



UFR
DE GEOGRAPHIE
INSTITUT DE GEOGRAPHIE
ET D'AMENAGEMENT

Dr Michel GROUZIS
Laboratoire d'Ecologie Végétale
ORSTOM BP 1386
DAKAR - SENEGAL



MISE EN DEFENS ET TECHNIQUES AGROFORESTIERES AU SINE SALOUM (SENEGAL). EFFETS SUR LA CONSERVATION DE L'EAU, DU SOL ET SUR LA PRODUCTION PRIMAIRE.

THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE L. PASTEUR
(STRASBOURG I).

MENTION GEOGRAPHIE PHYSIQUE

Présentée par
Malaïny DIATTA



Membres du Jury :

M. MIETTON- Professeur à l'ULP de Strasbourg Directeur

H. VOGT - Professeur à l'ULP de Strasbourg Rapporteur interne

C. BALDY - Directeur de Recherches à l'INRA de Montpellier
Rapporteur externe

M. GROUZIS - Directeur de Recherches à l'ORSTOM de Dakar
Rapporteur externe

J. ALBERGEL - Directeur de Recherches à l'ORSTOM de Dakar
Examineur

STRASBOURG, 8 Novembre 1994

A la mémoire de mon père et à celle de mon beau-père

A ma mère, mon épouse et mes enfants

Aux familles DIATTA et NIASSY

A mon ami A.D. GOUDIABY

AVANT-PROPOS

Cette thèse est l'aboutissement d'un travail mené dans le cadre du programme Gestion des Ressources Naturelles au Sénégal (Sine Saloum) élaboré par l'ISRA (Institut Sénégalais de Recherches Agricoles) , en collaboration avec le CIRAD et l'ORSTOM. Elle constitue la synthèse des résultats de cinq années d'étude sur l'évolution et le fonctionnement des milieux naturels et cultivés.

C'est d'abord le résultat d'un travail de l'équipe pluridisciplinaire du Centre ISRA à Kaolack. Je tiens à en remercier tous les collègues : P. RUELLE, M. SENE, P. PEREZ et D. Y. SARR qui sont restés à l'écoute de mes interrogations et m'ont apporté leur concours tout au long de cette recherche.

J'ai eu mes premiers contacts avec cette thématique de recherches en 1986, lorsqu'avec le Docteur E. ROOSE, j'ai effectué dans le cadre de mon mémoire de DEA "Systèmes spatiaux et aménagements régionaux" dirigé par P. MICHEL, Professeur de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, une étude relative à l'influence des techniques culturales sur la genèse du ruissellement dans le Lauragais toulousain".

Le choix de mon sujet de thèse fut ensuite discuté avec le Professeur P. MICHEL et avec le Docteur ROOSE, Directeur de recherche en pédologie au centre ORSTOM de Montpellier. Il a été définitivement fixé avec le Professeur M. MIETTON, qui a pris à partir de 1991 la direction scientifique de ce travail, en accord avec les Docteurs GROUZIS et J. ALBERGEL du Centre ORSTOM de Dakar.

Ce travail n'aurait pas vu le jour si je n'avais pas bénéficié d'un encadrement scientifique et administratif de la part de bon nombre de personnes et organismes. Que ces organismes et personnes trouvent à travers ces lignes ma profonde reconnaissance et sympathie pour le soutien moral et matériel qu'ils ont bien voulu m'apporter.

Les difficultés matérielles ont été résolues notamment grâce aux concours de la Direction des Recherches sur les Productions Forestières (DRPF) à l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), de la Mission Française de Coopération et de l'ORSTOM à Dakar. L'ISRA m'a toujours accordé toutes les facilités administratives nécessaires. La Coopération Française m'a accordé la bourse sans laquelle je n'aurais pu séjourner en France au Centre d'Etudes et de Recherches Eco-géographiques de Strasbourg (CEREG, URA 95 CNRS). Quant à

l'ORSTOM (Départements MAA et DEC), il m'a accueilli au Centre de Hann et m'a encadré scientifiquement sur le terrain.

A ces remerciements j'associe également l'USAID, qui a financé mon premier séjour en France.

Le Professeur P. MICHEL a accepté mon inscription en thèse et d'être au début mon Directeur scientifique. Il m'a encouragé et a manifesté à mon égard un esprit d'ouverture, à l'occasion de discussions fructueuses. Ses conseils ont toujours été d'un grand apport pour la mise en chantier de cette thèse. Qu'il puisse trouver ici ma reconnaissance.

J'exprime ma profonde gratitude au Professeur M. MIETTON, mon directeur de thèse qui n'a ménagé aucun effort pour assurer sans faille l'encadrement scientifique et technique de ce travail. Je garde encore en mémoire les discussions fructueuses que nous avons eu à deux reprises sur mon terrain d'étude. Il a été un directeur de thèse attentif et disponible : attentif à la logique scientifique et à la concision des écrits ; disponible pour les corrections de mon manuscrit malgré ses nombreuses tâches par ailleurs. Son exigence m'a permis de mieux organiser ce document.

C'est à Montpellier que j'ai fait la connaissance de E. J. ROOSE, Directeur de Recherches à l'ORSTOM. Il a porté immédiatement de l'intérêt à mon projet de recherche sur la conservation de l'eau et de la fertilité des sols au Sénégal. Il m'a encouragé et m'a fait part de sa grande expérience des régions tropicales. Sa visite sur mon site expérimental a été d'un apport précieux pour la réalisation de ce présent ouvrage. Qu'il trouve ici le témoignage de mon amitié et de ma sincère reconnaissance.

Le Professeur H. VOGT de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg a accepté d'être rapporteur de cette thèse et de participer au jury. Je tiens à le remercier d'avoir consacré une partie de son temps précieux, malgré ses nombreuses occupations.

J'exprime également ma reconnaissance à Monsieur C. BALDY, Directeur de Recherches à l'INRA de Montpellier, d'avoir bien voulu utiliser ses compétences et sa longue expérience des zones chaudes pour juger ce travail.

Ma profonde gratitude et mes sincères remerciements s'adressent tout particulièrement à Monsieur M. GROUZIS, Directeur de Recherches à l'ORSTOM et responsable du Laboratoire d'Ecologie Végétale du Centre de Dakar-Hann. Il a dirigé, organisé et encadré scientifiquement et matériellement ce travail sur mon terrain. Sa rigueur scientifique, sa sagesse et son efficacité dans l'encadrement ont été déterminants pour l'élaboration de ce présent document. Il a consacré beaucoup de son temps à la lecture et à la correction de ce manuscrit. Une exigence du travail bien fait et un esprit d'ouverture au dialogue sont les meilleurs souvenir que je garde de lui.

Mes remerciements les plus chaleureux vont à l'équipe du Laboratoire d'Ecologie Végétale de l'ORSTOM à Dakar. Je pense à Monsieur C. FLORET, Directeur de Recherches au CNRS, coordonnateur scientifique du projet régional "Etude et Amélioration de la jachère en Afrique de l'Ouest" et aussi à D. MASSE, E. AKPO, A. BODIAN, I. DIEDHIOU, M. DIOUF, A. ROCHEAUTO et M. YOUNG.

Je reste scientifiquement et moralement redevable à Monsieur J. ALBERGEL, Directeur de Recherches à l'ORSTOM, qui a su par son expérience organiser le travail de terrain et encourager une collaboration entre les équipes de l'ISRA et l'ORSTOM à Thyssé Kaymor. Sa connaissance du milieu et de l'hydrologie des bassins versants des zones soudano-sahéliennes m'a beaucoup aidé dans l'appréhension des méthodes expérimentales à cette échelle et dans l'interprétation des résultats. Je suis heureux qu'il participe au jury de cette thèse. Je ne saurais oublier son équipe de terrain, notamment A. BERNARD qui a installé l'ensemble du dispositif des parcelles d'érosion.

Mes remerciements vont également au Représentant ORSTOM de Dakar, Monsieur P. MATHIEU, pour l'accueil chaleureux qu'il m'a toujours réservé.

Ma profonde gratitude va aux autorités administratives et scientifiques de l'ISRA, en particulier à Monsieur PAPE N. SALL, Directeur de la DRPF, qui a accepté de collaborer à la réalisation de cette thèse. Il m'a soutenu tout au long de ce travail et a mis à ma disposition tous les moyens de recherche. Qu'il trouve ici le témoignage de ma reconnaissance.

A ces remerciements j'associe le personnel de la DRPF, en particulier mes collègues du programme agroforesterie et M. CISSE, documentaliste, qui a mis à ma disposition toutes les références bibliographiques nécessaires.

Je ne saurais oublier les services rendus par M. KAIRE responsable des travaux à la station de Nioro du Rip qui a assuré avec sérieux le suivi et la collecte

des données de terrain et E.FAYE qui m'a apporté une aide très précieuse dans le dépouillement, la saisie et l'analyse des données de base. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance

Je tiens également à rendre hommage aux collègues du Centre ISRA Kaolack, en particulier A. GUEYE, O. DIAGNE, P. SARR et B. CISSE et à mon neveu B. DJIBA pour le travail effectué dans le cadre de cette thèse.

Je voudrais également assurer de ma gratitude F. MATTY et H. DACOSTA, assistants à l'Université C.A.DIOP de Dakar qui ont accepté de collaborer sur les aspects concernant l'hydrologie et la pédologie.

La saisie du texte a été assurée par Mademoiselle FALL. Son efficacité et sa disponibilité ont permis la réalisation de ce document. Qu'elle trouve ici ma profonde reconnaissance.

Je remercie également tous ceux qui dans le personnel du CEREG et de l'UFR de géographie de l'ULP m'ont aidé dans la réalisation de ce travail.

IL s'agit de Monsieur J. P. BLANCK dont je garde un bon souvenir et qui m'a toujours réservé un accueil chaleureux suivi de discussions fructueuses sur mes travaux, de Monsieur G. LUTZ, de Madame O. OPERIOL qui a assuré la reprographie de cette thèse, de Madame R. FLACH, secrétaire du CEREG, de Madame C. BELLER, de Monsieur C.SIRA.

A ces remerciements, j'associe enfin tous les collègues et amis du Laboratoire qui m'ont apporté un soutien moral et une aide précieuse. Je pense en particulier à L. MANE, S. GOMIS, L. SITOU, E. NGUENZI, J. TCHICAYA, A.KANE, A. THIAM, M. GASSAMA et N. A. DIOP. Un grand merci à tous.

Enfin, je demande pardon à mon épouse AWA et à mes enfants BINTOU MIDIENE, MOHAMET EL HABIB et AICHA COLY pour les longues périodes d'éloignement.

Résumé

Le programme pluridisciplinaire de « Gestion des Ressources Naturelles au Sine Saloum » conduit conjointement par l'ISRA, le CIRAD et l'ORSTOM a révélé la fragilité du milieu naturel des terroirs villageois de la communauté rurale de Thyssé Kaymor, à trente kilomètres de Nioro du Rip au sud du Sine Saloum (Sénégal).

