviale stricte sont décrits, la zone en culture irriguée de la vallée du fleuve Sénégal étant fortement artificialisée dans le contexte actuel des aménagements hydro-agricoles. Pour les principales zones agro-écologiques, les caractéristiques pédologiques sont présentées dans le tableau 2. La répartition des sols confirme le principe de la zonalité agro-climatique (Ndiaye et Sagna, 1989).

La très grande majorité des sols cultivés en pluvial strict sur l'ensemble du pays sont de types ferrugineux tropicaux (peu ou non lessivés, et lessivés), ferralitiques ou bruns sub-arides. La caractéristique commune pour ces sols est leur faible teneur en argile dans les horizons de surface. Cela découle soit de la nature sableuse de la roche mère, soit de la pédogenèse marquée par un lessivage important pour les sols ferrugineux tropicaux ou les sols ferralitiques. De plus, l'argile est constituée essentiellement par de la kaolinite. De fait, ces sols sont des sols minéraux avec un taux de matière organique à l'état naturel très faible (< 1%).

La végétation climatique au Sénégal

Le domaine sahélien

Il est caractérisé par le genre *Acacia* avec la prédominance de *Acacia senegal, Balanites aegyptiaca, Ziziphus mauritiana,* et *Adansonia digitata* à l'approche et autour des villages. Le tapis herbacé y est composé de graminées annuelles où domine *Cenchrus biflorus*. Plus au sud, dans la zone du bassin Arachidier, la transition avec le domaine soudanien est faite par les savanes arborées où dominent *Acacia albida* et les taillis de *Combretum. Acacia seyal*, très souvent associé à *Adansonia digitata*, forme les peuplements denses sur les sols limono-calcaires

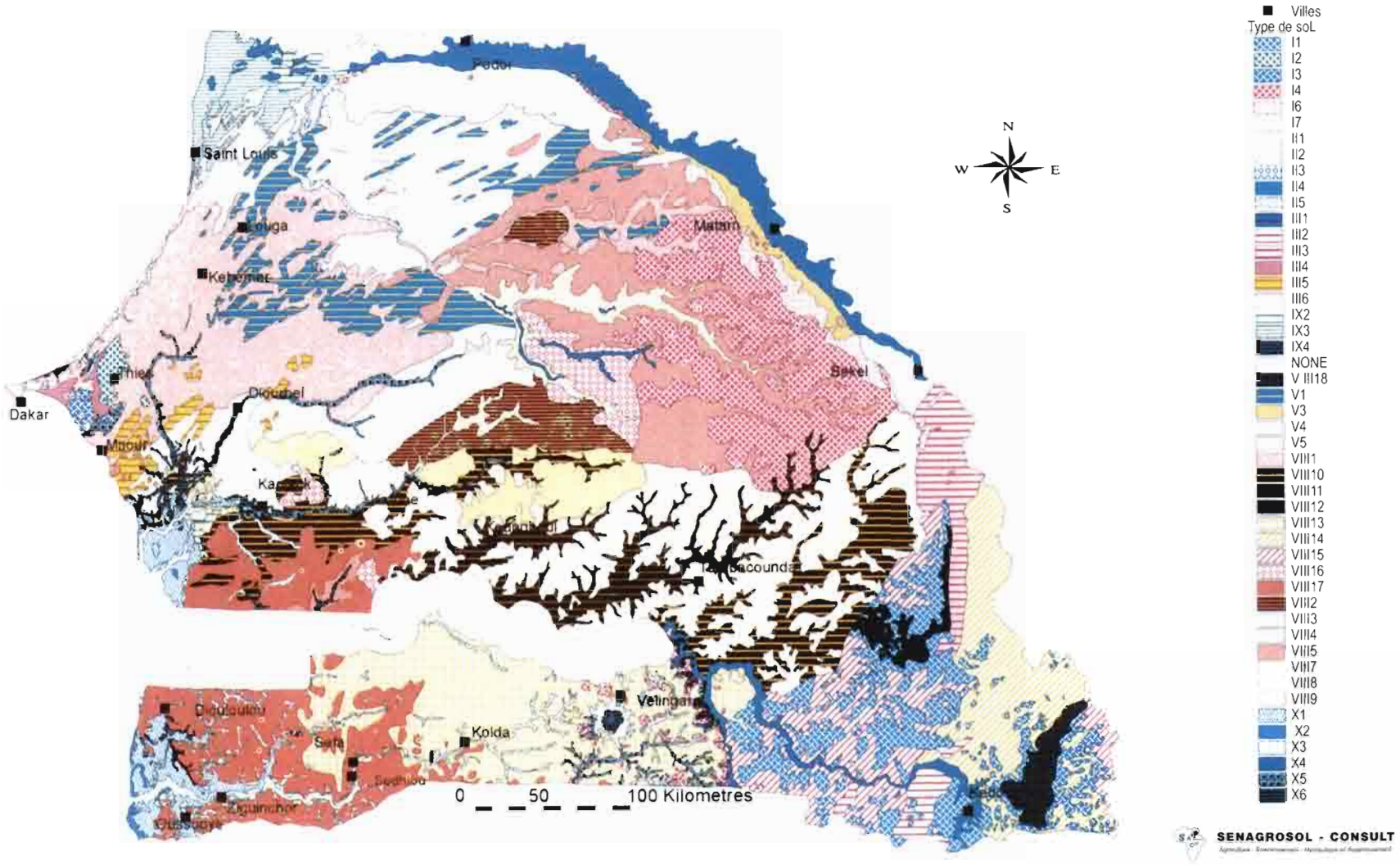
Le domaine soudanien

Il représente le milieu de la savane boisée par excellence. De grands arbres comme *Khaya senegalensis, Pterocarpus erinaceus, Parkia biglobosa* y forment une grande forêt sèche qui surplombe de grandes herbes. *Borassus aethiopium* et *Oxytenanthera abyssinica* apparaissent dans les vallées où elles forment des peuplements homogènes. La transition avec le domaine plus au Sud est marquée par l'apparition d'essences préforestières comme *Daniella oliveri* et *Erythrophleum guineense.*

Le domaine guinéen

Limité à la Basse Casamance, le domaine guinéen marque l'apparition de *Parinari excelsa* et de *Chlorophora regia* associés à *Elaeis guineense.* On retrouve aussi des peuplements denses de *Rhizophora mangle* (palétuvier) et d'*Avicenna africana* formant le système littoral adapté à l'eau saumâtre (mangrove).

Figure 4. Carte pédologique du Sénégal à l'échelle de 1 : 1 000 000 (**Source : R. Maignien/ORSTOM**



I - SOLS MINERAUX BRUTS	
SOLS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE	
SOLS BRUTS D'EROSION (SOLS SQUELETTIQUES)	
LITHIQUES	
I1	Cuirasses ferrallitiques sur arès
I2	Cuirasses ferrallitiques sur marno calaire
I3	Cuirasses ferrallitiques sur chistes
I4	Cuirasses ferrugineuses sur grès argileux
I5	Eboulisarèseux et cuirasses ferrugineuses
REGOLIQUES	
I6	Grès argileux
SOLS BRUTS D'APPORT	
EOLIENS	
I7	Dunes vives silicieuses
MARINS	
I8	Plages marines

II - SOLS PEU EVOLUES	
SOLS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE	
SOLS D'ORIGINE NON CLIMATIQUE	
SOLS D'EROSION	
LITHIQUES	
II1	Gravillonnaires sur cuirasses ferrugineuses
II2	Sur quartzites
SOLS PEU EVOLUES D'APPORT	
PEU HYDROMORPHES	
II3	Sur colluvions sablo-argileuses
II4	Sur levées sableuses
FAIBLEMENT SALES	
II5	Sur levées sableuses marines

III - VERTISOL	
VERTISOLS A PEDOCLIMAT TRES HUMIDE	
VERTISOLS HYDROMORPHES A HORIZON DE SURFACE	
INTERGRADES HYDROMORPHES	
III1	Sur alluvions argileuses
VERTISOLS A PEDOCLIMAT TEMPORAIREMENT HUMIDE	
VERTISOLS LITHOMORPHES A SURFACE FRIABLE	
INTERGRADES SOLS LITHIQUES	
III2	Sur diabases
III3	Sur chistes basiques
VERTISOLS LITHOMORPHES A SURFACE MASSIVE	
NODAUX	
III4	Sur marnes
INTERGRADES SOLS FERRUGINEUX	
III5	Sur marnes
INTERGRADES SOLS GRAVILLONNAIRES	
III6	Sur marnes

V - SOLS ISOHUMIQUES	
SOLS A CLIMAT CHAUD PENDANT	
SOLS BRUNS SUBARIDES	
INTERGRADES HYDROMORPHES	
V1	Sur sables colluviaux souvent calcaires en profondeur
V2	Sur alluvions sableuses
MODAUX	
V3	Sur marnes
SOLS BRUNS ROUGES	
INTERGRADES SOLS FERRUGINEUX	
V4	Sur sables silicieux
FAIBLEMENT EVOLUES	
V5	Sur sables silicieux

Légende carte pédologique du Sénégal

VIII - SOLS A SESQUIOXYDES	
SOLS FERRUGINEUX TROPICAUX	
SOLS FAIBLEMENT LESSIVES	
LESSIVES EN FER	
VIII1	Sur sables siliceux
VIII2	Sur grès sablo-argileux
VIII3	Sur sables argileux remaniés
VIII5	Sur colluvions sablo-argileuses à argilo-sableuses
VIII5	Sur grès sablo-argileux souvent concrétionnés et cuirassés en profondeur
VIII6	Sur diabases
SOLS LESSIVES	
SANS TACHES FERRUGINEUSES OU TRES FAIBLEMENT TACHES	
VIII7	Sur grès sablo-argileux
VIII8	Sur grès sables siliceux
VIII9	Sur levées sableuses
A TACHES ET CONCRETIONS FERRUGINEUSES	
VIII10	Sur grès sablo-argileux
VIII11	Sur complexe de grès sablo-argileux et colluvions sableuses
VIII12	Sur arènes granitiques (érodées)
A CONCRETIONS ET CUIRASSES FERRUGINEUSES FREQUEMMENT AFFLEURANTES	
VIII13	Sur grès sablo-argileux
VIII14	Sur schistes gréseux
A PSEUDO-GLEY ET CONCRETIONS FERRUGINEUSES	
VIII15	Sur schistes gréseux
VIII16	Sur grès sablo-argileux
SOLS FERRALITIQUES	
SOLS FAIBLEMENT FERRALITIQUES	
MODAUX	
VIII17	Sur grès sablo-argileux
VIII18	Sur colluvions gréseuses

IX- SOLS HALOMORPHES	
SOLS A STRUCTURE NON DEGRADEE	
SOLS SALINS	
INTERGRADES HYDROMORPHES HUMIFERES	
IX1	Sur alluvions argileuses
INTERGRADES HYDROMORPHES A PSEUDO-GLEY	
IX2	Sur alluvions argileuses
SOLS A STRUCTURE MODIFIEE	
SOLS NON LESSIVES A ALCALIS	
SOLONTCHAKS	
IX3	Sur alluvions argileuses
IX4	Sur alluvions argileuses

X- SOLS HYDROMORPHES	
SOLS HYDROMORPHES MOYENNEMENT ORGANIQUES	
SOLS HUMIDES A GLEY	
A GLEY DE SURFACE	
IX1	Sur vases marines
IX2	Sur argiles de décantation
A GLEY DE PROFONDEUR	
IX3	Sur colluvions sableuses
SOLS HYDROMORPHES MINERAUX	
SOLS A PSEUDOGLEY	
A PSEUDOGLEY DE SURFACE	
IX4	Sur alluvions diverses, fréquemment lourdes
IX5	Sur colluvions sableuses
IX6	Sur alluvions argileuses
A TACHES ET CONCRETIONS FERRUGINEUSES DE PROFONDEUR	
IX7	Sur collargileuses

Tableau 2. Les caractéristiques géologiques et morpho-pédologiques des principales zones agro-écologiques du Sénégal

Zone agroécologique	Matériau originel	Position topographique faciès	Type de sols prédominants	Caractéristiques
Nord bassin Arachidier	•Sable de quaternaire d'origine marine et fluviatile	•Sur dune de sable avec un relief plat •Faciès homogène	•Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés (dior)	•Sableaux : 2 à 4 % d'argile ; très profonds, très perméables ; MO à faible teneur, facile à travailler
		•Sur dépression (marigots, anciens cours d'eau)	•Sols bruns calcimorphes (deck)	•Sableux : 3 à 8 % d'argile, mieux structurés que les dior, horizon humifère
Sud Bassin Arachidier	•Grès argileux du Continental Terminal : formation détritique	•Très différencié par remaniement et troncature sur plateau, versant ou glacis et relief plus ou moins accentué	•Sols ferrugineux tropicaux lessivés	•Sablo-argileux : 8 à 12% d'argile, horizon à argillique, profondeur variable liée à présence de la cuirasse, faible teneur en MO (~0.7 à 0.9%)
	•Grès ferruginisé	•Sommet de plateau et axe de drainage	•Sols peu évolués	•Surface d'érosion avec cuirasse affleurante ou sub-affleurante, impropre à la culture
Basse et Moyenne Casamance	•Grès argileux du Continental Terminal : formation détritique	•Sommet de plateau, relief plat	•Sols beiges ferrugineux tropicaux lessivés à tâche et concrétions	•Sablo-argileux (10 à 15% d'argile en surface) ; horizons bien différenciés avec à argillique 50% A ; tendance hydromorphe ; sol profond
	Idem	•Plateau, versant ou glacis, relief plus ou moins marqué	•Sols ferralitiques	•Sablo-argileux (~12% d'argile en surface) ; riche en oxydes de Fe et Al et appauvri en silice ; sol profond drainant
	•Formés sur d'anciennes vasières	•Littoral sud	•Sols sulfatés acides et « tann »	•Populations de mangrove ; sols salés à alcalins
Niayes	•Sable du Quaternaire d'origine marine	•Sur dune de sable avec un relief plat faciès homogène	•Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés (dior)	•Sableux en surface (4% d'argile en surface) ; nappe phréatique à sableux en surface (4% d'argile) ; nappe phréatique à faible profondeur ; teneur faible en MO
	•Dépôts fluviatiles et fluvio-deltaïque		•Sols hydromorphes (pm)	•Forte teneur de MO (tourbe)
Sénégal Oriental Haute Casamance	•Grès argileux du Continental Terminal	•Plateau, versant ou glacis, relief plus ou moins marqué	•Sols beiges ferrugineux trop. lessivés à tâche et concrétions	•Sablo-argileux : 8 à 12% argile, horizon à argillique, profondeur variable liée à la présence de la cuirasse, faible teneur en MO (~0,7 à 0,9%)
	•Roches basiques du Birrimien et l'Infracambrien	•Versant, sommet de colline, pente faible à forte (jusqu'à 18%)	•Sols bruns eutrophes	•Complexe absorbant fortement saturé ; sol peu à moyennement profond ; profil brun à brun rouge
Fleuve	•Roches basiques du Birrimien et l'Infracambrien	•Versant, en pente moyenne	•Sols peu évolués	•Complexe et absorbant fortement saturé
	•Sédiments fluviaux et fluvio deltaïques	•Plaine alluviale	•Sols hydromorphes •Sols salés	•Profonds, bonne réserve en eau

Compte tenu de leur texture, de la nature de l'argile et de leur faible teneur en matière organique, les sols se caractérisent le plus souvent par une structure très faible, une faible porosité totale doublée d'une faible porosité structurale, une grande vulnérabilité à la compaction et à l'encroûtement lié à la battance, une faible capacité d'échange cationique, une faible réserve utile en eau ou une profondeur du profil cultural limitée par le cuirassement.

La problématique de la gestion des ressources en sols, notamment les conditions d'exploitation et d'occupation par les activités rurales (culture, pastoralisme, foresterie) dépendent de plusieurs facteurs : aptitude pédologique, conditions du relief, conditions climatiques, possibilités d'irrigation, densités démographiques et pratiques socioculturelles. Ces paramètres de base varient d'une région à l'autre. Des études réalisées par l'USAID (1990), la SAED (1994), et la Direction de l'agriculture (1994), montrent que les terres arables ne représentent que 19% de la superficie du pays (3,8 millions d'hectares). Les surfaces moyennes cultivées annuellement oscillent autour de 2,5 millions d'ha (65% des terres arables) dont 98% en pluvial et 2% en irrigué. Les taux d'exploitation les plus élevés se rencontrent dans le bassin arachidier (81%), les Niayes (65%) contre seulement 40% en Casamance et au Sénégal Oriental. Les forêts, les savanes et les parcours classés représentent 32% de la superficie du pays (6,3 millions d'ha) et les zones non classées et les terres non cultivables 49% (9,5 millions d'ha).

Les principales causes de dégradation des sols et/ou les facteurs limitant leur utilisation sont présentés dans le tableau 3 pour chacune des 6 grandes régions agricoles naturelles du Sénégal. Il convient de signaler que ces contraintes ont notamment trait à l'acidité, la salinité, la faible capacité de rétention d'eau, l'érosion éolienne et l'érosion hydrique. Elles pèsent sur l'utilisation agricole de la plupart de ces sols. Malgré quelques constantes, les problèmes liés à la gestion et à l'utilisation des sols se posent différemment, selon les régions.

Les ressources en eau

Le Sénégal dispose de ressources en eau relativement importantes et ce malgré la précarité des conditions climatiques (pluviométrie faible et variable et forte évaporation). On y distingue les eaux de surface et souterraines qui offrent, malgré leur mauvaise répartition dans l'espace, des possibilités de compenser localement les insuffisances pluviométriques, pour régénérer certains milieux et favoriser leur mise en valeur.

Les ressources en eaux de surface sont constituées essentiellement par :

- les grands fleuves : Sénégal, Gambie et Casamance ;
- le lac de Guiers ;
- les eaux d'accumulation dans les vallées mortes : Sine, Saloum et Ferlo ;
- les divers marigots et les bas-fonds.

Le potentiel des ressources en eau de surface annuellement exploitables est estimé à 7 milliards de m^3 dont l'essentiel provient du fleuve Sénégal qui dispose d'un débit moyen annuel de 23 milliards de m^3. Le fleuve Casamance, situé au sud du Sénégal, offre des potentialités relativement faibles avec des débits médiocres de 3-4 m^3/s à Kolda. Le débit moyen du fleuve Gambie est de 172 m^3/s à Goulombo (environ 10 milliards m^3 de débit total annuel). Seule une partie du cours de la Gambie se trouve en territoire sénégalais (environ 300-400 km sur 1050 km). Le lac de Guiers, importante réserve d'eau douce permanente, constitue la principale source d'approvisionnement en eau potable de Dakar et de la plupart des agglomérations du nord-ouest du pays. Son potentiel est de 0,6 à 1,2 millions m^3/j. Dans la zone centre du pays, on retrouve le complexe de vallées et mares du Sine Saloum qui offrent des disponibilités saisonnières d'importance marginale et connaissent à l'étiage une remontée des eaux de mer loin à l'intérieur. Plus au sud, le bassin de l'Anambé (dont une partie seulement du bassin versant se trouve sur le territoire national) offre des ressources en eau permettant le développement de l'irrigation et de la pisciculture.

Tableau 3. Principales contraintes à l'utilisation des terres des régions agricoles du Sénégal

Régions agricoles naturelles	Principales contraintes
Fleuve Sénégal	• faiblesse et irrégularité des pluies ; • salinisation des sols lourds et mal drainés en aval de Bogué ; • menaces liées aux eaux de drainage et aux produits chimiques ; • réduction des cultures de décrue, du potentiel de pâturage, des aires de reproduction halieutique et des formations végétales avec le contrôle des crues ; • modification de l'écologie de Djoudj et des conditions de nidification des oiseaux, développement de la salade d'eau.
Zone du Ferlo (Sylvo-pastorale)	• faiblesse et forte irrégularité des précipitations ; • sévérité des conditions climatiques ; • manque d'eau de surface ; • pauvreté des sols ; • surexploitation des pâturages, destruction du couvert végétal, piétinement du sol et du couvert végétal surtout autour des forages ; • feux de brousse, destruction du couvert végétal, déstructuration des sols, réduction capacité des charges ; • érosion éolienne.
Casamance	• invasion marine dans les cours d'eau ; • acidification des sols de bas-fonds ; • érosion des sols peu profonds sur cuirasse latéritique ; • faiblesse des débits d'écoulement, entraînant salinisation des bas-fonds ; • dégradation des mangroves et salinisation croissante des rizières ; • déforestation et les feux de brousse.
Bassin Arachidier	• manque d'eau de surface ; • sols très dégradés et vulnérables à l'érosion éolienne ; • fertilité des sols en baisse, et faible régénération des sols suite à l'abandon des jachères ; • destruction de la structure des sols lourds des vallées du Sine et Saloum ; • acidification des sols des hautes terres ; • surexploitation et réduction des pâturages ; • réduction de la végétation arborée et appauvrissement de la végétation herbacée ; • nappe souvent minéralisée et niveau en baisse au cours des dernières décennies ; • pompage des eaux souterraines pour l'alimentation de Dakar dépassant les capacités de recharge de la nappe.
Sénégal Oriental	• grande étendue des sols pauvres sur les hauteurs ; • relief accidenté ; • sols peu profonds ; • sols vulnérables après déboisement à l'érosion éolienne et ruissellement ; • détérioration du couvert végétal à cause du charbonnage ; • feux de brousse fréquents ; • présence onchocercose dans les vallées.
Niayes	• insuffisance des pluies ; • menaces de l'avancée des dunes vives, remise en mouvement des dunes anciennes ; • salinisation des sols et des puits ; • disparition de la végétation sur les dunes ; • comblement et ensablement des terres de bas-fonds ; • risque de rupture d'équilibre entre eau douce et eau salée dans le sous-sol et menace d'intrusion marine.

Il est important de noter que les fortes variations saisonnières et inter-annuelles, la pente très faible des cours d'eau, la pollution chimique (pesticides, fongicides et engrais) et l'invasion des eaux marines dans les basses vallées (Sine, Saloum, Casamance) constituent des facteurs de dégradation et des contraintes majeures à l'utilisation optimale de ces ressources en eaux de surface. Face à ces différentes contraintes, des investissements importants seraient nécessaires pour améliorer l'état des ressources en eau ou la protection des sols contre l'hydromorphie, la salinisation et l'acidification.

Concernant les eaux souterraines, le potentiel aquifère du Sénégal est très important. Les différentes zones aquifères et leur niveau moyen d'utilisation sont indiqués dans le tableau 4.

Comme les ressources en eaux de surface, les ressources en eaux souterraines sont très abondantes et sont estimées à 2.000.000 de m³ par jour mais les potentialités accessibles sont très inégales, selon les régions et varient en raison de la capacité, de la profondeur et des niveaux de minéralisation des nappes.

Tableau 4. Ressources en eaux souterraines : potentialités et niveau d'utilisation

Aquifères	Capacité (m³/j)	Prélevé (m³/j)	Disponible
Aquifères majeurs			
Alluvions/sables quaternaires			
Fleuve Sénégal	140.000	faible	100.000 ?
Cayar à St Louis	115.000	70.000	45.000
Cayar à Dakar	45.000	45.000	0
Nappe infrabasaltique	15.000	18.000	0
Lentilles Saloum	4.000	faible	4.000 ?
Lentilles Casamance	5.000	faible	5.000 ?
Miocène en Casamance	105.000	5.000	100.000
Eocène Louga/Bambey	14.000	faible	14.000
Paléocène Pout/Sébikotane/Mbour	58.000	59.000	0
Maestrichien			
Nappe profonde	700.000	70.000	630.000 ?
Zone d'alimentation	420.000	faible	400.000 ?
Aquifères mineurs			
Socle (Arène, fissu.)	50.000	faible	50.000
Eocène Est Louga/Bambey	50.000 ?	faible	faible
Paléocène Est Cayar	20.000 ?	faible	faible
Diverses formations supérieures	très faible	très faible	très faible

Source : Bilan-diagnostic des ressources en eau du Sénégal, SGPRE/MH/PNUD, septembre 1994

Les principales contraintes à leur exploitation peuvent se résumer ainsi :

- une connaissance insuffisante de certaines nappes qui constitue un facteur limitant pour une bonne planification de leur exploitation ;
- la profondeur de certaines nappes comme le Maestrichien (150 - 400 m) entraîne des coûts d'exploitation et de charges récurrentes importants ;

- la minéralisation des eaux ;
- la faible capacité de recharge et le tarissement périodique :
- la surexploitation des nappes avec des prélèvements dépassant leurs capacités réelles.

En conclusion, les ressources en eaux du Sénégal, mal distribuées dans l'espace et dans le temps sont menacées qualitativement et quantitativement par l'accroissement des prélèvements dont l'essentiel se fait sur la zone littorale et au niveau du bassin arachidier alors que plus de 80 % des réserves d'eau exploitables sont localisées hors de ces zones.

Dans un contexte de sécheresse et de rareté des ressources en eau, le gouvernement du Sénégal a développé une politique hydraulique tournée de plus en plus vers l'exploitation des eaux de surface. Une des missions assignée au Ministère de l'Hydraulique comprend la réalisation de grands aménagements hydrauliques, l'alimentation en eau potable des populations et du cheptel, l'irrigation des terres aménagées, la réalisation et l'entretien des forages ainsi que le traitement des eaux usées en milieu urbain, semi-urbain et rural.

Parmi les grands projets hydrauliques initiés par l'Etat, on peut citer la construction du Canal du Cayor destiné à l'alimentation en eau de l'agglomération dakaroise et à l'irrigation de 8 500 ha de terre dans la zone traversée, la remise en eau des vallées fossiles destinée à améliorer la disponibilité en eau de surface pérenne et le Programme de Développement de la Rive Gauche du fleuve Sénégal (PDRG) prévoyant l'irrigation de 240 000 ha de terres. Ces projets majeurs sont complétés par un important programme d'hydraulique rurale initié pour améliorer la disponibilité en eau des populations et du bétail.

Chapitre 2

La pression humaine et animale sur les sols

Zones urbaines et zones rurales

La population s'urbanise rapidement et le taux d'urbanisation est passé de 23% en 1960 pour atteindre 39% en 1988 correspondant à un taux national moyen de croissance urbaine de 2% par an qui, sous forme projetée, devrait conduire à un taux de 50% en l'an 2 000 (DPS/MEFP, 1990 cité In CONSERE, 1995). La population demeure majoritairement jeune (56% de la population est âgée de moins de 20 ans). Elle croît assez rapidement : de l'ordre de 2,9% (Banque Mondiale) à 3% par an. Les études réalisées par le Ministère du Plan et de la Coopération en 1989 montrent que l'agglomération Dakaroise concentre, à elle seule, 22 % de la population totale sur un espace représentant 0,28 % du territoire national. La densité y est par conséquent très forte avec plus de 2 700 habitants/km^2 en 1988, et environ 3 550 habitants/km^2 en 1995. Ces caractéristiques de la population engendrent d'importantes tensions dans le cadre de l'accès aux ressources en zone urbaine où les sols sont en voie d'épuisement et l'accès à l'eau demeure particulièrement difficile.

Dans les zones rurales, la population (en valeur absolue) augmente également sous l'effet de l'accroissement naturel. Elle voit, par contre, à l'inverse des zones urbaines, sa part relative diminuée constamment dans la population totale. C'est ainsi que de 94% de la population totale au début du siècle (1900), les ruraux sont passés à environ 77 % à l'indépendance (1960). Selon les prévisions (DPS/MEFP, 1990 et Banque mondiale, Rapport sur le développement dans le monde, 1994 cité In CONSERE, 1995), la population rurale ne devait constituer que 55% de la population totale en 1995 et se retrouver à la parité (50%) avec les urbains en l'an 2000. Ces prévisions sont aujourd'hui contredites par la situation actuelle (rappelons qu'à la fin des années 90, la population rurale du Sénégal est toujours estimée à 70%).

Il apparaît ainsi qu'à l'inverse des zones urbaines, la dégradation des ressources naturelles enregistrée dans le secteur rural tient à la fois à des facteurs anthropiques de source endogène (systèmes de production généralement peu efficients) et exogène (pressions dues à la satisfaction partielle des besoins énergétiques urbains), ainsi qu'à des raisons d'ordre climatique (cycles de sécheresse sévères). C'est ainsi que des tensions apparaissent dans l'accès aux terres cultivables et aux ressources végétales en voie d'épuisement.

L'homme et l'animal dans les grands ensembles définis

La population humaine

En 1996, la population du Sénégal était estimée à 9 000 000 d'habitants avec un taux de croissance démographique annuel de 3%. La population se caractérise surtout par une répartition inégale sur le territoire national, avec une forte concentration dans les régions de l'Ouest et du Centre du pays (63,4% de la population totale du territoire dans les régions de Dakar, Thiès, Diourbel, Kaolack et Fatick). C'est ainsi que deux zones (urbaines et rurales) sont distinguées.

Les ressources animales

Le Sénégal possède un important cheptel malgré les lourdes pertes subies durant les périodes de sécheresse passées. Le cheptel est estimé à 2,7 millions de bovins, 5,9 millions de petits ruminants, 370 000 équins, 303 000 asins, 184 000 porcins et 11 millions de volailles. Il est réparti sur l'ensemble du territoire national et géré par des populations à fortes traditions pastorales. Les superficies pâturables sont estimées annuellement à plus de 12 millions d'ha. La productivité des parcours est cependant variable du nord au sud du pays en fonction de la pluviométrie (500 à 3000 kg de matière sèche à l'hectare : DIREL, 1994 cité In CONSERE, 1995).

En ce qui concerne les ressources fauniques, la dégradation et le rétrécissement des habitats ont provoqué un repli de la faune sauvage dans les derniers refuges que constituent les parcs, les forêts classées et les formations forestières d'accès difficile du Sud-Est. La déforestation, le braconnage et le tourisme cynégétique font que 23 espèces de mammifères et d'oiseaux sont actuellement menacées ou en voie de disparition.

La production halieutique des eaux continentales (fleuve Sénégal, Casamance, Sine Saloum et Lac de Guiers) est estimée à 33 000 tonnes par an, soit 12% de la production halieutique totale du pays. Cependant, ce potentiel halieutique est fortement altéré par le déficit pluviométrique de ces dernières années, la modification des régimes hydrologiques des principaux cours d'eau et la réalisation des barrages.

L'impact sur l'évolution du sol

La population humaine et la charge animale ont un impact considérable sur l'évolution des sols. La démographie est une contrainte majeure entraînant une diminution de la durée de mise en jachère et par conséquent une forte pression foncière. Les terres sont caractérisées par une détérioration de leurs qualités intrinsèques (baisse de la fertilité, fragilité, érosion, salinisation, acidification). On assiste aussi à une dégradation des ressources ligneuses confrontées à la surexploitation et à la mauvaise gestion (feux de brousse, déforestation, etc.). En l'absence d'unités pastorales intégrées, les pasteurs se trouvent contraints d'accroître la mobilité et la sphère de mouvement de leurs troupeaux, contribuant ainsi à accélérer la disparition du tapis herbacé. Le poids du surpâturage et du piétinement sur de vastes superficies en sont les principaux facteurs. Subséquemment, la disparition rapide du couvert végétal supprime la source d'alimentation du bétail, dénude et fragilise le sol.

Chapitre 3

Les politiques agricoles

De l'indépendance en 1960 à nos jours, le Sénégal a mis en œuvre une série de politiques macro-économiques variables au niveau sectoriel et suivant des séquences temporelles déterminées par des contraintes et des mutations internes et externes auxquelles le pays, à chaque étape, a dû s'ajuster. En leur temps, chacune de ces politiques a généré des effets négatifs ou positifs sur les ressources naturelles et l'environnement.

Les objectifs de développement agricole

Les orientations actuelles de la politique agricole sénégalaise doivent être analysées dans le contexte du processus d'ajustement de l'économie dans son ensemble et du changement de parité du franc CFA par rapport au franc français.

L'Etat s'est fixé les objectifs suivants :

- une croissance agricole soutenue ;
- l'amélioration de la sécurité alimentaire ;
- une meilleure gestion des ressources naturelles ;
- la sécurisation foncière ;
- la génération d'emplois et l'accroissement des revenus en milieu rural ;
- la promotion de l'investissement privé et de l'efficacité des dépenses publiques.

L'atteinte de ces objectifs passe par la définition d'un cadre incitatif pour rendre l'agriculture plus productive et plus compétitive.

Les stratégies et les mécanismes de la mise en œuvre des politiques agricoles

Deux principales phases, correspondant en réalité à deux grandes politiques agricoles, ont rythmé la conduite de l'agriculture sénégalaise depuis l'indépendance. La première phase couvre la période allant de 1960 à 1979 et la deuxième phase de 1984 à nos jours.

Les interventions de l'Etat

De 1960 à 1979, la première phase coïncide avec ce qu'on a appelé le « Programme Agricole ». Les principaux instruments pour sa mise en œuvre ont été :

- la Banque Nationale pour le Développement du Sénégal (BNDS) pour le financement ;
- l'Office National de Coopération et d'Assistance au Développement (ONCAD) pour l'équipement rural ;
- la SISCOMA/SISMAR pour la production et la commercialisation de l'équipement agricole ;
- la SIES (Société Industrielle des Engrais du Sénégal) pour la production des engrais minéraux ;
- la distribution des intrants et la commercialisation des principaux produits agricoles ;
- l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) pour la recherche agronomique ;
- ainsi qu'une multitude de sociétés de développement rural (SODEVA, SOMIVAC, SAED, SODEFITEX, SOTEXKA...).

Cette période a consacré l'approche productiviste conférée au secteur primaire au lendemain de l'indépendance.

Plusieurs facteurs ont beaucoup contribué à l'échec du Programme Agricole. Parmi ceux-ci, il convient de citer :

- les prix au producteur qui sont restés très bas pour l'ensemble des spéculations agricoles (Kassé, 1990) ;
- la chute constante du revenu rural moyen qui a réduit les capacités des paysans à acquérir des engrais et du matériel agricole (FAO, 1988) ;
- la gabégie et les détournements au détriment des producteurs par les organismes intermédiaires;
- le manque de formation préalable de certains producteurs qui a entraîné une non adoption des paquets technologiques proposés par la recherche.

Une approche productiviste

Le fait marquant de la période allant de 1960 à 1979 a été la priorité donnée à la culture arachidière qui absorbait l'essentiel des ressources foncières et financières et mobilisait la quasi-totalité des énergies et actions de recherche. Cette période a aussi été marquée par l'absence de diversification et d'intégration de l'activité agricole et par le prélèvement et le transfert systématique au profit de l'Etat de l'essentiel des surplus générés par les cultures de rente au sein desquelles dominaient les produits arachidiers.

La période allant de 1980 à 1983 est une période de transition marquée par la fin du Programme Agricole et un désengagement progressif de l'Etat en matière de subventions au monde rural.

L'ajustement structurel du secteur agricole marquera la période de 1984 à nos jours. En réponse à sa propre évaluation de la situation budgétaire nationale et aussi sous la pression des bailleurs de fonds, le gouvernement du Sénégal s'engage dans une série de réformes du secteur agricole à partir de 1980. Les réformes sont basées sur les deux principes suivants. Il s'agit d'abord de résorber les déficits structurels que le Trésor public ne peut plus supporter (élimination des taxes et subventions). Ensuite, il s'agit de promouvoir l'initiative privée par le biais de la libéralisation et la privatisation des marchés des produits et facteurs de production agricoles.

Après l'arrêt du Programme Agricole et la dissolution de l'ONCAD, la Nouvelle Politique Agricole (NPA) est mise en place en 1984 ainsi qu'un Plan Céréalier en 1986. La Caisse nationale de crédit agricole (CNCAS) est créée en 1984 pour servir de partenaire privilégié au monde

rural. Les changements introduits visent à rompre radicalement avec les comportements antérieurs des trois principaux acteurs du secteur agricole : producteurs, Etat, secteur privé. Mais, dans beaucoup de cas, les réponses apportées ne coïncident pas ou restent en deçà des attentes des décideurs politiques.

De plus, avec l'ajustement structurel, le cadre d'organisation des producteurs, leurs modes d'approvisionnement en intrants et les conditions d'écoulement de leurs produits sont également réaménagés. Le mouvement coopératif est réorganisé (démembrement en sections villageoises) sur la base du concept de responsabilisation des producteurs comme réponse au désengagement de l'Etat. Les nouvelles structures doivent être financièrement autonomes et multi-fonctionnelles pour relayer l'Etat dans plusieurs domaines du secteur agricole.

L'approvisionnement des producteurs en intrants est caractérisé par des changements fréquents et imprévisibles obéissant plus à des préoccupations conjoncturelles qu'aux objectifs s'inscrivant dans un ensemble cohérent de mesures de politique agricole. Les distributions d'engrais et de semences d'arachide sont les plus marquées par ces nombreux changements. Pour l'engrais, on passe successivement d'une réduction des subventions à un système de retenue à la souree, à la privatisation de la distribution et à des conditions de crédit toujours non maîtrisées. La résultante de cette situation a été une chute vertigineuse de la consommation nationale d'engrais de l'ordre des 2/3 des niveaux observés durant le milieu des années soixante dix.

Pour le matériel agricole, l'arrêt du Programme Agricole a eu pour conséquence un vieillissement du parc de matériel agricole dont les éléments sont rarement renouvelés mais recyclés à partir de la fabrication artisanale locale.

Il convient de souligner que la faiblesse des revenus ruraux et l'accès difficile au crédit réduisent les capacités des producteurs à acquérir des engrais et du matériel agricole.