La conjonction d'une sécheresse sans précédent et d'une expansion démographique a entraîné un déboisement massif d'un plateau cuirassé et déclenché un ruissellement généralisé qui détruit progressivement les terres arables en aval. Dans ce contexte défavorable, la stabilisation de l'érosion hydrique à travers une maîtrise du ruissellement au niveau des hauts de versants, par la reconstitution des couverts végétaux naturels et par des microbarrages perméables, représente un objectif essentiel pour la conservation de l'eau et des sols dans la zone sud du Sine Saloum.

On s'intéresse ici aux effets des aménagements conservatoires sur la structure et le fonctionnement du milieu à l'échelle intégrée de bassins versants du terroir villageois de Keur Dianko- Sonkorong.

Trois techniques d'aménagement ont été testées en fonction des contraintes biophysiques et socio-économiques du milieu. Il s'agit d'une mise en défens sur les hauts de versants du plateau résiduel, d'un cordon pierreux en contrebas de l'affleurement cuirassé et d'un maillage de l'espace cultivé à l'aide de haies vives isophyses.

Les résultats obtenus montrent la possibilité d'intervenir efficacement sur les principaux facteurs de dégradation, en améliorant la structure du milieu et son fonctionnement. Parmi tous les enseignements, on retient que :

L'évolution de la strate ligneuse s'est traduite par une augmentation de 50% du nombre d'espèces, par une multiplication par deux ou plus de la densité du peuplement. La phytomasse aérienne herbacée est 1.5 à 3 fois supérieure à celle des parcelles témoins.

Les mesures de ruissellement montrent que la lame d'eau écoulée sur les défens est trois fois inférieure à celle des témoins. Les haies vives participent aussi à la réduction des transferts d'eau et à l'augmentation de l'infiltration avec amélioration du profil hydrique sur une distance de 4 mètres de part et d'autre de la ligne d'arbustes.

Ces résultats confirmés par des données à l'échelle du bassin versant montrent qu'il est possible de réduire significativement le ruissellement et le transport solide par mise en défens des versants boisés du plateau résiduel cuirassé

et sa capacité érosive par des microbarrages perméables (cordon pierreux et haie vive).

Mots-clés : Sénégal - Sine Saloum - Thyssé Kaymor - Bassin versant - Ruissellement - Erosion - Agroforesterie - Mise en défens - Haie vive - Cordon de pierres

SUMMARY

« Natural Ressources Management in Sine Saloum » this pluridisciplinary project jointly studied by ISRA, CIRAD and ORSTOM revealed the soils natural environment fragility of Thyse Kaymor, a rural community which lies 30km away from Nioro du Rip to the south of Sine Saloum (Sénégal) .

Both an unprecedented drought and a population increase have brought about an important deforestation of a ferricrust table and have provoked a widespread run off which was progressively destroying the cultivable soils below.

In this disadvantaged context, the hydric erosion stabilization represent a main objectif for water and soils conservation in Sine Saloum southern zone : through the run-off control at the high sides level by means of pervious micro dams and the humus reformation .

Here, we focus on the protective improvements on the environment's structure and functioning at an integrated scale of Keur Dianko-Sonkorong catchment basin

We've tested 3 techniques of improvements according to the environment biophysical and socio-economical constraints :

- on one hand we've protected the high sides of the residual ferricrust table with a stony cordon
- on the other hand we've structured the cultivated spaces with contour quickset hedges.

presents results show the possibility to act effectively on the main elements of erosion, by improving the environment structure and functioning. We can learn among all these lessons that :

the ligneous stratum evolution is conveyed by a 50% rise of the species, a doubling or more of the population density. The aerial and herbaceous phytomass is 1.5 to 3 times higher than the check plots of land.

The run-off's measurements demonstrate that the flow on the defenses is 3 times inferior to the check. The quickset-hedges help to water conveyance reduction and to percolation increase with the hydrous profile betterment over 4 m away on either side of the small shrubs.

These results confirmed by data on the side basins scale prove that we can significantly reduce the run-off, the strong conveyance and the residual ferricrust table by protecting the woody sides and its erosive potentiality with permeable micro dams (stony cordon and quickset-hedges).

Keywords = Sénégal - Sine-Saloum - Thyssé-Kaymor Side basin - run-off - Erosion - Agroforesterie - protection - quickset hedges - stony cords.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE	1
CHAPITRE 1	3
Objectifs & méthodes	3
1.1 Les objectifs de l'étude	5
1.2 L'approche méthodologique	8
1.2.1 L'analyse floristique et l'évaluation de la phytomasse	8
1.2.2 L'évolution des sols et leur comportement hydrodynamique	12
CHAPITRE 2	17
Le cadre de l'étude	17
2.1 Le cadre morpho-pédo-climatique et les caractéristiques de la végétation	19
2.1.1 Les traits généraux du climat	19
2.1.2 Le cadre morphopédologique	30
2.1.2.1 Les caractéristiques morphopédologiques de la région	30
2.1.2.2 Les caractéristiques des sols	41
2.1.3 Le paysage végétal	43
2.2 L'environnement humain	52
2.2.1 L'occupation des sols	52
2.2.2 Les hommes dans leur milieu	54
Conclusions du chapitre 2	57

DEUXIEME PARTIE	59
Les aménagements conservatoires et leurs effets	59
CHAPITRE 3	63
Les effets de la mise en défens sur la structure du milieu	63
3.1 La mise en défens et ses effets sur le couvert végétal	65
3.1.1 L'implantation des parcelles et les protocoles d'observation	65
3.1.2 L'état de la végétation après quatre (4) années de protection	66
3.1.2.1 La strate herbacée	66
3.1.2.2 La strate ligneuse	68
3.1.3 L'analyse de l'évolution annuelle de la végétation	76
3.1.3.1 La diversité et la régularité	81
3.1.3.2 L'évolution de la structure de la végétation	86
3.1.3.3 L'évolution de la densité et de la surface terrière	87
3.2 L'évolution des sols dans les parcelles mises en défens	90
3.2.1 Les caractéristiques analytiques des sols et leur évolution	91
3.2.2 L'analyse statistique de quelques éléments du	93
Conclusions du chapitre 3	95
CHAPITRE 4	103
Les effets des aménagements agroforestiers sur le fonctionnement du milieu	103
4.1 L'effet de la mise en défens sur le ruissellement et les pertes en terres	105
4.1.1 Le ruissellement et l'érosion sous pluies naturelles	105
4.1.2 Le ruissellement sous pluies simulées	119
4.2 Les haies vives et leurs effets sur les transferts d'eau	129
4.2.1 Les choix techniques : espèces, plantation	129
4.2.2 L'influence de la haie vive sur les transferts d'eau et les cultures	137

Conclusions du chapitre 4	147
CHAPITRE 5	151
Evaluation des aménagements à travers la production primaire et à l'échelle intégrée du bassin versant	151
5.1 Les effets de la mise en défens sur la production primaire	153
5.2 Les effets des aménagements sur le bilan hydrologique du bassin versant	158
Conclusion du chapitre 5	163
CONCLUSION GENERALE	165
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	177
FIGURES ET TABLEAUX	195
Liste des figures	197
Liste des tableaux	201
ANNEXES	

INTRODUCTION

Depuis les années 1970, on constate une évolution régressive des paysages soudano-sahéliens qui se caractérise par :

- la dégradation de la végétation qui se manifeste par une importante diminution de la couverture végétale, une raréfaction voire une disparition d'espèces ligneuses et le remplacement progressif des graminées pérennes par des annuelles à cycle très court (GROUZIS, 1988, LERICOLLAIS, 1987 ; WARREN et AGNEW, 1988) ;

- l'encroûtement ou le décapage des sols qui s'accompagne d'une perte de structure. Celle-ci se traduit par une réduction de la perméabilité et une chute concomittante du taux de matière organique et de l'activité biologique. Cet état de surface favorise le développement du ruissellement diffus généralisé, principal facteur de l'érosion des sols dans ce secteur (VALENTIN, 1985 ; MIETTON, 1988 ; ROOSE, 1989, AVENARD, 1990) ;

- le changement du régime d'écoulement des rivières (OLIVRY, 1983) et la baisse du niveau des nappes phréatiques qui sont les conséquences d'un déficit pluviométrique estimé à environ 40 à 60% de la moyenne annuelle (LE BORGNE, 1990). Cette chute de la ressource en eau s'accompagne paradoxalement de crues plus importantes qu'auparavant pour de petites rivières (ALBERGEL et VALENTIN, 1989). Ces auteurs estiment que ce phénomène résulte de la formation d'une croûte imperméable à la surface du sol suite à la dégradation du couvert végétal, d'une réduction de l'infiltration et l'augmentation du ruissellement.

- la chute des rendements des cultures, puisque le système très extensif d'utilisation des terres ne permet plus une gestion conservatoire de la fertilité des sols (jachère de longue durée). En outre, le désengagement des Etats a rendu difficile l'accès au crédit pour les personnes aux revenus faibles ; ainsi les champs sont-ils cultivés en continu sans apport significatif d'engrais organo-minéral.

Les causes principales de cette décadence des paysages soudano-sahéliens d'Afrique de l'Ouest sont de deux ordres : la sécheresse et la pression démographique. D'après MAINGUET (1991), la zone subit actuellement la pression humaine la plus forte de la région (forte charge en homme et en bétail). Cette forte

pression a eu pour corollaire l'extension des cultures à des zones fragiles et le surpâturage qui s'accompagnent le plus souvent d'un développement de ruissellement et de différentes formes d'érosion (ravinement des versants, ensablement des lits des rivières). Avec des écosystèmes fragilisés (baisse de la productivité, perte de la diversité végétale et animale), le contexte climatique aggravé par une longue sécheresse n'a fait qu'accroître le déséquilibre entre la production et les besoins de consommation.

Cette dégradation remonte à plusieurs dizaines d'années dans le bassin arachidier du Sénégal où les pratiques agricoles ont profondément changé. Ce changement rapide s'est fait grâce à l'appui du programme d'intensification agricole, l'introduction de techniques culturales performantes : culture attelée, utilisation d'engrais minéraux. La vulgarisation de la culture attelée a eu des conséquences qui dépassent le changement des techniques culturales puisqu'elle a entraîné l'extension des surfaces cultivées aux dépens des zones boisées (jachères et parcours naturels). et de la reconstitution du couvert arboré. L'encadrement technique ne s'est pas préoccupé du devenir des arbres dans le champ, sinon pour les considérer comme une gêne (LERICOLLAIS, 1990). D'autre part, la croissance démographique s'est traduite par une extension des surfaces cultivées parallèlement à la chute des rendements suite à l'épuisement des terres. L'équilibre entre la production et les besoins de consommation reste fragile. Les phénomènes de dégradation les plus frappants sont la disparition des arbres (abattage et dessouchage, émondage excessif) et l'extension des surfaces dénudées sensibles aux agents de l'érosion (pluie et vent).

Cette situation est d'autant plus préoccupante que les efforts menés par les projets de développement (mécanisation, engrais, semences sélectionnées, traitement phytosanitaire) n'ont pas permis d'augmenter durablement les rendements de cultures : le ruissellement et l'érosion provoquent la chute permanente de l'état organique du sol et interdisent toute amélioration de la productivité végétale.

Face à cette dégradation généralisée du potentiel de production, l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), le Centre International de Recherche et de Développement (CIRAD) et l'Institut Français de Recherches Scientifiques pour le développement en Coopération (ORSTOM) ont conjointement élaboré, à

partir de 1983, un programme de recherche sur la gestion des ressources naturelles au sud du bassin arachidier, dans la région du Sine Saloum. Ce dispositif de recherche est centré sur un réseau de bassins versants de la communauté rurale de Thyssé Kaymor.

L'action de recherche, menée en collaboration avec des équipes de l'ORSTOM basées à Dakar (hydrologie et écologie), entre dans ce cadre. L'étude met l'accent sur la dynamique actuelle des écosystèmes, en particulier sur l'évolution du système de production soumis à la conjonction d'un climat défavorable et d'une pression démographique accrue. Elle est fondée sur le constat d'échec relatif à la conservation de l'eau et de la fertilité du sol dans la zone où les données fiables concernant l'impact des aménagements anti-érosifs sont rares et fragmentaires. Dans la majorité des cas, les résultats disponibles concernent essentiellement les facteurs socio-économiques liés à leur mise en place. MIETTON (1986) et MARCHAL (1987) ont souligné pour le Burkina Faso qu'il faut tenir compte dans les tentatives de lutte contre la dégradation, à la fois des initiatives paysannes avec les pratiques locales et des initiatives extérieures associées à une participation des populations.

En 1988, des méthodes de lutte anti-érosives ont été testées dans un aménagement intégré à l'échelle du bassin versant. L'expérimentation qui s'est déroulée dans le bassin versant de Keur Dianko (superficie 60 ha) avait pour objectif de stabiliser le ruissellement en amont et de protéger les principales terres de cultures situées en aval des toposéquences contre l'érosion. Il s'agit également d'envisager la possibilité d'intervenir efficacement en milieu paysan pour stopper les processus de dégradation par des solutions techniques réalisables à moindre coût. La complexité des interactions entre les différents facteurs impose une stratification du milieu basée sur une bonne connaissance à la fois des conditions socio-économiques et biophysiques du bassin versant à aménager.

L'objectif de l'aménagement du bassin versant de Keur Dianko étant de réduire le ruissellement et l'érosion des terres agricoles, nous avons proposé, en fonction des contraintes du milieu, d'effectuer :

- une mise en défens des zones de parcours dégradées localisées sur les hauts de pente, sur un plateau résiduel cuirassé. C'est une pratique qui permet de

restaurer les couvertures végétales, dont le rôle sur la conservation de l'eau et de la fertilité du sol est largement décrit (ROOSE, 1977).

- une mise en place de cordons de pierres sur la zone des éboulis à la limite supérieure des blocs de cultures (bordure des plateaux ou zones de plus forte pente). C'est une structure filtrante dont l'objectif est de réduire l'impact érosif du ruissellement et de favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol.

- un maillage des espaces cultivés à l'aide de plantation de haies vives isohypses pour réduire la concentration du ruissellement et protéger les champs contre les différentes formes d'érosion (ravinement, décapage et ensablement). C'est également une technique qui permet de réintroduire l'arbre dans le paysage agricole.

Cette étude s'articule en cinq chapitres :

- A l'intérieur de la première partie, le premier chapitre présente les objectifs de l'étude, le second son cadre physique et humain.

- Dans la deuxième partie consacrée à l'examen des aménagements agroforestiers, le troisième chapitre met l'accent sur la mise en défens et ses effets sur la structure du milieu, sa capacité à restaurer les couvertures végétale et pédologique des versants du plateau résiduel cuirassé (zone de parcours des troupeaux).

Le quatrième chapitre porte sur une analyse comparative du fonctionnement du milieu sous couvert naturel ou cultivé aménagé ou non au cours de quatre années d'observations. L'accent a été mis évidemment sur le ruissellement, l'érosion des fines, la restauration et la conservation de la fertilité des sols.

Le cinquième chapitre rassemble les données de l'effet des techniques d'aménagement sur des paramètres intégrateurs fonctionnels, qu'il s'agisse de la productivité primaire prenant en compte la diversité végétale voire aussi les autres paramètres du milieu (humidité du sol par exemple) ou bien les écoulements au niveau du bassin versant dont la résultante intègre les données physiques et humaines et l'ensemble des aménagements.

En conclusion, une discussion générale des résultats sur la base des modèles écologiques des zones soudano-sahéliennes fait le point sur les acquis et les perspectives de recherches.

PREMIERE PARTIE

OBJECTIFS, METHODES & CADRE DE L'ETUDE

CHAPITRE 1

Objectifs & méthodes

1.1. Les objectifs de l'étude.

L'échec de l'intensification agricole dans le sud du Sine Saloum a entraîné une surexploitation des ressources naturelles aggravée par une forte pression démographique et des conditions pédoclimatiques défavorables.

En l'état actuel, la détérioration du potentiel agroforestier a atteint un tel degré de gravité qu'il est urgent de rechercher des parades appropriées et durablement efficaces. C'est dans ce contexte qu'en 1983 l'ISRA a mis en place, dans le secteur sud du Sine Saloum, un programme de Gestion des Ressources Naturelles.

La complexité des facteurs en interaction sur le milieu a inclu la nécessité de former une équipe pluridisciplinaire chargée d'étudier les mécanismes et les processus de dégradation (diagnostic, hiérarchisation et quantification) qui limitent la production, de manière à proposer des techniques qui permettraient de rétablir et de stabiliser le potentiel agricole.

La réalisation de cet objectif et la persistance des phénomènes justifiaient, à partir de 1988, une opération de recherche sur la dynamique actuelle des zones de parcours (par les éleveurs et leurs troupeaux) sur les plateaux cuirassés de la région de Thyse Kaymor. Dans ce cadre régional soudanien, il a paru intéressant de mettre l'accent sur l'évolution des couvertures végétales et leurs conséquences sur la conservation de l'eau et de la fertilité des sols in situ et aussi dans les terres de cultures situées en aval des formations cuirassées. La stabilisation de l'érosion hydrique à travers une maîtrise du ruissellement au niveau des hauts de versants par la reconstitution des couverts végétaux naturels (ou par le reboisement) représente un objectif essentiel.

Le présent travail s'inscrit dans cette problématique et s'articule autour de l'expérimentation en milieu réel de techniques d'aménagement intégré à l'échelle du bassin versant (figure 1.1)

Dans l'hypothèse où c'est l'ensemble de ces techniques qui permettent de lutter contre la dégradation généralisée de l'écosystème, les questions suivantes se posent :

- quelques années de mise en défens (4 à 5 ans) suffisent-elles pour que les couvertures végétales et pédologiques dégradées des parcours extensifs se reconstituent, en particulier celles des hauts versants du plateau résiduel ?

- quels sont les effets de la protection sur les caractéristiques de la végétation (structure, richesse floristique, densité, recouvrement et production) et du sol (structure, matière organique, activité biologique) et son impact sur la conservation de l'eau ?

- la restauration des couvertures végétales et pédologiques suffit-elle à maîtriser le ruissellement et l'érosion en provenance des hauts de versant ?

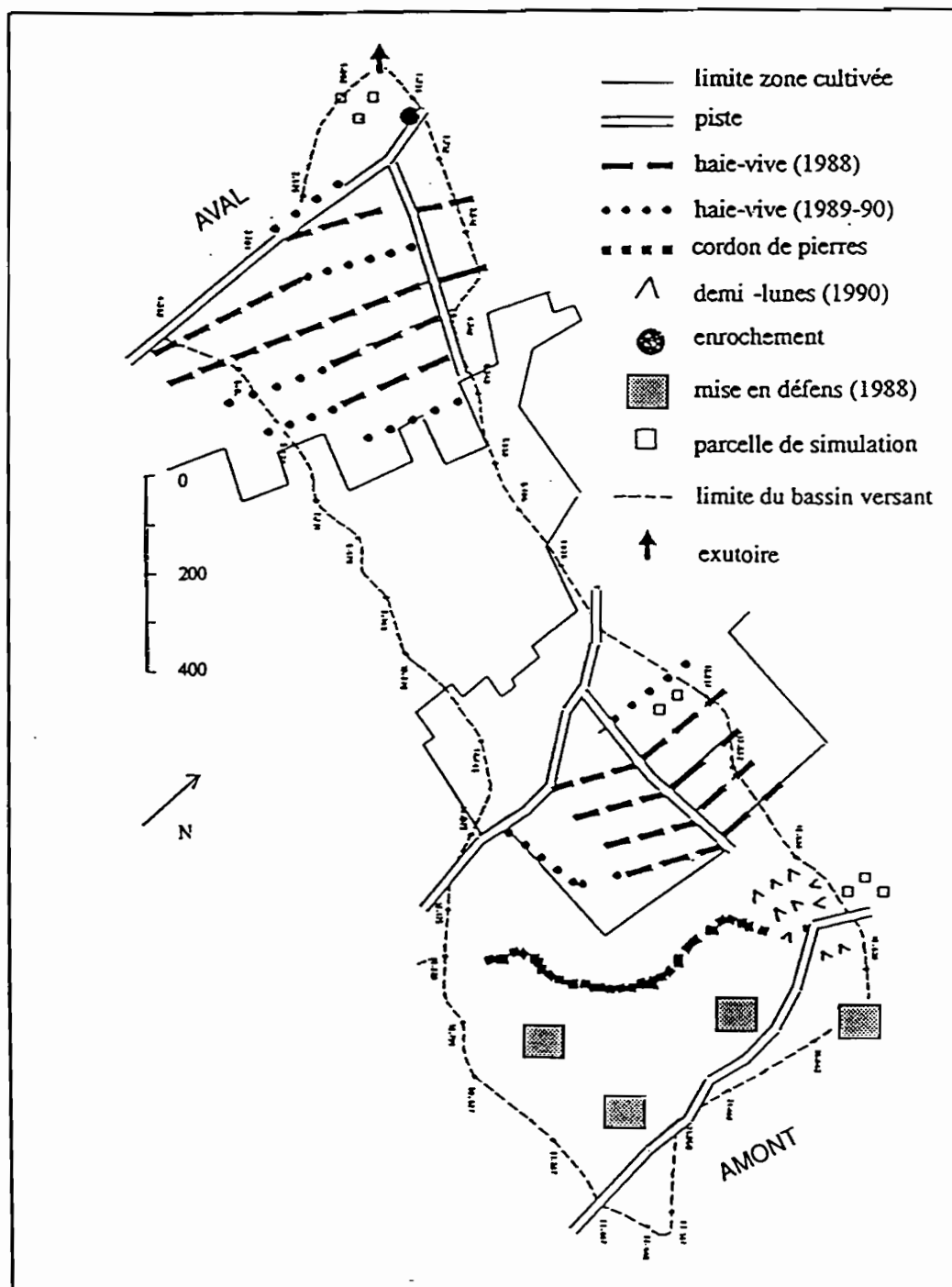


Figure 1.1 : Dispositif expérimental d'aménagement intégré du bassin versant de Keur Dianko (S2).