Du côté des produits, les marchés céréaliers sont libéralisés. Par contre, ceux de l'arachide continuent à voir l'Etat administrer leurs prix tout en permettant l'implication de privés (OPS) dans la commercialisation. Des relèvements des prix au producteur ont été effectués, pour les mettre en adéquation avec les cours mondiaux (éliminant ainsi les subventions) mais aussi pour inciter les producteurs.

La recherche agricole n'est pas épargnée par ces différentes mesures d'ajustement. Le Projet de Recherche Agricole (PRA) financé par plusieurs bailleurs de fonds dont la Banque Mondiale, l'USAID et la France démarre en 1982. Il vise à réorganiser l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, à réorienter ses priorités de recherches. Il généralise notamment la méthodologie de recherche sur les systèmes de production permettant une approche ascendante, pluridisciplinaire et régionalisée. Les premières recherches macro-économiques ont aussi démarré avec ce projet. Le PRA I comme le PRA II qui a suivi en 1991 ont tenté, avec plus ou moins de réussite, de mettre l'ISRA au service des producteurs agricoles grâce à une démarche partant de l'analyse des contraintes des producteurs pour y apporter des solutions techniques avec leur participation.

En conclusion, avec l'ajustement structurel, l'environnement institutionnel a beaucoup changé. Des séries de réformes ont concerné les producteurs sur les plans de leur organisation, de l'approvisionnement en intrants et de l'écoulement des produits. Leur principal interlocuteur d'antan (l'Etat) a disparu sur le plan financier bien que toujours présent sur le plan administratif. Le secteur privé en est encore à des balbutiements. Les producteurs, insuffisamment préparés au retrait brutal de l'Etat, ont été confrontés à des multiples défis à relever dans un contexte peu favorable. Cette situation a induit des effets néfastes sur l'environnement de la production en accentuant le phénomène de dégradation des ressources foncières et végétales.

La recherche agricole

Au Sénégal, l'histoire de la recherche agricole est longue (depuis 1921) et riche en termes d'acquis technologiques et de développement de connaissances, en termes de thématiques, de priorités et d'organisation de la recherche. Les trente dernières années ont été marquées par d'importants changements des conditions écoclimatiques et des bouleversements sur les plans institutionnel, politique, économique et social.

De fait, les priorités de la recherche agricole ont évolué au gré des périodes marquées par des intérêts et des enjeux qui leur sont propres. Tour à tour au service d'une économie de traite (période dominée par une agriculture de rente) puis d'un Etat opérateur de développement (mise en place de nombreuses sociétés nationales de développement), la recherche agricole voit ses missions redéfinies en fin 1974 avec la création de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA). Le Sénégal prend en charge alors la gestion des structures de recherche agricole dispersées sur tout le territoire. L'Institut a pour mission essentielle d'entreprendre et de développer des recherches dans tous les secteurs agricoles (agriculture, élevage, foresterie et pêche) et d'en transférer les résultats au bénéfice du développement.

Les politiques agricoles fixent des orientations et assignent des objectifs ambitieux au secteur de la recherche et à l'ISRA en particulier qui en a le monopole au Sénégal et l'enjeu principal devient vite la sécurité alimentaire et ses corollaires, la lutte contre la pauvreté rurale et la gestion des ressources naturelles. Malgré les importants moyens financiers et humains déployés ces dernières années au Sénégal pour améliorer les performances du secteur agricole et l'offre alimentaire en général, la situation reste préoccupante, et marquée par la baisse tendancielle des productions agricoles, la paupérisation du monde rural et urbain et la dégradation des ressources naturelles.

Face à la situation actuelle, il devient urgent d'inverser les tendances et la recherche agricole compte, à son niveau, y contribuer. A l'instar de nombreux pays africains, la recherche agricole sénégalaise va désormais repenser ses concepts pour répondre de façon rationnelle aux demandes exprimées par les producteurs. C'est ainsi que l'ISRA :

- accompagnera les stratégies développées par les agriculteurs ;
- analysera les dynamiques économiques au niveau national et régional ;
- se rapprochera des grands projets de développement nationaux et procédera à l'analyse minutieuse des filières des produits agricoles.

Le plan stratégique élaboré par l'ISRA constitue l'illustration de cette nouvelle démarche.

L'encadrement du monde rural

L'encadrement technique et le transfert des technologies sont effectués par les services traditionnels de développement comme la SODEVA, le PNVA et certains organismes non gouvernementaux tels que ENDA, RODALE, WORLD VISION, WINROCK, OSDIL, CARITAS, CCF (Children Christians Funds), Plan International, etc. Ces institutions interviennent dans la zone Nord, Centre, Centre-Sud et Sud du Bassin arachidier. Leur vocation est d'appuyer les paysans et leur apporter les moyens techniques capables d'augmenter la production agricole par le transfert des technologies générées par la recherche telles que les semences améliorées, les nouvelles variétés, l'agroforesterie, l'embouche bovine, les fosses fumières et compostières et l'utilisation des phosphates naturels. Les organisations paysannes comme l'ARAF dans la région de Fatick jouent un rôle important dans la dissémination des informations et l'utilisation des résultats de la recherche en milieu réel.

Bien que les contraintes à l'adoption de ces technologies soient importantes (coût élevé, manque

de main d'œuvre, manque d'information et de formation des paysans, accès difficile à l'eau et divagation des animaux) les organismes de développement tentent de les lever.

En conclusion, face aux insuffisances des politiques agricoles mises en place depuis l'indépendance et à l'aggravation tendancielle de la situation du secteur rural, le gouvernement s'est engagé en 1994 dans la définition et la mise en oeuvre d'une nouvelle politique (Déclaration de Politique de Développement Agricole, DPDA) suceptible de lever les obstacles au développement agricole et agro-alimentaire sénégalais. La DPDA traite de toutes les filières de l'agriculture et de l'élevage en vue de définir des programmes prioritaires, cohérents et diversifiés. Elle vise, dans le cadre du Programme d'Ajustement du Secteur Agricole (PASA), du désengagement de l'Etat et de la dévaluation du franc CFA, à contribuer à la sécurité alimentaire des populations en préservant les ressources naturelles et à lutter contre l'érosion du tissu social (générations d'emplois, accroissement des revenus des ruraux, investissement privé) en reconquérant le marché national et relançant les exportations. Les orientations de la politique agricole sénégalaise (DPDA) ont donc abouti à la définition d'un cadre incitatif pour le domaine de la recherche agricole lui permettant de contribuer, dans le domaine de ses compétences, à l'avènement d'une agriculture durable et plus compétitive.

Chapitre 4

Systèmes agraires et gestion de la fertilité

Pendant des siècles, l'abondance de terres cultivables par rapport aux capacités d'exploitation des populations a fait de la pratique de la jachère la principale forme de renouvellement du potentiel de production des sols. Avec l'accroissement démographique et l'introduction de cultures dites de rente (arachide d'abord et coton plus tard) dont l'expansion a été soutenue par l'utilisation de nouveaux moyens de production, le recours à la pratique de la jachère, de longue et même de courte durée, est devenu quasiment inexistant dans la plupart des systèmes agraires.

Le processus de conversion des économies vivrières traditionnelles en une économie de marché est ainsi marqué par une tendance à l'homogénéisation des techniques dictée par l'hégémonie de l'arachide dans l'espace agricole qui s'étend, selon Pélissier (1966), des confins sahéliens du Cayor aux rives subguinéennes des vasières de Casamance. Même les anciennes civilisations agraires, qui avaient fait preuve d'une grande capacité d'organisation de l'espace et de préservation de la fertilité de leurs terres, ont fini par s'inscrire dans cette dynamique imposée par la nouvelle logique de production. Les principaux facteurs de changements ayant affecté les pratiques de gestion de la fertilité dans les systèmes agraires qui se sont ainsi différenciés sont : la croissance démographique, l'évolution pluviométrique, le niveau d'adoption et le mode d'utilisation de la culture attelée, les relations agriculture-élevage et l'accès à l'engrais.

Cependant, derrière une apparente homogénéité des techniques de production, on note d'importantes nuances voire des contrastes entre les systèmes agraires qui se succèdent du nord au sud. Cette diversité détermine pour chaque système des opportunités et des contraintes quant à l'application des techniques de production et de valorisation de la matière organique destinée au maintien ou au redressement de la fertilité des terres cultivées.

Ce chapitre tente de présenter sommairement la réalité très complexe des principaux systèmes agraires qui sont l'expression spatiale des productions et des techniques mises en œuvre par les sociétés rurales. Ces systèmes tendent, ici, à s'identifier aux différentes ethnies correspondant à des systèmes socio-culturels distincts.

Les systèmes agraires dans les terroirs Wolof de l'ancien bassin arachidier

Le pays wolof s'étend sur les anciennes provinces du Cayor, du Djoloff et du Baol. L'agriculture y est marquée par une pluviométrie très faible et des sols appauvris par une exploitation minière faisant de l'arachide la principale culture à côté du mil et d'autres spéculations secondaires.

Le système de culture wolof dominant y côtoie le système peul qui en est une variante (accent mis sur l'aspect vivrier et la primauté de l'élevage).

La croissance démographique et les techniques de production mises en œuvre, la traction animale légère notamment, ont favorisé des pratiques extensives qui ont abouti à la déstructuration de l'espace agraire et à la diminution du potentiel agricole des terres. Ces évolutions et la forte baisse de la pluviométrie ont considérablement diminué la productivité de l'agriculture.

Face à cette situation, la zone est devenue un des épicentres de l'exode rural et de l'émigration des jeunes retirant aux exploitations agricoles une importante partie de leur force de travail.

Les efforts de restauration et d'entretien de la fertilité organique se trouvent ainsi confronter à plusieurs contraintes dont la non disponibilité de résidus pailleux de cultures entièrement prélevés à des fins domestiques et pour l'alimentation des animaux, l'accès difficile à l'eau aggravé par le sous-équipement et la réduction de la main d'œuvre. L'application des techniques de restauration de la fertilité organique, mises au point par la recherche agronomique, y est difficilement réalisable dans les conditions actuelles. La satisfaction des besoins essentiels en eau en est une condition préalable. D'autres activités (embouche, maraîchage, culture de ma-

nioc) déjà testées et positivement appréciées par les producteurs pourraient relancer la production de matière organique par le recyclage de divers déchets et sous-produits issus de ces spéculations.

Les systèmes agraires en pays Sereer

Au sud des terroirs Wolof, on passe imperceptiblement aux terroirs Sereer qui s'étendent jusqu'au bassin du bras de mer Saloum. Occupé par une population qui, jusqu'à une époque récente, était plutôt sédentaire, le pays Sereer se distingue par ses fortes densités humaines (plus de 100 hab/km^2).

Bien que son agriculture soit intégralement pluviale, le pays Sereer a su contenir l'effet de la pression démographique grâce à un système agraire original associant étroitement la céréaliculture (mil, sorgho et riz dans quelques dépressions et vallées résiduelles) à la présence du bétail et à un culte voué à l'arbre. La culture de l'arachide s'est développée dans ce système au détriment de l'assolement précédent qui faisait de la sole parquée un de ses principaux éléments. Le recul de la pluviométrie a marginalisé sinon fait disparaître certaines spéculations productrices de biomasse comme le mil sanio, le sorgho et le riz.

Les nouveaux systèmes de culture, modelés entre autres par l'usage de la traction animale, ont marginalisé la culture du niébé en association avec le mil souna.

Avec de telles modifications et surtout avec la disparition de la jachère, la transhumance est devenue une dominante du système d'élevage et les troupeaux ont perdu ainsi une partie de leur fonction essentielle qui est de fumer les champs afin d'en entretenir la fertilité. Le tableau 5 ci-après illustre les écarts entre le potentiel de parcage estimé en nombre de mois bovin à partir des effectifs détenus par les populations locales et le temps de parcage réel correspondant au séjour dans la zone déterminé par la disponibilité de ressources fourragères.

Tableau 5. Incidences de la transhumance sur la valorisation de la fumure animale : cas de quelques villages en pays Sereer

Village	Nombre de troupeaux	Effectif	Temps potentiel de parcage (mois bovin)	Temps réel de parcage (mois bovin)	% temps réel/temps potentiel
Sob	17	455	5460	1702	31
Ngayokhème	6	231	2772	1299	47
Kalome	3	84	1008	465	46
Total	**26**	**770**	**9240**	**3466**	**38**

Source : Garin *et al.*, 1990

Ces évolutions ont abouti à déstructurer le modèle Sereer construit autour de la céréaliculture et du troupeau bovin dont l'intégration constituait une particularité du schéma d'occupation de l'espace (Pélissier, 1966 ; Lericollais, 1972 ; Gastellu, 1981) .

Le système agraire actuel est à la recherche d'un nouvel équilibre entre ses composantes agricole et pastorale. Les résidus pailleux des cultures font l'objet d'une appropriation individuelle et de prélèvements qui ne sont pas compensés par des apports externes (Garin *et al.*, 1990).

Les stratégies de diversification et de sécurisation des revenus mises en place par les producteurs font émerger d'autres formes d'élevage basé sur de petites unités d'embouche bovine et/ou

ovine et, dans une moindre mesure, de vaches produisant du lait. Le rôle des animaux dans le transport rural et la culture attelée confère une importante place aux chevaux et ânes dans les exploitations agricoles. Si la conduite de ces élevages accentue l'appropriation individuelle et les prélèvements de résidus de culture, elle crée aussi de nouvelles conditions de production intensive d'un fumier de qualité. Ces élevages peuvent ainsi faciliter l'application de certaines techniques de stabulation et de compostage préconisées par la recherche et ayant eu peu d'échos dans cette zone.

L'évolution des systèmes de production dans ce contexte de saturation foncière, d'incertitudes climatiques et d'accès limité aux intrants du marché s'inscrit de plus en plus dans une logique d'instauration de nouveaux équilibres entre les composantes végétales et animales. C'est dans cette perspective que doivent être raisonnées les techniques de production et de valorisation de la matière organique.

Les systèmes agraires mixtes dans les zones d'extension du bassin arachidier

Du sud du bras du Saloum au bassin nord de la Gambie, des populations venues des vieux terroirs Sereer et Wolof et de la vallée du fleuve Sénégal (toucouleurs) ont investi les forêts et assurer l'extension du front arachidier. Cette colonisation est aussi l'œuvre de migrants venus du Soudan et de la Haute Volta devenus respectivement Mali et Burkina Faso.

Malgré leur diversité culturelle, à quelques nuances près, ces populations ont développé des systèmes de production dominés par la culture arachidière. Les nuances ont surtout porté sur l'importance accordée aux cultures vivrières dans les différents systèmes de cultures et sur la place de l'élevage.

Le mil et le maïs constituent les principales céréales et occupent les périmètres contigus aux habitations. Il s'agit d'une céréaliculture continue sur des champs dits de case et recevant les déchets organiques issus des concessions. Ces champs sont par ailleurs privilégiés pour le parcage de saison sèche ce qui leur assure un certain seuil de maintien de la fertilité. Le sorgho dont l'importance varie avec les ethnies et l'étendue des sols adaptés à sa culture peut être considéré globalement comme étant la troisième céréale. L'arachide, en dépit d'une certaine diminution des surfaces qui lui sont consacrées, reste la culture dominante et la principale source de revenu monétaire.

Dans cette zone, l'élevage a connu des périodes de croissance rapide et était un moyen d'épargner les revenus générés par l'arachide. Cette évolution s'est estompée avec la tendance à la saturation de l'espace agricole et la dégradation des pâturages naturels. Le cheptel bovin s'est ainsi considérablement réduit. Cette réduction a même touché les bovins de trait. Par contre les effectifs de chevaux ont enregistré une tendance inverse.

Dans l'ensemble, les systèmes agraires qui se sont différenciés dans ces zones n'expriment aucune originalité en matière de techniques d'aménagement de l'espace et de préservation des ressources de base. Les prélèvements sont nettement supérieurs aux apports. Ceci explique en partie la forte dégradation dont font l'objet ces terroirs et les contre-performances des systèmes de production.

Les systèmes agraires des zones subhumides

La Casamance et le Sénégal Oriental constituent les zones subhumides du Sénégal. Ils abritent également les massifs forestiers les plus importants et un réseau hydrographique comprenant des cours d'eau pérennes et saisonniers. La densité humaine est globalement faible comparée aux zones précédentes.

Les systèmes agraires édifiés dans ces milieux sont marqués par ces déterminants et les particularités liées au peuplement. L'arachide y a fait son entrée plus tard et le coton encore plus récemment dans la partie Est (Sénégal Oriental, Haute et Moyenne Casamance).

La culture du riz a été un élément de la civilisation agraire en pays Diola (Basse Casamance) et chez les autres populations de la Moyenne et de la Haute Casamance. Les systèmes de production actuelles ont intégré davantage d'autres cultures (mil, sorgho et maïs) plus adaptées à la baisse pluviométrique et à la mise en culture des plateaux.

DEUXIÈME PARTIE

Bilan des recherches sur la matière organique

Chapitre 1

Les sources de matière organique et leurs modes de valorisation

Les pratiques culturales n'incluant pas des mesures efficaces de fertilisation organo-minérale ont eu de graves conséquences sur le statut organique des sols et sur la production agricole. Cette situation justifie l'effort de recherche consacré, entre autres, aux sources potentielles de matière organique et à leurs modes de valorisation. Selon leur origine, on peut distinguer trois types de matières organiques :

- les matières organiques brutes d'origine végétale tels que les résidus de récolte et de sarclage, les résidus de transformations des produits végétaux, les engrais verts cultivés ou spontanés, les plantes de couvertures et les tourbes ;
- les matières organiques brutes d'origine animale tels que les déjections animales diverses (bouses de vache, fumier d'étables, fiente de volailles et poudrette de parc) et les déchets d'abattoirs ;
- les matières organiques évoluées d'origine multiple tels que le fumier de ferme, les ordures ménagères en zone urbaine ou rurale et les divers composts.

Parmi ces sources, les résidus pailleux et les déjections animales ont été les plus étudiés. Toutefois, des sources moins familières de matière organique telles que les résidus de poisson, les boues résiduaires des stations d'épuration, les tourbes et les essences agroforestières ont également fait l'objet d'études et d'activités de recherche. Toutefois, plus de dix ans après ces recherches, la satisfaction des besoins en matière organique des exploitations agricoles demeure un problème qui interpelle toujours la recherche.

Pour les deux principales sources de matière organique étudiées (résidus pailleux et déjections animales), les principaux acquis des recherches concernent essentiellement 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.

Résidus pailleux des cultures (et de post récolte)

L'utilisation des pailles pour le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols a retenu l'intérêt des chercheurs agronomes qui ont initié leurs travaux en se posant notamment trois questions fondamentales :

❶ Quelles sont les disponibilités en matière organique pour tel ou tel usage ?

❷ Quel mode de restitution des matières organiques pourrait être applicable par les agriculteurs ?

❸ Quels effets les résidus pailleux ont-ils sur la fertilité des sols ?

Disponibilité

Si l'expansion des cultures a perturbé les mécanismes traditionnels de gestion de la fertilité avec la réduction de la jachère (parquée ou non), elle génère d'importantes quantités de matière cellulosique correspondant aux appareils aériens des plantes cultivées et de la végétation adventice. L'évaluation du disponible a fait l'objet d'enquêtes réalisées par les agronomes du CNRA de Bambey qui ont travaillé sur l'économie de l'azote et la gestion des résidus de récolte. Ces enquêtes étalées sur les années 1978, 1979 et 1980 ont concerné le Bassin Arachidier (régions de Thiès et Diourbel en 1978, Sine-Saloum en 1979 et Casamance en 1980). Les données ainsi collectées ont porté sur les rendements, les quantités ramassées et l'usage des pailles pour les différentes cultures.

Le tableau 6 résume les résultats des enquêtes menées dans le Bassin Ara-

chidier et en Casamance (Allard *et al.*, 1983). Les pailles produites restituées 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 tonnes à l'hectare 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 6. Production, utilisation et disponibilité des résidus pailleux dans les systèmes culturaux du Bassin Arachidier (B.A.) et de la Casamance

Zone	Culture	Paille (t/ha)	Ramassage (%)	Utilisation	Disponible
Nord B.A.	Arachide	0,7 - 1,0	100	Animaux	Nulle
	Mil	1,0 - 2,0	50 - 100	Dom. + An.	Nulle
	Jachère	0,4 - 3,0	50 - 100	Dom. + An.	Nulle
Sud B.A.	Arachide	0,7 - 1,7	100	An. + 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
Casamance	Arachide	0,2 - 0,8	él. à très él.	An. + Vente	Nulle
	Mil	1,0 - 2.5	très faible	Domestique	1,0 - 2.5
	Maïs	2.5 - 4.0	très faible	Domestique	2,5 - 4,0
	Sorgho	1.0 - 3.0	très faible	Domestique	1.0 - 3.0
	Riz	0,2 - 0.8	très faible	Domestique	0.2 - 0.8
	Jachère	0,4 - 3.0	très faible	Domestique	0,4 - 3.0

Dom.=Domestique ; An.=Animaux ; él.=élevé.

Source : Allard *et al.*, 1983

Des investigations plus récentes Ganry *et al.* (1989) menées dans deux des villages enquêtés en 1978 (Ndiémane et Ndiamsil) dans le Nord du bassin arachidier, confirment la faible disponibilité en résidus pailleux à l'hectare avec une légère baisse par rapport à 1978.

Utilisations concurrentes

Le tableau 6 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. La situation est différente dans le sud et en Casamance où les usages domestiques n'absorbent pas toute la biomasse produite mais laissent des possibilités considérables à d'autres modes de valorisation. Dans toutes ces zones, les pailles d'arachide (fanes) sont essentiellement destinées à l'alimentation animale soit localement soit hors exploitation voire même hors zone par le biais de la commercialisation.

L'avènement et le développement de la traction animale qui a introduit la stabulation ont amené les paysans à ramasser plus ou moins systématiquement des pailles notamment celles de l'arachide. Une meule de tige de mil a même été vulgarisée en guise de technique de stockage en plein champ.

Ces usages correspondent globalement à des exportations qui représentent des pertes considérables pour les sols cultivés.

Modes de valorisation pour l'entretien de la fertilité

Dans la pratique paysanne, la préparation des champs consiste essentiellement à les nettoyer en brûlant les résidus pailleux ayant échappé aux différents prélèvements. C'est alors la cendre qui contribue au recyclage minéral. Plusieurs alternatives techniques ont été étudiées par la recherche agronomique quant à la valorisation des résidus pailleux : l'épandage en surface, l'enfouissement sans compostage et le compostage aérobie et anaérobie.

1. Epandage en surface ou paillage et enfouissement sans compostage

La pratique paysanne est de laisser les pailles à l'exception de celles de l'arachide et du niébé, dans le champ. Ces pailles constituent avec les adventices, les aliments du cheptel divaguant. En fin de saison sèche les restes sont mis en tas et brûlés (apport de cendre) pour préparer le terrain au semis.

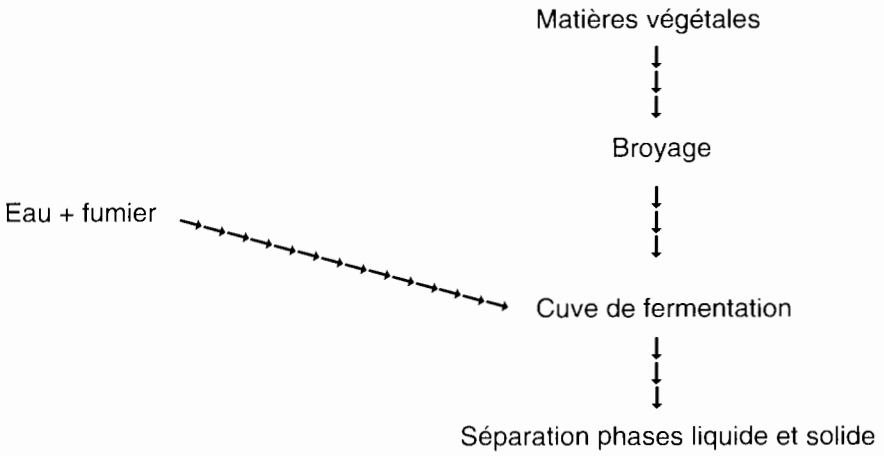
2. Compostage

Le compostage est une technique de valorisation des résidus pailleux basée sur leur fermentation plus ou moins avancée en présence d'air (compostage aérobie), en conditions semi-aérobie (compostage semi-anaérobie) ou anaérobie (compostage anaérobie ou méthanisation). Il a l'avantage de mettre à la disposition des plantes un matériel semi-dégradé plus facilement assimilable et moins toxique que les pailles brutes. Ces avantages expliquent l'ampleur des recherches réalisées sur ce thème.

(i) Le compostage aérobie

Les techniques expérimentées au Sénégal s'inspirent du procédé du Centre International de Développement et de Recherche (CIDR) basé à Paris. La figure 5 en présente les principales étapes. Les matières végétales utilisées sont les balles et paille de riz, la coque d'arachide et la bagasse de canne à sucre (Sarr et Ganry, 1985).

Figure 5. Techniques utilisées pour le compostage aérobie CIDR



Source : Sarr et Ganry, 1985

Le procédé de compostage indiqué dans la figure 5 est recommandable pour la valorisation industrielle des sous-produits pailleux. C'est un procédé pouvant intéresser les entreprises agricoles accumulant d'importantes quantités de résidus végétaux (compagnie sucrière, entreprises rizicoles). Sur le plan agronomique, les essais effectués à Bambey n'ont pas montré un effet annuel significatif de l'enfouissement du compost de coques d'arachide sur le rendement du mil et de l'arachide.

En culture maraîchère, les composts de balle de riz et de coque d'arachide entraînent une plus-value intéressante de la production de tomate (Sarr et Ganry, 1985).

(ii) Le compostage semi-aérobie de la paille

Ce mode de compostage qui semblait être la technique la plus susceptible d'intéresser le paysan, a fait l'objet de nombreuses recherches. Celles-ci vont de la mise au point de différentes variantes du procédé aux tests agronomiques du produit et à l'évaluation des opportunités et contraintes du milieu paysan. Le compostage en meule sous film plastique ou en fosse a fait l'objet d'essais à Bambey avec la paille de mil. Une fiche technique de fabrication de compost a ainsi été élaborée par Ganry et Guèye (1991). Pour réduire la pénibilité de l'opération, des hachoirs mécaniques de paille, manuels ou à moteur à essence ou biogaz, ont été fabriqués par la SISMAR au Sénégal. Pour ce type de compostage, l'humidification est réalisée par la pluie. La durée préconisée ne doit pas être inférieure à 5 mois avec au moins un recoupage ou brassage en cours de fermentation. Même si ce procédé permet une réduction des pertes d'azote en cours de compostage, celles-ci atteignent des seuils de 20% ce qui est encore élevé. Il a été ainsi tenté de réduire davantage ces pertes par l'apport de phosphate monocalcique et la fixation biologique de l'azote de l'air.

(iii) Le compostage en anaérobiose : compostage méthanogène en fermenteur ou biogaz

L'objectif de ce type de procédé était de disposer d'un compost facilement accessible, de bonne qualité agronomique et présentant une plus-value immédiate incitatrice : le biogaz. Un autre objectif était d'utiliser le biogaz comme combustible et de lutter ainsi contre la déforestation et réduire la dépendance énergétique des paysans envers les produits pétroliers. Les

Fixation biologique de l'azote de l'air dans le compost

Deux expériences ont été réalisées. La première a consisté à pratiquer une inoculation de *Beijerinkia* après la phase de fermentation exothermique. Un gain de 2 kg d'azote par tonne de paille a été enregistré. La paille de mil non compostée renfermait 0,78% d'Azote, 0,065% de Phosphore, 0,296% de Potassium et de 0,265% de Calcium alors que le produit composté, renfermait 1,47% d'Azote, 0,178% de Phosphore, 0,138% de Potassium et 1,04% de Calcium.

La deuxième expérience a consisté à inoculer la paille avec deux souches de bactéries fixatrices d'azote que sont *Beijerinkia* et *Enterobacter*. Les effets des deux souches et de leur association ont été comparés dans un essai à trois traitements « inoculation » et un traitement témoin non-inoculé. Chaque traitement a été divisé en deux sous-traitements dont l'un a reçu du phosphate supertriple. Pendant les 50-60 premiers jours de cette expérience, la quantité d'azote a diminué de l'ordre de 25% sauf en présence de phosphate. De 80 à 150 jours, la quantité d'azote a remonté et aucune influence de la présence de phosphate n'a été décelable. Les trois traitements inoculés ont accru de quelque 7% le stock d'azote à 150 jours mais de façon non significative. Cette dernière observation a amené les chercheurs à proposer l'amélioration de l'effet de l'inoculation en associant des micro-organismes décomposeurs aux fixateurs. Ainsi, un champignon actinomycète (décomposeur) a été associé au *Spirilum* (un fixateur diazotrope). Ce dernier essai a permis de montrer que l'inoculation n'avait aucun effet significatif sur le stock final de l'azote dans le compost. En définitive, ces essais ont montré que lorsque la durée du compostage était inférieure à 2 mois, l'apport de phosphate monocalcique pouvait permettre d'éviter les pertes d'azote. Toutefois, pour des temps de compostage inférieurs à 3 mois, le phosphate est sans effet ce qui rend son apport inutile.

principes généraux de la fermentation méthanique sont caractérisés en données biologiques et technologiques.

Les données biologiques peuvent se résumer en 3 phases successives (Farinet, 1983) :

- hydrolyse ou solubilisation : les substrats organiques biodégradables composés de graisses, protéines et de sucres sont transformés en molécules organiques simples ;
- acidogénèse : les produits de dégradation sont attaqués par les populations de bactéries acidifiantes ;
- méthanogènèse : à la suite de l'acidogénèse, le biogaz provient d'une part de la synthèse à partir de H_2 et CO_2 et d'autre part de la décomposition des acides organiques, par l'action des bactéries méthanogènes (*Clostridium perfringens*).

Ces différentes phases se déroulent en absence totale d'oxygène (anaérobiose stricte). Certains paramètres physiques et biologiques doivent être contrôlés et notamment :

- le taux de matières sèches et de matières organiques de substrat ;
- le temps de rétention ou temps de séjour des résidus dans le fermenteur ;
- la température de fonctionnement.

Ces différents paramètres varient en fonction de l'objectif recherché et des conditions locales.

Concernant les données technologiques, les travaux réalisés au Sénégal sur la fermentation méthanique ont porté sur quatre systèmes :

- la fermentation anaérobie en discontinu sur déchets solides ;
- la fermentation anaérobie en continu sur déchets solides ;
- la fermentation anaérobie en continu sur déchets liquides. Des contraintes (stockage et production du fermenteur de type zaïrois, faible étanchéité et inadaptation aux substrats semi-solides) ont condamné ces expériences ;
- le suivi du fermenteur indien de CARITAS (mesure des apports et de la production).

Dans le même temps, les travaux de l'IRAT au Burkina et au Niger montraient des contraintes liées à la charge additionnelle de travail de la production discontinue de biogaz et mettaient en évidence des performances énergétiques médiocres (Cousin *et al.*, 1988). A partir de ces constats d'échecs et avec la mise au point d'un procédé de fermentation en continu (dont la cuve n'est jamais vidée), appelé Transpaille et breveté en 1982, le principe d'une implantation en zone tropicale est adopté en 1983 avec le soutien financier de l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie (AFME). De par sa technologie performante et sa robustesse, le fermenteur Transpaille est particulièrement adapté au milieu réel bien que dans certains cas les nombreuses manipulations soient un facteur limitant pour le paysan. La continuité du processus est assurée par un apport journalier de substrat, une quantité équivalente d'effluents digérés étant évacués parallèlement. Ce type de fermenteur fut testé au niveau de l'unité centrale d'expérimentation du CNRA de Bambey en 1983 et, quelques années après, il fut expérimenté dans la zone des Niayes pour un projet d'élevage intensif/Biogaz-Compost/petite motorisation (Farinet, 1985). Un autre projet a été initié pour valoriser et résoudre les problèmes d'épuration des déchets des abattoirs de la SERAS (Agriforce, 1991).

Le biogaz produit est un combustible composé de 60 % de méthane et 40 % de dioxyde de carbone, utilisable comme carburant pour les moteurs et les brûleurs. La fermentation en continu permet aussi de recueillir un compost constitué d'une matière organique humifiée restituable à la parcelle. De nombreuses études ont été réalisées au CNRA de Bambey sur le suivi de ce type de

fermenteur (Farinet, 1983 ; Farinet et Bocquien, 1984 ; Farinet et Sarr, 1994 ; Farinet *et al.*, 1985 ; Farinet, 1985 ; Rusch et Sarr, 1986 ; Cousin *et al.*, 1988). La production de biogaz peut être adaptée aux besoins. Avec une charge journalière de 80 kg de fumier pailleux (litière sous les animaux à 50% de matière sèche), la production journalière de biogaz varie de 6 à 10 m^3 selon la température saisonnière. Le Transpaille produit chaque jour 100 à 150 kg de substrat organique destiné à devenir un engrais organo-minéral après quelques mois de finition en fosse. Par tonne de matière sèche, le compost produit par le Transpaille permet de disposer de 16,5 à 19,5 unités de N_2, 10 à 11 unités de P_2O_5, 6 à 7 unités de K_2O. Il contient aussi 20 kg de calcium.

Déjections animales

Origines et importance

Le bétail consomme du matériel végétal – résidus pailleux de récolte, fourrages d'espèces herbacées et ligneuses et des concentrés – dont la dégradation dans le tractus digestif permet à l'animal d'absorber les nutriments nécessaires pour la couverture de ses besoins d'entretien et de production. Une grande partie du matériel consommé échappe cependant à la digestion et se retrouve excréter dans les fèces qui contiennent aussi des produits endogènes provenant des bactéries et du métabolisme de l'animal (Van Soest, 1995). La quantité de fèces produite par les animaux est fonction de l'espèce animale, de la quantité d'aliments ingérée et de sa digestibilité apparente. Il existe une relation non linéaire entre la quantité de fèces excrétée et le poids de l'animal chez les animaux nourris à l'auge. Fernandez *et al.* (1995) ont estimé le coefficient de l'excrétion fécale en fonction du poids métabolique à partir de 251, 247, 139 rations *ad libitum* respectivement sur bovins, moutons et chèvres. L'excrétion fécale s'élève à 59,2 g de matière sèche (ms) par kg $P^{0,75}$ pour les bovins, 32,0 g ms/kg $P^{0,45}$ pour les moutons et 26,5 g ms/kg $P^{0,75}$ pour les chèvres.

La quantité de fèces susceptible d'être collectée et valorisée pour les cultures à l'échelle de l'exploitation, du village, du terroir ou de la région dépend de l'effectif du bétail présent, de leur importance relative et de leur mode de gestion.

La place de l'élevage dans les systèmes de production au Sénégal explique l'importance de la fumure d'origine animale d'abord dans les pratiques paysannes traditionnelles ensuite dans les itinéraires techniques préconisés par la recherche.

Modes de valorisation

Les systèmes traditionnels de production agro-pastorale du Sénégal reposent sur le recyclage et le transfert de biomasse grâce aux animaux pour l'entretien du statut organique des sols. L'utilisation des déjections animales à des fins d'entretien de la fertilité des sols est une pratique paysanne relativement ancienne au Sénégal. Par exemple, la valorisation de la fumure organique grâce à l'intégration du cheptel bovin fait du système agraire Serer du Sine un exemple réussi d'une gestion rationnelle et durable du milieu (Garin *et al.*, 1990).

1. Le parcage traditionnel

Avec le parcage, la fumure organique est directement appliquée par les animaux sur les sols. Les animaux séjournent sur des parcelles de cultures où ils déposent fèces et urines pendant les heures du jour où ils ne sont pas aux pâturages. L'objectif du paysan de concentrer les déjections animales est réalisé, selon les zones, par la mise au piquet des animaux sur les parcelles ciblées ou par la mise en place d'un enclos formé de branches d'épineux. Dans les deux cas, les piquets ou l'enclos sont régulièrement déplacés au cours de l'année ou d'une année à l'autre pour une

bonne répartition de la matière fertilisante tenant compte du mode d'appropriation des animaux et de l'hétérogénéité de la fertilité des parcelles. Il existe d'importantes variations saisonnières pour les terres qui reçoivent la matière fertilisante provenant des animaux. Durant la saison des pluies, le bétail est exclu des zones de cultures pour réduire les dommages qu'il pourrait y provoquer et il est parqué la nuit dans les zones en friches ou en jachères. Pendant la saison sèche et le début de la saison des pluies, les animaux sont parqués autour des villages sur les champs en culture continue de céréale.

En milieu paysan, le fumier est formé d'un mélange de terre et de déjections et ne répond pas toujours aux qualités d'un bon fumier composé de fèces et de matériaux végétaux bien décomposés. La mauvaise qualité de ce fumier faisait dire à Hamon (1972) qu'il n'existait en fait pas de fumier. En effet, le parcage s'accompagne d'importantes pertes en éléments nutritifs causées par l'action des termites et du soleil. Par exemple, Hamon (1972) observe qu'une bouse de vache, exposée pendant 45 jours dans un champ, est dégradée par les termites, perd respectivement 40, 62 et 57 % de son contenu initial en Azote, Phosphate et Potassium et est remplacée par du sable. En outre, l'application directe des fèces et des urines conduit à des pertes d'azote non seulement par la volatilisation de l'ammoniac mais aussi par la dénitrification et le lessivage (Tanner *et al.*, 1995). Cependant, l'application directe de la matière fertilisante par les animaux aurait l'avantage de permettre l'apport de l'azote urinaire sur les champs qui serait perdu avec le transfert des bouses de vaches du parc vers le champ (Powell et Ikpe, 1992).