- les barrages filtrants anti-érosifs, cordons de pierres et haies vives agissent-ils efficacement contre le ruissellement et le transfert des particules ?
- quel est l'effet du cordon sur la production de phytomasse herbacée et celui de la haie vive sur la réduction du ruissellement et l'augmentation de l'infiltration ?
- quel est l'effet de l'ensemble des techniques sur le ruissellement et les transports solides à l'exutoire du bassin versant ?
- le milieu pourra-t-il se régénérer ou un seuil de non retour a-t-il été franchi?

1.2. L'approche méthodologique

L'étude porte sur de petits bassins versants des terroirs villageois de la communauté rurale de Thyssé Kaymo . Cette petite région, située à 13°45' N et 15°40' W, au sud du Sine Saloum, subit une forte pression anthropique caractérisée par :

- des déboisements incontrôlés et plus particulièrement la destruction des couvertures végétales des terres marginales localisées au sommet des buttes cuirassées (plateau résiduel),
- une surexploitation des sols agricoles, caractérisés par un faible niveau de fertilisation organo- minéral avec abandon de la pratique des jachères,
- une érosion hydrique résultant d' un ruissellement généralisé.

Les méthodes d'étude visent à caractériser précisément la structure du milieu dans ses différentes composantes puis à comparer son fonctionnement hydrodynamique sous couvert naturel ou cultivé après aménagement.

Les différents protocoles expérimentaux seront exposés dans chacun des chapitres concernés. Nous ne traiterons ici que des méthodes de mesures des différents paramètres relatifs à la végétation et à la conservation de l'eau et du sol.

1.2.1 L'analyse floristique et l'évaluation de la phytomasse

L'étude de la végétation porte d'abord sur la définition des unités de végétation à partir de la strate ligneuse en rapport avec les éléments du paysage puis sur la dynamique de la savane boisée d'un plateau cuirassé, jusqu'ici surexploitée par le surpâturage et la coupe de bois, dégradée aussi par les feux. En particulier, il s'agira d'étudier la répartition des espèces ligneuses en fonction des variations topographiques du milieu et d'évaluer l'influence d'une mise en défens sur la diversité floristique et sur la phytomasse.

- **La caractérisation des unités de végétation.** Un échantillonnage stratifié sur les unités géomorphologiques représentatives des paysages soudaniens du sud Sine Saloum a été réalisé : 251 relevés répartis sur 4 toposéquences des deux bassins versants expérimentaux de Keur Dianko (60 ha) et de Ndiarguène (90 ha) ont été effectués. La répartition en est la suivante :

- 148 relevés sur le plateau résiduel cuirassé,
- 63 sur le glacis de raccordement (zone des cultures),
- 40 relevés dans la zone de bas-fond ou de mare temporaire.

La taille de l'échantillon est de 10 x 20 m, soit 200 m². Les parcelles élémentaires sont espacées de 10 m le long de transects orientés dans le sens de la pente.

Les observations ont porté sur la liste floristique des espèces ligneuses et leur densité à l'hectare.

Les relevés ont été traités par l'analyse factorielle des correspondances (AFC)¹. Cette méthode, largement utilisée en phyto-écologie, a pour but de résumer l'information d'un tableau de données en écriture simplifiée sous forme graphique. L'AFC est largement décrite dans les ouvrages tels que "les fonctionnements et principes mathématiques" (LEBART et FENELON 1971; BENZECRI, 1970). Des auteurs tels que ROMANE (1972), LACOSTE et ROUX (1972) et GUINOCHET (1973) en ont fait un usage privilégié dans le traitement de données floristiques.

Pour l'interprétation des résultats, la démarche consiste à examiner les paramètres suivants :

- l'inertie mesure la part de variance expliquée par un axe, relativement à la variance totale, c'est-à-dire qu'elle permet de quantifier l'information contenue dans chaque axe,

- la contribution représente la participation d'un individu (points-ligne) ou d'une variable (points-colonne) à la constitution d'un axe. Elle permet d'identifier les points qui interviennent de façon significative dans la constitution des axes,

- la corrélation d'un point ligne ou colonne, permet de mesurer la qualité de la représentation de ce point par l'axe (agencement spatial des points du nuage formé dans le plan factoriel).

- **L'analyse floristique** porte sur l'établissement de la liste exhaustive des taxons dans des parcelles de référence d'une surface d'un demi- hectare .La détermination des taxons a été effectuée à l'aide de la flore du Sénégal (BERHAUT, 1967). Les synonymes ont été actualisées et normalisées sur la base des travaux de LEBRUN (1973) relatifs à l'énumération des plantes vasculaires du Sénégal.

Pour les ligneux, la densité de chaque espèce est en outre déterminée. Il est à noter que pour les espèces multicaules (*Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, *Feretia apodanthera*, *Heeria insignis*, *Guiera senegalensis*) nous avons relevé le nombre de tiges émergeant du sol, comme la plupart des auteurs traitant de ces zones (POUPON, 1980 ; LAWESSON, 1990 ; ARBONNIER, 1990 ; MITJA, 1990 et NOUVELLET, 1992).

¹ Programme Bioméco : logiciel de traitement de données de végétation

- **L'évaluation de la phytomasse** ou masse végétale s'applique à la végétation spontanée herbacée, cultivée et ligneuse. Elle est exprimée en matière sèche de la biomasse et est rapportée à une unité de surface en g m^{-2} ou kg.ha^{-1} . Les observations ont porté sur la production de phytomasse aérienne.

La phytomasse herbacée épigée a été mesurée par la technique de la récolte intégrale. Celle-ci est simple, précise et constitue un outil de terrain particulièrement fiable. La matière végétale, prélevée intégralement sur des échantillons de 1m^2 de surface, est pesée après passage à l'étuve à 80°C jusqu'à poids constant.

L'échantillonnage est constitué de 30 carrés de 1 m de côté répartis dans chaque parcelle suivant les diagonales pour intégrer le maximum de variabilité. Cette technique est préconisée par LEVANG et GROUZIS (1980) qui ont montré que trente à quarante échantillons de 1 m^2 donnent une estimation satisfaisante de la phytomasse herbeuse dans les steppes sahéliennes pour un coût de sondage réduit, à condition de les répartir suivant un transect dans le site. L'analyse des travaux de nombreux auteurs (CESAR, 1971; CORNET, 1981; MITJA, 1990 et FOURNIER, 1991), qui ont étudié les formations herbacées tropicales, montre que la taille de l'échantillon doit varier selon le type de végétation, de 0.16 à 4 m^2 .

Comparativement à ces auteurs, notre échantillonnage est en général plus abondant en nombre.

La phytomasse de la végétation cultivée est échantillonnée suivant trois carrés de 25 m^2 pour le mil et trois lignes de 1 m linéaire pour l'arachide. Cette technique d'échantillonnage découle de la méthode des carrés de rendement largement utilisée par les agronomes.

Pour les deux cultures, les pailles (fanés ou tiges) a été séparée des organes reproducteurs (épis pour le mil, gousses pour l'arachide). La phytomasse exprimée en kilogramme par hectare est évaluée après séchage à 80°C jusqu'à poids constant.

La phytomasse ligneuse est estimée suivant une méthode qui consiste à établir une relation allométrique entre la phytomasse et certaines variables structurales dont les plus utilisées sont le diamètre ou la circonférence du tronc et la hauteur.

Selon que l'on utilise une ou deux variables, on établit une relation à une ou deux entrées. Nous avons établi, selon une méthode de régression (modèle exponentiel), les équations reliant la phytomasse et le diamètre du tronc à 20 cm du sol pour les espèces considérées comme étant les plus abondantes dans la savane

- du plateau cuirassé : *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans* et *Acacia macrostachya* (figure 1.2).

Chaque arbre ou individu est constitué de plusieurs tiges (brins) de longueur et diamètre variables : sur chaque brin, deux diamètres perpendiculaires sont mesurés

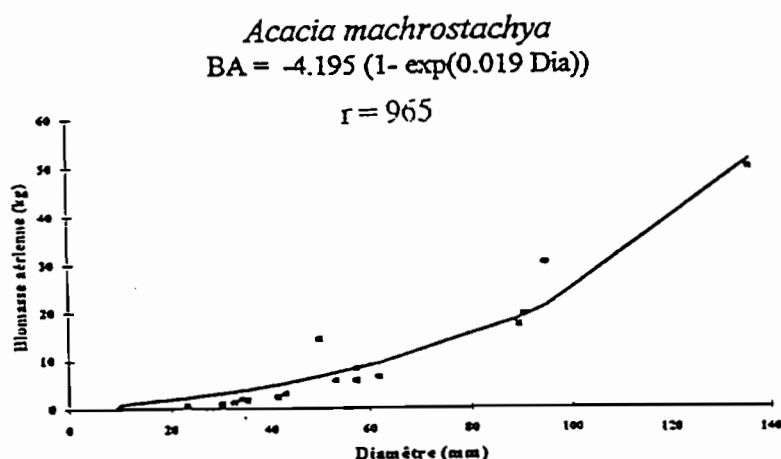
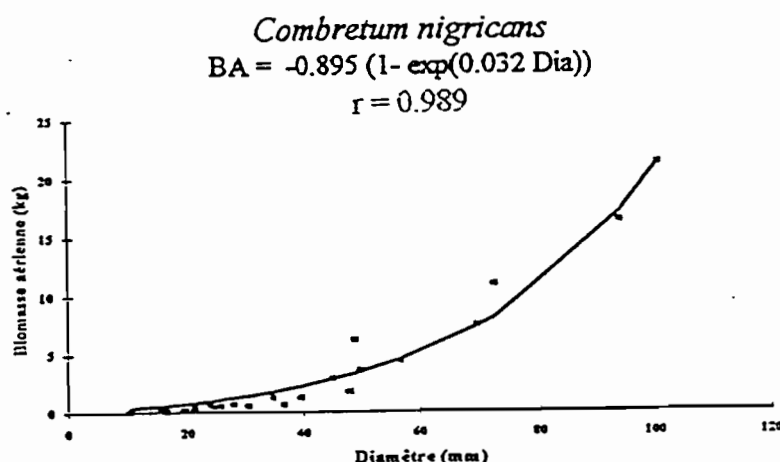
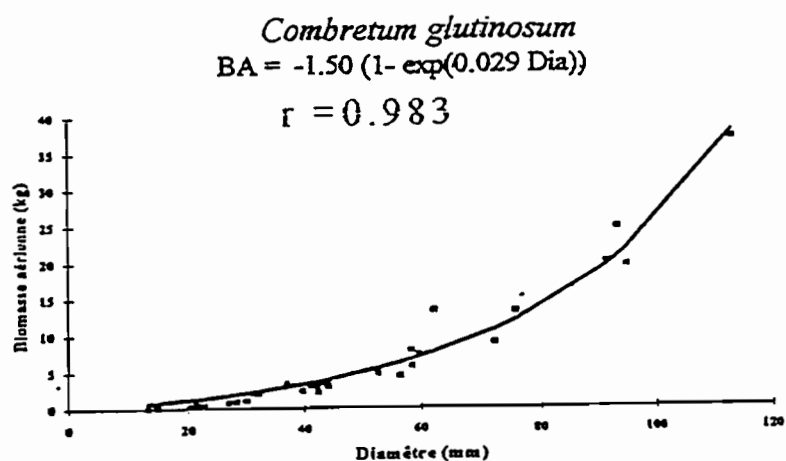