2. *Techniques de fabrication du fumier*

La présence d'un important cheptel bovin avait suscité chez les chercheurs, depuis le début des années 1960, l'idée de la fabrication d'un véritable fumier meilleur que celui produit traditionnellement.

Deux contraintes majeures s'opposaient à la production d'un fumier de bonne qualité. Premièrement, l'humidité du fumier était insuffisante pour assurer une maturation convenable et l'arrosage nécessaire n'était pas à la portée des paysans (accès à l'eau difficile). Deuxièmement, le matériel végétal disponible notamment les tiges de mil et de sorgho ne présentait pas les qualités d'une matière facilement fermentescible à cause de leur nature volumineuse et ligneuse.

Afin de réunir les conditions nécessaires à la fabrication d'un fumier de bonne qualité (aération, humidité et matières fermentescibles), la recherche agronomique préconisa et testa en station la stabulation du cheptel dans le cadre d'un habitat amélioré. Le modèle d'habitat proposé comprenait les éléments constitutifs suivants (Hamon, 1972) :

– une fosse de 30 à 50 cm de profondeur où s'entassent les fèces et la litière ;

– un fossé de collecte des eaux de pluies situé derrière l'étable ;

– un tuyau d'arrosage ;

– un toit de chaume ;

– une aire découverte avec une pente.

Une variante de ce modèle est dotée d'un fût coupé longitudinalement servant de collecteur d'eau de pluie à la place du fossé. Une autre variante plus complexe avait aussi été conçue pour anticiper sur l'augmentation éventuelle du nombre d'animaux à stabuler.

Avec le modèle d'habitat proposé pour la fabrication du fumier, le paysan apporte la litière formée de tiges de mil ou de sorgho (4 à 5 kg par animal, 2 fois par semaine) dont les parties fines sont consommées par les animaux et les parties grossières sont fragmentées par le piétinement des animaux. L'humidification est assurée par l'eau de pluie grâce au drain qui relie la fosse fumière et le fossé ou le fût de collecte des eaux de pluie.

La diffusion de ce modèle de fabrication du fumier s'est heurtée à des difficultés d'ordre pratique, financière et psychologique (Hamon, 1972). En conséquence, son adoption en milieu paysan sénégalais est restée faible. Cependant, plus de vingt ans après cette expérience, au début des années 1980, la Société de Développement des Fibres Textiles (SODEFITEX) a initié une politique de promotion des étables fumières pour produire plus de matière organique que dans le système traditionnel en vue de lutter contre la pauvreté des sols de la zone cotonnière du Sénégal. La stabulation fumière diffusée par la SODEFITEX depuis 1985, repose sur l'amélioration de l'alimentation et de la santé des animaux de trait qui sont abrités dans un habitat amélioré favorisant la production d'un fumier de bonne qualité. L'étable vulgarisée comporte un toit en chaume qui surplombe une fosse d'environ 50 cm où séjournent les animaux et où s'entassent les déjections animales et la litière formée de résidus de céréales ou de foin de brousse. Le fumier n'est pas arrosé mais son humidification provient essentiellement des urines. Plusieurs variantes de l'étable existe (dimension de la fosse, fosse cimentée ou non). Ce type de stabulation est réalisé en saison sèche (janvier à juin) et les animaux de trait y étaient privilégiés pour leur assurer une bonne alimentation en vue de les préparer pour les prochains travaux agricoles. L'entrée des femelles lactantes dans les étables pour améliorer la production laitière en saison sèche a été une évolution intéressante de la stabulation fumière à laquelle fut ajoutée l'épithète de stabulation laitière. Cette évolution a renforcé l'objectif de production de fumier en pérennisant l'étable.

La disponibilité d'un crédit pour l'établissement de l'étable, l'achat des intrants (aliment du bétail, médicaments et vaccins), la formation des éleveurs et le suivi de la recherche ont été à l'origine d'une bonne diffusion et d'une adoption satisfaisante de la stabulation fumière en Haute Casamance.

Quantité et qualité du fumier produit

En stabulation entravée, les bovins pesant en moyenne 400 kg de poids vif nourris à base de fane d'arachide (10 kg/jour) ou avec du foin de brousse et supplémentés avec 3 kg de mil les jours pendant lesquels ils travaillent, produisent en moyenne 12 à 25 kg de fumier (fèces + litière à 57,7% d'humidité) par jour selon le nombre d'heures de stabulation (0,81 à 1,04 kg de fumier par heure de stabulation). En stabulation libre, les animaux produisent 9 à 17 kg de fumier à 14 % d'humidité par jour (Hamon, 1968).

Comme cela a déjà été précisé, la qualité du fumier dépend de plusieurs facteurs notamment des caractéristiques des aliments ingérés par les animaux et des conditions de fabrication et de stockage. Des travaux menés au CNRA de Bambey ont montré que le profil vertical de la masse de fumier permet de distinguer 4 strates. La première couche superficielle est constituée de déjections et de pailles peu décomposées et séchées par le soleil. La couche suivante est plus enrichie en matières humiques totales qui sont encore plus représentées dans la couche 3 dont la qualité du fumier est la meilleure. La couche inférieure (4) est constituée par l'enrichissement du sol en place grâce au lessivage de substances organiques par l'eau d'irrigation (Hamon, 1972). Une tonne de fumier des couches 2 et 3 restitue au sol 5,33 kg d'azote, 1,85 kg de P_2O_5, 6,56 kg de K_2O, 2,87 kg de MgO et 4,39 kg de CaO (Hamon, 1972).

Tableau 7. Restitution d'une tonne de fumier (Hamon, 1972)

Eléments restitués	Tamba 1	Tamba 2
N_2	8,1	12,55
P_2O_5	1,75	2,95
K_2O	7,35	23,15
CaO	5,95	9,05
MgO	2,3	-

Chapitre 2

Fertilité et fertilisation des sols

Définitions et concepts

Les notions de fertilité et de fertilisation des sols peuvent être abordées par analogie à celles de santé et de nutrition humaines. Dans la zone de savanes au sud du Sahara, la fertilité et la fertilisation des sols doivent être analysées en tenant compte d'autres facteurs de production tels que la technologie et la force de travail disponibles. Pour une région donnée, l'étude de la fertilité et de la fertilisation des sols est de ce fait indissociable de l'analyse des conditions agro-écologiques, de la dynamique des populations et des effets de la politique agricole sur les systèmes agraires (Piéri, 1989).

La notion de fertilité doit cependant être relativisée car on ne peut pas la dissocier de ses contextes socio-économiques (techniques mises en œuvre) et historiques. Pour cette raison, certains agronomes lui préfèrent la notion d'aptitude culturale qui se fonde sur l'étude des caractéristiques du milieu et sur son aptitude à remplir ses fonctions (alimentation en eau, en éléments minéraux, etc.) pour une culture et des techniques données (Lavigne Delville, 1996).

La couverture pédologique, autrement dit le sol, constitue la partie superficielle de la lithosphère transformée par la présence et les actions de l'atmosphère et de la biosphère. Elle est structurée à différents niveaux depuis l'échelle de l'organisation des particules jusqu'à celle de l'unité de paysage. Les cinq niveaux de structure identifiés et particulièrement importants à décrire et à mesurer sont, suivant des niveaux d'échelle décroissants, les organisations élémentaires, les assemblages, les horizons, les pédons et les systèmes pédologiques. D'après de Blic (1996), ces derniers regroupent deux niveaux de structure :

- la toposéquence élémentaire qui correspond au champ ;
- l'unité dynamique ou volume élémentaire du modelé (bassin versant élémentaire, interfluve) qui se situe à l'échelle du terroir villageois ou de la fraction de terroir.

La fertilité des sols sableux est influencée par la nature du substratum rocheux et l'épaisseur du manteau sableux. On a constaté une meilleure richesse chimique dans la situation d'un recouvrement peu épais sur roche basique. Les sols gravillonnaires peu profonds des zones plus sèches ont une richesse minérale limitée. Les sols ferrugineux tropicaux lessivés ont une fertilité potentielle acceptable, malgré leur pauvreté en colloïdes organo-minéraux et leur faible activité physico-chimique de surface. La matière organique s'y minéralise rapidement, ce qui se traduit par de faibles teneurs inférieures à 3% sous végétation naturelle, et décroissant rapidement sous culture où elles peuvent être inférieures à 0,5% dans certaines zones (Siband, 1974).

Fertilité des sols

La notion plus générale de fertilité d'un milieu peut être assimilée à un jugement porté sur le fonctionnement d'un système biologique dont les composantes interactives (le sol, le climat et la plante) sont soumises à des déterminants techniques, économiques, sociaux et historiques (Boiffin et Sébillotte, 1982). Plus spécifiquement, la fertilité d'un sol telle que définie dans Mémento de l'Agronome (1993), exprime l'aptitude de ce dernier à produire des récoltes en fonction de ses qualités intrinsèques et des techniques culturales utilisées. Selon cette dernière source, on peut distinguer deux types de fertilité :

- la fertilité actuelle définie comme étant l'aptitude du sol à produire dans les conditions de cultures du moment et qui se mesure par le rendement obtenu :
- la fertilité potentielle qui, quant à elle, est l'aptitude du sol à produire dans des conditions optimales de nutrition par suite de l'action de l'homme sur les facteurs modifiables, qui se mesure par le rendement maximum. Dans les conditions de l'agriculture de la zone tropicale sèche qui nous intéresse ici, il est particulièrement important de noter que la fertilité potentielle dépend des techniques disponibles pour modifier les facteurs limitants et des choix à faire compte tenu des risques acceptables par les populations. Le potentiel de production qui en découle est une notion historique et dynamique qui peut évoluer en fonction des progrés scientifiques, et de ce fait n'a donc pas de définition absolue. Piéri (1989) estime que les rendements maximum dans une région à une époque déterminée coïncident avec les rendements les plus élevés obtenus généralement par les paysans les plus performants.

La fertilité du sol est analysée sous un triple point de vue : physique, chimique et biologique. Ces trois composantes de la fertilité du sol sont déterminantes pour le comportement de la plante.

1. La fertilité physique du sol

Elle prend toute sa signification d'une part dans le type et la proportion des différents éléments constituant le sol (texture), et d'autre part dans leur mode d'assemblage (structure). Les éléments grossiers y compris les sables et les limons constituent le squelette du sol, alors que l'argile et la matière organique en forment le complexe argilo-humique qui régule le stockage et l'alimentation des plantes en éléments minéraux. Les propriétés physiques les plus importantes d'un sol concernent la structure, la porosité, la capacité de rétention en eau ou la perméabilité. Ces grandeurs directement ou indirectement déterminées ne sont pas indépendantes. En ce qui concerne la structure, le niveau de fragilité, indiqué assez souvent par la mesure de l'indice de l'instabilité, joue un rôle déterminant dans le maintien ou la détérioration du potentiel de production agricole d'un milieu. La faible teneur en argile et en matière organique des sols de la zone d'étude, ainsi que le caractère agressif des pluies rendent difficile la gestion de leur fertilité physique.

2. La fertilité chimique

Elle est relative à la richesse d'un sol en éléments nutritifs qui dépend étroitement de sa nature minéralogique aussi bien pour la fraction minérale que pour celle organique. Les éléments chimiques sont constitués par les éléments nutritifs de réserve contenus dans la matrice solide et les éléments d'échange ou labiles adsorbés à la surface du complexe argilo-humique.

La capacité d'un sol à se maintenir chimiquement fertile ou au contraire à se dégrader est déterminée par l'importance des réserves mobilisables et de leur passage sous forme assimilable. Les sols mis en valeur en Afrique de l'Ouest, et au Sénégal en particulier, sont les sols ferrugineux et les sols ferralitiques. Compte tenu de la minéralogie (dominée par la présence de quartz, de kaolinite, d'oxyhydroxyde de fer et d'aluminium) et de la texture souvent sableuse à sablo-argileuse des horizons de surfaces, la matière organique joue un rôle fondamental dans les propriétés de ces sols. La mise en culture de ces sols naturellement fragiles déclenche un processus rapide de dégradation de cette fertilité à travers lequel les éléments du complexe absorbant ou bases échangeables sont remplacés par des éléments minéraux plutôt toxiques (cations H^+, Al^{+++} et Mn^{++}, Na^+). L'acidification et/ou la salinisation sont des processus très courants de dégradation des sols. Un autre processus non moins préoccupant est la perte de substances traduisant la détérioration de la structure du sol, ou plus précisément de la destruction du complexe argilo-humique. Ce phénomène résulte de l'effet des eaux de ruissellement mais aussi de la minéralisation des colloïdes organiques.

3. La fertilité biologique

Elle joue un rôle central dans l'alimentation hydrique et minéral de la plante. Dans le sol, l'activité biologique contrôle des processus importants qui déterminent sa fertilité : taux ou vitesse de décomposition, de minéralisation, de dénitrification et/ou de lixiviation. En fait, il y a une très étroite relation entre l'activité microbienne et la teneur en eau du sol. Ainsi, il existe un seuil critique de la teneur en eau en dessous duquel les processus biologiques tels que les taux de diffusion de l'oxygène et des éléments nutritifs sont inhibés (Scholes *et al.*, 1994 In: Woomer and Swift, 1994).

Dans la relation sol-plante, l'activité biologique contribue directement à l'alimentation minérale de la plante. Les légumineuses en particulier, à travers la fixation biologique de l'azote assurent une bonne partie de leur nutrition azotée. Indirectement, cette activité biologique améliore aussi la relation sol-plante en contribuant à la reconstitution du stock organique du sol. C'est par ce biais que la fertilité biologique agit favorablement sur la structure des sols dont le degré de stabilité des agrégats est accru. L'amélioration de la macroporosité de sols qui en résulte favorise l'infiltration de l'eau dans le profil. Par ailleurs, en favorisant la diminution de la densité apparente du sol, l'activité biologique entraîne une amélioration de la capacité de rétention en eau du sol, mais aussi de la colonisation du profil par les racines dont le développement est stimulé.

En conclusion, il est important de retenir que la fertilité des sols est une intégration de trois composantes (chimie, physique et biologie) qui sont en fait interdépendantes. Ainsi, toute approche de mise en valeur des terres qui néglige l'une quelconque de ces composantes aura une efficacité limitée. C'est pourquoi une conception purement chimique de la fertilité des sols est parfois inappropriée ou inadéquate pour obtenir des écosystèmes qui favorisent une efficience d'utilisation des éléments nutritifs comme c'est le cas pour les écosystèmes naturels. Le paradigme dominant de la fertilité des sols des sociétés développées basé presque exclusivement sur la chimie inorganique des sols a donné de hauts rendements des cultures, mais dans un contexte d'une faible efficience d'utilisation des engrais et surtout aux dépens de la préservation de l'environnement.

La fertilisation des sols

Prenant en compte la fertilité naturelle du sol dans une region et à une époque données, la fertilisation du sol a pour but d'accroître durablement les productions agricoles. En ce qui concerne l'Afrique où la fertilité des sols est faible, Rabezandrina (1986) estime qu'au lieu de définir l'agriculture comme étant « l'art de tirer du sol le maximum de profit tout en maintenant sa fertilité », il faut plutôt la concevoir comme étant « l'art de conserver la fertilité du sol pour en tirer le maximum de profit ». Il s'agit en fait de faire passer au second plan le profit immédiat qui jusqu'à présent a prévalu dans l'approche de fertilisation qui consiste le plus souvent à apporter uniquement au sol de l'engrais minéral à des doses donnant lieu à des bilans minéraux négatifs.

Les causes de la chute des rendements, en dehors de l'insuffisance et/ou la mauvaise répartition de l'offre en eau sont le fait d'une fertilisation inappropriée pour des sols naturellement pauvres en matières organique et minérale, d'une part, et d'une inadaptation des techniques culturales d'autre part.

Les objectifs de production agricole définis par les pouvoirs publics ainsi que leur évolution dans le temps déterminent en grande partie les stratégies des producteurs.

Au Sénégal, la politique de fertilisation minérale des cultures adoptée est basée sur deux conceptions qui ont guidé les travaux de recherche (Bouyer, 1962) :

- l'approche économique aboutissant à des formulations de fumure minérale légères visant une amélioration partielle et à court terme de la fertilité du sol :
- l'approche technique donnant lieu à des formulations de fumure minérale fortes pour une amélioration complète et durable de la fertilité du sol. Le principe de l'amélioration foncière appliqué permet de corriger durablement les principales carences minérales.

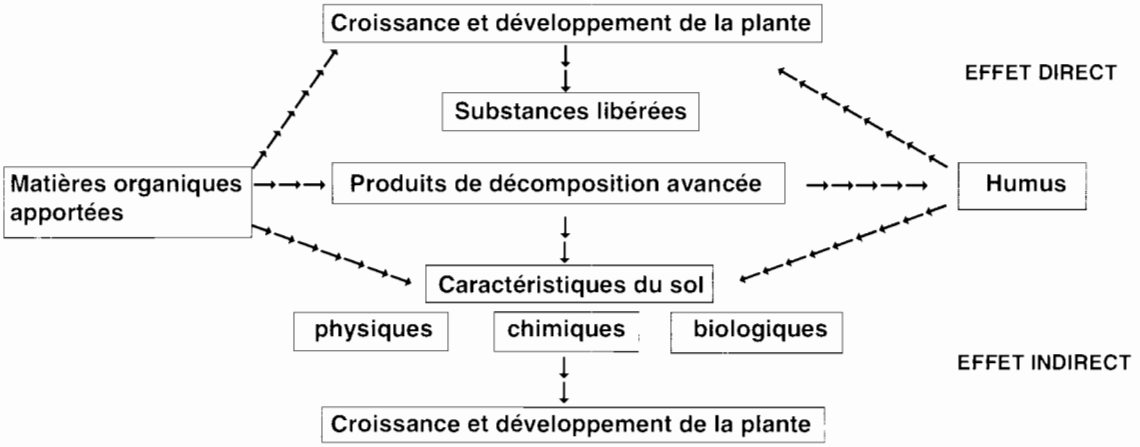
En vue de remédier à l'évolution négative du milieu, la doctrine de l'amélioration foncière à mettre en œuvre doit se faire selon une démarche analytique. Dans cette perspective, la fumure d'une culture est déterminée en tenant compte des exigences de la plante au cours de son cycle et de la dynamique des différents éléments nutritifs dans le sol pour connaître ses insuffisances et pour éventuellement procéder à la correction de sa fertilité qu'il y a lieu de conserver sinon de relever. C'est dans ce sens qu'il faut comprendre les notions de fumure de redressement et d'entretien.

Une importance toute particulière doit être accordée au pouvoir tampon des sols, et à leur statut organique. On vise ainsi à limiter tous les processus qui affectent négativement les conditions physiques, chimiques et biologiques des sols. L'acidification des sols en particulier, une préoccupation majeure pour les terres de cultures en zone de savanes, est due entre autres à une désaturation des sols et à une perturbation de l'activité microbiologique tellurique (Piéri, 1976).

Statut organique des sols

Dans un contexte où la gestion des ressources naturelles constitue une préoccupation majeure pour les pays du Sahel, compte tenu de la fragilité de leur écologie, la composante relative à la fertilité des sols occupe une place de choix en vue d'une augmentation durable de plus en plus nécessaire des productions agricoles. Dans la perspective de l'amélioration de cette fertilité, la matière organique devient incontournable. L'effet de la matière organique sur le comportement végétal ne s'évalue pas uniquement par rapport à l'offre d'éléments nutritifs, mais aussi sur la base de son influence sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol qui à leur tour affectent le développement de la plante. La matière organique dans le sol agit sur la croissance et le développement des cultures à la fois de façon directe à travers la mise à la disposition de la plante des éléments nutritifs libérés, et de façon indirecte compte tenu de son effet sur l'amélioration des composantes physiques, chimiques et biologiques de la fertilité du sol. Ces relations sont schématisées dans le diagramme (figure 6) proposé par Im (1978).

Figure 6. La décomposition de la matière organique et ses effets sur la croissance et le développement des cultures



Comme déjà indiqué plus haut, l'amélioration de la structure du sol résulte de la présence en quantité et en qualité de matière organique. Il en est de même de l'amélioration de la stabilité des agrégats formés, de la capacité de rétention en eau, de la capacité d'échange cationique et de la diminution du pouvoir fixateur de phosphore du sol. En outre, l'activité microbienne dans le sol dépend aussi beaucoup de la présence de la matière organique. En tant qu'indicateur de qualité du sol, la matière organique du sol est caractérisée sur le plan quantitatif par la teneur en résidus organiques d'origine végétale et/ou animale, et sur le plan qualitatif par la composition chimique et biochimique de ces résidus.

Evolution de la pratique de fertilisation organique des sols au Sénégal

Traditionnellement et pendant longtemps, les agriculteurs ont utilisé de façon systématique la fumure organique pour augmenter la productivité des cultures et maintenir la fertilité de leurs terres de cultures. La bonne intégration de l'agriculture et de l'élevage observée dans les systèmes agraires en milieu Sereer constitue une illustration concrète de cette situation (Pellissier, 1966 ; Garin *et al.*, 1990 ; Lericollais, 1977). Cependant, l'adoption à grande échelle de la fertilisation minérale sur l'ensemble du territoire national a progressivement relégué au second plan la pratique de fertilisation organique. De plus, le défrichement tous azimuts des terres, sous l'effet de la pression démographique, a entraîné la disparition progressive de la jachère et l'exclusion de l'animal du système. Il faut aussi souligner que la mise en place du Programme Agricole a facilité, de manière concomitante, à travers les crédits en intrants et équipements octroyés par l'état, l'acquisition des engrais minéraux et des animaux de trait, marquant ainsi une certaine volonté d'intégration de l'animal à l'exploitation. Le progrès technologique a donc permis la mise au point d'engrais minéraux dont l'introduction au Sénégal est à rapprocher de la politique de promotion des cultures de rente : arachide d'abord, et coton ensuite.

L'arrêt du Programme Agricole combiné avec l'avènement de la sécheresse (non valorisation de l'engrais apporté lié au stress des cultures) et le faible pouvoir d'achat des paysans ont provoqué une chute brutale dans la pratique de la fumure minérale et entravé l'utilisation des engrais minéraux.

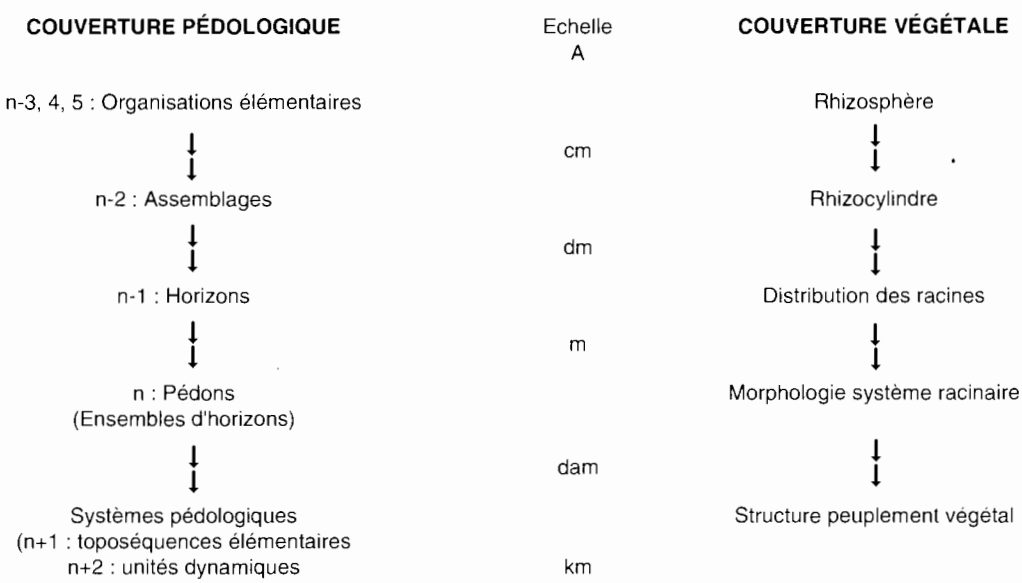
Evolution de la fertilité des sols sous culture

La fertilité des sols étant prise au sens large telle que définie plus haut, il importe d'analyser son évolution à partir des deux notions fondamentales que sont la couverture pédologique et la couverture végétale.

Ainsi, de Blic (1996) a défini cinq niveaux de structure de la couverture pédologique qu'il met en parallèle avec ceux de structure de la couverture végétale. Dans le schéma présenté (figure 7), à l'échelle microscopique, les organisations élémentaires du sol sont associées à la rhizosphère tandis qu'à l'échelle macroscopique les systèmes pédologiques sont reliés à la structure du peuplement végétal. Il est aisé alors de concevoir que les systèmes pédologiques regroupent deux sous-niveaux de structures, à savoir la toposéquence élémentaire qui correspond au champ et le volume élémentaire qui est l'unité dynamique qui correspond au terroir villageois.

La méthode du profil cultural est basée sur l'analyse de la structure de la couverture pédologique d'une part, et d'autre part sur l'occupation du sol et des systèmes de production en vigueur qui déterminent la structure du peuplement végétal. Elle permet ainsi l'intégration des deux types de couverture, donne lieu par la même occasion à l'approche intégrée « système sol-plante ». L'analyse de l'ensemble du système sol-plante (et non pas uniquement du sol ou de la plante) est par exemple nécessaire à la compréhension des processus d'humification et à la gestion raisonnée des différentes formes d'engrais pour la nutrition minérale de la plante et le maintien de la fertilité des sols (Feller, 1977).

Figure 7. Structures du système sol-plante (**Source :** de Blic, 1996)



La description et la mesure des structures du système sol-plante permet de mettre en évidence son organisation spatiale. Par ailleurs, cette analyse de la couverture bio-pédologique vise à effectuer une interprétation dynamique des relations géométriques permettant d'appréhender l'histoire de sa mise en place, de même que son évolution actuelle. En d'autres termes, l'étude de l'évolution de la fertilité des sols sous culture doit se faire selon une approche systémique qui intègre les trois dimensions fondamentales que sont la spatialisation, la temporalité et l'anthropisation.

Il existe des propriétés et/ou caractéristiques intrinsèques déterminantes telles que la texture ou la profondeur du profil exploitable par les racines des espèces végétales annuelles, voire pérennes, dont la variation au cours du temps est faible. Par contre, quel que soit le type de sol considéré, le statut organique tant au niveau de la teneur qu'à celui de la composition est une grandeur qui évolue en fonction des modes de gestion en place. En raison de son importance capitale, il constitue une base essentielle sur laquelle un grand nombre d'indicateurs de qualité du sol sont définis. C'est ainsi, par exemple, qu'un certain nombre d'attributs de la matière organique dans le sol incluant la teneur en carbone et en azote, la biomasse microbienne ou la teneur en carbohydrate ont été retenus comme indicateurs de qualité (Diack, 1996). De plus, l'influence de la matière organique ou de ses attributs sur les propriétés physico-chimiques, physiques et hydriques du sol est bien connue (influence sur la stabilité structurale, la perméabilité ou la capacité d'échange cationique, etc.). Sur le plan purement de la nutrition des cultures, les problèmes d'acidification, de fixation biologique, et de fixation du phosphore sont d'autant plus aigus que le taux de matière organique dans le sol est faible.

Dans la zone tropicale sèche du Sénégal, voire dans l'ensemble de la zone semi-aride du Sahel, un acquis important de recherche au cours des quatre à cinq dernières décennies existe dans le domaine de l'étude de la fertilité des sols cultivés. Nous tenterons dans les paragraphes qui suivent de faire la synthèse de ces résultats en faisant ressortir le rôle central de la matière organique en tenant compte :

- des caractéristiques des principaux types de sol identifiés dans chacune des zones agro-écologiques du Sénégal ;
- des principaux systèmes de production et des modes de gestion ou d'utilisation des terres (assolement, rotation culturale, pratique de fertilisation, etc.) qui déterminent l'évolution de leur fertilité.

Il convient tout d'abord de signaler le caractère complexe de la fertilité des sols, résultant non pas de l'addition mais de la combinaison d'un nombre important de facteurs. En plus des facteurs chimiques eux-mêmes, la fertilité des sols tropicaux dépend :

- de la profondeur de sol à la disposition des racines ;
- des caractères du matériau lui-même : texture, propriétés physico-chimiques (complexe absorbant, réaction, conditions d'oxydo-réduction), propriétés physiques (structure, porosité, perméabilité) ;
- du bilan hydrique ;
- du développement de la vie microbienne dans le sol.

Rôle de la matière organique dans la fertilité naturelle des sols

Le climat est une composante du milieu physique qui joue un rôle essentiel dans l'évolution de la fertilité des sols. En effet, à travers l'humidité, la température et les échanges atmosphériques, il oriente la pédogenèse vers un type particulier de sol. Quant à la faune du sol, elle joue un rôle important dans l'incorporation des résidus végétaux et animaux aux constituants minéraux des sols (malaxation, décomposition, minéralisation, réorganisation, etc.).

La mise en culture d'un sol accélère la minéralisation de la matière organique. La chute de la teneur en carbone, les premières années de mise en culture, n'est pas liée seulement à la non-restitution des résidus végétaux, mais aussi à une augmentation de la biodégradabilité de la matière organique (Feller, 1977). L'épuisement du stock d'humus a pour conséquence une moindre protection des colloïdes minéraux, plus facilement dissociés par les pluies et entraînés par le ruissellement. La capacité d'échange cationique se trouve aussi réduite, et les cations entraînés en profondeur sans doute en partie avec les anions organiques libérés ne sont plus ramenés en surface par les racines profondes. Le sol s'appauvrit alors chimiquement (Siband, 1974).

Les rendements les plus élevés et les plus stables sont toujours observés dans les champs les mieux pourvus ou les moins pauvres en matière organique et cela malgré les aléas pluviométriques annuels.

La matière organique joue trois rôles principaux :

- elle favorise le développement racinaire des cultures ;
- elle constitue le principal agent de stabilisation de la structure des sols ;
- elle influe sur la nutrition des plantes (minéralisation de l'azote) et les propriétés physico-chimiques des sols (CEC, acidité).

Les travaux récents ont permis d'obtenir de nombreuses estimations quantitatives relatives à la matière organique des sols tropicaux (Piéri, 1989).

En condition naturelle, c'est-à-dire en l'absence de toute interférence de l'activité humaine, les terres de savanes du Sénégal constituent un écosystème stable malgré leur faible fertilité (Piéri, 1989). Mais dès la mise en culture de ces sols, les flux d'entrée et de sortie des facteurs de

production (eau et éléments minéraux) à l'interface sol-racine subissent des transformations traduisant le niveau des modifications subies par les composantes physiques, chimiques et biologiques du sol. La mise en culture qui passe par le défrichement ou la destruction du couvert végétal déclenche un processus de dégradation de ces différentes composantes qui est étroitement liée à la richesse du sol en matière organique. Ainsi, la pauvreté en matière organique est l'une des principales causes de la baisse de fertilité des sols.

Mise en culture et évolution de la fertilité chimique des sols

Pour les principaux types de sols cultivés au Sénégal, l'effet de la durée de mise en culture sur les propriétés chimiques a été analysé dans de nombreux travaux. Ces derniers ont été essentiellement réalisés :

- en Moyenne Casamance sur sol ferralitique (sol rouge) ou sol ferrugineux tropical lessivé (sol beige) ;
- dans le bassin arachidier sur sol ferrugineux tropical lessivé ou non.

Le niveau organique du sol reflète en partie sa fertilité. Dans une étude sur la matière organique (carbone et azote) menée pendant 10 ans à Séfa, Fauck *et al.* (1969) ont constaté que :

- de 2,1% sous forêt, la teneur en matière organique ne dépasse guère 1,3% après deux années de culture ;
- le taux d'humus a baissé de 25% après la première année de culture d'arachide suivant le défrichement pour atteindre 40 à 50% du stock initial au cours de la deuxième année ;
- pour l'azote total, une diminution nette pouvant atteindre 50% a été notée au cours de la deuxième année. Le taux d'azote total se situe autour de 1‰ sous forêt et 0,7‰ sous culture.

Ces mêmes travaux ont permis de comparer l'évolution de l'horizon 0-20 cm d'un sol rouge à celui d'un sol beige (tableau 8).

Tableau 8. Evolution de la teneur en carbone (‰) de l'horizon 0-20 cm après 15 années de culture

Type de sol	Sous forêt	Sous culture	Perte (%)
Sol rouge	9.0	5.3	41
Sol beige	13.5	5.0	63

Source : Fauck *et al.*, 1969

Sous forêt, les sols beiges mieux pourvus en matière organique que les sols rouges se dégradent plus rapidement et au bout de 15 ans de mise en culture, ils atteignent des teneurs identiques. Les variations obtenues pour l'azote sont très proches de celles obtenues pour le carbone malgré l'apport d'engrais azotés et une certaine hétérogénéité des résultats.

Il y a très peu de différence dans le pourcentage des fractions humiques : 65% d'acides humiques et 35% d'acides fulviques sur l'horizon 0-30 cm sous culture. L'action des turricules de vers et des termites est importante dans l'enrichissement en matière organique totale et l'augmentation de la fertilité, surtout dans le cas du sol beige cultivé où les valeurs atteignent presque les valeurs sous forêts.

Le pH reflète l'état chimique des sols et la saturation du complexe absorbant. Une diminution progressive en moyenne de deux dixième d'unité a été constatée en deux ans, reflétant un appauvrissement net des sols. Fauck (1955) cité par Fauck *et al.* (1969) a estimé la perte à 110 kg de chaux et 23 kg de potasse à l'hectare.

En milieu Mandingue, Siband (1972 et 1974), en étudiant les conditions physico-chimiques sur sol rouge de la zone de Séfa cultivé de façon continue pendant 3, 12, 46 et 90 ans, a montré que sur l'ensemble des horizons cultivés (0-60 cm), la baisse du taux de matière organique consécutive à la culture est très importante surtout pour le premier horizon 0-10 cm qui a perdu 33% de son stock organique en 10 ans et 66% au bout de 46 ans, ce qui représente 28 tonnes par hectare de matière sèche (tableau 9). Au delà de 12 ans, il semble s'établir une stabilité relative de certaines caractéristiques chimiques (azote total et pH) dans la couche arable du sol. Il y a par contre un processus continu de décalcification, concomitant à la diminution de la matière organique.

Tableau 9. Effet de la durée de la mise en culture d'un sol rouge de la Moyenne Casamance sur l'évolution de ses caractéristiques physico-chimiques

Caractéristiques	Horizon	Forêt	Durée de mise en culture après défrichement de la forêt			
			2 ans	12 ans	46 ans	90 ans
M.O.	0 - 10	2,85	2,49	2,02	1,14	0,84
	10 - 20	1,54	1,49	1,13	0,89	0,84
N total	0 - 10	0,90	0,79	0,68	0,43	0,35
	10 - 20	0,53	0,53	0,47	0,38	0,42
C/N	0 - 10	18,4	17,6	17,0	15,3	14,1
	10 - 20	16,8	16,0	14,2	13,8	11,4
pH eau	0 - 10	6,33	6,00	5,88	5,98	5,92
	10 - 20	6,08	5,80	5,35	5,58	5,65
CEC (méq/100 g)	0 - 10	7,8	5,2	3,7	3,8	2,5
	10 - 20	3,5	3,2	3,0	3,2	2,9
Bases échangeables (méq/100 g)	0 - 10	6,8	4,2	3,2	2,0	1,6
	10 - 20	2,0	1,5	1,7	1,4	1,5
Calcium échangeable (méq/100 g)	0 - 10	5,0	2,7	2,2	1,4	1,0
	10 - 20	1,3	1,1	0,8	1,0	0,9
Magnésium échangeable (méq/100 g)	0 - 10	1,7	1,2	1,0	0,5	0,5
	10 - 20	0,7	0,4	0,6	0,4	0,4

Source : Siband, 1974; cité par Piéri, 1989

Après une période plus courte (3 ans) de mise en culture des sols ferrugineux tropicaux lessivés des terres neuves du Sénégal Oriental, Feller et Milleville (1977) ont observé le même phénomène d'appauvrissement en matière organique des horizons superficiels du sol. Ainsi, en partant d'une friche de teneur en matière organique de 0,74 %, donc beaucoup plus faible que pour les sols de forêt de la moyenne Casamance, la mise en culture au bout de 3 ans aboutit à une diminution de 21% du taux de matière organique du sol.

Sur le plan morphologique par contre, l'effet de la mise en culture pendant 2-3 ans d'une défriche récente est faible à modéré, la couleur de l'horizon superficiel variant seulement de brun grisâtre foncé à brun grisâtre (couleur Munsell 10YR4,5/2 à 10YR5/2). Ce phénomène pourrait être relié aux faibles teneurs de matière organique en jeu (moins de 1%). Après cette période de mise en valeur des sols, si le pH et les bases échangeables, sur le plan chimique d'une part, et la capacité de rétention en eau, sur le plan physique d'autre part, ne sont significativement modifiés, il convient de signaler par contre la diminution significative de la capacité d'échange de 37% par rapport à sa valeur initiale de 4,5 méq/100 g.

Différents résultats ont été obtenus en fonction des systèmes de culture et des modes d'apport de fumure.