Figure 1.2 : Tarifs de biomasse sèche (bois) pour les espèces *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans* et *Acacia macrostachya*

(PARDE et BOUCHON, 1988). Une pesée à l'aide d'une balance est réalisée au champ et un échantillon de biomasse est ramené au laboratoire pour mesurer le pourcentage de matière sèche. Le séchage à l'étuve à 80°C jusqu'à poids constant permet de calculer la phytomasse. Le nombre d'échantillons par espèce se situe autour d'une vingtaine d'individus qui recouvrent une large gamme de diamètres (annexe 1).

Les méthodes de mesure des paramètres relatifs à la végétation ont permis d'évaluer l'effet des aménagements sur une période de 4 ans (1988 - 1991).

Les données floristiques ligneuses (liste des espèces et densité) ont été récoltées tous les ans aux mois de mai et juin. Les phytomasses ont été mesurées pendant la dernière année d'étude (1991).

Pour les herbacées, l'observation a été réalisée au mois d'octobre (période de développement maximum de la végétation herbacée). tandis que les ligneux ont fait l'objet d'une récolte en saison sèche. En cette période de l'année, les trois espèces sont dépourvues de feuillage ; l'estimation a donc porté uniquement sur le bois.

1.2.2 L'évolution des sols et leur comportement hydrodynamique

L'étude des sols a porté sur leur évolution en fonction de la mise en défens. Le but est d'évaluer l'impact de cette technique sur les propriétés physiques et chimiques du sol.

Le comportement de la végétation étant lié aux caractéristiques du sol, nous avons procédé à un échantillonnage basé sur les états de couverture végétale : couvert arbustif à Combrétacées, couvert herbacé dense à dominance de graminées (95%) et sol nu en voie de régénération dans la mise en défens.

Au niveau d'une parcelle témoin dont les trois états sont relativement dégradés, nous avons échantillonné sur la même base : couvert arbustif, couvert herbacé faible (20% de recouvrement) et sol nu induré.

Trois profils par parcelle ont été creusés. Les échantillons de sols ont été prélevés à faible profondeur, entre 0 et 15 cm, au-dessus de la cuirasse sub-affleurante.

Les analyses doivent permettre d'étudier l'évolution de la teneur en matière organique, carbone, azote et phosphore, sous l'effet de la mise en défens.

La méthode gravimétrique a été utilisée pour évaluer les stocks d'eau du sol dans les cas suivants :

- détermination du front d'humectation et de la lame d'eau infiltrée après chaque pluie du protocole de simulation,

- évaluation des stocks hydriques par la méthode des transects de part et d'autre des haies vives, qui constituent l'un des aménagements anti-érosifs étudiés.

Cette méthode a donné des résultats fiables. Elle doit être complétée par une mesure de densité apparente du sol pour déterminer l'humidité volumique et le stock hydrique d'une tranche de sol donnée (Annexe2).

La dynamique de l'écoulement a été analysée suivant deux méthodes préconisées par de nombreux auteurs qui ont étudié cette question, en particulier sur les sols tropicaux de savane ou de zone de culture : LAFFORGUE (1977), ROOSE (1977, 1981), VALENTIN (1985), ALBERGEL (1987), MIETTON (1988), COLLINET (1988) :

Il s'agit de mesures de ruissellement et des transports de particules fines sous pluies naturelles et sous pluies simulées.

Sous pluies naturelles : l'étude du ruissellement et de l'érosion en condition de pluies naturelles est réalisée dans des parcelles d'érosion de quelques dizaines de mètres carrés. De nombreux chercheurs ont préconisé l'emploi de cette méthode pour caractériser le rôle des facteurs susceptibles d'influencer les processus du ruissellement et de l'érosion (WISCHMEIER et SMITH, 1960, 1978; FOURNIER, 1967; ROOSE, 1976, 1977). Elle permet de réaliser un suivi intra et interannuel des facteurs conditionnels du ruissellement et de l'érosion.

Le dispositif expérimental comprend ici :

- deux parcelles de ruissellement de 50 m² (figure 1.3) : la parcelle n° 1 est située à l'intérieur de la mise en défens et la parcelle n° 2 (« témoin ») en milieu non protégé.
- un pluviographe à augets basculeurs, à rotation journalière.
- un pluviomètre au sol.

Chaque parcelle est isolée de l'extérieur par des tôles fichées en terre sur au moins 10 cm pour éviter la pénétration des eaux de ruissellement parasite. En aval, la parcelle de ruissellement est munie d'un système récepteur. Ce système est composé de deux cuves avec partiteurs de débits. La mesure de ruissellement et celle de la charge en suspension se font au niveau des cuves réceptrices du ruissellement. Pour le ruissellement, une lecture systématique est faite (cuve de 100 l graduée). Quant à la charge en suspension, elle est mesurée à partir d'échantillon d'eau prélevé dans la lame d'eau ruisselée après homogénéisation (le contenu de la cuve est mélangé avant tout prélèvement d'échantillon).

Cette méthode ne nécessite pas la présence, pendant l'événement pluvieux, d'un personnel. Les mesures sont effectuées généralement le jour même, quelques heures après l'averse.

Les avantages et inconvénients de la méthode ont été décrits par MIETTON (1988). La précision est estimée à 10% près (ROOSE, 1984).

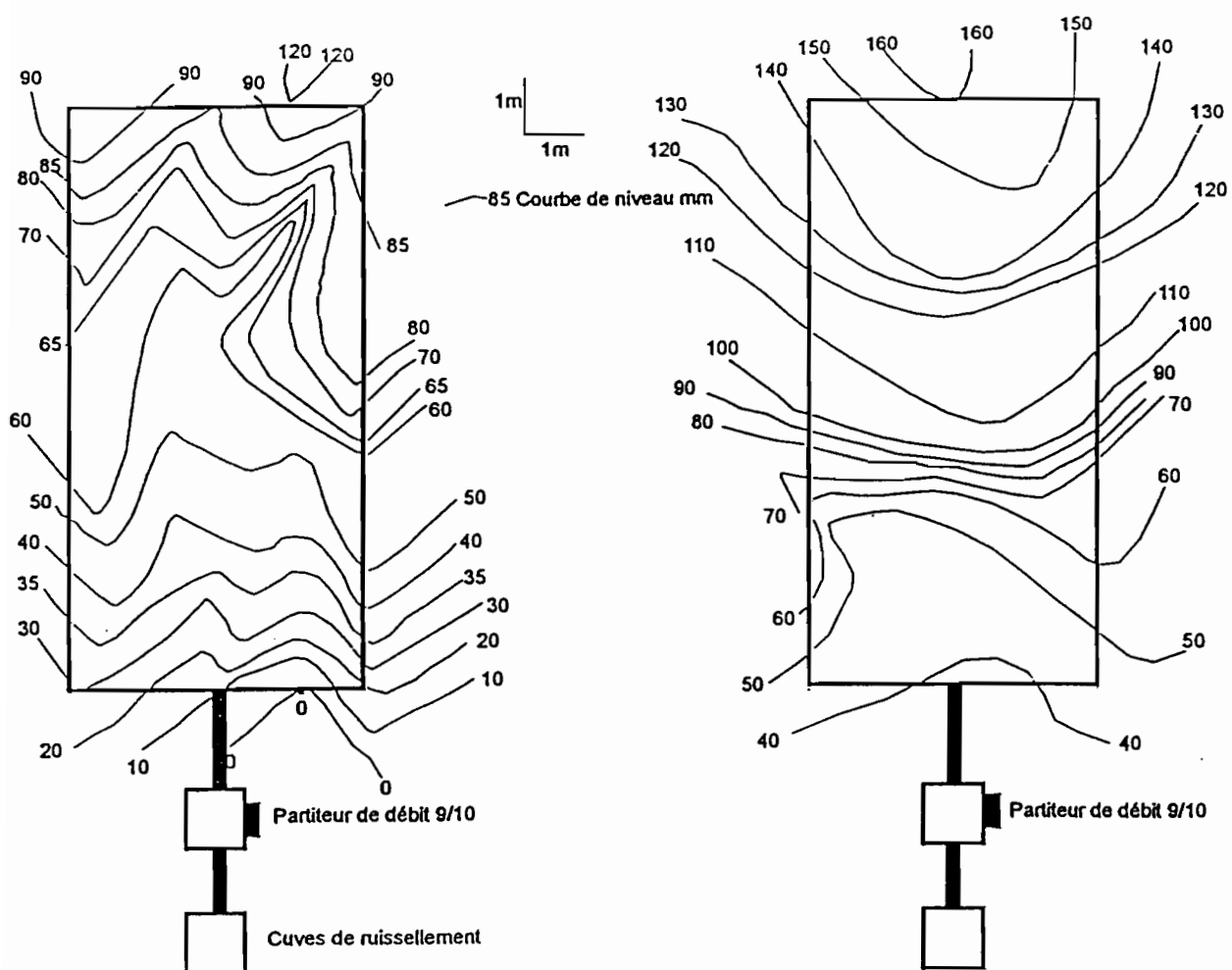


Figure 1.3 : Parcelles de ruissellement 1 et 2

Sous pluies simulées : c'est le mini-simulateur de pluie de type ORSTOM qui a été utilisé pour réaliser cette étude afin de reproduire, sur une surface réduite, une averse dont les paramètres physiques sont aussi proches que possible de ceux observés dans la nature.

Ce simulateur a été bien décrit par de nombreux auteurs parmi lesquels nous citerons ALBERGEL et BERNARD (1992). Nous prendrons donc ce document comme base de référence.

Il est formé d'une tour de forme pyramidale, en tubes carrés démontables, suffisamment légère pour être transportée par quatre personnes (100 kg environ), protégée du vent par des bâches plastiques (figure 1.4). La surface au sommet est un rectangle de 2 m x 1,40 m. La base occupe une surface au sol de 4 m x 2,8 m; la hauteur est de 4,10 m.