Sur sol ferrallitique du département de Sédhiou, les effets suivants ont été mis en évidence (Diatta, 1980) :

- dans le système traditionnel de culture basé sur une rotation biennale arachide-mil, sans engrais ni restitution de résidus de récolte, un épuisement rapide du carbone du sol est noté, passant de 5,11‰ à 3,45 ‰ en quatre ans. Le phosphore total, la somme des bases échangeables et la capacité d'échange évoluent dans le même sens que le carbone ;
- la jachère enfouie n'est le siège d'aucune évolution sensible des caractéristiques physico-chimiques du sol (hormis le pH qui passe de 5,7 à 5,9) ;
- la paille enfouie avec apport d'engrais induit une baisse sensible du pH, de la somme des bases échangeables et de la capacité d'échange cationique. Seul le phosphore total connaît une évolution positive passant de 0,17 à 0,22 ‰ ;
- le fumier enfoui avec engrais est le traitement le plus efficace puisque le pH, le carbone, l'azote total, le phosphore total et la somme des bases échangeables ont connu une augmentation sensible au cours des années (seule la capacité d'échange cationique a subi une légère baisse).

Par ailleurs, sur sol régénéré de Bambey dosant 0,023% de N, intensément cultivé en mil, seul le traitement avec une dose annuelle de compost de 10 tonnes/ha de matière sèche a permis le maintien de la teneur en azote total du sol (Ganry, 1977). Sur les autres traitements moins intensifs en termes d'apport, une baisse de 25 % de la teneur en N durant quatre années suivie d'une tendance à la stabilisation a été constatée.

De nombreuses solutions à la baisse de fertilité des sols ont été proposées dans le cadre des rotations culturales. Rappelons que la rotation est une succession des plantes dans le temps sur un même terrain, alors que l'assolement est la répartition des cultures d'une exploitation ou d'un groupe d'exploitations dans l'espace, au cours d'une même saison culturale (Tourte, 1963).

Dans les rotations, le sorgho est l'une des plantes posant le plus de problème en tant que précédent cultural. Il a une action dépressive sur les cultures qui lui succèdent (coton, maïs, arachide et même sorgho). Cette action toxique (allélopathie) est attribuée à l'accumulation dans le sol de composés phytotoxiques (acides phénols tel que l'acide p-coumarique, acide protocatéchique, et acide o-hydroxybenzoïque) contenus dans les résidus racinaires. Elle est d'autant plus importante que la masse de résidus racinaires apportés au sol est élevée et que l'activité microbienne y est faible (Burgos-Léon *et al.*, 1992). En vases de végétation, les fumures minérales

ne permettent pas d'annihiler cet effet dépressif du sorgho, seules des applications élevées de fumier de ferme ou de compost à la dose de 6 tonnes/ha de matière sèche le permettent.

Il convient enfin de noter que l'enfouissement de paille de mil peut également induire un effet dépressif marqué sur les rendements de cultures telles que le mil ou l'arachide. Ganry *et al.* (1978), soupçonnent là aussi des substances phytotoxiques incorporées au sol avec les résidus de récoltes (résidus racinaires de mil dans le cas du maïs, pailles de mil dans le cas de l'arachide). Certains pensent cependant que ces phénomènes de phytotoxicité ne semblent jouer un rôle majeur que dans le cas des enfouissements réalisés immédiatement avant le semis, la biodégradation des composés phénoliques des pailles demandant environ trois semaines en période pluvieuse (Piéri, 1986).

Pour mieux préciser l'impact des rotations dans l'enrichissement du sol en éléments biogènes, des bilans (tableau 10) ont été établis (Sarr, 1981; Ganry, 1982 cité dans Piéri 1986).

Tableau 10. Variation des stocks minéraux du sol en N total, P_2O_5 assimilable, K et Ca échangeables, après 17 années de culture au Sénégal en rotation quadriennale

	N en kg/ha		P_2O_5 en kg/ha		K_2O en kg/ha		CaO en kg/ha	
	Témoin	Engrais	Témoin	Engrais	Témoin	Engrais	Témoin	Engrais
Bilan "sol"	-1320	-1200	+10	+55	+12	+44	-571	-1438

Témoin sans engrais ; Engrais : NPK vulgarisé + restitution pailles céréales

Source : Sarr,1981, dans Piéri, 1986

Le bilan minéral apparent (qui ne tient pas compte des flux internes au sol, des pertes par lixiviation, érosion et dénitrification) au niveau du sol est largement négatif pour l'azote et le calcium, que l'engrais soit apporté ou non. Il est par contre légèrement positif pour le phosphore et le potassium. Un bilan plus complet sur l'azote a été établi par Ganry, pour une rotation arachide-mil sur sol sableux de type Dior (tableau 11).

Tableau 11. Bilan azoté d'un système de culture mil-arachide en conditions semi-arides (Bambey - Sénégal)

Gains kg/ha		Pertes kg/ha	
• Apports atmosphériques	Tr	• Exportations nettes par le mil	-33
• Engrais sur mil	+80	• Exportations nettes par l'arachide	-109
• Engrais sur arachide	+15	• Dénitrification et volatilisation :	
• Fixation symbiotique Nf	+82	N-sol (2 années)	-50
		N-résidus organiques (2 années)	-8
		N-engrais (2 années)	-28
		Lixiviation (2 années)	-20
Bilan Net			**-71**

Source : Ganry, 1982 cité par Piéri, 1986

La perte de matière organique qui affecte les 20 premiers cm d'un sol se produit dès les premières années de mise en culture qui suivent la déforestation et le défrichement (moindre apport de débris végétaux et minéralisation plus poussée). Le niveau atteint par cette baisse se maintient au fil des ans. Cette perte est estimée, sur sol rouge (faiblement ferralitique), à 18 tonnes en quinze ans. Sur sol beige (ferrugineux tropical lessivé), cette perte est de 40 tonnes en quinze ans, soit plus du double qu'en sol rouge. En considérant qu'un engrais vert apporte 40 à 60 tonnes de matière verte à l'hectare, soit 2 tonnes de matière sèche, il semble presque impossible de reconstituer le stock organique primitif de ces sols par les pratiques courantes.

Le travail de synthèse basé sur les acquis évoqués plus haut a permis de déterminer le coefficient k de perte annuelle de matière organique des sols cultivés (Piéri, 1989). En fonction des types de sols, les approximations suivantes ont été obtenues : 4,7% en sols très sableux et 2% en sols limono-sableux. Ces estimations concordent avec celles de Siband (1974) en Casamance et indiquent qu'au bout de 15 ans de culture continue, un sol sableux verra son stock de matière organique réduit de moitié.

Mise en culture et évolution des propriétés physiques

La mise en culture entraîne inévitablement la dégradation des propriétés physiques du sol en relation étroite avec la baisse de la teneur en matière organique du sol. Différents travaux ont permis de définir un niveau critique de matière organique en deçà duquel le maintien de l'édifice structural n'est plus assuré (Piéri, 1989).

Sur 165 sites échantillonnés à Séfa (Casamance), une corrélation significative (r = 0,8) a été établie entre les taux de matière organique et d'éléments fins et l'état structural. Des niveaux critiques de matière organique ont pu être fixés en fonction de la teneur en éléments fins.

Ce niveau critique a été appréhendé par le rapport suivant :

S_1 (%) = (M.O.) % / (A + L) % x 100

avec (M.O.) = pourcentage de matière organique de la couche de sol considérée et (A+L) = pourcentage cumulé d'argile et de limon de la même couche.

En considérant les valeurs obtenues sur certains sites déstructurés et/ou érodés (Yatenga et divers lieux du Burkina Faso, Sine-Saloum au Sénégal, N'tarla au Mali), sur d'autres sites où les sols sont jugés en état physique satisfaisant (sud-est de la vallée de la Benoué au Cameroun, Nord-Togo) ou très favorables (Bebedjia au Tchad, champs de case au Burkina Faso), les indications suivantes ont pu être données :

– si $S_1 < 5\%$, horizon déstructuré, grande sensibilité à l'érosion ;

– si $S_1 < 7\%$, horizon instable à risque élevé de déstructuration ;

– si $S_1 > 9\%$, horizon ne présentant pas de risque immédiat de déstructuration.

La dégradation des propriétés physiques du sol peut être mise en relation avec l'évolution négative du taux de matière organique du sol. La déstructuration très rapide de l'horizon de surface se traduit par la mise en place d'une structure particulaire compacte faisant apparaître des litages de sable et des croûtes de battance en surface. Les paramètres physiques, affectés à des degrés divers 2 à 3 ans après la mise en culture des sols ferrugineux tropicaux lessivés des terres neuves du Sénégal Oriental, concernent la stabilité structurale, la porosité totale, la résistance à la pénétration et la teneur en eau à pF 2,5 (capacité au champ) (Feller et Milleville, 1977). De même Charreau et Tourte (1967) sur deux sols différents ont mis en évidence l'effet dépressif de la mise en culture sur l'évolution de leurs propriétés physiques (tableau 12).

Tableau 12. Mise en culture et évolution des propriétés physiques de deux sols représentatifs en moyenne Casamance

Caractéristiques	Type de sol	Forêt 0-10 cm	Forêt 10-20 cm	Culture 0-10 cm	Culture 10-20 cm
Densité apparente	R[1]	1,42	1,49	1,50	1,67
	B[2]	1,379	1,47	1,65	1,69
Porosité totale (%)	R	46	43	43	36
	B	47	44	37	35
Instabilité structurale Is.	R	0,52	-	141	-
	B	0,67	0,91	2,03	2,11
Perméabilité I (cm/h)	R	2,5	-	2,5	-
	V	2,3	2,8	1,5	2,3
Résistance à la pénétration (kg)	R	-	-	-	-
	B	150	160	280	810

Source : Charreau et Tourte, 1967.
[1].R : Sol rouge, faiblement ferralitique ; [2].B : Sol beige, ferrugineux tropical lessivé à tâches et concrétions

Ces auteurs montrent ainsi que la déforestation puis la mise en culture entraîne une modification du régime hydrique. Considérant les différents termes du bilan hydrologique à l'échelle du bassin versant par exemple, la lame ruisselée est favorisée au détriment de la lame infiltrée. Cela résulte de la diminution de la porosité totale ou de l'augmentation de la densité apparente, de la diminution de la perméabilité du sol, mais aussi de la détérioration de la structure. Pour cette dernière, la mise en culture pendant 2 ans des sols dans le cadre du projet des Terres Neuves a entraîné une augmentation de 30% de l'indice d'instabilité structurale estimée dont la valeur pour le sol sous forêt est de 1,25 (Feller et Milleville, 1977). Par rapport à la situation sous forêt où l'infiltration de l'eau pluviale dans le profil est favorisée, la mise en culture a eu pour effet d'augmenter le ruissellement en surface causant des pertes par érosion (tableau 13).

Tableau 13. Effet de la mise en culture des sols en Moyenne Casamance sur les pertes de terre par érosion hydrique

Couverture végétale	Pluie moyenne	Nombre de répétitions	Terre érodée (t/ha)
Forêt protégée	1138	7	0,08
Jachère herbacée	1203	7	4,88
Arachide	1241	24	6,89
Sorgho engrais vert	1113	9	8,35
Mil grain	993	2	10,34

Source : Charreau et Tourte, 1967

Par ailleurs, du fait de l'augmentation de la résistance du sol à la pénétration, la colonisation du profil cultural, le développement racinaire en particulier, est négativement affectée.

Mise en culture et évolution de la fertilité biologique

Les propriétés biologiques des sols sont également affectées par la mise en culture. Certaines techniques microbiologiques permettent d'évaluer indirectement la fertilité potentielle du sol. C'est le cas lorsqu'on détermine l'activité déshydrogénasique (processus enzymatiques qui catalysent le transfert d'hydrogène à partir des substrats oxydables du sol sur un accepteur d'hydrogène). Pour la mesurer, un accepteur d'hydrogène artificiel est incorporé à un échantillon de sol placé en anaérobiose et l'hydrogène est dosé par colorimétrie. Cette technique permet d'évaluer le niveau de stabilité de la matière organique et d'activité biologique globale du sol (Dommergues, 1968).

En ce qui concerne la microflore tellurique, les travaux de Dommergues cités par Charreau et Tourte (1967) montrent l'effet négatif de la mise en culture en système traditionnel sur la population de la microflore nitrificatrice, cellulolytique et amylolytique du sol (tableau 14).

Tableau 14. Numération comparative de trois types de microflore en fonction du niveau de couverture végétale du sol

Type de microflore	Sol sous couvert végétal	Sol cultivé
Nitreux	890	250
Cellulolytique	1720	480
Amylolytiques	900 0000	50 000

Source : Dommergues cité par Charreau et Tourte, 1967

Par ailleurs, les travaux de recherche d'accompagnement dans le cadre du projet des Terres Neuves (Feller, 1977) montrent que la mise en culture des sols ferrugineux tropicaux lessivés de plateau s'accompagne d'une dépréciation de leur activité biologique. Il convient de rappeler que contrairement aux objectifs de départ du projet, la mise en valeur de ces terres s'est effectuée de façon traditionnelle, donc avec un faible niveau d'intensification : travail du sol réduit, absence d'apport de fumure organique, et faible apport de fumure minérale. L'activité biologique globale sous l'effet de la mise en culture a été analysée à partir de la quantification du carbone facilement minéralisable et du pouvoir nitrificateur du sol. Les résultats obtenus indiquent clairement que la mise en culture des sols même après une courte durée entraîne une accélération de la biodégradation de la matière organique qui se traduit par une décomposition plus importante pour les sols sous culture que pour celui de forêt du fait même des différences marquées des cinétiques de décomposition observées. Le coefficient de minéralisation (Dommergues, 1960) déterminé par le carbone facilement minéralisable 20 jours après incubation augmente de 36% quand on passe de la situation sous forêt à celle de mise en culture de 3 ans (tableau 15).

Tableau 15. Mesure du dégagement du CO_2 (C du CO_2 dégagé en % du Carbone total)

Temps	1	2	3	4	5	7	9	10	11	13	14	16	19
Forêt	0.47	0.71	-	1.04	-	1.43	1.60	-	1.80	-	2.02	2.15	2.33
Culture de 3 ans	0.69	1.04	1.29	-	1.66	1.98	-	2.36	-	2.66	-	2.92	3.18

Source : Dommergues, 1960

A partir de ces travaux, il est possible d'affirmer que la chute des teneurs en carbone ou en matière organique au cours des premières années de mise en valeur traditionnelle à faible intrant des terres ne s'explique pas seulement par la non restitution de fumure organique (fumier ou résidus végétaux), mais aussi par une accélération de la biodégradation de la matière organique existant dans le sol.

Par ailleurs, d'après Dommergues (1960), la mise en culture selon cette approche a pour effet de diminuer le pouvoir nitrificateur du sol, même si aucun effet spécifique dû à la mise en culture n'est observé sur le processus de nitrification lui-même.

L'analyse comparative du fractionnement de cette matière organique confirme les résultats déjà obtenus en Casamance (Fauck *et al.*, 1969) qui montrent que la mise en culture a pour effet une diminution notable du rapport acide humique (AH)/acide fulvique (AF). L'augmentation relative des acides fulviques dans les agrégats du sol cultivés est en relation étroite avec la diminution de la stabilité structurale.

Il faut par ailleurs signaler que l'inhibition partielle de l'explosion de l'activité biologique en début de saison des pluies, préconisée par Piéri (1986) permettrait d'atténuer les phénomènes d'acidification si fréquents dans les sols sableux exondés du Sénégal. En effet, l'activité nitrificatrice de surface se traduisant par des pH très bas de la solution du sol, serait la cause essentielle de la libération de cations, et notamment du calcium qui est le plus abondant.

En outre, il convient de relever l'action bénéfique des cyanophycées fixatrices d'azote dans les sols hydromorphes qui permettent non seulement un gain en azote mais enrichissent également le sol en matières organiques. Les cyanophycées ont permis des augmentations de rendement sur riz en Inde et au Japon de l'ordre de 30% (Dommergues, 1968).

Par ailleurs, des tentatives d'introduction du *Mucuna* (*Mucuna deeringianum* qui est une légumineuse annuelle permettant d'obtenir près de 20 tonnes de matière verte à 17,7% d'humidité et 3 tonnes de tiges sèches à 83% de matière sèche) ont été réalisées en 1964 (Habas, 1965) à Séfa. L'intérêt de cette culture se situe au niveau du supplément d'azote qu'elle peut apporter au sol. Mais, il semble qu'elle ait du mal à s'exprimer pendant la « flambée de croissance » des graminées spontanées. Très peu d'essais ont été conduits sur cette légumineuse qui semble bien adaptée aux conditions de la Casamance.

Effets de la matière organique sur le rendement des cultures

De nombreuses études portant sur l'effet de la matière organique sur les rendements des cultures sont disponibles et couvrent les principales zones de culture du Sénégal.

1. Effets de la jachère

Sur une période de 10-11 ans, avec rotation arachide-céréales, l'apport d'engrais minéraux permet de maintenir les rendements de l'arachide à un niveau élevé de l'ordre de 2 tonnes/ha mais ne permet pas de maintenir des rendements élevés en mil-sorgho qui passent de 900 kg de grains à 480 kg/ha avec engrais et 150 kg /ha sans engrais. Ceci montre la nécessité de disposer d'une sole de régénération pour maintenir la fertilité initiale du sol dans la zone sud (Darou, dans le Sine Saloum, sur sol rouge faiblement ferralitique). La baisse de rendement pour les traitements sans jachère pourrait cependant provenir de l'inadéquation de la formule d'engrais ou de la dose appliquée. Dans cette même localité, la baisse de fertilité en culture continue est beaucoup moins marquée en sol hydromorphe qu'en sol rouge.

Des expérimentations ont été conduites à Louga et Darou avec les traitements suivants : T0, jachère laissée telle quelle et brûlée avant culture ; T1, jachère fauchée après la floraison des graminées et laissée sur place ; T2, jachère fauchée et compostée, le compost étant ensuite épandu sur la culture de l'année suivante ; T3, jachère brûlée sur place chaque année. Le traitement T0 est le plus proche des pratiques traditionnelles. A partir de 1964, le traitement T2 a été remplacé à Darou par l'enfouissement de la jachère au cours de l'année précédant la mise en culture. Les résultats obtenus sur arachide et sorgho avec les différents traitements sont récapitulés dans les tableaux 16 et 17 (Delbosc, 1968).

Tableau 16. Effet du traitement de la jachère à Louga. Rendement en kg de gousses à l'hectare. Rotation arachide-mil-arachide

Traitement jachère	Arachide 1ère culture 1960-1966		Arachide 3e culture 1962-1966	
	Fumure	Sans fumure	Fumure	Sans fumure
T0	1004	805	916	669
T1	1037	795	832	635
T2	980	783	851	627
Test F	NS	NS	NS	NS

Source : Delbosc, 1968

Aucune différence significative n'est notée entre les différents traitements.

Tableau 17. Effet du traitement de la jachère à Darou. Rendement en kg à l'hectare. Rotation arachide - sorgho - arachide

Traitement jachère	Arachide 1ère culture 1960-1966		Arachide 3e culture 1962-1966		Sorgho 1961-1966	
	Fumure	Sans fumure	Fumure	Sans fumure	Fumure	Sans fumure
T0	2839	1508	1727	1162	900	513
T1	2815	1518	1829	1209	810	427
T2	2740	1646	1739	1085	799	441
T3	2928	1607	1874	1193	838	480
Test F	NS	NS	NS	*	NS	NS
PPDS 5 %			81*			

Source : Delbosc, 1968

Un rendement significativement inférieur de l'arachide de 3ème année a été noté sur la jachère fauchée et compostée (T2). Cet effet est attribué à une faible teneur en potassium liée à l'exportation de matière végétale à composter.

Le brûlis de la jachère juste avant la mise en culture reste pour le paysan la méthode la plus simple et la plus efficace. L'étude de l'effet comparé du brûlis et de l'enfouissement de la jachère sur le rendement de l'arachide ne montre pas de différence significative dans la zone de Louga. A Darou un effet net du labour est noté sur le sorgho (2ème culture) sur sol hydromorphe.

Dans ce même site, les rendements de l'arachide et du sorgho dans l'assolement avec jachère ont été supérieurs à ceux des mêmes cultures suivant l'engrais vert (10 à 15 tonnes de mil ou sorgho enfouies en fin de saison des pluies).

Le diagnostic foliaire de l'arachide précédée de l'engrais vert montre cependant de faibles teneurs en K. Différentes doses de matière verte variant de 5 à 30 tonnes couplées à une année de jachère enfouie ont été testées à Darou mais n'ont montré aucun avantage de l'engrais vert.

Après 1968, il y a eu très peu d'essais sur le rôle de la jachère. Il faut dire que celle-ci a pratiquement disparu dans le bassin arachidier. Toutefois, Charreau (1975) a montré qu'il fallait 7 années de jachère pour redonner leur fertilité initiale à des champs épuisés par des cultures successives de mil et d'arachide.

2. Effets de la paille et du compost

Il est fréquent de constater que les apports de matière organique, même importants, ne sont pas toujours suivis d'une augmentation corrélative du taux d'humus, alors qu'une amélioration visible et notable de la structure est généralement notée.

A Séfa où la faible porosité des sols constitue une grosse contrainte, les accroissements de rendement du maïs liés à la pratique du labour entraînent une augmentation du taux de matière organique du sol.

Le paillage, hormis la difficulté que représente sa mobilisation en quantité importante compte tenu de ses usages multiples (habitat, alimentation du bétail, etc.), n'a pas d'effet supérieur à celui obtenu avec un labour de fin de cycle (Allard *et al.*, 1983). Ces auteurs démontrent que les pailles de mil et la végétation de la jachère constituent l'essentiel des résidus disponibles dans le Sud Bassin arachidier, avec un maximum de 2,5 tonnes/ha. Dans le Nord du Bassin arachidier, les résidus à usage de fertilisation sont très faibles.

En associant la restitution des pailles et une fumure minérale adaptée, il est possible de maintenir un niveau de production élevé pour le mil (2805 kg/ha en moyenne de 1973 à 1977), avec une pluviométrie moyenne de 420 mm. Cependant, avec cette pratique, une chute des teneurs en carbone et azote du sol est notée et est de l'ordre de 25% après 5 années de culture (Piéri, 1979, cité par Dancette et Sarr, 1985).

Par ailleurs, les travaux de Ganry (1977) ont d'autre part établi que l'enfouissement de paille en sol sableux améliorait le coefficient d'utilisation de l'engrais par la plante. La restitution des pailles même associée à une fumure minérale *ad hoc* ne permet cependant pas à elle seule de maintenir la fertilité du sol. L'usage d'une matière organique plus évoluée (fumier ou compost) et à des doses supérieures à la quantité nécessaire à la restitution des résidus exportés est conseillé.

Des études sur les effets de la paille et du compost ont été menées à Bambey et Thilmakha. Les résultats montrent que :

- le compost stimule la fourniture de nitrates dans le sol et la prolonge, se traduisant par une augmentation de rendement du mil de 300 kg/ha de grains ;

- un effet résiduel plus important que l'effet direct a été mis en évidence sur mil après deux années de culture d'arachide (1000 kg de grains en plus) par Ganry (1997) ;
- sur sols dégradés de Thilmakha (dispositif longue durée datant de 1972), seuls les traitements fumure minérale forte précédés d'un chaulage et d'une application de fumier à 10 tonnes/ha tous les deux ans ont conduit à une régénération du sol et à une amélioration de sa productivité même en année sèche, contrairement à la dégradation qui a marqué les traitements chaulage et fumure minérale surtout en année sèche (Wey, 1980, cité dans Dancette et Sarr, 1985).

D'autres études ont montré que la restitution des pailles de maïs (var. ZM-10) précédant le soja accroît significativement les rendements en grain du soja (44 A/73) d'environ 400 kg de matière sèche/ha (m.s./ha). Cette restitution est évaluée à 3,5 tonnes de m.s./ha de paille ou 3 tonnes de m.s./ha de compost. Un apport complémentaire de compost de 1,5 à 2 tonnes de m.s. peut accroître encore le rendement de 200 à 500 kg de m.s./ha. Cet accroissement de rendement est lié à un accroissement du nombre de nodules racinaires du soja, 4 fois plus nombreux sous l'action de la fumure organique. L'arrière effet de cette fumure permet d'obtenir, sans apport d'urée, en moyenne 2 tonnes de m.s./ha de grain de maïs (Ganry, 1985).

Il a été montré que les rapports de transformation de la paille en compost sont de :

- 0,75% pour la paille de mil ;
- 0,88% pour la paille de maïs;
- 0,85% pour la paille de riz.

Ces résultats posent cependant le problème du maintien du taux d'azote obtenu par régénération à cause des difficultés liées à l'application de telles quantités de matières organiques en milieu paysan. Pour certaines cultures, l'inoculation du sol en bactéries fixatrices d'azote a été un moyen peu onéreux de procurer de l'azote à la plante (tableau 18). C'est le cas, notamment du soja introduit au Sénégal et dont un prototype de semoir épandeur adapté avait été mis au point par la recherche.

Tableau 18. Effet de la méthode d'inoculation[1] sur les rendements du soja au Sénégal

Méthode d'inoculation	Année	Témoin (kg/ha)	Inoculé (kg/ha)
Inoculation des graines	1972	993	983
	1973	2016	2541
Inoculation du sol	1975	685	1583
	1978	826	1528

[1]. Inoculation par *Rhizobium japonicum*

Source : Wey, 1983, cité dans Piéri, 1989

Pour améliorer la qualité des fourrages naturels herbacés, on a parfois recours à l'introduction de légumineuses. L'inoculation des légumineuses introduites est une condition de leur réussite car souvent les souches de rhizobiums efficientes sont absentes du sol. L'inoculation peut apporter jusqu'à 100 kg de N/ha et par saison de végétation. Les gains les plus fréquents sont de l'ordre de 40 à 50 kg de N/ha. Les études quantitatives de la fixation libre d'azote en sol Dior menées par Ganry (1985) ont permis d'estimer le potentiel de fixation engendré par la biodégradation racinaire à 25% de l'azote total du mil.

3. Effets du fumier

On constate que les jachères n'existent pratiquement plus dans le bassin arachidier. La rareté des jachères n'est malheureusement pas compensée par une plus grande intégration agriculture-élevage qui est un moyen de compenser la baisse de fertilité des sols grâce au fumier produit par les animaux. Comme le mentionnait déjà Tourte (1963) la distinction, voire l'association agriculture-élevage (qui n'est souvent qu'une superposition hostile) doit disparaître au profit d'une véritable agriculture dans laquelle les animaux seront intégrés à l'exploitation et non ajoutés.

Des travaux ont montré que le fumier de cheval à la dose de 10 tonnes/ha de matière sèche sur sol ferrugineux tropical dégradé de la région de Thiès a amélioré de manière significative le rendement de l'arachide, réduit le taux de mortalité des plants et favorisé le développement racinaire et végétatif, avec un arrière effet bénéfique (Mallouhi, 1987).

Ganry *et al.* (1985) ont montré que le fumier, appliqué à des doses de 1, 3 et 4 tonnes/ha, engendrait des différences très hautement significatives sur les rendements du mil par rapport au témoin. Sur arachide, il n'y a pas d'effet direct significatif de la dose de fumier, mais un effet cumulatif très hautement significatif sur le poids des gousses et fanes, et un effet significatif sur le poids des gousses seules (campagne 1982 et 1983).

Sans apport d'azote minéral, le travail du sol avec incorporation de fumier apporte une plus value de 45% sur le mil. L'action du fumier semble prépondérante sur l'action du travail du sol sur mil (Hamon, 1967). Sur mil Sanio PC 11, l'apport de fumier seul sur semis retardé permet de compenser en partie l'effet néfaste du retard du semis. En effet, les expérimentations menées à Bambey ont montré que le semis tardif se traduit par une mauvaise croissance des jeunes plantes. D'après Blondel (1971), ce phénomène pourrait être imputable à une diminution de l'activité microbienne globale du sol suite à son épuisement en substances énergétiques utilisables par la microflore, en hydrates de carbones et en acides organiques. Il s'ensuivrait une véritable « stérilisation » du sol à l'égard de certains groupes bactériens. Il semble que la première pluie est suivie d'un réveil de l'activité microbienne qui se traduit par un pic de minéralisation dont seul le semis précoce profite. L'apport de fumier vient suppléer à cela en fournissant un substrat supplémentaire (Hamon, 1972). Il augmente significativement le rendement en grain (et en paille) et rend plus efficiente la fumure azotée. Le traitement témoin a donné 984 kg/ha contre 1861,4 kg/ha pour le fumier en surface sans azote, 2548,6 kg/ha pour le fumier en surface + azote (150 N/lysimètre).

Cependant, le mode d'application du fumier (en surface ou enfoui) ne modifie pas significativement le rendement. Le fumier enfoui a donné 1836,8 kg/ha et 2665 kg/ha sans et avec l'azote dans les mêmes conditions qu'épandu en surface. Il convient de signaler que l'enfouissement limite considérablement les pertes d'azote total (48,2% pour le témoin, 58,8% pour le fumier en surface et 45,7% pour le fumier enfoui) et augmente la masse racinaire sans changer sa répartition dans le sol (Ganry et Guiraud, 1979).

En conclusion, le mode d'épandage en surface lorsqu'il n'est pas suivi d'un apport d'engrais azoté serait à déconseiller parce qu'il entraîne des pertes importantes d'azote. Il est donc acceptable, pour les exploitations appliquant l'engrais azoté, de procéder autant pour le fumier que pour le compost, à un épandage en surface. En revanche, dans le cas où engrais azoté et fumier sont mis en surface les pertes en azote provenant de l'engrais sont nettement accrues par rapport au cas où il y a enfouissement. En définitive, chaque fois que l'enfouissement est possible, il est préférable. Une expérimentation pluriannuelle a montré qu'en première année, les deux niveaux d'apport de fumier (10 et 20 t/ha) se situent en dessous du témoin (6,1 t de m.s./ha) avec respectivement 5,4 et 5,6 t/ha pour les traitements. En deuxième année, on obtient respectivement 3,74, 4,1 et 4,8 t/ha soit une baisse globale par rapport à la première année mais la

pluviométrie a été nettement inférieure. Il n'y a pas de différence significative entre les traitements. Toutefois, la dose de 20 t/ha présente une supériorité bien perceptible. En montant aux doses de 30 et 40 t/ha de fumier en troisième année et avec une variété supplémentaire de *Pennisetum* (P 44), aucune réponse manifeste du fumier sur les deux écotypes n'est obtenue. La P 44 a produit 8,5 t/ha pour la dose de 40 tonnes contre 7,4 t/ha pour le témoin. Pour la variété P 63, les rendements sont de 4,7 t/ha pour le témoin et 7,6 t/ha pour la dose de 40 t. Cet essai ne permet pas d'avancer la pertinence de l'apport du fumier sur ce type de culture fourragère (Mbodj, 1978).

Les nombreux essais mis en place montrent une faible corrélation entre taux de carbone et rendements. Les meilleurs rendements ont été obtenus après enfouissement de matière verte, quand les taux de matière organique sont relativement élevés et les taux d'humus relativement faibles (tableau 19).

Tableau 19. Relation entre le taux de carbone organique du sol, les techniques culturales et le niveau de rendement obtenu à Séfa (Sénégal) au cours de la période 1967-1982

Traitements		C (‰)		Indice de production végétal[1]
Travail du sol	Dose d'engrais	0-8 cm	8-30 cm	
Manuel	0	3,8	3,8	1.0
Labour profond	0	6.4	5,1	3.6
Labour profond	moyenne	5.4	5.0	14,3
Labour profond	forte	4.7	4,2	13,8

1. Indice de production végétale : rendement moyen en maïs obtenu de 1967 à 1982.
L'indice 1 est équivalent à 198.3 kg/ha/an de maïs.

Source : Robot, 1984, cité par Piéri, 1989.

Il convient de souligner que lorsque les labours sont mal exécutés (émiettés, mal fermés, dans le sens de la pente) ou tardifs (en pleine saison des pluies), les conséquences sur le bilan organique des terres sont désastreuses (perte de matière organique par érosion). De plus aucun parallélisme rigoureux n'a pu être généralisé entre bilan carboné et bilan azoté des agrosystèmes.

Siband (1972) a constaté que les meilleurs rendements en riz pluvial étaient obtenus dans des champs cinq et quinze ans après défrichement. La perte de fertilité serait aussi étroitement liée à celle de l'activité biologique. Sa restauration pourrait présenter une certaine inertie. Le changement écologique brutal provoqué par la mise en culture expliquerait l'effet dépressif des premières années de culture (Siband, 1974).

Diatta (1980) en étudiant différents traitements de régénération sur les sols faiblement ferralitiques dégradés du département de Sédhiou a abouti aux conclusions suivantes :

- le riz pluvial est bien adapté à la défriche récente, sa réussite dépend surtout de l'abondance de l'eau des pluies ;
- pour le mil, la jachère enfouie paraît être un bon précédent cultural. Les problèmes rencontrés en cours d'expérimentation sont surtout d'ordre phytosanitaire (Cécidomies et *Sclerospora*) ;
- l'arachide semble être la culture la plus tolérante aux conditions de sol dégradé, avec de meilleurs rendements lorsqu'elle est précédée du mil ;

- l'enfouissement de paille de maïs en fin de cycle inhibe la nodulation chez l'arachide qui suit. Après six années de culture sans apport d'engrais, ni restitution de résidus de récolte, un rendement moyen de 1350 kg/ha est obtenu en conditions expérimentales ;
- le labour et l'apport d'engrais minéraux induisent des augmentations de rendements, avec cependant une action acidifiante des engrais.

4. Effets des essences agroforestières

Dans le domaine de l'agroforesterie, des essais exploratoires ont été conduits sur les associations arbres - céréales.

C'est ainsi que les effets d'une plantation en ligne constituée de *Prosopis juliflora* et d'*Acacia tortilis* sur le rendement du mil Souna III ont été étudiés sur sol Deck (hydromorphe) dégradé, avec ou sans fertilisation (dose vulgarisée, tableau 20).

Une différence significative existe au niveau des rendements en grains en faveur du traitement avec fertilisation. Aucune différence significative n'est notée dans les rendements en paille (Ganry et *al.*, 1989). La plantation a eu un effet plus marqué sur la paille. Les teneurs en azote total des feuilles (2,5% pour le *Prosopis* et 2,2% pour l'acacia) indiquent un potentiel d'enrichissement du sol par ces arbres non négligeable.

Tableau 20. Rendement du mil planté entre les arbres

Traitement	Grains (kg M.S/ha)	Paille (kg M.S/ha)
Avec engrais	558 b	1831 a
Sans engrais	366 a	1584 a

Source : Ganry *et al.*, 1989. Les chiffres affectés de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (test de Newman et Keuls)

L'*Euphorbia balsamifera*, le bissap (*Hibiscus sabdariffa*), l'anacardier (*Anacardium occidentalis*), le *Prosopis juliflora*, le rônier, l'*Eucalyptus* sont souvent utilisés comme bordure ou brise-vent. Le rôle du *Guiera senegalensis* a été très peu étudié et pourtant il colonise tous les sols sénégalais et reste vert toute l'année grâce à la profondeur de son enracinement qui lui permet de s'approvisionner en eau en toutes circonstances.

La multiplication d'autres espèces comme *Bauhinia rufescens*, *Pithecellobium dulce*, *Parkinsonia aculeata*, *Prosopis juliflora*, *Acacia polyacantha* semble être maîtrisée, mais la diffusion des techniques reste timide.

Des études ont montré que lorsque du mil, du niébé ou de l'arachide sont plantés sous de jeunes plantations d'*Eucalyptus*, ils ne souffrent pas de la concurrence des arbres au cours de la première année de plantation. En 1982, des rendements de 1700 kg de mil et de 500 kg de niébé ont été obtenus par hectare effectivement cultivé avec des écartements de 3 m x 5 m et de 3 m x 7 m pour les arbres (Dancette et Sarr, 1985).

5. Effets de la tourbe

Malhoui (1991) a observé un effet dépressif sur arachide d'un mélange de tourbe (10 tonnes/ha) provenant des Niayes (40% de matière minérale et pH de 4,3) et des fientes de volaille (4 tonnes/ha) la 1ère année sur le même type de sol. Cet effet dépressif attribué à la réorganisation de l'azote et du phosphore, disparaît au cours de la deuxième année. La tourbe apportée seule a un effet résiduel en deuxième année équivalant à celui des fanes d'arachide (dose de 4 tonnes/ha) et

significativement supérieur à celui des fientes de volaille en ce qui concerne la biomasse aérienne de l'arachide. Cet effet n'est pas statistiquement significatif au niveau des gousses.

Cissé (1983), quant à lui, a testé l'efficacité de différents mélanges de tourbe des Niayes avec du sable dunaire. Le mélange donnant les meilleurs rendements en vase de végétation (partie aérienne et racinaire du riz) est celui à 2-3% de tourbe correspondant à 60-90 tonnes/ha de tourbe sur une profondeur de 20 cm. Il a en outre noté un effet positif de l'apport de tourbe sur l'efficacité de la fumure phosphatée, surtout le phosphate de Matam. Une augmentation de rendement de l'ordre de 48% a été observée pour le mélange à 1% de tourbe et de 52% pour le mélange à 3%, pour les parties aériennes. Pour les racines le mélange à 1% induit une augmentation de biomasse de 24% contre 6% pour le mélange à 3% de tourbe. On peut regretter qu'aucune suite n'ait été donnée à cet essai en parcelle expérimentale.

Conclusion

Le peu d'information disponible sur les séries de rendements mesurés rend délicate l'appréciation de l'évolution de la fertilité des sols. Cette appréciation est d'autant plus difficile que les rendements disponibles se caractérisent par leurs faibles niveaux et leurs fortes variations inter - annuelles. Il paraît alors nécessaire de disposer d'observatoires agronomiques avec des mesures au niveau de la parcelle et au niveau des unités physiographiques.

Pratiques culturales

Il a été établi que les systèmes traditionnels n'étaient conservateurs de la productivité des terres qu'au niveau de 500 kg/ha de grains, dans la mesure ou les jachères sont respectées (période de culture courte, jachère de longue durée).

La mise en culture entraîne des modifications dont les plus importantes sur les sols sont (Bèye, 1977) :

- une baisse plus ou moins rapide du taux de calcium échangeable et concurremment une baisse du pH. A Bambey, des baisses de deux unités de pH ont été observées sur 4-5 ans. A Séfa, des pertes de Ca échangeable d'environ 3 t/ha ont été enregistrées dans l'horizon (0-15 cm), après défrichement et 15 ans de culture, avec une baisse corrélative du pH qui est passé de 6.4 à 5.0 ;
- un appauvrissement général du sol en éléments minéraux.

Cet appauvrissement est le résultat des pertes par lessivage, érosion et prélèvement par les cultures. L'érosion est à l'origine de 4 à 20 fois plus de départ de minéraux nutritifs que l'exportation par une bonne récolte. L'apport d'engrais ne compense que les 2/3 ou la moitié des éléments exportée par une bonne récolte d'arachide à peine le 1/10 de ceux qui sont perdus par érosion et lessivage (Roose cité dans Bèye, 1977).

Par ailleurs, les pratiques culturales traditionnelles ne favorisent guère la reconstitution de la fertilité des sols. Les résidus de récolte ne sont pas restitués au sol, et les quantités apportées par les engrais ne permettent de compenser ni les exportations des cultures ni les pertes par lessivage et érosion. Le brûlage des résidus après nettoyage des champs, pratique très répandue, se traduit par une grosse perte en carbone et un enrichissement relatif en potassium. L'écobuage, autre technique de brûlage de matière végétale tout-venant se pratique plus dans le sud du Sénégal. Hormis la jachère de longue durée, de moins en moins pratiquée en raison de la pression démographique et des exigences de la loi sur le Domaine national entraînant la perte du droit de jouissance sur une terre non mise en valeur pendant 3 ans, aucune pratique améliorante s'appuyant sur la valorisation de la matière organique n'est mise en place à grande échelle, en ce qui concerne les deux grandes cultures que sont l'arachide et le mil.

Les champs de case

Cette appellation regroupe tous les champs cultivés autour des habitations et qui bénéficient d'un apport important de fumure organique constituée principalement de déjections animales (zone de parcage du bétail) et de résidus domestiques. Ces champs sont souvent emblavés en céréales (mil et maïs) et peuvent être considérés comme des zones de culture intensive. Ils sont cultivés chaque année en céréales avec des rendements plus élevés que partout ailleurs. Le constat empirique que les céréales cultivées autour des habitations, où le bétail est généralement parqué, donnaient de meilleurs rendements a conduit les agriculteurs à généraliser la fumure organique dans les « champs de case » et à étendre cette pratique dans les champs plus éloignés lorsque la disponibilité en matière organique le permettait.

Les cultures de plein champ

Ces champs éloignés recouvrent une gamme variée de situations :

- rotation arachide-mil-jachère
- rotation arachide-mil-arachide-mil
- rotation arachide-riz pluvial.

Dans le bassin arachidier traditionnel, 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 qui permettait aux paysans d'acquérir des intrants à crédit. Depuis la suppression du Programme Agricole en 1980, la consommation d'engrais a connu une chute drastique, passant de 100 000 tonnes en moyenne par an à moins de 25 000 tonnes, 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 kads (*Acacia 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'*Acacia albida*, les rendements du mil (*Pennisetum typhoïdes*) sont plus élevés, les conditions microbiologiques et microclimatiques y sont également plus favorables aux cultures (Dancette, 1968). Cet effet améliorateur s'estompe d'ailleurs en présence d'une forte fertilisation minérale. Le rôle du kad (*Acacia albida*) 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 21).

Tableau 21. Rendements en kg/ha de grain de mil

Traitement	Sous *Acacia albida*	Hors *Acacia albida*
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 *Acacia albida*, quelle que soit la période de prélèvement. La présence de l'arbre ne semble pas influer sur la densité de la microflore, sauf sur celle des champignons qui est plus élevée sous la cime (Jung, 1970 cité par Sall, 1993).

Conclusion

L'augmentation du taux de matière organique du sol est toujours souhaitable mais elle se réalise difficilement. Dans une expérience commencée en 1843 à Rothamsted avec 35 tonnes de fumier par an, il a été montré qu'après 50 ans la quantité de matière organique du sol passe d'un taux de 0,106 à 0,213% de N.

Trois façons d'augmenter la teneur en matière organique du sol peuvent être envisagées : la jachère, la prairie temporaire et l'enfouissement de matière organique. Cependant, la durée de la jachère est de plus en plus courte et une jachère courte a très peu d'effet sur les principales propriétés des sols. De plus, la prairie temporaire n'est pas économiquement adaptable aux situations écologiques sénégalaises, caractérisées par une longue période sèche empêchant tout développement végétatif. Seules les zones hydromorphes marginales sont susceptibles de l'abriter avec des possibilités de valorisation très spécifiques. Enfin, concernant l'enfouissement de différents types de matières organiques, ses effets bénéfiques ont été mis en évidence sur la nutrition des plantes et sur la structure du sol (stabilité des micro-agrégats, amélioration de sa capacité de rétention) même si certains résultats sont parfois contrastés, sur sols sableux notamment.

La fertilisation organique des cultures de plein champ, bien qu'encore timide gagne de plus en plus de terrain avec les actions conjointes des chercheurs, des vulgarisateurs, conseillers agricoles et ONG. La SODEFITEX a initié la mise en place des étables fumières dans sa zone d'intervention. Partout au Sénégal, on note un regain d'intérêt pour les fosses compostières. Le PROGES a aidé à mettre en place de nombreuses fosses compostières dans les vallées qu'il a aménagées en Basse Casamance. Dans les jardins maraîchers de la périphérie de Ziguinchor, les femmes épandent du compost à base de coques d'arachide qu'elles achètent à l'usine de la SONACOS.

Il convient de signaler qu'un taux élevé de matière organique d'un sol n'est pas une condition nécessaire de sa fertilité mais peut en constituer une indication. De plus, une fumure minérale correcte peut augmenter le taux de matières organiques par accumulation de débris végétaux.

Evolution de la fertilisation minérale et organo-minérale

Cette partie a été élaborée à partir de la synthèse de N'Diaye et Sagna (1989) sur la fertilisation des cultures au Sénégal : bilan diagnostic et perspectives.

Evolution de la fertilisation minérale

Les premiers travaux sur la fertilisation minérale ont été menés sur arachide à partir de 1947 à Bambey (secteur soudanais de recherches agronomiques). Les notions évoluèrent au cours du temps. De la notion de fumure légère des débuts, on passa aux notions de fumures intermédiaire et lourde correspondant aux niveaux d'intensification des cultures.

Les nombreuses études menées sur la physico-chimie des sols, la nutrition des plantes et les types d'engrais débouchèrent en 1963 sur la proposition de la formule 6-20-10 pour l'arachide. Par la suite une nouvelle formule, la 6-10-20 à la dose de 150 kg/ha, fut proposée. Cette formule a donné des résultats satisfaisants mais n'a pas été très efficace sur les sols fortement dégradés de Thiénaba (Région de Thiès) où elle a induit une acidification marquée et une baisse du pouvoir nitrificateur. Une plus-value de 460 kg/ha a cependant été obtenue sur 22 sites situés dans les environs de Thiénaba, à la dose de 350 kg/ha sur arachide, contre 291 kg/ha pour la dose de 150 kg/ha de 6-10-20.

Au niveau de Thiénaba, des essais en vase de végétation par la méthode soustractive avaient confirmé par ordre décroissant les carences potassiques, soufrées, phosphorées et calciques.

Transposés aux champs, les essais ont mis en évidence la prééminence de la carence soufrée sur arachide. Les essais mis en place ensuite ont permis de mettre au point pour l'arachide la formule 0-21-27 additionnée de 15 kg de Soufre. Cette formule était recommandée à raison de 135 kg/ha.

Suite à la mise en place de la Société Industrielle des Engrais du Sénégal en 1968, une nouvelle formule tirant profit de la fabrication du phosphate supertriple fut proposée.

A partir de 1974, la recherche agronomique n'envisageait qu'une seule formule de fumure, la 8-18-27, épandue au semis à la dose de 150 kg/ha pour l'arachide, le cotonnier et le niébé et à la dose de 200 kg/ha pour le riz pluvial, avec complément minéral azoté pour le riz et le coton (N'Diaye et Sagna, 1989).

Les études sur le mil qui ont débuté en 1951 ont débouché sur la recommandation de 150 kg/ha de 14-7-7. Cette recommandation ne s'avérait guère rentable dans les conditions de Thiénaba.

Par la suite, la formue 10-21-21 fût recommandée comme thème lourd pour le mil et le sorgho à la dose de 150 kg/ha additionnée de 100 kg d'urée.

La fumure forte n'était intéressante qu'avec l'adjonction des techniques suivantes (Dancette et Sarr, 1985) : rotation rationnelle ; travail du sol ; régénération organique ; redressement des carences minérales ; semis précoce, en particulier pour le mil.

La carence la plus fréquemment observée dans les sols du Sénégal étant la carence phosphatée, des doses de 40 à 70 kg de P_2O_5 furent préconisées pour sa correction. C'est ainsi qu'une dose unique de 400 kg/ha de phosphates naturels (35% de P_2O_5) tous les quatre ans, fut recommandée pour tous les sols exondés du Sénégal, la rotation quadriennale type étant jachère-arachide-céréale-arachide.

Pour les cultures submergées, la dose préconisée est de 1 tonne/ha de phosphates naturels. L'action de cette application de phosphates naturels est accélérée et renforcée en présence d'un labour d'enfouissement de matière organique (Nicou, 1975).

Une carence en potassium est souvent mise en évidence dans les essais en vase de végétation, sans que cela se traduise par une réponse à l'apport de potassium dans les essais aux champs. Les quantités recommandées dans les différentes formules sont destinées à compenser les exportations en fonction du type de culture. Seule la quantité de 30 K associée à N et P permet une plus value de rendement sur arachide (57-422) cultivée en sol Dior. La synthèse des études menées sur le bilan potassique de la rotation mil-arachide montre que les effets de la fumure potassique ne sont significatifs qu'à partir de la troisième année de culture et que sans restitution de paille de mil, ou de matière organique plus évoluée, le bilan du système est déficitaire, quelle que soit la quantité de K apportée.

Les premiers essais de fertilisation menés sur sol gris de Casamance (Ganry, 1974) ont mis en évidence :

- un niveau de rendement élevé comparé à celui des sols de plateau pour une fertilisation identique ;
- un rendement relativement élevé du témoin sans azote ;
- une grande efficacité de l'apport d'azote au semis ;
- une productivité élevée de l'unité d'azote.

Des essais fractionnement sur sol gris à Mayor avec la variété de riz IKP (Siband cité dans Ganry, 1974), ont montré que le fractionnement de l'azote à raison de 50 N au 20ème jour et 25 N au 50ème jour est significativement supérieur aux autres traitements. La productivité de l'unité d'azote obtenue par cette technique est très élevée comparée à celle obtenue dans des conditions identiques sur sol beige (tableau 22).

Tableau 22. Rendement en grains obtenu sur un essai fractionnement et date d'apport de l'azote avec la variété IKP à Mayor

	Traitement				
	Sans azote	75 N au semis	75 N au tallage	50 N-25 N au tallage et à la montaison	25 N-50 N au tallage et à la montaison
Rendement (kg/ha)	3090	5220	5430	5800	5240

Source : Siband cité par Ganry, 1974

Les essais de fertilisation sur le maïs ont débuté en 1955 dans la région du Fleuve Sénégal et en 1965 en Moyenne Casamance (Séfa). Pour le maïs cultivé, seules les formules présentées dans le tableau 23 sont recommandées.

Au niveau des périmètres irrigués villageois, les recommandations de la SAED sont 150 kg/ha de 18-46-0 + 200 kg/ha d'urée + 100 kg/ha de KCl.

Tableau 23. Formules de fumure minérale recommandées sur maïs

Thèmes	Formule de fumure	Doses (kg/ha)
Légers	8-14-18	150
	urée	100
Lourds	8-18-27	300
(400 kg/ha de P. tricalcique)	urée	200

Source : Ganry et Siband, 1974 cité dans N'Diaye et Sagna, 1989

Les travaux de Ganry (1985) situent la dose optimale d'urée pour le maïs (ZM-10) à 100 unités d'azote, sur sol ferrugineux tropical lessivé (sol beige de Séfa) avec une réponse significative à la localisation de l'urée. Dans l'ordre d'efficacité décroissant, l'auteur cite le placement ponctuel (1 à 2 super-granules par pied), le placement en bande (1 seul apport à 5 cm de profondeur) et l'épandage généralisé enfoui (2 apports en cours de cycle). A la dose de 100 N, l'apport localisé (placement ponctuel) accroît le rendement de 750 kg de m.s./ha, comparativement à l'épandage généralisé suivi d'enfouissement. Ces résultats sont d'autant plus intéressants que l'essentiel des pertes d'azote dans l'atmosphère est attribué aux techniques d'apport d'engrais en surface (Ganry, 1990).

Evolution de la fertilisation organo-minérale

Le maïs

La fumure préconisée par Ganry (1985) pour le maïs en rotation avec le soja sur sol beige varie en fonction de l'objectif de rendement :

(i) Objectif de rendement : 15 q m.s./ha

Option sans urée

- restitution des pailles de maïs sur soja, sous forme de compost à raison de 1,5 à 2 tonnes de m.s./ha ;
- engrais ternaire 8-18-27 à raison de 150 kg/ha.

(ii) Objectif de rendement : 20 q m.s./ha

Option fumure azotée

- restitution des pailles de maïs sur soja, sous forme de compost ;
- engrais ternaire 8-18-27 à raison de 200 kg/ha ;
- fumure azotée à raison de 100 kg/ha d'urée au moment du buttage.

Option sans fumure azotée

- apport de compost sur soja à raison de 4,5 à 6 t de m.s./ha (incluant les pailles de maïs) ;
- engrais ternaire 8-18-27 à raison de 200 kg/ha.

(iii) Objectif de rendement : 30 q m.s./ha

Option fumure faible azotée

- apport de compost (incluant la restitution des pailles de maïs) de l'ordre de 5 à 6 t de m.s./ha ;
- fumure ternaire 8-18-27 à raison de 200 kg/ha ;
- fumure azotée à raison de 100 kg d'urée au moment du buttage.

L'arachide s'est substituée au soja à partir de 1986 dans le cadre de cette rotation, compte tenu de la non-percée de la culture du soja au Sénégal. Les arrières effets sur maïs avec des doses croissantes de compost de paille de maïs appliquées sur arachide sont tous significatifs (tableau 24).

Tableau 24. Effet de l'arrière effet de la fumure organique (compost de paille de maïs) sur le rendement du maïs « Synthetic C »

Dose de compost (tonnes/ha de m.s.)	Rendement grains (kg m.s./ha)	Rendement paille (kg m.s./ha)
0	663 a	1251 a
1.5	1209 b	1937 b
3.0	1647 c	2424 c
4.5	2041 d	2731 d
6.0	2343 e	3085 e

Source : Ganry *et al.*, 1989. Les chiffres n'ayant pas la même lettre diffèrent significativement au seuil de 5% (test de Newman et Keuls)

Le coton

Pour le coton, l'important dispositif d'étude mis en place à partir de 1968 a permis d'adapter les recommandations par zone écologique. On passa des formules simples constituées de sulfate d'ammoniaque, de phosphate bi ou tricalcique et de chlorure de potasse à une formulation composée :

- 10-10-18 pour le Sine Saloum à raison de 160 kg/ha où les effets limitants du potassium sont très marqués ;
- 15-20-10 pour le Sénégal Oriental et la Casamance à raison de 100 kg/ha.

A partir de 1970, les formules recommandées furent le 10-14-18 et le 7-21-29 à raison de 140 ou 150 kg/ha selon le thème (léger ou lourd) et complétés par 50 à 75 kg d'urée. A partir de 1974, le 8-18-27 + 5% S fût préconisé pour toute la zone cotonnière à raison de 100 à 150 kg/ha selon le thème et complété par 50 kg/ha d'urée. Les fréquents problèmes de carence potassique rencontrée en milieu paysan, ont conduit à la modification de cette formule qui actuellement est le 6-14-35 + 5% S + 1% B à la dose de 200 kg/ha.

Le riz

Pour le riz irrigué, les premières études furent menées dans le Delta et la vallée du fleuve Sénégal. Seul l'azote répondait de manière linéaire à des doses pouvant atteindre 200 kg/ha de N. Le manque de réponse du phosphore était souvent en contradiction avec les teneurs en phosphore du sol. Les études entreprises par l'ISRA au début des années 80, ont recommandé le remplacement du phosphate d'ammoniaque jusque-là vulgarisé à la dose de 125 kg/ha par le phosphate tricalcique de Taïba (150 kg/ha) et le phosphate d'alumine de Thiès (175 kg/ha).

La recommandation actuelle en situation de maîtrise complète de l'eau, avec des variétés améliorées est de 125 kg de phosphate d'ammoniaque, 100 kg de KCl et 250-300 kg de perlurée. Agronomiquement parlant, l'apport de KCL vient compenser les exportations de K.

En Casamance, les premières études ont été menées pour le compte de la CGOT sur riz pluvial de plateau. Elles furent par la suite étendues à toutes les écologies rizicoles et aboutirent aux recommandations suivantes :

(i) Rizière de plateau

- 100 à 150 kg de 8-18-27 + 50 à 100 kg d'urée pour la fumure légère ;
- 400 kg/ha/4 ans de phosphate tricalcique + 150 à 200 kg de 8-18-27 + 100 à 150kg d'urée pour la fumure forte.

(ii) Rizière de bas-fond

- 60N-40P-40K

(iii) Rizière de transition sur terrasse basse

- 100N-40P-50K

(iv) Rizière de plaine peu ou moyennement salée

En cas d'utilisation du 8-18-27, il est préconisé :

- un amendement tricalcique de 400 kg/ha/4 ans ;
- le recyclage des résidus de récolte (direct par enfouissement des pailles par labour de fin de cycle pour les rizières à texture relativement fine ou indirect par apport de fumier et de compost) ;
- l'enfouissement de 200 kg de 8-18-27 au moment de la préparation du sol ;
- l'apport en couverture de 160 à 180 kg d'urée (enfouis de préférence un mois après submersion).

(v) Rizière salée et de mangrove

La conclusion la plus importante dans cette écologie est la réponse hautement significative du phosphore sur les poids de paddy et de paille. Compte tenu du caractère traditionnel et peu

intensif de ce type de riziculture, l'apport d'une tonne/ha/5ans de phosphate tricalcique fût recommandé.

D'autres sources de matières organiques comme le *Sesbania rostrata* ou l'*Azolla* ont été testées à Djibélor et Fanaye respectivement. L'enfouissement d'une culture de *Sesbania* (cultivée pendant 35-42 jours) permet d'obtenir des rendements de l'ordre de 4 tonnes/ha contre 2 tonnes/ha pour le témoin et équivaut à l'apport de 60 unités d'azote sur riz submergé cultivé sur un sol sableux et acide de plaine alluviale.

L'enfouissement d'une culture de *Sesbania* a permis une réduction de moitié de la dose d'azote minérale préconisée pour le riz dans la vallée du fleuve Sénégal, avec cependant une efficacité accrue en présence d'une fumure minérale azotée complémentaire de 45 unités de N/ha apportée en une fois au tallage, ou à la floraison, ou fractionnée ($^1/_2$ en application basale et $^1/_2$ à l'initiation paniculaire) en effectuant le repiquage du riz au moins une semaine après son enfouissement (Camara et Diarra, 1987).

Rinaudo *et al.* (1983) ont étudié les effets de 4 traitements sur les teneurs en azote du riz et du sol sur des microparcelles de riz irrigué de 1 m^2 : (1) fertilisation PK + tiges inoculées de *Sesbania rostrata* enfouies comme engrais vert après 40 jours de culture ; (2) fertilisation PK + tiges non inoculées de *Sesbania rostrata* enfouies comme engrais vert après 40 jours de culture ; (3) fertilisation PK + du sulfate d'ammonium (60 unités de N/ha) ; et (4) fertilisation PK seule (témoin). Le traitement (3), fumure minérale seule, permet d'obtenir une augmentation de rendement en grains de 1,7 t/ha, contre une augmentation de 3,3 t/ha pour les traitements avec *Sesbania*. L'azote fixé par *Sesbania* est estimé à au moins 267 kg/ha dont un tiers est transféré à la plante et les deux tiers au sol. Il convient cependant d'être prudent avec ces chiffres extrapolés avec un facteur de 10 000.

Malgré des résultats encourageants, la diffusion de ces techniques se heurta à l'obstacle que constitue l'enfouissement de la culture de *Sesbania* dont les tiges doivent être au préalable hachées. A cela s'ajoute la non disponibilité de l'eau pendant l'avant-saison pour mener à bien la culture de *Sesbania*.

Des essais sur une autre légumineuse à nodule de tige, *Aeschynomene afraspera*, (Rinaudo *et al.*, 1987) ont permis d'estimer un apport potentiel de 100 kg de N/ha sur culture de riz (l'apport potentiel du *Sesbania* serait du même ordre de grandeur, selon les mêmes auteurs.).

Par ailleurs, la culture d'*Azolla pinnata* var. *africana*, qui est une fougère aquatique riche en azote grâce à la fixation symbiotique d'une cyanobactérie qui lui est associée (*Anabaena azollae*), permet d'augmenter les concentrations d'azote dans les sols de rizière par un facteur quatre, comparativement aux sols d'où il est absent (Reynaud et Franche, 1985). L'avantage d'*Azolla* est que sa présence dans les rizières ne gêne pas le développement du riz et constitue même un moyen efficace de contrôler les adventices du riz. Un apport complémentaire de phosphore s'est avéré nécessaire pour une croissance optimale de la fougère. La principale difficulté liée à son emploi se situe dans la technique d'enfouissement de la biomasse flottante. Une mise à sec de la rizière est souvent nécessaire et cela pose le problème de l'évacuation sélective de l'eau et de sa maîtrise totale. *Azolla* est aussi une plante envahissante dont la prolifération est difficile à maîtrisée, avec des conséquences parfois indésirables (envahissement des canaux d'irrigation et des zones de pompage).

Le niébé

Les essais ont débuté en 1959 et ont connu de nombreuses difficultés d'interprétation à cause de la forte pression parasitaire sur cette culture.

On est passé de la formule 4-16-24 à la dose de 250 kg/ha à la formule 6-20-10 à la dose de 150 kg/ha pour la région Centre. La formule changea de nouveau pour la zone de Bambey en

devenant 6-10-20 à la dose de 150 kg/ha pour finalement aboutir à la formule actuelle 8-18-27 à la dose de 150 kg/ha.

La canne à sucre

Les premières expérimentations ont débuté en 1961, dans le delta du fleuve Sénégal. Plusieurs formules furent testées dont la 6-20-10, la 6-9-9, la 10-10-20, la 19-9-9, pour aboutir à la 10-10-10 en 1965.

Les formules actuellement utilisées sont :

(i) Sur cannes vierges

Après labour

- 275 kg/ha d'urée après labour
- 100 kg/ha de super triple (46% de P_2O_5)
- 125 kg/ha de KCl.

Après 8-12 semaines

- 150 kg/ha d'urée
- 1-1,5 mois diagnostic foliaire.

(ii) Sur repousses

- 300 kg/ha d'urée.

Cultures maraîchères

Des essais sur la fertilisation des cultures maraîchères ont été mis en place dès 1961 à Bambey sur sol Dior et se sont poursuivis dans la vallée et le Delta du fleuve Sénégal (sol alluvionnaire à Massara Foulane et sol sableux dunaire à N'diol), dans les Niayes, sur sol noir humifère plus ou moins salé et à Séfa sur sol ferrugineux tropical lessivé à concrétions. Les principales recommandations sont reprises dans le tableau 25.

La pratique dans les sociétés industrielles est la suivante :

(i) Au niveau de la SNTI, les doses appliquées pour la tomate sont :

- 800-1000 kg/ha de 18-46-0 en fumure de fond ;
- 200 kg/ha d'urée en couverture ;
- 350 kg/ha de KCl en couverture.

(ii) Au niveau de la SOCAS

- pour la rotation biennale : tomate-jachère ou pomme de terre-jachère ;
- fumure de fond avant repiquage : 100 kg/ha de 18-46-0 ;
- en couverture (12 à 13 fractionnements) : 75 kg/ha d'urée ; 200 kg/ha de KNO_3 ; 200 kg/ha de 0-45-0 ; 150 kg/ha de K_2SO_4 ; 100 kg/ha de $Ca(NO_3)_2$.

Tableau 25. Recommandations en matière de fertilisation des cultures maraîchères

Cultures	Fumure de fond	Fumure d'entretien
Oignon	• 10-20 t/ha de matière organique + 250 kg/ha de 10-10-20	
Fraisier	• 20 t/ha de matière organique + 100 kg/ha de sulfate de potasse + 100 kg/ha de sulfate d'ammoniaque + 30 kg/ha de superphosphate triple	• 1 fois par mois après plantation 25 kg/ha de TSP+ 60 kg/ha de sulfate de potasse + 100 kg/ha de sulfate d'ammoniaque • ajouter 70 kg/ha de nitrate d'ammoniaque lors du 1er épandage
Pastèque	• 20-30 t/ha de matière organique + 250 kg de 10-10-20	• 250 kg/ha de 10-10-20 environ 40 jours après semis
Tomate	• 20-30 t/ha de matière organique + 400 kg de 10-10-20	• 200 kg/ha de 10-10-20 après 15, 30, 50 et 60 jours de plantation
Chou	• 20-30 t/ha de matière organique + 250 à 300 kg/ha de 10-10-20	• 200 kg/ha de 10-10-20 après 20 et 35 jours de plantation
Aubergine	• 20-30 t/ha de matière organique + 500 kg de 10-10-20	• 250 kg/ha de 10-10-20 à 40, 60 et 80 jours après repiquage
Chou de chine	• 15-20 t/ha de matière organique + 300 kg de 10-10-20	
Piment	• 15-20 t/ha de matière organique + 300 kg de 10-10-20	• 150 kg/ha de 10-10-20 de 2 à 4 semaines après repiquage
Melon	• 30-40 t/ha de matière organique sur une bande large de 0,5m le long de la ligne de plantation + 400 kg/ha de 10-10-20	• 200-300 kg/ha de 10-10-20 au niveau de la raie ou sur les lignes de plantation, au stade de l'étêtage, au moment de la floraison-nouaison et après la 1ère récolte
Jaxatu (aubergine africaine)	• 10-20 t/ha de matière organique + 400 kg de 10-10-20	• 200 kg/ha de 10-10-20 à 20, 40 et 60 jours après repiquage
Laitue	• 15-25 t/ha de matière organique + 250 kg de 10-10-20	• 250 et 400 kg/ha de 10-10-20 respectivement 20 et 40 jours après plantation
Manioc	• 5-10 t/ha de matière organique + 600 kg de 10-10-20	
Gombo	• 10-20 t/ha de matière organique	• 200 kg/ha de 10-10-20 à 20, 50 et 70 jours après le démariage
Navet chinois	• 15-25 t/ha de matière organique + 300 kg de 10-10-20	• 200 kg/ha de 10-10-20 de15 à 20 jours après le semis
Poivron	• 15-25 t/ha de matière organique + 500 kg de 10-10-20	• 200 kg/ha de 10-10-20 à 15, 30, 50 et 80 jours après repiquage
Carotte	• 10-20 t/ha de matière organique + 500 kg de 10-10-20	• 300 kg/ha de 10-10-20 à 20 et 40 jours après semis

Source : Fiches techniques du CDH, cité dans N'Diaye et Sagna, 1989

Conclusion

Ce qui frappe avant tout lorsqu'on fait le bilan des recherches sur la fertilisation, c'est le nombre impressionnant d'essais qui ont été mis en place, à travers le pays. On note également un certain manque de coordination se traduisant par une diversité des approches qui ne permet pas de capitaliser les importants efforts consentis. Des projets financés par la FAO et l'IFDC ont mis en place d'importants réseaux d'essais à travers tout le pays dont les résultats n'ont pas été valorisés.

N'Diaye et Sagna (1989) ont critiqué avec pertinence la conception des expérimentations qui a conduit à des discontinuités et parfois même à des résultats contradictoires. Ces auteurs ont également indiqué les limites de la méthode à somme constante utilisée dans la plupart des expérimentations, et la lourdeur de la méthode factorielle quand le nombre de facteurs ou de niveaux augmente. Ils regrettent que la méthode des « coupes », qui prospecte une surface de réponse par des coupes expérimentales et non des coupes déduites d'une équation générale, ne soit pas suffisamment utilisée. Les coupes sont déduites à partir des rendements observés et permettent de mettre en évidence les caractéristiques essentielles des surfaces et volumes de réponse et d'établir une relation générale.

Par ailleurs, l'appréciation de la quantité d'azote réellement fournie par le sol à une culture est difficile (Hubert, 1970) :

- un sol cultivé sans azote, produit davantage d'azote que le même sol non cultivé ayant reçu de l'engrais ;
- un sol cultivé sans azote, fournit une quantité d'azote supérieure au sol cultivé avec azote.

On peut dès lors remarquer que le témoin sans azote d'un essai cultural ne rend pas parfaitement compte des fournitures réelles du sol dans des conditions culturales normales. Hubert (1970) préconise pour l'évaluation de l'azote minéralisé par la matière organique du sol, la parcelle non cultivée sans engrais car c'est elle qui se rapproche le plus de la parcelle cultivée en pleine végétation sur le plan de la minéralisation de l'azote.

En dehors de ces aspects conceptuels, le constat que l'on peut faire est qu'il y a finalement une convergence, volontaire sans doute, de toutes les recommandations vers deux ou trois formules standard : 8-18-27; 14-7-7 et 10-10-20. Ce qui pose le problème de l'intérêt à vouloir faire des recommandations spécifiques à chaque culture quand on sait que les agriculteurs n'auront à leur disposition que deux ou trois formulations. Le coton et la canne à sucre font exception à la règle puisqu'il s'agit de cultures maîtrisées en amont et en aval par des sociétés dont les importants besoins en engrais leur confèrent un pouvoir de négociation permettant une fabrication adaptée à leurs exigences.

Il est vrai aussi qu'on ne pouvait pas avoir une multitude de formules répondant à chaque spécificité dans un secteur dominé par un monopole. Mais le contexte actuel de libéralisation et de mondialisation de l'économie commande une révision des approches allant dans le sens d'une conception de conseils de fumure mieux adaptés aux réalités socio-économiques et aux exigences d'une agriculture durable.

Pour plusieurs auteurs, dans les sols à faible teneur en matière organique, l'application d'engrais minéraux sera sans succès sans application d'amendements organiques (Lal, 1987, Croson et Anderson, 1985, cités par Sanders *et al.*, 1995). Cette affirmation a été très rarement prise en compte dans les approches et pourtant les dispositifs de fertilisation à long terme sont là pour nous le rappeler.

Il n'y a cependant pas d'exclusive en la matière, les problèmes de fertilisation minérale des sols du Sénégal ne seront pas résolus par le seul recours aux engrais minéraux, même si comme le

rappelait Young (1995) « aucune amélioration technique isolée n'a augmenté les rendements autant que l'apport d'engrais ». En effet, son utilisation dépend de son prix, du pouvoir d'achat des paysans, du profil de l'hivernage, des facilités de crédit et de l'efficacité des circuits de distribution. Il en est de même pour la seule fumure organique quand on compare les quantités préconisées pour cette dernière aux disponibilités réelles. La fumure qu'elle soit organique ou minérale n'est pas la panacée. D'autres techniques culturales ont également leur place dans l'amélioration de la production. L'expérimentation multilocale a permis par ailleurs de confirmer les effets spectaculaires de la fumure minérale, du labour et de la matière organique sur le mil et l'arachide (Nicou,1976).

Bouffil (1950) déclarait il y a 47 ans : « au Sénégal, j'ai remarqué que, lorsque le sol était remué, il y avait sur le terrain une végétation beaucoup plus importante dès le début de l'hivernage. Pour des essais, nous avons été conduits à creuser le sol à 1,20 m de profondeur. Les trous furent ensuite comblés. Les années suivantes et même encore maintenant, c'est-à-dire six ans après, au début de l'hivernage la végétation est plus drue sur les emplacements aérés il y a six ans ». Il est bien admis aujourd'hui que le binage et le sarclage sont des techniques culturales qui permettent d'augmenter les rendements par l'économie en eau qu'ils procurent.

L'augmentation du risque lié à l'emploi d'engrais minéraux chez l'agriculteur est à prendre en compte, car celui-ci dispose d'un faible revenu. Le risque climatique d'un déficit hydrique significatif est toujours présent en agriculture pluviale, même si une fumure équilibrée, associée à une bonne préparation des terres, permet de tamponner les effets climatiques (stress hydrique et températures élevées).

Il est indispensable de conjuguer les effets des engrais minéraux, du recyclage des résidus organiques et de la fixation biologique de l'azote, ainsi qu'une meilleure valorisation des gisements naturels d'engrais comme les phosphates (Taïba, Thiès, Matam) et les tourbes. D'ailleurs, la valorisation des phosphates naturels peut être améliorée par une acidification partielle ou par une solubilisation partielle (compostage).

Ganry (1990), après plusieurs années d'étude sur l'optimisation de l'utilisation d'azote par les céréales conclut : « la fourniture d'azote à la céréale est tributaire de l'entretien organique du sol. Dans un contexte de faible disponibilité en résidus organiques et fumure azotée, il faut tenter d'assurer cet entretien en compostant les pailles directement ou par l'intermédiaire des animaux (fumier) et en maximisant la source d'azote exogène constituée par une légumineuse en rotation avec la céréale.»

L'apport de compost semble beaucoup plus favorable à l'accumulation dans le sol d'une matière organique stable que le paillis ou le traitement mixte.

La recherche d'une combinaison judicieuse, avec des formules plus simples, optimisant les avantages des deux types de fertilisation, associés à des actions valorisantes tel que le labour, doit être la priorité de tous ceux qui sont impliqués dans le processus d'édification d'une agriculture productive et durable.

L'intervention des animaux est indispensable à la modernisation de l'agriculture (traction, production de fumier, source de protéines, etc.), sa contrepartie doit être l'introduction de soles fourragères dans les rotations culturales ou la valorisation de la biomasse herbacée de la saison des pluies.

Une plus grande maîtrise et diffusion des techniques d'agroforesterie dont tous les avantages ne sont pas encore suffisamment exploités participe aussi de l'amélioration de la productivité de l'agriculture sénégalaise. Les terres sont toujours plus riches en éléments nutritifs sous couvert arboré (*Acacia albida*, *Acacia senegal*, *Prosopis* spp., etc.). Certaines essences agroforestières comme *Acacia nilotica* var. *adansoni*, *Gliricidia sepium*, *Zizyphus mauritiana*, en plus

de leur rôle dans la conservation des sols constituent aussi d'excellentes espèces fourragères appréciées par le bétail (feuilles et fruits) et peuvent également servir comme bois de chauffe (Sène et Diatta, 1990).

Toute amélioration sensible de la fertilité par enfouissement de matière organique demande du temps, souvent entre 5 à 6 ans de bonnes pratiques (Dancette et Sarr, 1985) et on semble souvent l'oublier face à l'urgence des problèmes à résoudre.

Chapitre 3

Les processus de transformation de la matière organique

Beaucoup de chercheurs et techniciens du développement se sont intéressés aux procédés de transformations des sous-produits végétaux ou animaux et des sous-produits agricoles disponibles en zone rurale sous forme de compost ou de fumier et aussi aux méthodes physiques préalablement à toute extraction chimique, pour l'étude de la matière organique du sol (Feller, 1979). Dans le cas particulier des sols sableux pauvres en humus, la distribution souvent très hétérogène de certaines fractions organiques grossières (racines, pailles, amendements organiques, etc.) implique pour les études *in situ* des prélèvements importants de sol (Feller *et al.*, 1983). Ces techniques joueront un rôle déterminant sur la gestion et l'étude des processus de transformation de la matière organique.

Processus de transformation

Pour une meilleure compréhension des processus de décomposition et d'humification des résidus de récolte, il est important de préciser, en premier lieu, les méthodes de caractérisation de la matière organique du sol.

Méthodes de caractérisation de la matière organique du sol

Dans le cadre de l'étude de la matière organique dans les agro-systèmes, il apparaît nécessaire de caractériser les compartiments organiques du sol. Ces compartiments organiques ou encore formes de la matière organique existant dans le sol (résidus végétaux, azote facilement minéralisable, complexe organo-métallique ou organo-argillique, etc.) ont une définition naturelle exprimée par :

- leur origine qui peut être végétale, faunique, microbienne ou chimique ;
- leur état mort, vivant, frais ou transformé, « libre » ou « lié », figuré ;
- le type d'évolution dans le temps (turnover à vitesse variable).

Selon Albrecht (1987), le développement de diverses méthodes de caractérisation de la matière organique a essentiellement pour but de montrer à la fois l'évolution des méthodes et la tendance actuelle dans le monde de la science du sol et d'assimiler les compartiments organiques et fractions organiques issus d'une méthodologie.