Le système d'aspersion est composé d'un moteur "hybride", pas à pas piloté par un micro processeur actionnant un bras oscillant sur lequel est monté le gicleur calibré qui arrose la parcelle de 1 m² et son voisinage.

L'alimentation en eau du gicleur est réalisée par une pompe électrique. La pression d'eau est réglable à tout moment. Un manomètre fixé sur le sommet de la tour permet de connaître le débit du gicleur.

L'alimentation électrique (220 V et 12 V) est fournie par un groupe électrogène et des batteries en tampon. La parcelle est constituée d'un cadre métallique de 1 m de côté que l'on fiche dans le sol. Le côté perpendiculaire à la ligne de plus grande pente est percée d'une rangée de trous qui permettent d'évacuer le ruissellement dans une goulotte.

La cartographie des bassins versants de Thyssé Kaymor, faite par VALENTIN (1990), a mis en évidence sur le plateau trois unités représentatives d'états de surface différents dont la caractérisation est la suivante :

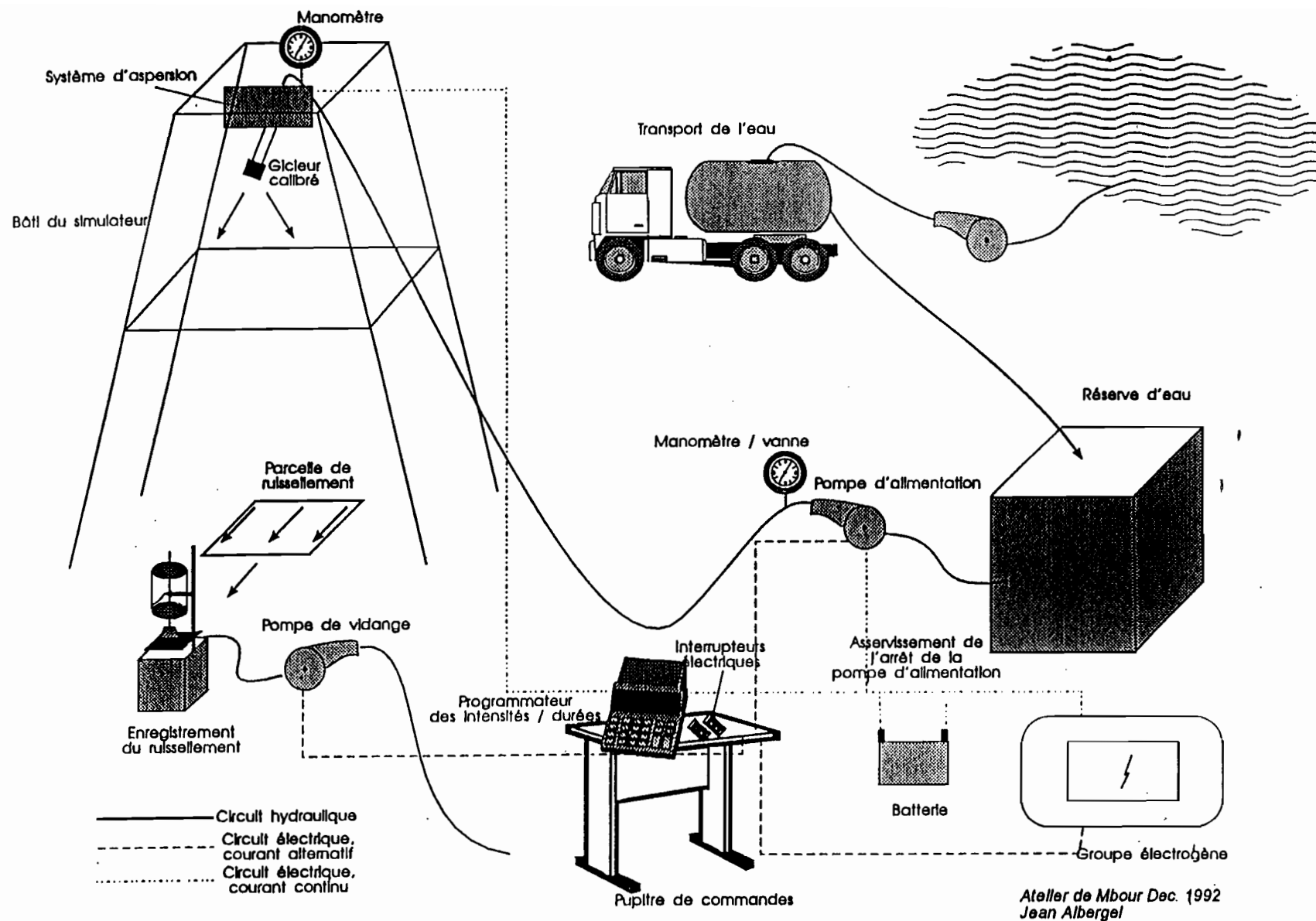
- l'unité 1 est une surface recouverte par une pellicule indurée (croûte de dessiccation),

- l'unité 2 correspond à une végétation herbacée sur épandage sableux avec gravillons fins (surface à placage de termites sur des débris herbacés).

- l'unité 3 est une végétation arbustive sur épandage gravillonnaire et recouvrement sableux.

L'objectif est d'étudier l'efficacité d'une mise en défens sur les facteurs susceptibles d'influencer le ruissellement. La simulation de pluies dans chacune des unités permet par comparaison d'un couple de parcelles, l'une en défens et l'autre en témoin de réaliser cet objectif.

Figure 1.4 : mini-simulateur de pluies type ORSTOM



CHAPITRE 2

Le cadre de l'étude

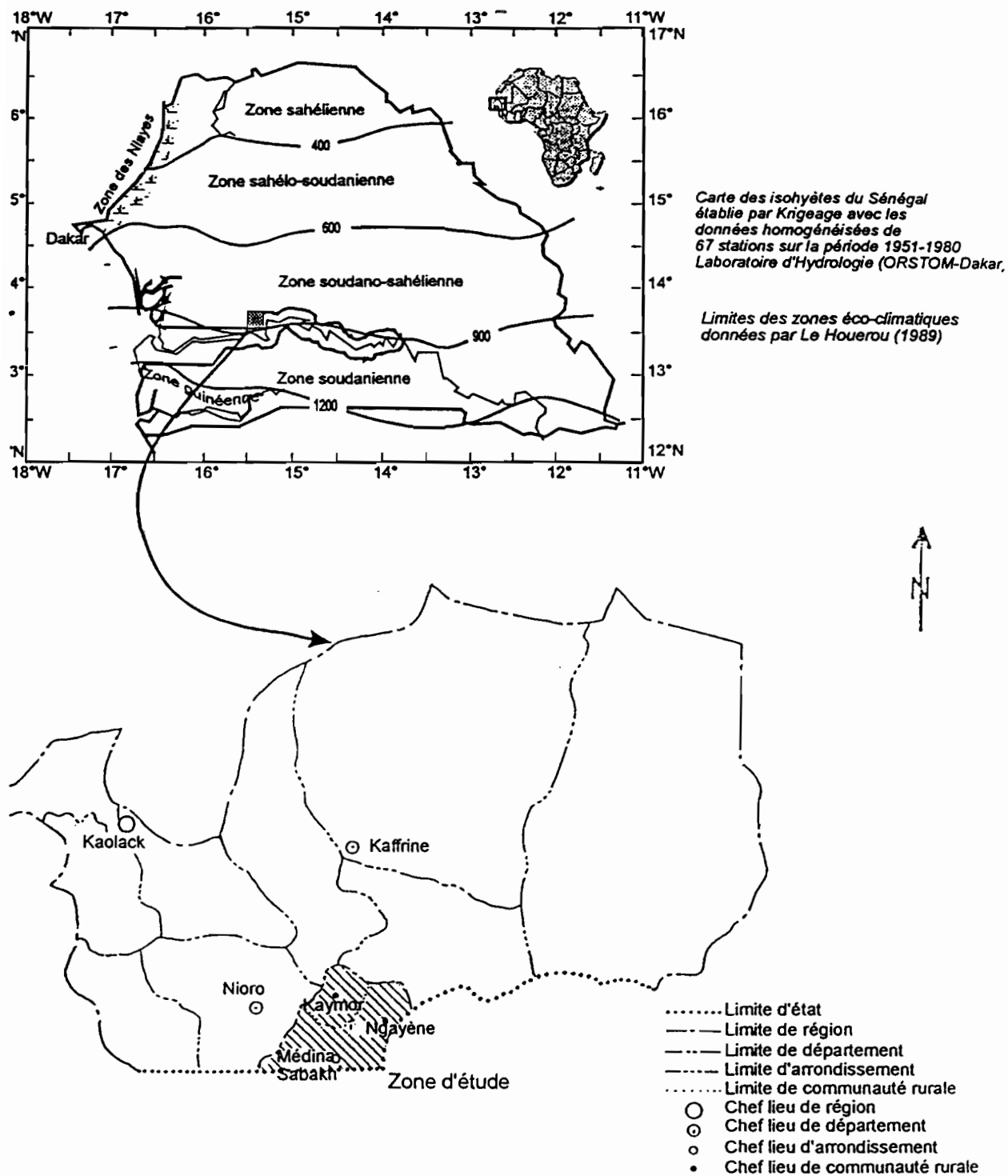


Figure 2.1 : Carte de localisation de la zone d'étude

Décrire le contexte physique et humain de notre recherche ne correspond pas à une étude formelle. Il y a nécessité impérative de replacer nos résultats notamment dans un cadre pédoclimatique car les effets des aménagements, de la mise en défens en particulier, ne sont représentatifs que d'un contexte donné et ne peuvent être appréciés que par rapport à une période de référence. Entre autres termes, il ne faut pas perdre de vue que les résultats pourraient être sensiblement différents dans un contexte de pluviosité excédentaire ou au contraire plus largement déficitaire que celui décrit ci-dessous. Dans la présentation du milieu physique, la place la plus large est donc faite à l'analyse de la pluviosité puis ensuite à la présentation du couvert végétal, compte tenu des objectifs de l'étude précédemment définis.

La zone d'étude s'intègre dans le territoire de la communauté rurale de Thyssé Kaymor, dans la partie sud du Sine-Saloum, à 30 kilomètres à l'est de Nioro du Rip, petite ville frontalière avec la République de Gambie. Cette communauté, dont le terroir est d'une superficie de 19.500 hectares, fait partie de l'arrondissement de Médina Sabakh, dans le département de Nioro du Rip et la région administrative de Kaolack.

Elle est bordée à l'ouest par la vallée du "Baobolon", au nord-est par la sous-préfecture de Nganda et au sud-ouest par la communauté rurale de Médina Sabakh. Elle représente la partie sud du bassin arachidier du Sénégal (figure 2.1).

2.1 Le cadre morpho-pédo-climatique et les caractéristiques de la végétation

2.1.1 Les traits généraux du climat.

Le climat de la région est un climat tropical soudanien à deux saisons fortement contrastées, dont les caractéristiques peuvent être appréciées à travers les données de la station agro-climatologique de Nioro du Rip (à 30 km de Thyssé Kaymor), qui fait partie du réseau météorologique national.

L'analyse de séries observées depuis 1932 à la station de Nioro a révélé que la période actuelle s'inscrit dans la tendance générale de déficits pluviométriques (OLIVRY, 1983 ; SIRCOULON, 1976 ; ALBERGEL et al., 1985). Cette sécheresse, qui s'est installée à la fin des années 1969 se singularise par sa durée (25 ans), son ampleur (fréquence élevée d'années exceptionnellement sèches). Durant les deux dernières décennies (1970-1992), la valeur de la décennale sèche

(calculée sur la période 1932 à 1992) est atteinte 8 fois alors que la moyenne pluviométrique annuelle variait autour de 600 mm.

Les paramètres suivants sont successivement décrits : la pluviométrie, la température de l'air et l'humidité relative sous abri, la vitesse et la direction des vents, la durée de l'insolation et l'évaporation Piche. L'évapotranspiration potentielle à partir du bac classe A a été mesurée et calculée.

Les caractéristiques de la pluviométrie régionale

La variabilité régionale de la pluviométrie a été étudiée par DACOSTA (1992) à partir d'une analyse du vecteur régional (BRUNET-MORET, 1963).

Ainsi, nous avons pu caractériser, à partir de la variation des indices du vecteur régional, la pluviométrie à l'échelle de la région entre 1932 et 1992 (figure 2.2). Cette figure présente une évolution en dents de scie dans laquelle on peut dégager quatre grandes périodes :

1932-1943 : une pluviométrie excédentaire,

1944-1949 : une pluviométrie proche de la moyenne,

1950-1969 : une pluviométrie largement excédentaire,

Au-delà d'une succession d'années humides et d'années sèches, les résultats permettent de constater une baisse généralisée de la pluviométrie en particulier à partir des années 1970. Durant la période 1970-1992, la fréquence des années déficitaires s'est accrue.

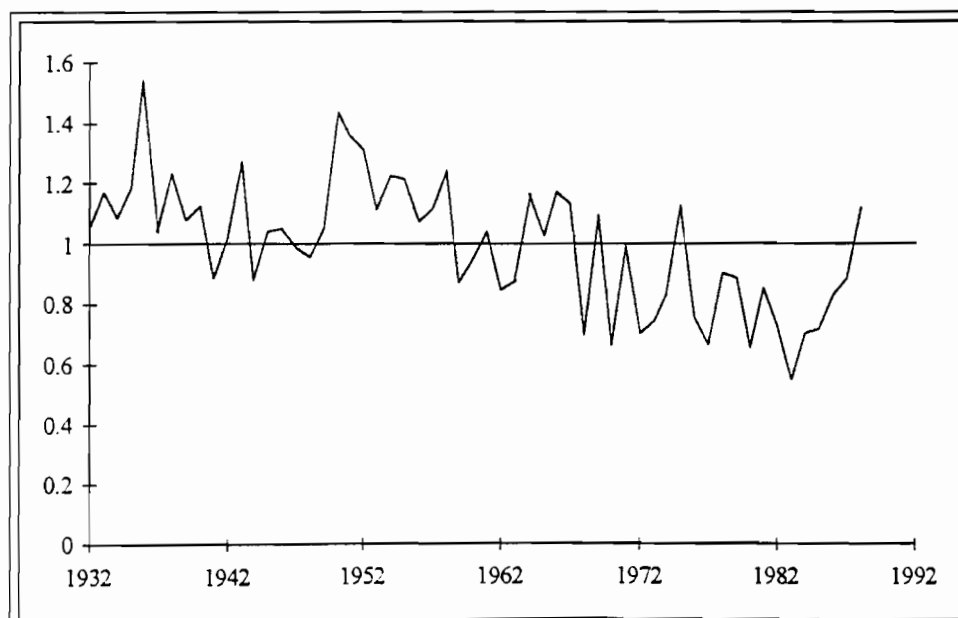


Figure 2.2 : Variation des indices pluviométriques annuels du vecteur régional (station du PAPEM, Sonkorong à 30 kilomètres de Nioro du Rip).

L'étude statistique des *pluies annuelles* a été faite sur la base des données du PAPEM¹ reconstituées à partir de celles de la station agro-climatologique de Nioro. On a cherché par calcul automatique le meilleur ajustement possible d'une loi de distribution parmi toutes celles proposées par le logiciel « DIX LOIS » (ORSTOM, 1988).

Le test de BRUNET-MORET permet de retenir la loi dont la distribution théorique se rapproche le plus de la distribution expérimentale de l'échantillon, surtout dans les valeurs extrêmes de fréquences (annexe 3).

Pour cette station, on a retenu la loi de Goodrich (fig 2.3.).

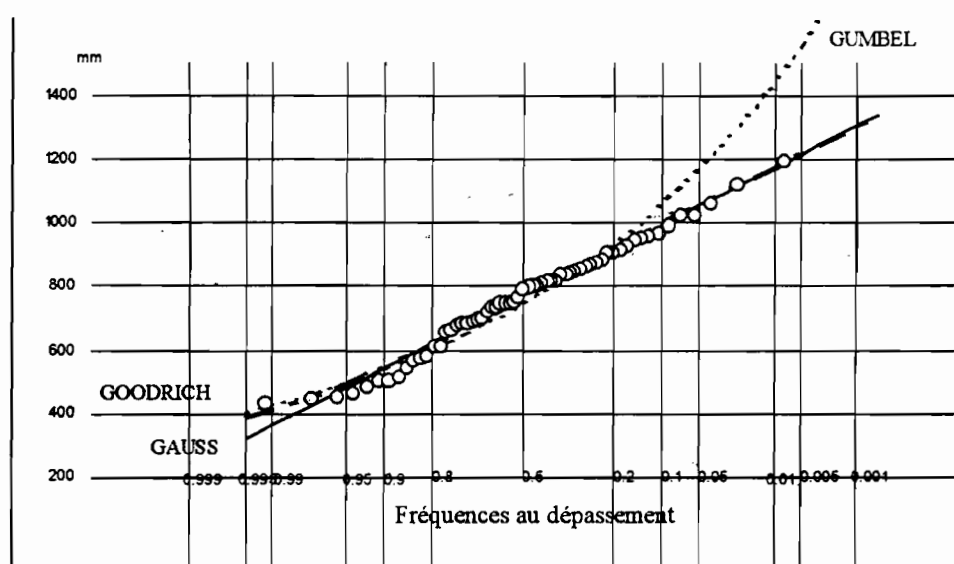


Figure 2.3.: Distribution statistique des pluies annuelles 1932 - 1992
(station du PAPEM, Sonkorong).

Les valeurs pluviométriques selon différentes périodes de retour sont reportées dans le tableau 2-1.

En année décennale humide, la région de Thyssé Kaymor enregistre des pluies de l'ordre de 1000 mm et en année décennale sèche des précipitations de l'ordre de 550 mm. Le coefficient de régularité de Rodier (K_3 = rapport de la décennale humide à la décennale sèche), exprime le contraste qui existe entre ces deux périodes : K_3 est de 1,8 pour la période 1932-1992 au niveau de Thyssé

¹ PPEM : Points d'appui d'essais multilocaux mis en place par l'ISRA (Institut Sénégalais de la Recherche Agricole).

Kaymor. Il indique donc un contraste net entre la décennale humide et la décennale sèche

Tableau 2-1 : Pluies annuelles de diverses fréquences de retour

probabilité	réurrence (années)	pluviosité (mm)	périodes
0.005	200	321	années
0.01	100	365	
0.02	50	412	
0.05	20	483	
0.1	10	547	sèches
0.2	5	623	
0.5	2	769	année normale
0.8	5	916	années
0.9	10	992	
0.95	20	1055	
0.98	50	1127	humides
0.99	100	1174	
0.995	200	1217	

Dans le tableau 2-2 est indiquée la répartition des *pluies mensuelles* dans les stations de Nioro et du Papem. Elle est caractéristique de la zone soudanienne avec une saison des pluies centrée sur le mois d'août.

Ce tableau fait apparaître l'homogénéité climatique déjà signalée par LAMAGAT, ALBERGEL et al (1989).

Tableau 2.2.: Répartition des précipitations mensuelles à Nioro (1947 - 1968) et au PAPEM (1984 - 1988) : in DACOSTA 1992.

Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Nioro	0	0.5	0	0	4.2	64.7	172	288	192	61.5	11.1	0.5
%	0	0.1	0	0	0.5	8.2	21.9	36.7	24.5	7.8	0.1	0.1
Papem	0	0	0	0	2.9	58.5	132	232	163	33.8	0	0
%	0	0	0	0	0.5	9.4	21.3	37.2	26.2	5.4	0	0

L'analyse statistique des *pluies journalières* (1932-1992) auxquelles a été ajustée la loi Gamma incomplète de Pearson III tronquée (lame précipitée supérieure à 0,5 mm) permet d'obtenir des hauteurs de pluies journalières de différentes périodes de retour reportées sur le tableau 2-3.

Tableau 2-3 : Hauteurs pluviométriques journalières de récurrences remarquables. Analyses fréquentielles 1932-1992. Station climatologique de Nioro du Rip.(source, DACOSTA, 1992).

période	récurrence				
années	2	5	10	50	100
1932-1992	84.2	103.3	117.9	152.1	167
1932-1968	85.3	103.4	117.2	149.3	163.2
1969-1992	81.9	102.8	119	157.5	174.4

Cette analyse nous renseigne sur les hauteurs pluviométriques journalières exceptionnelles, représentant les événements les plus efficaces dans les processus érosifs. Les séries 1932-1968 (période humide) et 1969-1992 (sécheresse) ont des hauteurs calculées comparables pour une même durée de retour. **Il en ressort que l'agressivité climatique reste toujours forte dans la zone climatique, malgré la période de sécheresse actuelle.**

Des conclusions semblables avaient été dégagées en particulier par ALBERGEL (1987) au Burkina Faso.

Les intensités des pluies ont été analysées par DACOSTA (1992) qui montre la qualité de l'ajustement des intensités maximales tombées en 5,15 et 30 minutes suivant la loi de Goodrich.

La figure 2.4 présente les intensités-durées-fréquences pour les averses dans la région étudiée.

L'indice d'érosivité R_{USA} de WISCHMEIER permet de prendre en compte l'énergie cinétique des averses. L'agressivité d'une averse est liée à l'importance de l'énergie cinétique des gouttes de pluies lors de leur effet sur le sol.

Pour la période 1983-1988, les indices R_{USA} varient de 256 à 311 selon les postes (annexe 3) : La répartition moyenne mensuelle des indices est conforme à la répartition des pluies (35 à 40% en Août et Septembre). Cette moyenne est

inférieure à celle (de l'ordre de 400 points) donnée par ROOSE (1977) dans son analyse sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest.