1. Fractionnement chimique

Ce sont des méthodes d'extractions acido-alcalines directes. Elles sont globales c'est-à-dire que le sol est traité dans son

ensemble, résidus végétaux compris. Les méthodes sont nombreuses, elles varient selon la nature de l'extractant, la séquence d'extraction et le pH d'extraction. Elles visent à caractériser le « compartiment organique humifié » du sol. Les fractions obtenues, en particulier les acides fulviques et humiques, ont un âge apparent de l'ordre du siècle ou du millénaire. Ces fractions sont essentiellement définies par leur comportement face aux solvants et souvent fort hétérogènes (humine). Le plus souvent, ces méthodes sont appliquées aux études pédogénétiques et apparaissent relativement plus adaptées aux recherches sur les agrosystèmes puisque :

– les fractions humiques et fulviques d'âge apparemment élevé, interviennent peu dans les variations saisonnières ou annuelles du stock organique des sols cultivés tropicaux ;

– l'hétérogénéité de la fraction « humine » constituée de matière organique d'origine et de nature différentes (végétale ou microbienne humifiée ou non) est un facteur limitant les interprétations à ses variations dans les agrosystèmes.

Une autre technique d'étude de la matière organique par fractionnement de l'azote du sol par « hydrolyse acide » a été proposée par Stewart *et al.* (1963) et modifiée par Egoumenides *et al.* (1987). Bien qu'elle ne soit pas sans inconvénient, l'hydrolyse acide est une technique biochimique classique de destruction des protéines, elle permet d'apprécier la stabilité des matières organiques dont les plus anciennes sont toujours celles qui résistent à l'hydrolyse (Jocteur-Monrozier et Andreux, 1982). Par la méthode de Stewart, trois fractions chimiques sont obtenues : Nh, Nnh et Nhd.

L'hydrolyse aboutit à deux fractions désignées par les abréviations **Nh** (azote hydrolysable) et **Nnh** (azote non hydrolysable).

– Le **Nh** est constitué d'aminophénols :

– **Nhnd**, l'azote hydrolysable non distillable contient les acides aminés et de l'azote non identifié. Il s'obtient par différence entre **N** hydrolysable total obtenu par la méthode de Kjeldahl et l'azote hydrolysable distillable (**Nhd**). La fraction non hydrolysable (**Nnh**) s'obtient par attaque du résidu insoluble à l'hydrolyse acide.

La méthode par hydrolyse acide est un excellent outil qui permet de suivre le statut de l'azote dans les sols tropicaux dont certains subissent une dégradation agressive après mis en culture. C'est une méthode facile à mettre en œuvre et d'un coût très limité (Egoumenides, 1988). Il permet aussi d'étudier le suivi des réserves réelles des sols (**Nhnd - Nhd**) en relation avec les traitements agronomiques et le rapport **Nhd/Nhnd** semble être un bon indice pour évaluer l'évolution des sols sous culture.

2. Utilisation de la densimétrie

Toujours selon Albrecht (1987), l'introduction du fractionnement basé sur la densité des particules apparaît sur le plan théorique comme un net progrès. En effet, cette méthode permet de séparer des matières organiques « libres » dont la structure est figurée et l'origine souvent connue (parois végétales) de la matière organique « liée » du sol (complexe organo-minéral). On définit ainsi deux fractions organiques qui ont des biostabilités différentes (faible pour les matières organiques « libres » et généralement plus fortes pour la matière organique « liée »). La définition de ces fractions est proche de celle des compartiments organiques naturels.

Les limites de ces méthodes sont essentiellement d'ordre pratique :

– utilisation des solvants organiques (bromoform-alcool à d =1,8) ou minéraux (acide phosphorique à d = 1,1) qui ont des effets contaminants ou altérants ;

– sous-estimation des fractions « libres ».

Après cette approche densimétrique du fractionnement de la matière organique du sol, l'évolution méthodologique en France, au Canada et en Australie s'est appuyée sur les caractéristiques physiques de la matière organique du sol. Ainsi, les méthodes de fractionnements granulométriques ou granulo-densimétriques ne faisant intervenir que l'eau comme solvant dans les premières étapes de la séparation, se sont développées.

3. Fractionnement granulométrique

Le but de ces méthodes est de séparer le mieux possible les résidus figurés (végétaux, fauniques et microbiens) du complexe organo-minéral. Autrement dit, il s'agit d'individualiser les divers constituants élémentaires de la matière organique. La démarche est très proche de celle utilisée lors de la détermination de la granulométrie minérale d'un sol par analyse mécanique. L'échantillon ainsi dispersé est ensuite tamisé sous eau à 2000, 200, 50, 25 µm puis fractionné par sédimentation à 5 et 2 µm.

Il faudrait souligner que de nombreux travaux ont été réalisés par l'ORSTOM (Feller, 1979 ; Feller *et al.*, 1983). Les principaux résultats obtenus par cette méthode sur sols tropicaux à texture grossière et très pauvres en humus ont montré que 90% de la matière organique (F0 2000, F0 200, F0 50, FOM) sont concentrés dans environ 12% du poids du sol par élimination de l'essentiel des fractions sableuses minérales (F0 2000, F0 200, F0 50). Les différentes fractions organiques et organo-minérales sont nettement différenciées sur le plan analytique et représentent divers stades d'humification (tableau 26).

Tableau 26. Caractéristiques des fractions organiques et organo-minérales (**Source :** Feller, 1979)

Fraction (µm)	Caractéristiques morphologiques	Caractéristiques chimiques		
		C/N	MC/L	NDF/CC
FO 2.000	Résidus végétaux très grossiers (taille supérieure à 2 mm) : pailles, racines, graines, etc.	40,3	2,4	1,6
FO 200	Résidus végétaux grossiers (taille de 0,2 à 2 mm) encore reconnaissables à l'oeil nu : racines, petites graines, etc. Certains de ces résidus sont déjà préhumifiés.	20,5	1,4	2,5
FO 50	Débris organiques (taille de 0,05 à 0.2 mm) peu reconnaissables à l'oeil nu fortement humifié : débris végétaux ou animaux, boulettes fécales.	15.0	0,8	>10
FOM	Matière organique liée aux limons et argiles, non reconnaissables (humus s.s)	10,3	n.d.	n.d.

C : Carbone ; N : Azote ;
L : Lignine ; MC : Matières cellulosiques ;
NDF: « Neutral detergent fiber » ;
CC : Contenu cellulaire ;
n.d .: non dosé.

Les méthodes de fractionnement granulométrique de la matière organique nous apparaissent mieux adaptées aux problèmes posés dans les agrosystèmes (en particulier lors des études de restitutions organiques sur les propriétés des sols) que les méthodes décrites précédemment.

4. Utilisation des traceurs (^{15}N)

Il faut aussi souligner que la méthode de fractionnement granulométrique associée à l'utilisation des méthodes de marquage isotopique (^{15}N) a permis de suivre le devenir de l'azote-engrais dans le sol et la plante, d'évaluer la participation de chaque fraction aux divers processus d'humification (Feller *et al.*, 1983) ainsi que l'effet de deux types de restitution paille et compost sur les bilans azotés dans les systèmes sol-plante. Des travaux réalisés par Guiraud *et al.* (1980 et 1983) ont montré l'importance de l'utilisation des méthodes isotopiques pour l'étude des actions des différents résidus de récolte et de l'influence de l'enfouissement répété du compost sur la disponibilité de l'azote des sols sableux tropicaux. Les résultats obtenus ont montré qu'une valeur du rapport C/N de l'ordre de 20 c'est-à-dire proche de celle obtenue par compostage de la paille de mil, permet d'une part un maintien de taux de matière organique dans le sol et d'autre part n'entraîne pas une diminution des rendements. L'effet résiduel des différents résidus de récolte est observé dans le sol grâce au ^{15}N par trois critères :

- le coefficient d'utilisation de l'engrais complémentaire ajouté ou de l'azote des résidus de récolte enfouis ;
- la minéralisation et la réorganisation de l'azote du sol (formation de réserves azotées utilisables ultérieurement) ;
- l'évaluation de l'importance des pertes d'azote.

Par ailleurs, Recous (1988) a étudié les différents aspects méthodologiques du fractionnement ^{15}N minéral et ^{15}N organique. De même François (1988) explique sur le plan méthodologique l'intérêt de la fraction granulométrique du sol pour la caractérisation de compartiments azotés différenciés par leur état (végétal, organo-minéral, microbien), par leur biostabilité et, à l'aide du traceur ^{15}N, par leur origine. L'ensemble de ces études a permis de suivre l'évolution du compartiment azote minéral et la réorganisation de l'azote dans les sols.

Processus de transformation de la matière organique du sol

1. Décomposition et humification de la matière organique du sol

Au cours de ces trois dernières décennies, de nombreuses études sur la décomposition de plusieurs types de résidus organiques sur une longue période dans les sols (Bouyer, 1959, Dommergues, 1956; Fauck *et al.*, 1969; Feller et Milleville, 1977; Feller *et al.*, 1981; Feller *et al.*, 1982; Ganry, 1977; Pichot, 1975; Siband, 1975) ont été menées au Sénégal. Les principaux résultats font apparaître une décomposition totale des résidus supérieurs à 2 mm au bout de deux ans, d'autant plus rapide que le C/N est bas (en un an pour la matière verte) et une baisse importante du stock d'azote organique dans le temps, avec évolution concomitante de cet azote vers des formes plus stables. La fraction hydrolysable de l'azote organique est la plus sensible à la nature des traitements effectués. Le turn-over de l'azote apprécié par les quantités d'azote minéralisable et d'azote drainé montre qu'il existe une relation négative nette entre ces deux termes du bilan azoté et le rapport C/N de la matière végétale enfouie. Ce turn-over est aussi accéléré par le démarrage de la saison pluvieuse (existence d'un pic de minéralisation).

Ce processus de décomposition des divers résidus organiques incorporés au sol entraîne une certaine répartition de la matière organique dans différents compartiments des sols sableux du Sénégal. Les résultats (Feller *et al.*, 1981) obtenus ont montré que le carbone et l'azote du sol se répartissent essentiellement dans les matières organiques libres de taille inférieure à 2 mm (fraction **ML2**) et dans la « fraction humifiée (fraction liée **FL**) », les matières organiques libres de taille supérieure à 2 mm (fraction ML I) ne participant que pour une faible part à la matière organique totale. L'augmentation des teneurs en carbone et azote totaux du sol n'est observée

qu'avec des apports concomitants d'amendements organiques et de fumure azotée. Ces accroissements augmentent avec la dose d'azote-engrais apportée et concernent les fractions **ML2** et **FL**. La fraction **ML2** apparaît donc comme un compartiment de stockage à court terme de l'azote. L'étude de la décomposition du compost en une saison dans un sol sableux a été faite par Feller *et al.* (1981) et les résultats obtenus ont montré que dans le schéma des processus de décomposition et d'humification des résidus végétaux (compost), la fraction **ML2** semble réellement intermédiaire entre la fraction **ML1** qui se décompose quasi-totalement, et la fraction humifiée **FL**. Les résultats des rapports C/N et **MC/L** (matières cellulosiques sur lignine) montrent qu'en fin de saison des pluies, la fraction **ML2** qui constitue l'essentiel des matières légères, est déjà proche, par son rapport C/N, de la fraction la plus humifiée (**FL**) et est caractérisée par un rapport **MC/L** inférieur à celui obtenu pour la fraction **ML1**. Bien que l'ensemble de la fraction **ML1** soit sujet à une forte décomposition, les mécanismes, d'abord de compostage, puis de biodégradation, *in situ* dans le sol, sont toutefois préférentiellement orientés vers la cellulolyse puisque la fraction organique résiduelle apparaît nettement enrichie en lignine à la fin de la saison des pluies. La même observation est valable pour la fraction **ML2**. Ceci pourrait expliquer la stabilité de cette dernière. Par la suite, les travaux de Feller et Ganry (1982) ont démontré l'influence de l'enfouissement de fortes doses (8 à 10 t/ha de matière sèche apportée en une seule dose) de plusieurs résidus de récolte (pailles de mil et de sorgho compostées ou non, coques d'arachide compostées ou non) sur la répartition du carbone et de l'azote dans les différents compartiments du sol. Comparés à un traitement témoin sans apport, les enfouissements de pailles, compostées ou non, n'ont augmenté après une saison des pluies, ni les teneurs en carbone et azote total du sol et n'ont pas modifié celles des fractions séparées. Avec les enfouissements de coque d'arachide, on assiste à une augmentation des teneurs en carbone du sol liée à la faible décomposition de l'amendement organique dans le sol (proportion élevée de la fraction non humifiée **ML1**) et à une diminution des teneurs en azote. Par contre, avec le compost de coque d'arachide qui se décompose facilement, l'augmentation de la teneur totale en carbone est liée aux deux fractions les plus humifiées, **ML2** et **FL**, alors que les teneurs en azote restent égales à celle du traitement témoin. Ceci suggère que la coque d'arachide compostée est un résidu de récolte particulièrement intéressant pour accroître le stock de matière organique très limité des sols sableux cultivés des zones semi-arides. La coque non compostée, qui se décompose très lentement, ne permet pas une augmentation des fractions humifiées du sol.

Nye et Greenland (1960) ont estimé que de 10 à 20 % du carbone de la litière étaient transformés en humus du sol, contre 20 à 50 % des résidus racinaires. On y fera référence sous le nom *de perte de conversion de la litière à l'humus*, c'est-à-dire 80 à 90 % pour les résidus végétaux de surface et 50 à 80 % pour les racines. Après la transformation en humus, la perte de carbone se poursuit, toujours par oxydation microbienne. La proportion de carbone humique perdu par oxydation pendant un an est la constante de décomposition de l'humus (K). Sur la base de calculs sur les échanges de carbone et les niveaux d'équilibre sous culture itinérante, Nye et Greenland (1960) ont estimé que la constante de décomposition sous jachère forestière (K_f) était de 0,03, et qu'en période de culture (K_c), où le sol est plus perturbé, de 0,04 (3 et 4% respectivement). L'équation qui en découle est la suivante :

$$C_1 = C_0 - KC_0 \text{ ou } C_1 = C_0 (1 - K)$$

dans laquelle C_0 est le carbone humique initial du sol, C_1 le carbone après une année et K, la constante de décomposition. Ces deux paramètres, la perte de conversion et la constante de décomposition sont les bases des approches du bilan de la matière organique. Le tableau 27 donne des estimations de ces valeurs au Sénégal.

Tableau 27. Evaluation de la perte de conversion de la litière à l'humus et de la constante de décomposition de l'humus

Pays, environnement	Perte de conversion de la litière à l'humus en 1 an	Constante de décomposition de l'humus (fraction	Source
Sénégal			
Savane boisée	0,5 à 0,9	K_f = 0,04 à 0,07 K_c = 0,02 à 0,05	Charreau et Fauck (1970) Charreau (1975)
Savane forestière		K_f = 0,44 K_c = 0,06 K = 0,02 à 0,09	

K_f = sous végétation (jachère) ; K_c = sous culture

Source : Young, 1995

La qualité de la litière et le taux de sa décomposition constituent un élément important dans la matière organique du sol. Il est évident que les ligneux utilisés en agroforesterie varient largement quant à la qualité et au taux de décomposition. Par exemple, les feuilles de *Leucaena* disparaissent en quelques semaines, celles de *Cassia siamea* à une vitesse moyenne, tandis que celles de *Gmelina arborea*, d'*Acacia mangium* et de nombreuses espèces d'*Eucalyptus* se décomposent plutôt lentement. Par exemple, les émondes de *Leucaena*, de *Gliricidia* et de *Cassia* libèrent la majorité de leur azote dans les 60 jours suivant leur application au sol. Celles de *Leucaena* se décomposent en 40 jours et d'autant plus rapidement qu'elles sont appliquées fraîches plutôt que sèches et enterrées plutôt que laissées à la surface (Young, 1995).

D'autres chercheurs se sont aussi intéressés à l'impact de la décomposition de la litière des arbres sur les sols sableux du Sénégal. Les travaux réalisés par Bernhard-Reversat (1981, 1982, 1987 et 1988) sur des plantations d'*Eucalyptus* et de quelques essences fo-restières et portant sur la décomposition des litières, de l'évolution des hydrosolubles et du fractionnement de la matière organique ont mis en évidence les caractéristiques suivantes de la matière organique du sol sous *Eucalyptus* :

- la disparition de la litière et sa transformation sont relativement lentes, mais la minéralisation du C se poursuit dans la litière ancienne ;
- la litière contient une quantité importante de substances hydrosolubles. Les percolats de litières, légèrement acides, sont vraisemblablement riches en polyphénols qui s'oxydent et noircissent dans le sol ;
- ces hydrosolubles ne sont retenus dans le sol que si la quantité d'argile est suffisante. Dans le cas des sols sableux, ils peuvent être complètement lessivés des horizons supérieurs ;
- la chute de litière est abondante mais la quantité de fractions légères fines est faible dans les horizons superficiels ;
- il y a un appauvrissement de la fraction argile plus limon en matière organique.

Ces résultats ne sont pas conformes à ceux qui sont obtenus sous forêt à *Acacia*, mais sont en accord avec les schémas de décomposition qui avaient été proposés dans les précédents travaux réalisés par Bernhard-Reversat (1981). *Acacia seyal* est caractérisée par une litière facilement minéralisable quand elle est fraîche et devenant relativement résistante à la dégradation en vieillissant (faible teneur en C soluble, peu lessivé et rapidement minéralisé dans le sol). Le sol de surface dans les peuplements d'*Acacia* est riche en fractions légères, et la fraction organo-minérale a une teneur élevée en C. L'ensemble de ces travaux montre que la litière d'*Eucalyptus camaldulensis* tend à favoriser une diminution du stock de matière organique ou à empêcher sa reconstitution, tendance qui pourrait être plus marquée sur sol sableux que sur sol argileux.

2. Minéralisation

L'étude des processus d'évolution de la matière organique du sol suppose une connaissance approfondie de l'écologie de la microflore tellurique. Malheureusement, des choses restent à faire. Mais il est important de savoir qu'en zone aride et semi-aride, l'exigence en eau de la microflore responsable des phénomènes de minéralisation de l'azote organique dans le sol est cruciale. Des travaux très anciens réalisés par Dommergues (1960) sur sol ferralitique ont montré que :

- la nitrification cesse lorsque l'humidité tombe à un niveau situé un peu en dessous de celui correspondant au point de flétrissement permanent ;
- l'ammonification, par contre, se poursuit même lorsque l'humidité baisse à des valeurs très inférieures.

Les résultats ont montré que pour les sols présentant une activité biologique normale, le seuil hydrique de démarrage de la minéralisation ou humidité nécessaire au départ des phénomènes de transformation de l'azote organique en azote minéral (azote ammoniacal + azote nitrique), exprimé en terme de pF, varie entre 4,3 et 5,2 suivant la forme de l'azote organique. Le seuil hydrique de démarrage de nitrification exprimé en termes de pF est de 4,3 pour le sulfate d'ammoniaque et peut s'élever à 4,7 pour l'azote préexistant dans le sol. Pour les sols biologiquement peu actifs, ces caractéristiques sont beaucoup plus faibles.

Les travaux réalisés par Bernhard-Reversat (1977, 1980 et 1981) dans la région Centre Nord et Sud du Sénégal ont aussi montré l'influence de l'arbre et de l'espèce considérés sur la minéralisation nette de l'azote et aussi de la température et de l'humidité du sol sur la minéralisation de l'azote sur un sol de savane sahélienne. Les premiers résultats obtenus ont constitué une contribution à la connaissance des modalités qui gouvernent la minéralisation de l'azote en milieu semi-aride. Il faut souligner l'importance des transformations non biologiques de la matière organique pouvant intervenir aussi bien dans le cycle d'azote (ammonification physico-chimique) que dans le cycle du carbone (dégradation des polysaccharides). Les observations faites *in situ* montrent que l'activité de minéralisation intense dès les premières pluies, fléchit ensuite, peut-être par l'effet d'un épuisement rapide du sol en substances facilement métabolisables. Lors de ces travaux la production annuelle d'azote minéral a été estimée à 13g/m^2 sous *Acacia senegal*. Elle est plus faible sous un autre arbre, *Balanites aegyptiaca*, et à découvert sous végétation herbacée (Bernhard-Reversat, 1977). D'autres études réalisées en 1988 par Bernhard-Reversat dans les stations forestières de l'ISRA à Keur Matar et à Bandia sous plantation d'*Eucalyptus* et d'*Acacia seyal* ont montré une diminution de l'azote minéralisable sous *Eucalyptus* avec une différence plus marquée dans les sols sableux que dans les sols argilo-sableux. Des expériences *in vitro* ont montré aussi que la quantité d'azote minéralisable produite varie de 40 à 50 ppm sous *Acacia* et 11 à 14 ppm sous plantation d'*Eucalyptus*. Des observations faites ont montré que les fractions légères de la matière organique du sol sous

Eucalyptus n'ont produit aucun azote minéral. 80% de l'azote minéral ont été fournis par la fraction organo-minérale contre 30 à 50 % dans les sols sous *Acacia*. La minéralisation *in situ* est fortement corrélée aux précipitations et varie de 18 à 40 ppm durant 4 semaines pendant la saison des pluies sous plantation d'*Acacia* où de 7 à 10% de l'azote était minéralisé chaque année. Tandis que sous *Eucalyptus* l'azote minéral n'atteint pas 10 ppm après trois semaines en début de la saison des pluies et décroît drastiquement après. Tout ceci montre une fois de plus que dans les écosystèmes de sols de savane sahélienne, l'azote minéral disponible est produit par la fraction organo-minérale considérée comme la plus humifiée. En conséquence, on peut considérer qu'une large quantité d'azote apportée chaque année au sol sous forme de racines, plantes mortes est libérée comme azote minéral quelques années après.

L'ammonification augmente avec la température, alors que la nitrification est inhibée par des températures supérieures à 40°C, aucune inhibition n'est observée lorsque le sol est soumis à une alternance thermique nycthémérale de 32°C et de 42°C. De courtes périodes de dessiccation provoquent une légère augmentation de la minéralisation. La teneur en eau du sol a une influence relativement faible entre 3% et 15%, valeur proche de la saturation.

Un autre aspect pouvant freiner les processus de minéralisation de la matière organique des sols est la salinité. Des études réalisées par Mallouhi, (1989) montrent que la salinité réduit l'activité biologique, ce qui freine la polymérisation des composés humiques hydrosolubles. La minéralisation primaire est relativement active lors de l'apport des composés biodégradables. Il survient dans ces conditions le maintien presque exclusif des composés peu polycondensés très sensibles avec une faible stabilité structurale et une faible minéralisation. L'humine existant dans les sols touchés par la salinité provient essentiellement de l'humification physico-chimique.

Conclusion

Une méthode de caractérisation de la matière organique du sol – le fractionnement granulométrique – permet d'appréhender des compartiments organiques ayant probablement des rôles spécifiques dans les processus pédologiques qui ont trait à la fertilité générale du sol. Il permet d'isoler les compartiments organiques très différenciés sur un plan physico-chimique et est adapté non seulement à la caractérisation de la matière organique du sol et à l'étude des processus d'humification des résidus végétaux mais aussi à la résolution des problèmes agronomiques, en particulier la gestion du stock organique des sols cultivés. Notons enfin que la méthode en question est simple, fiable et peu onéreuse. Elle peut s'appliquer aussi bien dans une approche globale de situations agro-pédologiques que des études très fines de processus.

La connaissance aussi des taux de décomposition de la litière permet de jouer sur le rythme de libération des éléments nutritifs. Les besoins des cultures annuelles varient au cours de leur croissance (Young, 1995). L'étude concernant la synchronisation de la libération des éléments nutritifs et les besoins d'absorption des cultures annuelles a constitué l'une des hypothèses fondamentales du programme sur la biologie et la fertilité des sols tropicaux (Swift, 1984, 1985, 1987; Ingram et Swift, 1989; Woomer et Ingram, 1990). L'exemple est le succès des combinaisons de *Leucaeana*, *Gliricidia*, *Flemingia* et *Cassia* avec le maïs. La libération d'azote par les émondes est bien synchronisée avec l'absorption d'azote par le maïs si les émondes sont appliquées au moment de la germination, l'absorption dépasse la libération après 40 à 50 jours (Yamaoah *et al.*, 1986). Ceci démontre une fois de plus que l'acquisition de connaissances concernant le calendrier de décomposition de la litière est fondamentale pour les cultures annuelles associées. Au Sénégal, cet aspect n'a pas été abordé d'une façon approfondie par la recherche. Enfin, la minéralisation rapide des éléments nutritifs liés au stock organique, tout en favorisant la « fertilité spontanée » (Moreaux, 1967), a l'inconvénient majeur de rendre les sols

extrêmement fragiles. Ce processus dépend essentiellement du type de sol, de sa texture et du climat. Il faut aussi souligner qu'actuellement des études plus poussées font le point sur les modèles disponibles pour prévoir l'évolution des matières organiques ou la minéralisation de l'azote dans les sols cultivés (Mary et Guérif, 1994).

Incidences sur les caractéristiques du sol

Pour toute politique de développement agricole soutenu, une bonne gestion de la matière organique doit être une priorité pour maintenir et augmenter le taux d'humus dans les sols. Les matières organiques doivent être récupérées et utilisées, en association avec d'autres techniques qui visent à améliorer la fertilité des sols (rotations culturales appropriées, cultures associées, couverture du sol par paillage, etc.). Parmi les différentes propriétés de la matière organique, quatre ont une importance majeure dans les pays tropicaux:

- l'augmentation de la cohésion des agrégats qui permet de conserver la structure des sols et de prévenir l'érosion ;
- l'augmentation de la capacité de rétention en eau ;
- l'importance de sa minéralisation dans la dynamique de l'azote, et son influence directe sur la nutrition des plantes et les propriétés physico-chimiques des sols ;
- l'accroissement de la résistance des plantes au parasitisme et aux accidents culturaux ou climatiques.

Les informations obtenues par la recherche agronomique au Sénégal mettent l'accent sur les trois premiers rôles :

- les études menées par Cissé (1986) ont montré que dans les sols sableux, l'application régulière de fumier a fortement amélioré l'alimentation hydrique des cultures. Or, cela ne tient pas à une modification de la conduction hydraulique ou de la capacité de rétention, mais uniquement à la forte stimulation de la prolifération et de l'activité racinaire des cultures. Par son impact direct sur l'amélioration de l'activité biologique et du développement racinaire des cultures, la matière organique est un acteur indispensable au fonctionnement durable des systèmes sol-plante que l'on souhaite intensifier (Piéri, 1989) ;
- Charreau et Nicou (1971) ont étudié l'autre rôle essentiel de la matière organique relatif au maintien et à l'amélioration des caractéristiques physiques de ces sols c'est-à-dire les propriétés mécaniques, la stabilité structurale et la porosité (quantité et distribution en taille des pores). Or, les caractéristiques climatiques de la zone Ouest Africaine (forte dessiccation, intensité élevée des pluies) ainsi que celles de la phase minérale des sols ne vont pas dans le sens du maintien de la stabilité des agrégats élémentaires et des mottes de terre dans les profils culturaux. Le rôle de « liant » joué par les colloïdes organiques très polymérisés « humus » dans les associations organo-minérales, permettent au squelette minéral de ne pas s'effondrer ;
- la contribution directe de la matière organique à la nutrition des plantes est très importante en ce qui concerne surtout la nutrition azotée (Egoumenides *et al.*, 1987).

Il faut souligner que l'effet chimique principal concerne l'approvisionnement en éléments nutritifs, avec trois aspects favorables : l'apport est équilibré entre les éléments nutritifs primaires, secondaires et les oligo-éléments. Il y a aussi une libération lente des éléments nutritifs, sous des formes utilisables, par la minéralisation. D'autres effets favorables de la matière organique sur l'approvisionnement en éléments nutritifs sont le blocage des sites de fixation du phosphore par les complexes organiques et la disponibilité accrue des micro-éléments. Un autre effet chimique est le renforcement considérable de la capacité d'échange cationique (CEC)

par le complexe argilo-humique (Siband, 1972). Ceci est particulièrement important lorsque la CEC des minéraux argileux est faible comme dans les sols dominés par des minéraux kaolinitiques et des oxydes de fer libres. L'augmentation de la CEC améliore la rétention des éléments nutritifs, tant des éléments recyclés naturellement que de ceux apportés dans les engrais. Quant aux effets de la matière organique sur l'activité biologique du sol, on a noté un lien possible avec la fixation d'azote. Beaucoup de travaux réalisés au Sénégal ont montré l'impact de la matière organique sur la fixation d'azote des plantes cultivées (Ganry et Guiraud, 1979 ; Ganry, 1980, 1984 et 1990 ; Badiane, 1993).

L'autre intérêt de la matière organique est son effet sur les propriétés physiques du sol. Nous savons que les facteurs qui déterminent ces propriétés physiques sont la texture du sol, les types de minéraux argileux présents et la qualité de la matière organique, celle-ci fournissant les gommes naturelles qui relient les particules. Si la matière organique est peu abondante, les sols sableux perdent le peu de cohésion qu'ils avaient et deviennent encore plus sujets à l'érosion. Il faut souligner que les ligneux jouent un rôle capital pour l'amélioration de la fertilité des sols en maintenant les niveaux de la matière organique (MO) des sols par l'apport de litière et de résidus racinaires (Young, 1995). L'effet favorable des ligneux sur les propriétés physiques du sol est incontestable. Il est déjà démontré par le bon état physique du sol que l'on observe invariablement sous la forêt naturelle et ensuite, par l'observation du déclin des propriétés physiques après défrichement. Ainsi, dans les trois ans qui suivent un défrichement de forêt claire au Sénégal Oriental (projet des Terres Neuves), Feller et Milleville, (1977) ont constaté que l'horizon cultural des sols s'est beaucoup appauvri en matière organique (0,72% sous forêt, 0,57% trois ans après soit une perte de 20% du stock initial), et que certains indices de comportement physique se détériorent : stabilité structurale, sensibilité à la dispersion à l'eau, pénétrabilité.

Les fonctions de la matière organique dans le maintien de la fertilité des sols sont multiples. Selon Young (1995), sous tous les systèmes d'utilisation des terres, la matière organique maintient de bonnes conditions physiques du sol.

Dans les systèmes à faibles taux d'intrants, elle fournit des éléments nutritifs de façon équilibrée, les protège contre le lessivage et enfin dans les systèmes à taux moyen ou élevé d'intrants, elle conduit à une utilisation plus efficace des engrais par l'amélioration de la capacité d'échange des ions.

Conclusion

Les processus de transformation de la matière organique aboutissent à la production d'humus qui est un des éléments moteurs d'un sol. L'ensemble des travaux réalisés au Sénégal ont montré cette importance sur les caractéristiques physiques, chimiques, physico-chimiques et biologiques des sols. Le climat, la texture des sols, la température et les micro-organismes jouent un rôle essentiel dans ces processus. Une fois de plus, une connaissance approfondie des processus fondamentaux de transformation de la matière organique du sol aiderait à comprendre le fonctionnement des composantes des systèmes sol-plante et leurs interactions.

Chapitre 4

Evaluation économique et sociale des technologies sur la matière organique

Pendant longtemps les efforts de la recherche ont été orientés vers la mise au point et la diffusion de technologies susceptibles d'accroître la productivité et d'améliorer le bien être des populations rurales. Mais la plupart de ces technologies n'ont pas fait l'objet d'une évaluation socio-économique ni avant ni après leur transfert en milieu paysan. Les technologies relatives à la matière organique n'échappent pas à cette règle. Ce n'est qu'au début des années 70 que des études ont été véritablement consacrées aux aspects socio-économiques liés aux technologies en milieu paysan. Ces travaux peuvent être regroupés en deux thèmes majeurs : (i) problématique du développement rural ; (ii) étude d'impacts socio-économiques.

Problématique du développement rural

Il est universellement reconnu qu'outre l'objectif macro-économique, la démarche du développement rural doit encourager la création d'un paysannat dynamique, composé d'agriculteurs aptes à la décision économique, disposant d'exploitations struc-turellement et comparativement viables. La recherche agricole est appelée à impulser ce développement par l'innovation qu'elle apporte. Elle doit non seulement s'intéresser aux possibilités du moment (recherches d'adaptation et recherches d'accompagnement) mais également envisager d'atteindre aux potentialités de manière à préparer le développement bien à l'avance (programmes de recherche à moyen et long termes).

Tourte *et al.* (1971) ont tenté d'éclairer le débat sur la conception du développement agricole en insistant sur le danger d'isoler les thèmes légers des thèmes lourds. Les thèmes légers représentent des améliorations simples, donc *a priori* faciles à vulgariser, des systèmes culturaux traditionnels. En revanche, les thèmes lourds introduisent des techniques et des systèmes nouveaux, sans doute plus efficaces mais plus complexes, plus coûteux, donc difficiles à proposer au monde rural et dont, pour certains, il faut différer la vulgarisation. Si les premiers constituent un indéniable et très efficace moyen d'aide au paysannat traditionnel en vue de son ouverture au progrès, ils ne peuvent en aucun cas, être considérés comme une finalité. La thèse défendue par les auteurs est que thèmes légers et thèmes lourds sont loin d'être opposés, les premiers préparent les seconds chez les exploitants dynamiques.

Les auteurs rappellent les résultats des nombreuses expériences menées par l'IRAT

(ou plus anciennement le CRA de Bambey), dont certaines effectuées depuis 1950, à savoir l'importance et l'intérêt économique de la correction de la carence phosphatée quasi générale des sols du Sénégal par la technique du phosphatage de fond appliqué en tête de rotation, sous forme de phosphates naturels.

Pour arriver à mettre en évidence le danger d'isoler les thèmes d'amélioration des sols, Tourte *et al.* (1971) ont fait un premier bilan économique et minéral de l'effet combiné fumure - travail - enfouissement. L'analyse économique a été effectuée à deux niveaux : champ et exploitation. Il a été procédé à l'implantation de champs de prévulgarisation dans des points d'appui répartis sur l'ensemble du Sénégal. Ces champs présentent trois niveaux de fumure[1], trois niveaux de travail[2], la même rotation, donc les mêmes spéculations (même matériel végétal) et la même surface. A partir de cela, il a été possible d'extraire une première comparaison qualifiée de thème léger (F1 T1) et de thème lourd (F2 T2).

L'analyse micro-économique fait apparaître dans la région sud du bassin arachidier ainsi que dans les régions orientales et méridionales un net avantage en faveur des thèmes lourds et des systèmes plus intensifs. Dans les régions nord, l'avantage économique est bien moindre (tableau 28), l'avantage social n'en demeure pas moins (technicité du paysan nettement améliorée). Le revenu annuel par actif passe de 20 000 F CFA, pour le cultivateur en thèmes légers du bassin arachidier nord à 85 000 F CFA pour l'exploitant « semi-intensif » du Sénégal Oriental, pour une exploitation moyenne de 10 ha.

C'est sur cette base que les thèmes lourds ont été proposés pour le centre, le sud et l'est dans toutes les exploitations où ils apparaissent viables et justifiés par le comportement économique de l'exploitant qui aura généralement déjà assimilé les thèmes légers. Le Sénégal méridional a été identifié pour les systèmes semi-intensifs.

Tableau 28. Bilan économique annuel comparé de l'amélioration des sols (F CFA/ha)

Zone	Bénéfice avec subvention		Bénéfice sans subvention	
	Thème léger	Thème lourd	Thème léger	Thème lourd
Bassin arachidier nord	335	-2.040	5.660	5.370
Sine-Saloum	9.140	13.810	14.465	23.130
Sénégal Oriental	23.650	37.700	27.980	47.400

Source : Tourte *et al.*, 1971.

Dans leur conclusion, Tourte *et al.* (1971) tentent de dépasser le niveau micro-économique pour embrasser le cadre macro-économique. Ils ont ainsi rapidement montré que les thèmes lourds et les systèmes intensifs se justifient également au niveau national. En effet, ces éléments ajoutent à l'action des thèmes légers (qu'ils n'excluent pas) une possibilité supplémentaire, très importante, d'accroissement de la production rurale, donc du produit national, compte tenu des répercussions fiscales et des effets multiplicateurs.

[1] **F0** : sans fumure ; **F1** : fumure annuelle à faible dose correspondant à la dose recommandée par la vulgarisation dans la zone correspondante ; **F3** : fumure de redressement et rotation apportant du phosphate naturel sur la jachère, de la fumure nitropotassique sur l'arachide et le cotonnier, de la fumure azotée sur la céréale.

[2] **T0** : interventions manuelles à l'iler, donc très superficielles ; **T1** : travail en traction équine, donc superficiel (houe à cheval) ; **T3** : intervention de la traction bovine par labour d'enfouissement de la jachère, soit un seul labour par rotation.

Par ailleurs, la gestion de la fertilité est abordée par Garin *et al.* (1990) à travers l'exemple du système agraire Sereer. L'analyse résulte de la confrontation d'approches géographique, zootechnique et agronomique. L'association d'un élevage bovin sédentaire à un système de culture relativement intensif a pendant longtemps contribué à faire du système agraire Sereer un modèle en terme d'aménagement de terroir et de gestion de fertilité. Au cours de ces dernières années, on a assisté à une dégradation du paysage agraire et à la désorganisation des systèmes de culture suite à la combinaison de trois phénomènes : pression démographique croissante, contraintes écologiques aggravées et nouvelles pratiques paysannes. On assiste à une déconnexion entre les activités agricoles et l'élevage bovin. La prépondérance des flux internes aux territoires villageois et la faiblesse des apports exogènes montrent que le système actuel ne peut se perpétuer à long terme sans remettre en cause le potentiel de production agricole. Les propositions faites par la recherche et le développement se sont avérées inadaptées. La principale leçon à retenir de ce travail est que l'appréciation des modes de gestion de la fertilité suppose la prise en compte de toute la dynamique rurale.

Plusieurs solutions sont envisageables pour faire face à la dégradation généralisée des sols et à la baisse de leur fertilité (suppression des jachères due à la poussée démographique et à l'urbanisation rapide) qui restreignent de façon significative la productivité des terres. On peut citer la réintroduction de la jachère dans les cycles culturaux, la fertilisation minérale intense, l'enfouissement des résidus des récoltes, les engrais verts et la fumure organique. Mais on notera que l'enjeu lié à la défense et à la restauration de la fertilité des sols est riche d'implications économiques et sociales. Par conséquent, l'usage de la fumure organique semble être le mieux adapté car il répond à la fois aux options écologiques de préservation de l'environnement, au souci de valorisation des ressources locales disponibles et aux contraintes financières du paysan. L'utilisation du compost apparaît comme une solution permettant d'éviter les effets dépressifs de la matière organique peu évoluée et les problèmes des fumures minérales. C'est pourquoi cet élément a été retenu parmi les thèmes vulgarisés dans le cadre des projets collaboratifs de recherche-développement impliquant l'ISRA et certaines ONG locales. Ces projets initiés depuis 1992 à travers le projet NRBAR visent essentiellement à promouvoir l'auto-dévelopement du monde rural.

Rentabilité économique et impact socio-économique

Ndoye (1996) a choisi d'analyser les améliorations apportées par le projet collaboratif Winrock International-ISRA-CCF-NRBAR sur le bilan céréalier et les revenus des ménages, les changements sociaux induits et les contraintes liées à l'adoption des différentes technologies. L'approche adoptée est basée sur l'analyse budgétaire partielle (bénéfices et coûts additionnels des technologies) et la détermination de la rentabilité de chaque technologie pour le paysan (Taux Marginal de Rentabilité - TMR). L'objectif visé par ce travail est de disposer d'un outil d'aide à la prise de décisions aussi bien pour la recherche, les ONG, que pour les paysans.

Les villages de Baback et de Ndollor situés dans la région de Thiès, ont été couverts par l'étude. Les résultats révèlent un grand écart entre les rendements obtenus avec le compost plus les variétés améliorées de mil (1 936 kg en moyenne) et ceux obtenus dans les parcelles non compostées et cultivées avec les variétés locales (645 kg en moyenne). En définitive, le projet a permis aux ménages d'augmenter de 116 kg leur production de mil cultivé sur 900 m^2 grâce à la combinaison des variétés améliorées et du compost, ce qui correspond à un bénéfice additionnel de 23 650 F CFA. En plus de l'augmentation de la productivité des terres, le compost constitue un important moyen de garantir la propreté du domicile et d'assurer une meilleure salubrité. En effet, la fosse compostière de la maison permet de valoriser les résidus des cultures, le fumier et surtout certaines ordures ménagères.

L'utilisation du compost et des variétés améliorées a entraîné chez le paysan des coûts additionnels de 5 874 F CFA en intégrant les coûts d'opportunité. Ce montant est ramené à 1 072 F CFA si l'on ne considère que les dépenses réellement effectuées. Dans ces conditions, le gain net varie entre 17 775 et 22 577 F CFA. En d'autres termes, chaque unité monétaire investie pour faire du compost et pour utiliser des semences améliorées rapporte au ménage entre 4 et 22 unités monétaires en première année. Mais dans la mesure où le compost a des effets positifs qui s'étalent sur des années, comme l'ont confirmé les expériences de l'ISRA, la rentabilité de ces technologies ne peut être estimée réellement qu'en faisant le cumul des TMR annuels sur au moins quatre ans successifs. Dans un travail antérieur, Bène (1993) avait montré que chaque franc CFA investi pour utiliser du compost rapporte au paysan 2,47 F CFA.

Bien que l'utilisation des semences améliorées et du compost n'ait concerné que de petites superficies (0,5 et 0,09 ha respectivement), l'impact du projet sur la production céréalière des ménages est important : accroissement de 600 à 700 kg selon le type de ménage, soit 37 à 46%. Les différents types de ménage valorisent de la même manière les technologies vulgarisées puisque produisant en moyenne la même quantité avec le compost et/ou les variétés améliorées. On en déduit à nouveau que ces technologies sont très adaptées. Mais le taux de couverture des superficies par les technologies reste faible pour cette première année d'utilisation (17% en moyenne).

En poussant l'analyse, Ndoye a montré que l'utilisation simultanée de semences améliorées et de compost a permis à la plupart des ménages 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 suivant les types de ménage. La vente de semences de mil a permis aux ménages de réaliser des revenus supplémentaires de 13 250 F CFA.

Malgré les nombreux bénéfices engendrés par le projet, l'analyse fait apparaître un faible taux d'adoption du compost dans les deux villages. L'auteur explique ce phénomène essentiellement par le coût du ciment nécessaire à la confection des fosses. En effet, le ciment représente le poste le plus important des charges de construction de la fosse compostière, 62% soit 9 000 F CFA. La plupart des fosses compostières à Ndollor s'écroulent régulièrement faute d'être cimentées, d'où des pertes d'eau et d'éléments minéraux fertilisants. En revanche, les ménages de Baback ont bénéficié d'un crédit du PDEF (Projet de Développement de l'Enfant et de la Famille) à des conditions très avantageuses, ce qui a permis de cimenter l'ensemble des fosses du village. Ce système de crédit de proximité est géré par les paysans qui définissent eux-mêmes les modalités de remboursement. Par conséquent, il s'est avéré très adapté au contexte et mérite d'être développé pour faciliter l'accès des ménages aux fosses compostières cimentées.

Sur le plan économique toujours, il a été démontré que le compost fabriqué par le fermenteur Transpaille installé à l'abattoir de Thiès (production de 55 t par an) constitue un bon amendement organique. Néanmoins, sa compétitivité par rapport à l'amendement traditionnel reste faible compte tenu de son coût de production (42 F CFA par kg brut contre 15 F CFA pour la poudre d'arachide en 1994). Par ailleurs, une étude de marché dans la zone des cultures maraîchères a montré que ce compost ne pourrait être vendu à plus de 30 F CFA par kg brut. Pour valoriser ce produit, il est alors nécessaire d'envisager une commercialisation plus adaptée. C'est ainsi que Farinet (1994) propose le développement de la fabrication des plants en mottes accompagné d'une diversification des activités de la SERAS, spécialisée en productions animales. Les calculs effectués montrent qu'une marge nette de 8 F CFA peut être dégagée sur chaque plant en motte vendu. On pourrait envisager la transposition des résultats de Thiès à l'abattoir de Dakar dont la capacité permettra la production annuelle de 5 à 6 millions de plants.

Par ailleurs, Escure (1986) a évalué les possibilités de la culture de *Sesbania rostrata* à résorber le déficit céréalier dans les unités de production diola de Basse Casamance. Cette légumineuse autochtone à haut pouvoir fixateur d'azote, identifiée par des chercheurs du laboratoire de

microbiologie de l'ORSTOM à Dakar a fait l'objet d'expérimentation comme engrais vert sur la culture du riz. Les résultats en station ont été intéressants puisque la production de riz a été multipliée par deux. Dès lors, la question qui se posait était de savoir si le transfert de technologie envisagé pouvait s'appliquer en milieu paysan. Les systèmes agraires des paysans diola étaient en crise du fait principalement du manque de main d'œuvre et du faible niveau des revenus. Ces deux éléments, conséquences directes des politiques agricoles suivies, avaient induit un déficit céréalier structurel, accentué par la sécheresse. Dès lors, toute innovation dans ces systèmes en crise devait apporter des solutions à ces facteurs limitants sinon elle ne pourra que les renforcer.

La principale conclusion de ce travail est que l'utilisation de *Sesbania rostrata* comme engrais vert constitue une piste intéressante à condition de lever l'écueil technique que constitue l'enfouissement des tiges de *Sesbania* dans le sol. Néanmoins, la sous-utilisation des réserves fourragères (fanes d'arachide, prairies naturelles, etc.) rend prématurée l'introduction de cette culture comme plante fourragère. Par ailleurs, de profondes transformations sociales et l'acquisition de nombreux savoir-faire sont nécessaires. La diffusion de cette plante auprès des paysans suppose des moyens de production suffisants (culture attelée par exemple) capables d'accroître la productivité du travail.

TROIXIÈME PARTIE

Perspectives d'amélioration de la fertilité des sols
pour une agriculture durable

Chapitre 1

Les grands défis de l'agriculture

L'agriculture sénégalaise fait face à deux défis majeurs que sont la croissance démographique importante et la péjoration des conditions climatiques. Les effets conjugués de ces deux facteurs rendent plus que nécessaires de profondes mutations de l'agriculture si celle-ci doit assurer au pays une large couverture de ses besoins sans cesse croissants en nourriture et lui apporter les devises indispensables à son épanouissement économique et social.

La relance de l'agriculture se situe donc dans un contexte de raréfaction des ressources, d'augmentation de la demande en produits vivriers importés et de péjoration des conditions climatiques.

Le défi démographique

La population sénégalaise est estimée à près de 9 millions d'habitants avec un taux de croissance annuelle de 3 %. Si ce taux de croissance se maintient, la population du Sénégal atteindra 16 millions d'habitants en l'an 2016. Les jeunes de moins de 15 ans représentent 47% de la population et ceux de moins de 20 ans 56%. Cette population à majorité rurale a de plus en plus de mal à subvenir à ses besoins fondamentaux que constituent la nourriture, le logement et les soins de santé, pour cause de faiblesse ou d'absence de revenus. Une telle situation alimente l'exode vers les centres urbains au détriment des campagnes qui se trouvent vidées de leurs éléments les plus jeunes et les plus dynamiques. Le taux d'urbanisation est passé de 23% en 1960 à près de 40% en 1988. Cette dynamique d'urbanisation est renforcée par l'énorme disparité entre les villes et les campagnes. L'essentiel de l'infrastructure (hôpitaux, centres de formation, industries) est concentré dans la capitale. Le croît de la production agricole ne suit pas celui de la population, d'où un déficit croissant en produits vivriers. Le Sénégal importe chaque année près de 468 000 tonnes de céréales dont 357 000 de riz et 110 000 tonnes de blé.

Les zones qui ont enregistré les plus grandes performances agricoles dans le passé, comme le sud du bassin arachidier, connaissent aujourd'hui de fortes densités de populations qui se traduisent par une surexploitation des terres agricoles conduisant à un épuisement rapide avec comme corollaire des rendements en baisse constante. Cette dégradation des environnements de production est d'autant plus pénalisante que les possibilités de régénération naturelle par la pratique traditionnelle de la jachère sont aujourd'hui pratiquement inexistantes.

La paupérisation généralisée accroît la pression sur les ressources naturelles dont la rareté

ou l'insuffisance affecte en premier lieu les couches les plus démunies. Les 60 % de l'énergie consommée au Sénégal proviennent des ligneux.

L'élevage subit d'une part, les contrecoups de la surexploitation et de la dégradation des zones de parcours et d'autre part, de l'extension des cultures dans des zones traditionnellement occupées par le bétail. Les progrès de la médecine vétérinaire ont permis d'abaisser la mortalité du bétail mais ceci a accentué la pression sur des ressources de plus en rares et éloignées.

Le potentiel de terres cultivables est plus faible dans les régions à forte croissance démographique comme celles de Kaolack, de Fatick et de Thiès.

Face à un tel défi, on mesure l'ampleur des efforts à déployer pour nourrir toute la population sénégalaise.

Le défi climatique

Le Sénégal, depuis une vingtaine d'années, connaît une sécheresse se manifestant par une importante baisse des quantités de pluie sur l'ensemble du pays, de l'ordre de 40%. Toutes les ressources naturelles sont affectées par cette aridification du climat. On a assisté à une raréfaction de la biomasse végétale herbacée (raréfaction des pâturages en quantité et en qualité) et ligneuse (pénurie de combustible ligneux). Les ressources hydrauliques ont subi une diminution se traduisant dans les cas extrêmes par une sursalure des eaux et des terres dans les domaines fluvio-marins (dépérissement de la mangrove, ensablement et salinisation des cuvettes maraîchères des Niayes). Les ressources halieutiques ont connu une certaine perte de diversité spécifique et une diminution de la taille, en ce qui concerne les captures provenant des cours d'eau.

Les changements climatiques qui ont marqué les deux dernières décennies constituent une donnée avec laquelle il faudra désormais composer.

On ne dispose pas encore de suffisamment de données pour affirmer avec certitude qu'on assiste à un décalage ou à une modification du schéma de répartition des pluies caractérisé par un glissement du maximum vers le mois de Septembre.

Il ne sert à rien de polémiquer sur la nature temporaire ou permanente de ces changements. Si on veut assurer une production minimale garantie chaque année pour les cultures pluviales, il faudrait nécessairement intégrer le raccourcissement de la période biologique de croissance (qu'on peut grossièrement définir pour les conditions du Sénégal comme étant la période pendant laquelle les disponibilités en eau du sol permettent aux cultures d'accomplir leur cycle végétatif) dans les stratégies d'adaptation et de relance de notre agriculture, l'eau étant le premier facteur limitant des cultures pluviales au Sénégal.

L'ISRA a incontestablement bien anticipé ces problèmes puisque aujourd'hui une variété d'arachide d'huilerie de 85 jours, la Fleur 11, est disponible. Une autre variété précoce la CG8-35 de 85 jours est en phase terminale de test. **On peut regretter que ces efforts d'identification de matériel végétal adapté à la sécheresse ne soient pas menés conjointement avec la détermination des quantités optimales d'engrais organiques et minéraux.** Des efforts restent aussi à fournir dans le cadre des cultures céréalières comme le mil. Beaucoup d'espoir avait été placé dans les variétés de mil GAM de 70 jours au milieu des années 80, mais leur diffusion en milieu paysan reste cependant timide pour des raisons de qualités organoleptiques (faible taux en amidon) et de longueur des tiges, qu'il convient de mieux cerner pour en tenir compte dans les futurs programmes de sélection.

Ces changements climatiques commandent également qu'une attention soutenue soit portée sur les cultures de diversification et de substitution à haute valeur ajoutée comme la pastèque, le bissap qui ont connu une percée réelle ces dernières années et pour lesquelles les marchés interne et externe sont fortement demandeurs.

Chapitre 2

La relance de la production

Contexte

En raison de causes multiples dont les aléas climatiques, le Sénégal connaît une crise économique résultant notamment des médiocres performances de la production agricole. Pour les producteurs, cette situation se traduit par des revenus monétaires en baisse mais surtout par un bilan vivrier souvent déficitaire. Pour lever ces contraintes, l'Etat du Sénégal a élaboré et mis en place depuis 1979 une succession de politiques d'ajustement structurel. La modestie des résultats acquis découle en partie de la politique de désengagement de l'Etat. En effet, les faibles capacités de prise en charge des producteurs ne favorisent pas un accès facile aux intrants agricoles. L'agriculture minière, qui s'en est suivie, a contribué à aggraver les problèmes de dégradation des ressources naturelles en général et du sol en particulier. C'est dans ce contexte qu'il faut analyser la politique de relance de l'agriculture définie et mise en œuvre par l'Etat au cours de ces dernières années.

En mai 1994, le ministre de l'Economie, des Finances et du Plan a publié un « document de stratégie économique » faisant état de deux options stratégiques :

- stabiliser le cadre macro-économique (assainir les finances publiques, réussir la réforme de la politique monétaire et de crédit) ;
- améliorer le dispositif d'incitation à l'investissement et à l'exportation.

Objectifs

L'objectif général de cette relance de l'agriculture est l'augmentation de la production agricole. Pour atteindre ces objectifs stratégiques, des politiques sectorielles et sous-sectorielles ont été élaborées. Parmi ces politiques sectorielles, on retient notamment les politiques agricoles et hydrauliques qui doivent contribuer à cette relance de l'agriculture.

Les politiques agricoles

Les politiques agricoles, mises en œuvre de 1960 à 1984 par l'Etat Sénégalais, n'ont pas entièrement répondu aux attentes des autorités. Cela conduira à l'élaboration d'une Nouvelle Politique Agricole (NPA) qui, répondant à une logique d'ajustement interne, n'a pas non plus pu apporter les réponses adéquates pour assurer une plus forte croissance du secteur agricole et une amélioration de la productivité, même si elle a permis globalement de supprimer certains dysfonctionnements importants du marché, liés à une intervention massive et peu efficace de l'Etat. La Déclaration de Politique de Développement Agricole (DPDA), élaborée en 1994, a constitué un autre cadre pour de nouvelles orientations en vue de corriger les lacunes des politiques antérieures et de saisir les opportunités offertes par le changement de parité du F CFA en janvier 1994 et d'impulser une dynamique de croissance du secteur agricole. La DPDA définit les orientations de la politique de l'Etat. Elles ont été élaborées dans le contexte du processus d'ajustement de l'économie et doivent être analysées à travers le Programme d'Ajustement Sectoriel de l'Agriculture (PASA). Les objectifs du PASA sont, entre autres, une bonne gestion des ressources naturelles (sols, eaux, forêts) et une sécurisation foncière.

Les politiques hydrauliques

Les politiques hydrauliques instituées par l'Etat en 1981 visaient essentiellement la maîtrise de l'eau pour tous en quantité suffisante et l'autosuffisance alimentaire.

Stratégies

Maîtrise de l'eau

La maîtrise de l'eau occupe une place centrale pour relever le défi climatique. La voie la plus sûre pour rendre l'agriculture sénégalaise moins dépendante des aléas climatiques passe par la maîtrise de l'eau. Le Sénégal dispose d'importantes ressources en eaux de surface et souterraines. Les cours d'eau les plus importants sont le fleuve Sénégal et le fleuve Gambie.

Des stratégies ont été élaborées à diverses échelles :

- en milieu rural, la stratégie consistait à réaliser des ouvrages dans chaque chef-lieu d'Arrondissement ou de Communauté rurale en responsabilisant au maximum les ruraux par la création de nouvelles institutions (comités de gestion villageois, Fonds national de l'eau, etc.) ;
- en milieu urbain, la résorption du déficit en eau de la ville de Dakar par le doublement de la conduite du Lac Guiers était la priorité[3] ;
- en matière d'hydraulique agricole, la priorité a été accordée à la politique des grands barrages (Diama et Manantali) dont le financement était estimé à 180 milliards F CFA et à celle des grands projets « Canal du Cayor et remise en eau des Vallées fossiles ».

1. Les grands projets

Les politiques hydrauliques de l'Etat sénégalais ont suscité beaucoup d'intérêt auprès des populations rurales et urbaines. De grands projets et organisations avec des programmes ambitieux de développement ont été initiés à travers le pays et la sous-région. Les principaux sont les suivants :

- l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS);
- l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Gambie (OMVG) ;
- la Mission d'Etudes et d'Aménagement des Vallées fossiles (MEAVF) ;
- la Mission d'Etudes et Aménagement du Canal du Cayor (MEACC) ;
- le Programme de Développement de la Rive Gauche (PDRG).

(i) L'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS)

De tout temps, l'aménagement du bassin du fleuve Sénégal a été au centre des préoccupations des autorités sénégalaises et des états riverains comme la Guinée, le Mali et la Mauritanie. Cette organisation mise en place en 1972 a pour mission de contribuer à assurer l'autosuffisance alimentaire, de restaurer l'équilibre écologique et d'accélérer le développement économique à travers l'intensification de la coopération régionale. Les nombreux efforts déployés ont abouti à la réalisation de grands barrages anti-sel et de régulation (Diama en 1986 et Manantali en 1989). Malgré leur importance, beaucoup de choses n'ont pas été prises en compte par exemple la gestion de l'eau dans la vallée pour une meilleure utilisation. Les intérêts contradictoires, la différence des politiques foncières des trois pays et les lenteurs observées dans le processus de prise de décision ont énormément influé sur la bonne marche de l'organisation. Il faut signaler que malgré tout cela, l'OMVS offre des possibilités pour asseoir les bases d'une meilleure politique de Gestion des Ressources Naturelles (GRN).

[3] Ce projet a réellement démarré au moment de la finalisation de ce document.

(ii) L'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Gambie (OMVG)

Elle regroupe la Guinée, la Guinée Bissau, la Gambie et le Sénégal. Elle a pour objectifs :

- la mise en valeur intégrée des bassins-versants des fleuves Gambie, Kayanga-Geba, et Koliba-Corubal ;
- la réduction du déficit alimentaire et énergétique dans les pays concernés;
- l'amélioration du niveau de vie des populations rurales;
- la protection de l'environnement et l'amélioration de la santé publique;
- le développement de la coopération sous-régionale.

La réalisation de ces objectifs s'appuie sur un certain nombre d'infrastructures projetées parmi lesquelles les plus importantes sont :

- le barrage hydro-électrique de Sambangalou, avec une double vocation : la production d'énergie et l'irrigation de 100 000 hectares de terres en aval ;
- les barrages de Kouya et Madina Kouta sur le fleuve Gambie en République de Guinée ;
- les deux barrages sur le fleuve Koliba-Corubal ;
- le pont sur le fleuve reliant les deux tronçons de la route trans-gambienne ;
- le projet de Gestion des Ressources Naturelles.

Ce programme a fait l'objet de nombreuses études de pré-factibilité, de factibilité et de réalisation, mais à ce jour aucune réalisation physique, n'a été amorcée.

(iii) La Mission d'Etudes et d'Aménagement des Vallées Fossiles

Après la construction des barrages de Diama et de Manantali, le projet concernant la remise en eau de la Basse vallée du Ferlo devient la Mission d'Etudes et d'Aménagement des Vallées Fossiles en 1994. Il a pour objectif d'optimiser le quota d'eau du Sénégal dans le cadre de l'OMVS et de réduire les pertes en période de crue estimées à 9 milliards m^3 en année normale et au moins à 13 milliards m^3 en année humide. Ce programme permettra de revitaliser 3 000 km d'axes hydrauliques dont 1 200 km dans la vallée du Ferlo pour une mise en valeur de 36 000 ha intéressant une zone de 50.000 km^2 dans tout le Sénégal. Ce programme, actuellement gelé, présente des lacunes car les actions menées antérieurement poúr la remise en eau de la Basse Vallée du Ferlo de 1987-1994 n'ont jusqu'à présent pas été évaluées ce qui risque de constituer un handicap pour le futur.

(iv) La Mission d'Etudes et d'Aménagement du Canal du Cayor

La MEACC a démarré en 1984 pour faire face à une demande croissante en eau potable de la région de Dakar. De fait, son objectif final est d'assurer l'approvisionnement en eau de Dakar pour une trentaine d'années. D'éventuels problèmes comme l'aménagement du Canal dans les régions traversées, le risque des déséquilibres constatés en matière de répartition spatiale des ressources et des besoins en eau peuvent à la longue influer sur l'exécution du programme de la mission. Ce projet est actuellement suspendu.

(v) Le Programme de Développement de la Rive Gauche

Ce programme créé dans le cadre de la Cellule nationale de l'Après-Barrage constitue un outil de l'aménagement des terres relevant des autorités nationales de chaque Etat. Les principaux objectifs retenus sont :

- l'irrigation de 88 000 ha avec une intensité culturale de 160 % ;
- une culture de décrue avec une submersion de 15 jours ;
- le maintien de 63 000 ha de forêts et pâturages naturels.

2. Contraintes

L'aménagement du bassin du fleuve Sénégal ne se fait pas sans difficultés d'ordre à la fois technique, économique et social.

- Au plan technique, le retard dans la réhabilitation de l'endiguement sur la rive gauche a pendant longtemps empêché une bonne canalisation des eaux du fleuve et crée des inondations inopportunes dans le Delta. L'eau est rarement complètement maîtrisée dans les périmètres irrigués, surtout au niveau du drainage, souvent déficient. Les sols lourds et parfois salés du Delta, ont des aptitudes culturales très restreintes en dehors du riz.
- Au plan économique, la rentabilité de la riziculture irriguée qui constitue la plus importante forme de mise en valeur, est de plus en plus contestée au regard des coûts de production locaux et du prix du riz sur le marché mondial. A cela s'ajoute la libéralisation du commerce mondial qui permet aux opérateurs économiques sénégalais d'importer du riz asiatique qui concurrence fortement le riz produit localement. Pendant que le Sénégal importe chaque année près de 357 000 tonnes de riz, une bonne partie du riz produit localement en 1996 est restée invendue. L'état sénégalais a réagi par une taxation du riz importé permettant au riz local d'être concurrentiel. Mais on peut se demander si une telle mesure pourra durer.
- Au plan social, l'affectation des terres irrigables est l'objet d'enjeux sociaux souvent en opposition avec certaines dispositions de la loi sur le Domaine national. Les modes traditionnels de faire-valoir fondés sur les rapports de domination et de hiérarchie sociale sont encore vivaces dans certains villages du Fouta et ne mettent pas certains paysans à l'abri de la dépossession. La cohabitation entre paysannat traditionnel et agro-industrie est parfois ponctuée de conflits comme celui ayant opposé en 1996 industriels et producteurs, sur le prix de la tomate dont dépend l'importance des superficies emblavées.

La régénération des sols

La majorité des sols du Sénégal sont affectés par des dégradations dont les plus importantes sont l'acidification et la salinisation. Les 3/4 des sols du bassin arachidier sont acides à très acides. La salinité touche une bonne partie des sols situés en aval des plaines alluviales en Basse et Moyenne Casamance.

La carence la plus marquée des sols sénégalais est la carence en phosphore qui est quasi généralisée à l'ensemble du pays. L'Etat sénégalais a mis en place en 1997 une politique de relance de la production agricole marquée entre autres par un volet régénération des sols par le phosphatage de fond. Cette option présente l'avantage théorique de corriger la carence en phosphore tout en valorisant une des plus importantes ressources naturelles du Sénégal (les phosphates). La première année de mise en œuvre de ce volet n'a pas produit les résultats escomptés. A la suite du retard dans la mise en place du produit dans certaines localités, l'épandage n'a pas été fait et les sacs ont subit les intempéries durant la saison des pluies. A cela s'ajoutent des insuffisances dans l'information et la sensibilisation.

Chapitre 3

Perspectives, conclusions et recommandations

Perspectives

Une politique de fertilisation raisonnée combinant fumure minérale et organique a sa place dans le contexte de l'agriculture sénégalaise marquée par ses faibles performances, surtout au niveau des périmètres irrigués villageois. La culture irriguée offre la possibilité de mieux intégrer les animaux à l'exploitation, en ce qu'elle permet une production continue de fourrage pour satisfaire les besoins alimentaires des animaux dont les problèmes d'abreuvement ne se poseraient plus. En contrepartie, les animaux offrent une force de traction indispensable à certaines opérations culturales comme le labour. Un élevage par stabulation permet également de valoriser les déjections à travers la fabrication de fumier dont bénéficieront les cultures. Dans des situations où il est possible de fabriquer du compost en dehors des champs, les animaux pourraient être mis à profit dans les opérations de transport qui constituent souvent un goulot d'étranglement.

L'existence de rizeries dans la vallée du fleuve Sénégal donne la possibilité de disposer de balles de riz qui pourraient être valorisées par la fertilisation si elles n'étaient pas détournées en faveur des industries qui les utilisent comme source d'énergie. Il faudra cependant résoudre les problèmes liés au compostage aérobie de ces balles de riz qui produirait un effet phytotoxique lorsqu'elles ne sont pas suffisamment dégradées (Seck et Kilbertus, 1992).

Conclusions et recommandations

Une des grosses difficultés liées à l'étude de la fertilisation organique est que celle-ci est difficilement accessible à une expérimentation rigoureuse, tant elle est variée dans sa composition, ses modes et ses conditions d'application (Wouters, 1991).

Toutefois, si la recherche agricole a obtenu des acquis importants, tant au niveau de l'amélioration de la productivité qu'à celui du redressement et/ou la préservation des ressources en sol, la confrontation des conseils de fumure élaborés par la recherche avec les pratiques paysannes met en évidence de fortes distorsions. Compte tenu des contraintes technique et socio-économique, les plans de fumures recommandés ne sont que très partiellement appliqués par les producteurs. En ce qui concerne les fumures légères par exemple, le caractère aléatoire des conditions pluviométriques a augmenté les risques et les incertitudes associés à l'utilisation des engrais. Dans le cas des fumures fortes, on comprend aisément que les exigences financières et techniques plus importantes expliquent leur faible adoption par les paysans. A cet égard, pour caractériser l'agriculture sénégalaise, N'Diaye et Sagna (1989), évoquent une agriculture extensive « améliorée » où l'engrais minéral est considéré par les paysans comme un remède à tous les maux. C'est dans ce contexte qu'il y a lieu d'apprécier l'effet de la matière organique sur l'évolution de la fertilité des sols et, en corollaire, sur les rendements.

Des progrès certains allant dans le sens d'une meilleure connaissance du rôle de la matière organique dans la restauration ou le maintien de la fertilité des sols tropicaux ont été réalisés au cours des quatre dernières décennies. Le rôle central de la matière organique est particulièrement prouvé dans les conditions de culture à faible taux d'intrants. Son effet principal concerne l'amélioration des propriétés physiques et la fourniture d'une réserve d'éléments nutritifs, progressivement libérés par minéralisation.

La recherche agricole sénégalaise, en complément aux efforts qu'elle a déjà consentis dans l'acquisition des connaissances de base, devrait aujourd'hui explorer de nouvelles pistes rendant l'utilisation de la matière organique plus attrayante. L'adaptation des techniques de compostage accéléré qui ont fait leurs preuves aux Philippines permettrait une réduction sensible du temps de maturation du compost. Ce raccourcissement du temps de compostage est dû à l'incorporation dans la masse à composter d'une souche de champignon cellulolytique, *Trichoderma harzianum*, Rifaï qui accélère la décomposition de la matière à composter. Des essais sont actuellement en cours au centre ISRA de Djibélor, en Casamance.

La matière organique d'origine animale, autre que le fumier, a fait l'objet de très peu d'études, malgré l'intérêt évident que représente par exemple le lombricompost, qui est un compost à base de lombrics nourris avec des fragments humidifiés de carton ondulé. Le test d'introduction de lombrics provenant de Gembloux (Belgique) élevés dans une pièce à température ambiante avait été concluant en 1987 (Khouma, communication orale). Certaines techniques de restauration de la fertilité des sols utilisent des tranchées entre les lignes de culture dans lesquelles sont introduits des lombrics et quelques débris végétaux. L'amélioration des qualités du sol qui s'en est suivie a été spectaculaire sur une plantation de théiers en Inde, notamment.

Il faut également rappeler la nécessité de mettre en place une stratégie à l'échelle nationale de régénération du parc à *Acacia albida* qui constitue une source d'enrichissement naturelle des sols du Sénégal et que les pressions humaine et animale ont dangereusement entamé. Il en est de même pour la promotion de techniques agroforestières éprouvées avec la rationalisation des dispositifs arbre-culture.

La promotion des techniques de fabrication de matières organiques évoluées tel que le compost qui a l'avantage de pouvoir être fabriqué avec du matériel végétal tout-venant, y compris les déchets ménagers doit être favorisée. Les autorités des structures décentralisées devraient inclure le compostage des déchets ménagers dans leurs priorités, ce qui aurait le double avantage de régler en partie les problèmes d'élimination des déchets et de procurer aux paysans une source efficace de matière fertilisante et d'énergie. La résolution des problèmes de toxicité due à certains ions métalliques est un préalable à cela.

En plus des résidus de récolte, d'autres espèces sont utilisées pour la méthanisation, par exemple le cas des macrophytes marins qui représentent une importante biomasse algale s'échouant chaque année en certains endroits de la côte sénégalaise. Les travaux de Leclercq *et al.* (1985) ont démontré la faisabilité de cette technologie pour valoriser un tel substrat, généralement inutilisé et produire du gaz combustible et du compost à usage agronomique. D'autres espèces telle que *Euphorbia tirucalli* très répandue dans le pays et ne faisant actuellement l'objet d'aucune valorisation pourraient constituer un substrat de choix pour la fermentation méthanique (Sow *et al.*, 1994). Il faut signaler aussi que cette espèce, étant une plante à latex, produit après fermentation une quantité importante de biogaz mais l'utilisation de ces résidus à des fins agricoles reste à prouver. Des recherches plus approfondies doivent être menées dans ce sens.

L'inclusion dans la rotation de légumineuses à graines ou fourragères qui constituent une source d'azote « gratuite » est une autre perspective intéressante. Le succès d'une telle mesure passe par l'amélioration des conditions de fixation, soit par inoculation des semences, soit par inoculation du sol.

De plus, il conviendrait d'encourager une politique de fertilisation minérale à base de formules simples valorisant au mieux les ressources naturelles du pays (phosphates, calcaire, tourbe) qui peuvent subir des transformations simples (compactage, acidulation, mélange) et combinée aux techniques culturales améliorantes tel que le labour et tenant compte des risques encourus par les agriculteurs.

« La maîtrise de l'eau permet à l'agriculture de s'affranchir des incertitudes liées à une pluviométrie aléatoire, mais elle a aussi ses exigences car l'eau n'est pas gratuite et il faut pouvoir rentabiliser son usage par une meilleure productivité de la terre et du travail qui passe nécessairement par l'utilisation de variétés à haut potentiel de rendement, valorisant bien l'eau d'irrigation ».

La relance de l'agriculture sénégalaise par une augmentation soutenue de la production agricole impose des mesures institutionnelles favorisant les pratiques de bonification des terres et une politique de sensibilisation et d'éducation. Pour cela, il faut une réelle prise de conscience du fait que « la terre, nous ne l'avons pas héritée de nos ancêtres, mais nous l'avons empruntée à nos enfants ».

ANNEXES

Références bibliographiques

Liste des figures et tableaux

Liste des sigles

Références bibliographiques

Agriforce, 1991. Valorisation et épuration des déchets d'abattoir au Sénégal. Publication du Ministère Français de la Coopération et du Développement. Compte rendu final d'opération. 90 p.

Agromisa, 1979. Le compostage., ATOL ed.,16 p.

Albrecht A., 1987. Matière organique et propriétés des sols cultivés tropicaux. Effets des différents types de restitutions organiques. **In**: *Actes du séminaire sur les Arbres Fixateurs d'Azote (FIS). L'amélioration biologique de la fertilité du sol, Dakar 17-25 mars 1986, pp. 537-571.*

Allard J.L., Bertheau Y., Drevon J. J., Seze O, Ganry F., 1983. Ressources en résidus de récolte et potentialités pour le biogaz au Sénégal. *Agronomie Tropicale 38(3):213-221.*

Badiane Niane 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 (INPL), Nancy, 200 p.

Bène H., 1993. Intérêts de l'analyse économique dans le choix d'un type de fertilisation des sols à Baback. Mémoire de fin d'Etudes. Option Planification économique. ENEA. Winrock International. 56 p.

Bernhard-Reversat F., 1977. Observations sur la minéralisation in situ de l'azote du sol en savane sahélienne (Sénégal). *Cahiers de l'ORSTOM, Série Biologie : Ecologie et Biologie Végétale Vol. XII (4):301-306.*

Bernhard-Reversat F., 1980. Note sur l'influence du régime thermique et hydrique sur l'ammonification et la nitrification dans un sol de savane sahélienne. *Cahiers de l'ORSTOM, Série Pédologie, vol XVIII (2):147-152.*

Bernhard-Reversat F., 1981. Décomposition et incorporation à la matière organique du sol de la litière d'*Eucalyptus camaldulensis* et de quelques autres essences. Rapport ORSTOM, 15 p.

Bernhard-Reversat F., 1981. Rôle des fractions légères et organo-minérales de la matière organique du sol sur la minéralisation de l'azote dans un sol de savane sahélienne. *Zentraltlatt für Bakteriologie 136(4):281-290.*

Bernhard-Reversat F., 1982. 1-Décomposition et incorporation à la matière organique du sol de la litière d'*Eucalyptus camaldulensis* et de quelques autres essences. 2-Evolution des substances solubles de la litière dans le sol. 3-Fractionnement granulométrique de la matière organique du sol superficiel. Rapport de l'ORSTOM, 32 p.

Bernhard-Reversat F., 1987. Incorporation de la litière à la matière organique du sol dans des peuplements forestiers naturels et plantés. *Pedobiologia 30(6):401-417.*

Bernhard-Reversat F., 1988. Soil nitrogen mineralization under a Eucalyptus plantation and a natural Acacia forest in Senegal. *Forest Ecology and Management 23:233-244.*

Bèye G., 1977. Dégradation des sols au Sénégal, situation actuelle et perspective. ISRA-CNRA de Bambey, Doc. Ronéo. 21 p.

de Blic P., 1996. Les structures du système sol-plante. Description et mesure. 3ème Réunion du groupe thématique « Structure et Fertilité des sols tropicaux ». Montpellier, ORSTOM 1996, pp. 39-45.

Blondel, D., 1971. Rôle de la matière organique libre dans la minéralisation en sol sableux en relation avec l'alimentation azotée du mil. *Agronomie Tropicale 26(12):1372-1376.*

Bouffil F., 1950. Réflexions sur les terres d'Afrique soudanienne dites épuisées. Les possibilités de les améliorer. Rôle primordial de l'humus. *Bulletin Agronomique, Annales du C.R.A de Bambey au Sénégal, 6:41-45.*

Bouyer S., 1962. Fertilité et fertilisation des sols en Afrique Occidentale. Aspects méthodologiques. Exemples concrets. Document présenté à la réunion FAO sur la fertilité des sols et l'utilisation des engrais en Afrique Occidentale - Ibadan, Nigeria, 26 nov. - 1 déc. 1962, 12 p.

Burgos-Léon W., Ganry F., Nicou R., Chopart J.L., Dommergues Y., 1992. Un cas de fatigue des sols induite par la culture du sorgho, *Agronomie tropicale 35(4):319-334.*

Charreau C., 1978. Some controverstal technical aspects of farming systems in semi-arid West Africa. ICRISAT, pp. 314-360.

Charreau C., 1975. Matière organique et propriétés biochimiques du sol de la zone tropicale sèche d'Afrique Occidentale. *Bulletin pédologique de la FAO n°27, pp. 305-326.*

Camara et Diarra, 1987. Evaluation de la valeur agronomique de *Sesbania rostrata* comme source d'azote en riziculture irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal. *Séminaire sur les arbres fixateurs d'azote. L'amélioration de la fertilité biologique du sol, Dakar 17-27 mars 1986, pp. 343-355.*

Charreau C. et Nicou R., 1971. L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest africaine et ses incidences agronomiques (d'après les travaux des chercheurs de l'IRAT en Afrique de l'Ouest). *Agronomie Tropicale 2 pp. 209-255 et 5 pp.565-631.*

Charreau C. et Tourte R., 1967. Le rôle des facteurs biologiques dans l'amélioration du profil cultural dans les systèmes d'agriculture traditionnels de zone tropicale sèche. **In :** *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive (Madagacar) - 19-25 novembre 1967. Tome 2 pp.1498-1517.*

Cissé L., 1983. Etudes pour la réhabilitation des Niayes après exploitation des tourbières: essais d'orientation : rapport d'avancement. ISRA-CNRA Bambey, Doc. Ronéo. 7 p.

Cissé, L., 1986. Etude des effets d'apports de matière organique sur les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du Centre-Nord du Sénégal. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Institut National polytechnique de Lorraine, Nancy, 184 p.

CONSERE, 1995. Processus d'élaboration du plan national pour l'environnement. Conseil supérieur des ressources naturelles et de l'environnement, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature du Sénégal. 170 p.

Cousin J.F., Sall M., Faye A., Havard M., 1988. Rapport de mission d'évaluation de l'opération "production continue de biogaz pour la petite motorisation rurale" ISRA/IRAT - 1983-1987. Document MDR/ISRA -DRSAEA, 10 p.

Dancette C., 1968. Note sur les avantages d'une utilisation rationnelle de l'*Acacia albida* (Faidherbia, Kad, Sas) au Sénégal. Rapport du CNRA de Bambey, 6 p.

Dancette C., Sarr P.L., 1985. Dégradation et régénération des sols dans les régions centre-nord du Sénégal (Cap-Vert, Thiès, Diourbel, Louga). ISRA - Département de Recherches sur les Systèmes de Production et le Transfert de Technologies en Milieu Rural. ISRA Dakar, 26 p.

Delbosc G., 1968. Etudes sur la régénération de la fertilité du sol dans la zone arachidière du Sénégal. *Oléagineux, 23ème année, n°1 Janvier 1968, pp. 27-33.*

Diack M., 1996. Relationships between soil biological and chemical characteristics and surface soil structural properties for use in soil quality. PhD Thesis, Perdue University.

Diatta S., 1980. Etude de l'évolution sous culture des sols de plateau en Casamance continentale. Bilan de 6 années d'étude. ISRA-CNRA Bambey, Sénégal, 13 p.

DIREL, 1994. Note sur le sous-secteur de l'élevage. Direction de l'Elevage. Ministère de l'Agriculture, avril 1994.

Dommergues Y., 1960. La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. *Agronomie Tropicale 15(1):54-60*

Dommergues Y., 1976. Rapport sur la mission effectuée de décembre 1975 à janvier 1976 au Centre National de la Recherche Agronomique (ISRA) de Bambey (Sénégal). Doc. Ronéo

Dommergues Y., 1967. Nouvelles possibilités d'étude et d'amélioration de la fertilité des sols tropicaux offertes par les techniques microbiologiques. *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive (Madagascar)*, supplément aux numéros 2 et 5 de l'*Agronomie Tropicale, pp. 1627-1635* .

Dommergues Y., 1960. Minéralisation de l'azote aux faibles humidités. **In:** *7th International Congress of Soil Science, Madison, Wisc., USA, III, n°30, 672-678.*

Dommergues, Y., 1956. Etude de la biologie des sols de forêts tropicales sèches et de leur évolution après défrichement. **In:** *Sixième congrès international de Science du sol, Paris, France, 1956, Paris, Association de Science du sol 5(98):605-610.*

Dupuy N., 1996. Gestion et transformations de la matière organique au Sénégal. Référentiel bibliographique des travaux de recherche et de développement agricole de 1948 à nos jours. Document ISRA-NRBAR, 232 p.

Egoumenides C., 1988. Fractions de l'azote obtenues par hydrolyse acide des sols dans HCl 6N et réserves azotées. **In:** GEMOS, Thème : Evaluation des réserves en azote des sols utilisables par les plantes dans les agrosystèmes tempérés et tropicaux. Document présenté au cours de la 8ème réunion du GEMOS à Montpellier 6-7 mai 1987. IRAT/CIRAD.

Egoumenides C., Risterucci A., Melebou K.E., 1987. Appréciation de la fertilité azotée des sols tropicaux : étude des fractions organiques de l'azote. *Agronomie Tropicale 42(2):85-93.*

Escure C., 1986. Etude agro-économique de l'utilisation de *Sesbania* en engrais vert dans les systèmes agraires des paysans de Basse Casamance. ORSTOM, Département F., 62 p. + annexes.

FAO, 1988. Politiques de prix et d'intervention sur les marchés agricoles en Afrique. Etude, 71 p.

Farinet J.L., 1994. La commercialisation du compost sous forme de plants en motte. *Agriculture et Développement 1:49-51.*

Farinet J.L., Bocquien C.Y., 1984. Production continue de Biogaz pour la petite motorisation rurale. III. Résultats de saison chaude. Programme EMIRAT. DRSAEA/ISRA, IRAT/AFME, 21 p.

Farinet J.L., Bocquien C.Y., Sarr P. L., 1985. Production continue de Biogaz pour la petite motorisation rurale. IV. Résultats de la campagne de saison des pluies. DRSAEA/ISRA, IRAT/AFME, 34 p.

Farinet J.L., Sarr P.L., 1984. Production continue de Biogaz pour la petite motorisation rurale. II. Présentation - Données de fonctionnement - premiers résultats obtenus en saison sèche. Programme EMIRAT. DRSAEA/ISRA, IRAT/AFME, 64 p.

Farinet, J.L., 1983. Fermentation méthanique des résidus agricoles. L'unité centrale expérimentation du CNRA de Bambey. Présentation - Résultats actuels. *Collection Etudes Technique du CNRA , n°79, 6 p.*

Farinet, J.L., 1985. Projet de démonstration Transpaille dans la zone des Niayes. Situation et perspectives de réorientation. Rapport de mission au Sénégal. DRSAE/ISRA. IRAT-CIRAD/ AFME., 15 p.

Fauck R., Moureaux C., Thomann C., 1969. Bilan de l'évolution des sols de Séfa (Casamance, Sénégal) après quinze années de culture continue. *Agronomie Tropicale 24(3):263-301.*

Feller C., 1977. Evolution des sols de défriche dans la région des Terres Neuves (Sénégal Oriental). 2ème partie : Aspects biologiques et caractéristiques de la matière organique. *Cahiers ORSTOM, série pédologie, vol. 15(3):291-302.*

Feller C., 1979. Une méthode de fractionnement granulométrique de la matière organique des sols. Application aux sols tropicaux à textures grossières, très pauvres en humus. *Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie 17(4):339-346.*

Feller C., Bernahrd-Reversat F., Garcia J.L., Pantier J.J., Roussos S., Van Vliet-Lanoe B., 1983. Etude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical : effet d'un amendement organique (compost). *Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie 20(3):223-238.*

Feller C., Cheval M., Ganry F., 1981. Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. I. Influence d'une fertilisation azotée (urée) et d'un amendement organique (compost) sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux. *Agronomie Tropicale 26:9-17.*

Feller C., Ganry F, 1982. Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agrosystème tropical. III. Effet du compostage et de l'enfouissement des divers résidus de récolte sur la répartition de la matière organique dans différents compartiments d'un sol sableux. *Agronomie Tropicale 37:262-269.*

Feller C., Milleville P., 1977. Evolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal Oriental). 1ère partie : Présentation de l'étude et évolution des principales caractéristiques morphologiques et physico-chimiques. *Cahiers de l'ORSTOM, série Biologie 12(3):199-211.*

Feller C., 1977. Evolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal Oriental). 2ème partie : Aspects biologiques et caractéristiques de la matière organique. *Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie 15(3):291-302.*

Fernandez-Rivera S., Willams T.O., Hiernaux P., Powell J.M., 1995. Les matières fécales des ruminants et le fumier dans la production agricole dans la zone semi-aride de l'Afrique de l'Ouest. **In** : *Livestock and Sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-saharan Africa (ed. ILCA), vol. II, pp. 149-159.*

Fernandez R.S., William J.O., Hiernaux P. and Powel J.M., 1995. Fecal excretion by ruminants and manure availability for crop production in semi-arid West Africa. **In** *: Livestock and Sustainable nutrient Cycling and Mixed Farming Systems of Subsaharan Africa. Volume II. Technical, papers. Proceeding of an International Conference held in Adis-Ababa, Ethiopia, 22-26 November 1993, ILCA (International Livestock Centre for Africa), Adis-Ababa, Ethiopia, 568 p.*

François C., 1988. L'agent N^{15} passera-t-il à travers les mailles du tamis, ou de l'application du fractionnement granulométrique de la matière organique à l'étude du cycle de l'azote organique dans le sol. **In:** GEMOS, Groupe d'Etude de la Matière Organique des Sols. Thème : Evaluation des ressources en azote des sols utilisables par les plantes dans les agrosystèmes tempérés et tropicaux, pp. 11-15.

Ganry F., 1974. Première contribution à l'étude de la dynamique de l'azote en sol gris de Casamance. ISRA-CNRA de Bambey. Doc. Ronéo. 12 p.

Ganry F., 1974. Utilisation des engrais marqués dans la fertilisation des légumineuses, recherche d'une meilleure efficacité de l'engrais et d'une meilleure efficience de la fixation. *Agronomie Tropicale 29:833-836.*

Ganry F., 1977. Etude en microlysimètres de la décomposition de plusieurs types de résidus de récolte dans un sol tropical sableux. *Agronomie Tropicale 32(1):51-65.*

Ganry F., Guiraud G., Dommergues Y., 1978. Effect of straw incorporation on the yield and nitrogen balance in the sandy soil pearl millet cropping system of Senegal. *Plant and Soil 50(3):647-652.*

Ganry F., Guiraud G., 1979. Mode d'application du fumier et bilan azoté dans un système mil-sol sableux du Sénégal. Etude au moyen de l'azote 15. **In** : *Isotopes and radiation in research on soil-plant relationships.* Compte rendu du Colloque de Colombo, IAEA, Vienne, Autriche.

Ganry F., 1980. The importance of cultural methods to increase the quantity of nitrogen fixed by a groundnut crop in the Sudano-Sahelian zone of Senegal. In Organic recycling in Africa, colloquium, FAO-SIDA, BUEA, Caleroon, *Soils bulletin, n°43 pp. 168-175.*

Ganry, F., 1984. Importance des enfouissements de matière organique dans l'amélioration des systèmes culturaux au Sénégal. Cours National de formation : Aménagement des sols et recyclage organique. F.A.O., Yaoundé, 40 p.

Ganry F., 1985. Programme de valorisation agricole des ressources naturelles. Service biochimie des sols SR/Sol N. Synthèse des résultats 1984. Doc ronéo. CNRA Bambey, 22 p.

Ganry F., 1990. Application de la méthode isotopique à l'étude des bilans azotés en zone tropicale sèche. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles. Université de Nancy I. 355 p.

Ganry F., Badiane Niane A., Sarr P.L., 1989. Rapport annuel 1988. Programme valorisation agricole des ressources naturelles. Valorisation de la fixation biologique de l'azote. Economie d'engrais azotés et recyclage organique. ISRA-CNRA Bambey, 22 p.

Garin J., Faye A., Lericollais A., Sossokho M., 1990. Evolution du rôle du bétail dans la gestion de la fertilité des terroirs sereer du Sénégal. *Les cahiers de la Recherche Développement n°26, juin 1990, pp. 65-84.*

Ganry F., Guèye F., 1991. Fiches techniques d'étude et de préparation des composts et composts-fumier en zone soudano-sahelienne. IRAT/CIRAD-ISRA. Doc ronéo, 12 p.

Gastellu J.M., 1981. L'égalitarisme économique des sereer du Sénégal. Paris ORSTOM, 808 p. *Travaux et Documents, n° 128.*

Guiraud G., Ganry F., LLimous G., 1980 a. Etude au moyen de ^{15}N de l'influence de l'enfouissement répété de compost de paille de mil sur la disponibilité de l'azote d'un sol sableux tropical. *Agronomie Tropicale 35(3):215 -219*

Guiraud G., Ganry F., LLimous G., 1980 b. Action de différents résidus de récolte en sol sableux tropical. Estimation au ^{15}N. *Agronomie Tropicale 35(3):220-224.*

Habas B., 1965. Le *Stizolobium* comme espèce améliorante de la jachère. *African Soils 10(2-3):391-394.*

Hamon R., 1972. L'habitat des animaux et la production d'un fumier de qualité en zone tropicale sèche (bilan de tois années d'études). *Agronomie Tropicale 27(5):592-607.*

Hamon R., 1968. Modalités pratiques de fabrication du fumier. Rendements obtenus. Applications possibles en milieu rural sénégalais. Compte rendu du Colloque sur la fertilité des sols tropicaux, Tananarive (Madagascar), 19-25 novembre 1967, Tome II, 13 p..

Hubert J., 1970. Les bases pédologiques de la fumure azotée : leçon donnée à la Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux le 24 avril 1970 . Doc. ronéo 18 p.

Im J., 1978. La décomposition de la matière organique sur la croissance et le développement des cultures. In : Organic material and soil productivity in the Near East. *FAO Soil Bulletin n° 45, p. 107.*

Ingram J.A., Swift M.J., 1990. Sustainability of cereal-legume intercrops in relation to management of soil organic matter and nutrient cycling. University of Zimbabwe, Harare (Zimbabwe). *Proceedings of the workshop on Research Methods for Cereal/Legume Intercropping in Eastern and Southern Africa, Lilongue (Malawi) pp. 200-214.*

ISRA, 1998. Plan Stratégique de l'ISRA (1998-2003), synthèse des activités scientifiques et chiffrage. Document de travail, 83 p. et annexes.

Jeangille J., 1994. Le compost - Guide pratique - Coopération régionale pour le développement des productions maraîchères en Afrique de l'Ouest. Fiche technique FAO : projet GCP/RAF/244 BEL - 5 p.

Jocteur-Monrozier L., Andreux F., 1982. L'azote organique des sols, exemples de quantification des formes protéiques et les combinaisons complexes. *Bulletin AFES 3:219-242.*

Kassé M., 1990. Crise économique et ajustement structurel au Sénégal. *Editions Nouvelles du Sud, pp. 43-44.*

Lavigne Delville P., 1996. Gérer la fertilité des terres dans les pays du Sahel. GRET Ministère de la Coopération CTA, collection « le point sur » 397 p.

Leclercq S., Tine E., De Sainte Claire E., 1985. Fermentations méthaniques de macrophytes marins. CRODT, Document Scientifique, n°102, 29 p.

Lericollais A., 1995. Les paysans sereer (Sénégal). Permanences et changements. Document ORSTOM, Montpellier, numéro 4.

Lericollais A., 1972. Sob : étude géographique d'un terroir sereer. Paris-La Haye : Mouton, Atlas des structures agraires au sud du Sahara n° 7, 110 p.

Mallouhi N., 1987. Influence des amendements calcaire et organique sur le rendement de l'arachide en sol acide dégradé au Sénégal. Tropicultura 4:147-152.

Mallouhi N., 1991. Etude de l'arrière-effet de l'enfouissement de différentes substances organiques en vue de l'amélioration des sols ferrugineux dégradés. *Tropicultura 9(1):14-18.*

Mallouhi N., 1989. Etude de la dynamique de la matière organique (M.O.) dans les sols affectés par la salinité. *Tropicultura 7(3):90-97.*

Mary B., Guérif J., 1994. Intérêts et limites des modèles de prévision de l'évolution des matières organiques et de l'azote dans le sol. *Cahiers de l'Agriculture 3(4):211-214.*

Mbodj M., 1978. Etude de l'influence de la fumure organique (fumier) sur la production fourragère du *Pennisetum pedicellatum*. Rapport, 6 p.

Mémento de l'Agronome, 1993. Collections « Techniques rurales en Afrique ». Quatrième édition. *Ed. Ministère de la Coopération française.*

Ministère de l'Hydraulique, 1994. Bilan-diagnostic des ressources en eau du Sénégal. SGPRE/PNUD, septembre 1994.

Ministère de l'Agriculture, 1994. Campagne agricole, 1994. Direction de l'Agriculture.

Ministère de l'Agriculture, 1994. Déclaration de Politique de Développement Agricole (DPDA) du Sénégal, juin 1994, p. 5.

Moureaux C., 1967. Influence de la température et de l'humidité sur les activités biologiques de quelques sols Ouest-africains. *Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie 5(4):393-418.*

N'Diaye J. P., Sagna I., 1989. La fertilisation des cultures au Sénégal : Bilan-diagnostic et perspectives. Ministère du développement rural, République du Sénégal. Doc ronéo, 93 p.

Ndoye A.F., 1996. Evaluation des impacts socio-économiques du projet collaboratif Winrock International/ISRA/CCF/NRBAR sur les ménages ruraux. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome. Département Economie Rurale. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ENSA) de Thiès. 98 p. + annexes.

Nicou R., 1975. Caractéristiques principales des sols sableux et sablo-argileux du Sénégal. Problème agronomique de leur mise en valeur. Communication présentée à la 3ème réunion du sous-comité Ouest - Africain de corrélation des sols pour l'évolution et l'aménagement des ressources en sols. Dakar 20 Février-2 Mars 1975. 22 p.

Nicou R., 1976. Amélioration de la fertilité des sols des régions nord et centre-nord. ISRA-CNRA Bambey. Doc. ronéo. 10 p.

Nye P.H., Greenland D.J., 1960. The soil under shifting cultivation. Technical Communication 51. Harpenden, U.K. : Commonwealth Bureau of Soils, 144 p.

Pélissier P., 1966. Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. Saint-Yrieix, imprimerie Fabrègue, 940 p.

Pichot J., 1975. Fumure azotée des cultures vivrières tropicales et rôle de la matière organique dans la fertilité des sols. In : Les recherches en agronomie à l'IRAT de 1969 à 1974. *Agronomie Tropicale pp. 163-175.*

Piéri C., 1986. Fertilisation des cultures vivrières et fertilité des sols en agriculture paysanne sub-saharienne. L'expérience de l'IRAT. Doc ronéo. 57 p.

Piéri C., 1989. Bilan organique des terres cultivées dans les savanes au sud du Sahara. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, pp. 47-112.

Piéri C., 1976. L'acidification des terres de cultures exondées au Sénégal. *Agronomie Tropicale 4:340-368.*

Piéri C., 1989. Fertilité des savanes. Bilan de trente ans de recherches et de développement agricole au Sud du Sahara. Ministère de la coopération et CIRAD-IRAT. Paris, Documentation Française, 444 p.

Powell M., Ikpe F., 1992. Fertiliser factories. *ILEIA Newsletter, 8:13-14.*

Rabezandrina R., 1986. Biométhanisation et recyclage de la matière organique en agriculture. **In** : *Les abres fixateurs d'azote. L'amélioration biologique de la fertilité des sols. Colloques et séminaires (ed. ORSTOM) Actes de séminaire, pp. 464-472.*

Recous S., 1988. Aspects méthodologiques du fractionnement ^{15}N minéral et ^{15}N organique. **In** : GEMOS. Thème : Evaluation des réserves en azote des sols utilisables par les plantes dans les agrosystèmes tempérés et tropicaux. Communication présentée à la 8ème réunion du GEMOS. IRAT/CIRAD, pp. 97-105.

Reynaud P.A., Franche C., 1985. *Azolla pinnata* var. *africana* : de la biologie moléculaire aux applications agronomiques. Plaquette de l'ORSTOM. 15 pages.

Rinaudo G., Alazard D., Mondiongui A., 1987. Stem nodulating legumes as green manure for rice in West africa. *Proceedings of a symposium on sustainable agriculture. The International Rice Research Institue. The commission on the application of Science to agriculture, Forestry and Aquaculture. The role of green manure crops in rice farming systems, 27-29 Mai, 1987, pp. 97-109.*

Rinaudo G., Dreyfus B., Dommergues Y., 1983. Engrais vert *Sesbania rostrata* et teneur en azote du riz et du sol. *Soil Biology and Biochemistry 15(1):111-113.*

Rusch E., Sarr P.L., 1986. Production continue de Biogaz pour la petite motorisation rurale. V. Résultats de la campagne de saison des pluies. DRSAEA/ISRA. IRAT/AFME., 57 p.

SAED, 1994. Situation des aménagements dans la vallée du fleuve Sénégal.

Sakho, A.L., 1988. L'option agricole prioritaire. **In** : Crise économique au Sénégal et perspective de développement dans le cadre de l'Après-Barrages. Mémoire de DEA.

Sall P.N., 1993. Les parcs agroforestiers au Sénégal. Etat des connaissances et perspectives. Doc. Ronéo pp. 18-22.

Sanders J.H., Southgate D.D., Lee E.G., 1995. The economics of soil degradation : technological changes and policy alternatives. *SMSS Technical monograph n° 22, p.11.*

Sarr P.L., Ganry F., 1985. L'utilisation des composts CIDR. Etude de l'effet direct sur culture maraîchère (tomate var. rossol) et de l'arrière effet sur culture pluviale (mil var. souna III). *Agronomie Tropicale 40(1):21-25.*

Scholes R.J., Dalal R., Singer S., 1994. Soils physics and fertility : The effects of water, temperature and texture. **In** : *Woomer and Swift editors « The biological management of tropical soil fertility » : 117-135.*

Seck M.A., Kilbertus G., 1992. Essais de valorisation agronomique par compostage aérobie d'une biomasse locale : les balles de riz. Communication présentée à la Septième Conférence Européenne sur la biomasse pour l'Energie, l'Industrie, l'Agriculture et l'Environnement. Florence, 5-9 Octobre 1992.

Seck M.A., 1987. Le compostage des coques d'arachide : une technique permettant d'améliorer la qualité des sols sahéliens. Thèse de Doctorat de troisième cycle en biologie et physiologie végétale, Université de Nancy I, 139 p.

Sène M., 1995. Influence de l'état hydrique et du comportement mécanique sur l'implantation de l'arachide. Thèse de doctorat. ENSA Montpellier, 174p.

Sène M., Diatta M., 1990. La place de l'arbre et le rôle des techniques culturales dans l'aménagement du terroir au sud-est du Bassin arachidier du Sénégal. Doc. Ronéo. ISRA/SCS Recherche d'appui Sine-Saloum, 12 p.

Siband P., 1972. Etude de l'évolution des sols sous culture traditionnelle en Haute Casamance, principaux résultats. *Agronomie Tropicale 27(5):574-591.*

Siband P., 1974. Evolution des caractères et de la fertilité d'un sol rouge de Casamance. *Agronomie Tropicale 29(12):1228-1248.*

Siband P., 1976. Quelques réflexions sur les potentialités et les problèmes des sols gris de Casamance (Sénégal méridional). *Agronomie Tropicale 31(2):105-111.*

Sow D., Depeyre D., Isambert A., 1994. Fermentation méthanique de *Euphorbia tirucalli*, une biomasse abondante et renouvelable des zones sahéliennes et arides. *Entropie, n°186, pp. 33-37.*

Stewart B.A., Porter L.K., Johnson D.D., 1963. Immobilisation and mineralization of nitrogen in several organic fraction of soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27:302-304.*

Swift M.J., 1984. Soil biological processes and tropical soil fertility : a proposal for a collaborative programme of research. *Biology International, Special Issue 5, 38 p.*

Swift M.J., 1985. Tropical soil biology and fertility (TSBF) : inter-regional research planning workshop. *Biology International, Special Issue 9, 24 p.*

Swift M.J., 1987. Tropical soil biology and fertility (TSBF): inter-regional research planning workshop. *Biology International Special Issue 13, 68 p.*

Tanner J.C. , Holden J.J., Vinngroho M., Owen E., Gill M., 1995. Feeding livestock for compost production. A strategy for sustainable upland agriculture on Java. **In** : *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming system of Sub saharan Africa, (ed. ILCA), vol II pp. 115-128.*

Tourte R. *et al.*, 1971. Thèmes légers, thème lourds, systèmes intensifs. Voies différentes ouvertes au développement agricole du Sénégal. *Agronomie tropicale : 632-669.*

Tourte R., 1966. Premières réflexions sur les liaisons recherche agronomique-aménagement du territoire. CRA de Bambey, Doc. Ronéo. 15 p.

Tourte R., 1963. Réflexion sur l'assolement, l'exemple de la zone arachide-mil du Sénégal. *Agronomie Tropicale, extrait 2:167-184.*

USAID, 1990. Analyse pour la gestion des ressources naturelles du Sénégal. Development Economics Group/Louis Berger /IAD.

Van Soest P., 1995. Nutrional ecology of the ruminant. *Cornell University Press. Ithaca and London.*

Van Soest P., 1995. Nutrional ecology of the ruminant. Second Edition. *Cornell University Press. Ithaca and London.*

Woomer P.L., Ingram J.S.I., 1990. The biology and fertility of tropical soils. Report to the Tropical Soil Biology and fertility programme (TSBF). Nairobi, TSBF c/o UNESCO, 44 p.

Woomer P.L.,Swift M.J., 1994. The biological management of tropical soil fertility. *Woomer and Switf editors. Wiley John & Sons Publisher, 243 p.*

Wouters J., 1991. Gestion de la matière organique dans les sols tropicaux. *Tropicultura 9(2): 81-85.*

Yamoah C.F., Kang BT., Mulongoy K., 1986a. Decomposition, nitrogen release and weed control by prunings of selected alley cropping shrubs. *Agroforestry systems 4:239-246.*

Young A., 1995. L'agroforesterie pour la conservation du sol. Centre technique de coopération agricole et rurale ACP-UE, Wageningen. 194 p.

Liste des tableaux et figures

Tableau 1. Principales caractéristiques des zones agroécologiques

Figure 1. Limite des zones agro-écologiques du Sénégal

Tableau 2. Les caractéristiques géologiques et morpho-pédologiques des principales zones agro-écologiques du Sénégal

Figure 2. Situation de la pluviométrie durant la période sèche

Tableau 3. Principales contraintes à l'utilisation des terres des régions agricoles du Sénégal

Figure 3. Situation de la pluviométrie durant la période humide

Tableau 4. Ressources en eau souterraines : potentialités et niveau d'utilisation

Figure 4. Carte pédologique du Sénégal

Tableau 5. Incidences de la transhumance sur la valorisation de la fumure animale : cas de quelques villages en pays Sereer

Figure 5. Techniques utilisées pour le compostage aérobie CIDR

Tableau 6. Production, utilisation et disponibilité des résidus pailleux dans les systèmes culturaux du Bassin Arachidier (B.A.) et de la Casamance

Figure 6. La décomposition de la matière organique et ses effets sur la croissance et le développement des culture

Tableau 7. Restitution d'une tonne de fumier

Figure 7. Structures du système sol-plante

Tableau 8. Evolution de la teneur en carbone (‰) de l'horizon 0-20 cm après 15 années de culture

Tableau 9. Effet de la durée de la mise en culture d'un sol rouge de la Moyenne Casamance sur l'évolution de ses caractéristiques physico-chimiques

Tableau 10. Variation des stocks minéraux du sol en N total, P_2O_5 assimilable, K et Ca échangeables, après 17 années de culture au Sénégal en rotation quadriennale

Tableau 11. Bilan azoté d'un système de culture mil-arachide en conditions semi-arides (Bambey - Sénégal)

Tableau 12. Mise en culture et évolution des propriétés physique de deux sols représentatifs en moyenne Casamance

Tableau 13. Effet de la mise en culture des sols en Moyenne Casamance sur les pertes de terre par érosion hydrique

Tableau 14. Numération comparative de trois types de microflore en fonction du niveau de couverture végétale du sol

Tableau 15. Mesure du dégagement du CO_2 (C du CO_2 dégagé en % du Carbone total)

Tableau 16. Effet du traitement de la jachère à Louga. Rendement en kg de gousses à l'hectare. Rotation arachide-mil-arachide

Tableau 17. Effet du traitement de la jachère à Darou. Rendement en kg à l'hectare. Rotation arachide - sorgho - arachide

Tableau 18. Effet de la méthode d'inoculation sur les rendements du soja au Sénégal

Tableau 19. Relation entre le taux de carbone organique du sol, les techniques culturales et le niveau de rendement obtenu à Séfa (Sénégal) au cours de la période 1967-1982

Tableau 20. Rendement du mil planté entre les arbres

Tableau 21. Rendements en kg/ha de grain de mil

Tableau 22. Rendement en grains obtenus sur un essai fractionnement et date d'apport de l'azote avec la variété IKP à Mayor

Tableau 23. Formules de fumure minérale recommandées sur maïs

Tableau 24. Effet de l'arrière effet de la fumure organique (compost de paille de maïs) sur le rendement du maïs « Synthetic C »

Tableau 25. Recommandations en matière de fertilisation des cultures maraîchères

Tableau 26. Caractéristiques des fractions organiques et organo-minérales

Tableau 27. Evaluation de la perte de conversion de la litière à l'humus et de la constante de décomposition de l'humus

Tableau 28. Bilan économique annuel comparé de l'amélioration des sols (F CFA/ha).

Liste des sigles

ANCAR	Association Nationale de Crédit Agricole et Rural
ARAF	Association Régionale des Agriculteurs de Fatick
BAME	Bureau d'Analyses Macro-Economiques
BMC	Basse et Moyenne Casamance
BNDS	Banque Nationale pour le Développement du Sénégal
CCF	Christian Children Funds
CDH	Centre pour le Développement de l'Horticulture
CERAAS	Centre d'Etudes Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse
CFA	Communauté Financière Africaine (franc de la)
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CNBA	Centre Nord Bassin Arachidier
CNRA	Centre National de Recherches Agronomiques
CNRF	Centre National de Recherches Forestières
CONSERE	Conseil Supérieur des Ressources Naturelles et de l'Environnement
CORAF	Conférence des Responsables de Recherche Agronomique Africains
CRA	Centre de Recherches Agricoles
CRODT	Centre de Recherches Océanographiques de Dakar Thiaroye
CRZ	Centre de Recherches Zootechniques
DG	Direction Générale
DIREL	Direction de l'Elevage
DPDA	Déclaration de Politique de Développement Agricole
DPS	Direction de la Prévision et de la Statistique
DRPF	Direction de Recherche sur les Productions Forestières
FAC	Fonds d'Aide de la Coopération
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (Food and Agriculture Organization)
ILEIA	Information Centre for Low-External-Input and Sustainable Agriculture
IRAT	Institut de Recherches Agricoles Tropicales
IRD	Institut de Recherche pour le Développement ex ORSTOM
ISRA	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
ITA	Institut de Technologie Alimentaire
LDPDA	Lettre de Déclaration de Politique de Développement Agricole
LNRF	Laboratoire National de Recherches Forestières
LNERV	Laboratoire National d'Elevage et de Recherches Vétérinaires
MEACC	Mission d'Etudes et d'Aménagement du Canal du Cayor
MEAVF	Mission d'Etudes et d'Aménagement des Vallées Fossiles

MEFP	Ministre de l'Economie, des Finances et du Plan
NPA	Nouvelle Politique Agricole
NRBAR	Projet de Recherche Agricole Basée sur la Gestion des Ressources Naturelles
OMVG	Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Gambie
OMVS	Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal
ONCAD	Office National de Coopération et d'Assistance au Développement
ONG	Organisation Non Gouvernementale
OP	Organisation de Producteurs
PAPEM	Point d'Appui de Prévulgarisation et d'Expérimentation Multilocale
PASA	Plan d'Ajustement Sectoriel Agricole
PDRG	Programme de développement de la Rive Gauche
PIB	Produit Intérieur Brut
PISA	Programme d'Investissement du Secteur Agricole
PNVA	Programme National de Vulgarisation Agricole
PRA	Projet de Recherche Agricole
PSAOP	Programme des Services Agricoles et d'Appui aux Organisations de Producteurs
SAED	Société d'Aménagement et d'Exploitation du Delta
SBA	Sud Bassin Arachidier
SCS	Secteur Centre Sud
SERAS	Société d'Exploitation des Ressources Animales du Sénégal
SIG	Système d'Information Géographique
SISMAR	Société Industrielle et Sahélienne de Matériels Agricoles et de Représentation
SIES	Société Industrielle pour les Engrais du Sénégal
SNRAA	Système National de Recherches Agricole et Agro-Alimentaire
SODEFITEX	Société de Développement des Fibres Textiles
SODEVA	Société de Développement et de Vulgarisation Agricole
SOMIVAC	Société pour la Mise en Valeur de la Casamance
SONACOS	Société Nationale de Commercialisation des Oléagineux du Sénégal
SOTEXKA	Société Textile de Kaolack
SOHC	Sénégal Oriental-Haute Casamance
USAID	Agence des Etats-Unis pour le Développement International (United States Agency for International Development)
ZM	Zone Maritime
ZSP	Zone Sylvo-Pastorale

Centre technique de coopération agricole et rurale (ACP-UE)

Le Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) a été créé en 1983 dans le cadre de la Convention de Lomé entre les États du groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique) et les pays membres de l'Union européenne.

Le CTA a pour mission de développer et de fournir des services qui améliorent l'accès des pays ACP à l'information pour le développement agricole et rural, et de renforcer les capacités de ces pays à produire, acquérir, échanger et exploiter l'information dans ce domaine. Les programmes du CTA sont articulés sur quatre axes principaux : l'élaboration des stratégies de gestion de l'information et de partenariat nécessaires à la formulation et à la mise en œuvre des politiques, l'encouragement des contacts et des échanges d'expérience, la fourniture d'informations sur demande aux partenaires ACP et le renforcement de leurs capacités en information et communication.

CTA, Postbus 380, 6700 AJ Wageningen, Pays-Bas

Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA)

Mission et objectifs de l'ISRA

L'ISRA est un institut de recherche scientifique et technique appliquée. Etablissement public à caractère scientifique, il a été créé en 1974 pour concevoir, organiser et mener à bien toutes les recherches relatives au secteur rural au Sénégal.

Sa mission consiste en la génération de connaissances et de technologies appropriées pour atteindre l'objectif de sécurité alimentaire des populations, la création d'emplois et de richesses et partant le développement économique, social, scientifique et culturel du pays.

Les thèmes prioritaires de recherches de l'ISRA portent sur les productions agronomiques, animales, forestières, halieutiques et la socio-économie rurale dans les différentes zones écologiques du Sénégal : zones continentales pluviales sèche et humide, zone continentale irriguée, zone littorale et zone maritime.

Partenaires de l'ISRA

Agriculteurs, éleveurs, pêcheurs, forestiers, entrepreneurs agricoles, industries agricoles, agents du négoce agricole, décideurs et planificateurs en matière agricole, éducateurs et consommateurs de produits agricoles, bailleurs de fonds, chercheurs, développeurs et professionnels de l'agriculture.

Approche de recherche

Pour remplir sa mission, l'ISRA utilise une approche systémique avec une forte interdisciplinarité et une régionalisation des activités toutes issues d'un plan stratégique dont l'élaboration implique tous les partenaires du développement.

Six étapes peuvent être identifiées dans la démarche de l'Institut :

- Diagnostic des contraintes du développement agricole ;
- Formulation des programmes de recherche scientifique et technique susceptibles de lever ces contraintes ;
- Recherche de partenaires et de moyens pour exécuter les programmes ;
- Mise en œuvre des programmes ;
- Expression, valorisation et communication des résultats ;
- Transfert des résultats et étude de leur impact.

Cadre d'activité

Onze (11) centres de recherche et 33 stations, points d'essai et points d'appui pour l'expérimentation multilocale sont répartis dans toutes les zones et constituent des cadres de réalisation et d'expression de la recherche et de ses résultats.

Acquis et expertises

L'ISRA a une bonne connaissance des différentes écologies, comprend assez leur fonctionnement et tente de les promouvoir et de les rendre plus productives de manière durable.

Ainsi, des nouvelles races animales, variétés végétales, essences forestières sont elles étudiées, sélectionnées et mises à la disposition des développeurs avec les techniques d'élevage, d'agriculture et de reboisement adaptées aux zones écologiques et aux conditions des populations locales.

Les espèces marines qui peuplent nos côtes sont connues dans leur biologie et leur dynamique et les meilleures conditions de leur exploitation rationnelle sont maîtrisées.

La composition et le fonctionnement des écosystèmes continentaux et marins du Sénégal sont relativement bien connus. Il ont permis à l'ISRA de disposer d'une expertise confirmée en matière d'analyse du sol, de l'eau, des aliments de bétail, de diagnostic de maladies végétales et animales, de maintenance de matériels agricoles, de valorisation et d'édition de résultats de recherche, de transfert de technologies, de gestion de la recherche, de montage de projets agricoles bancables, d'évaluation de projets de recherche et de développement, d'enseignement agricole.