Le rapport RUSA sur le total pluviométrique est égal à 0,43 en moyenne. Cette valeur est légèrement inférieure à celle de 0,5 trouvée par ROOSE dans la zone mais a le même ordre de grandeur. Notons que CHARREAU et NICOU (1971) ont calculé un rapport de 0,48 à BAMBEY (zone centre-nord du bassin arachidier).

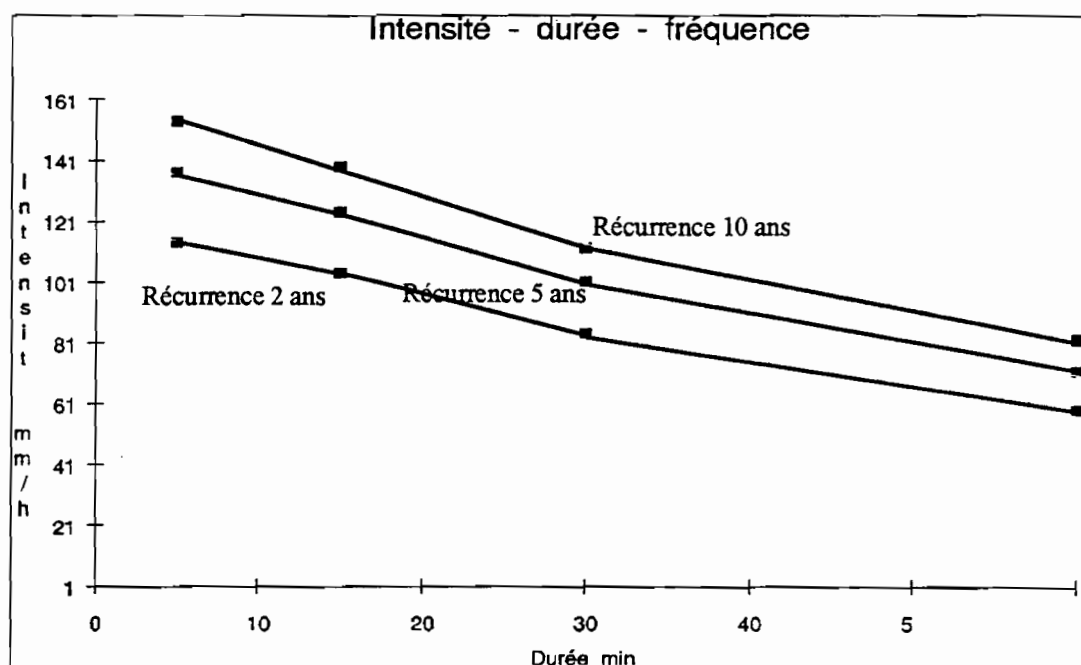


Figure 2.4 : Intensité-durées-fréquences pour les averses de la région étudiée

Les températures

La figure 2-5 présente les variations des moyennes mensuelles des températures maximales, minimales et moyennes enregistrées au cours de la période 1981-1992 à la station ago-climatologique de Nioro du Rip. Ces variations font apparaître un régime thermique tropical classique, bimodal, caractérisé par deux périodes chaudes, correspondant aux deux passages du soleil au zénith. Ces deux périodes sont centrées sur les mois d'avril et d'octobre mais la moyenne mensuelle maximum se situe en fin de saison sèche ; les deux périodes les moins chaudes étant centrées sur l'hivernage et l'hiver.

L'amplitude thermique moyenne annuelle pour les 11 années est de 15°C.

En résumé, dans l'année, les températures mensuelles maximales varient fortement d'un mois à l'autre et dépassent les 38°C pendant les mois de mars, avril

et mai. Les moyennes mensuelles minimales enregistrées varient de 15 à 18°C de décembre à février. Au cours de cette période, on observe les écarts diurnes moyens mensuels les plus élevés de l'année (18°C).

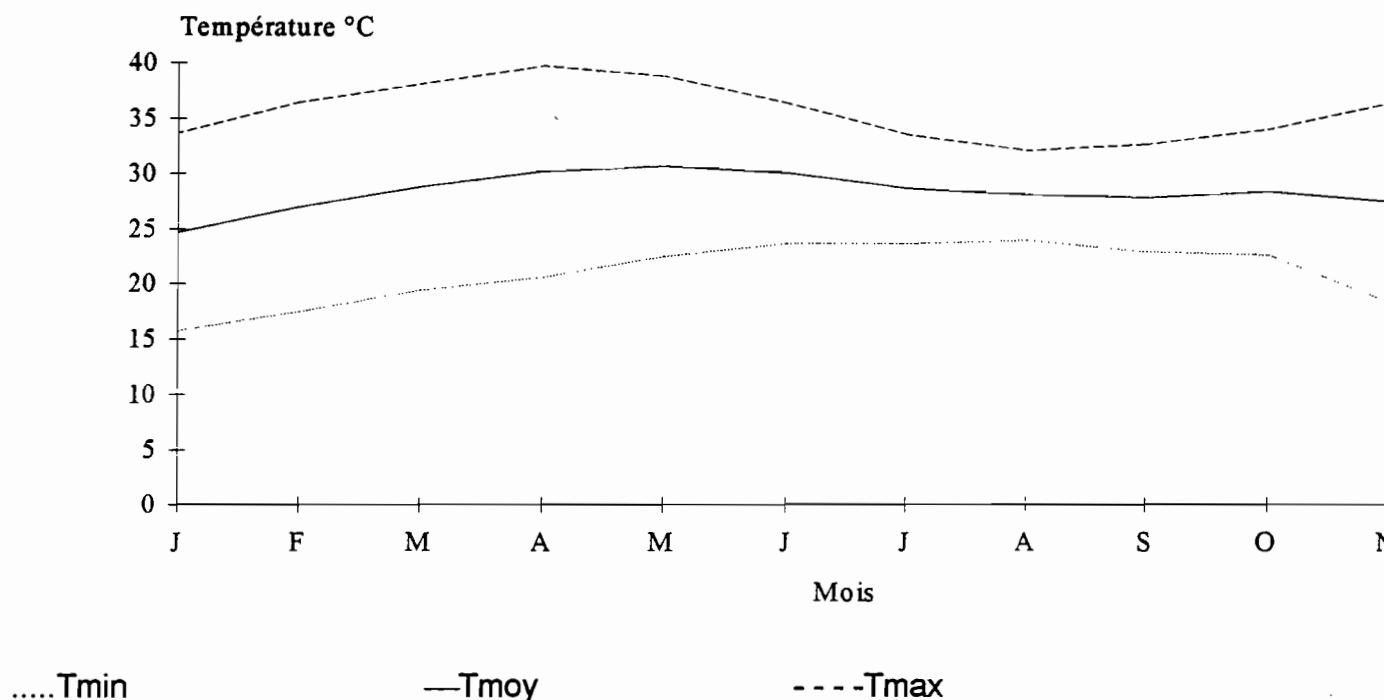


Figure 2.5 : Variation moyenne mensuelle des températures maximales, minimales et moyennes de 1981 à 1992

L'humidité relative : les courbes des variations de l'humidité relative de l'air sont représentées pour la période 1981-1992 sur la figure 2.6. Ces variations sont évidemment fortement corrélées négativement avec celles de la température et bien sûr positivement avec celles des précipitations. Il apparaît ainsi que l'humidité relative minimale de l'ordre de 20% est observée au cours des mois de février, mars et avril qui correspondent à la période de l'année la plus chaude. Les maximums sont enregistrés de juillet à octobre, durant la saison des pluies et atteignent des valeurs supérieures à 80%.

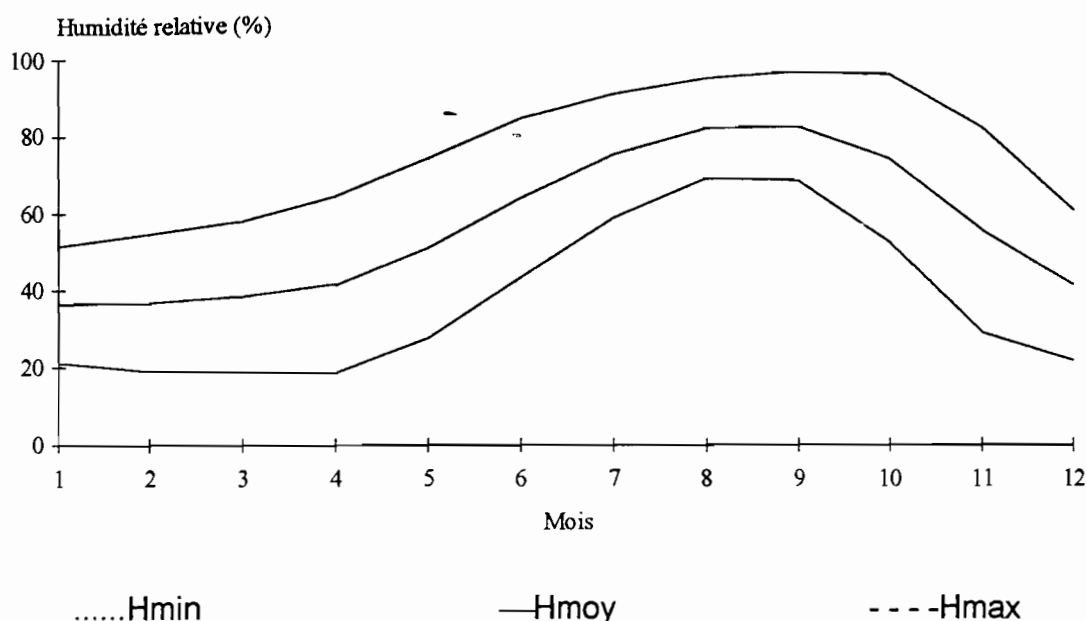


Figure 2.6 : Variations mensuelles de l'humidité relative moyenne (1981-1992)
station agro-climatique de Nioro du Rip.

L'insolation

La figure.2-7 présente l'évolution de la durée de l'insolation moyenne journalière sur la période 1981 à 1992. Comme pour les autres paramètres climatiques (températures, humidité,), l'insolation croît régulièrement entre les mois de janvier et avril (7,5 à 9 heures/j), diminue de mai à septembre (8 à 7 heures/j) puis augmente de nouveau entre octobre et décembre (8 à 8,5 heures/j).

Globalement, la durée de l'insolation varie faiblement d'un mois à l'autre (7 à 9,5 heures/j). Les plus faibles valeurs sont enregistrées durant les mois pluvieux en raison de la couverture nuageuse ou lors de certains phénomènes comme les vents de poussière du nord-est appelés brume sèche pendant les mois de mai et juin où les journées sont les plus longues de l'année.

L'insolation moyenne annuelle dépasse 2900 heures par an.

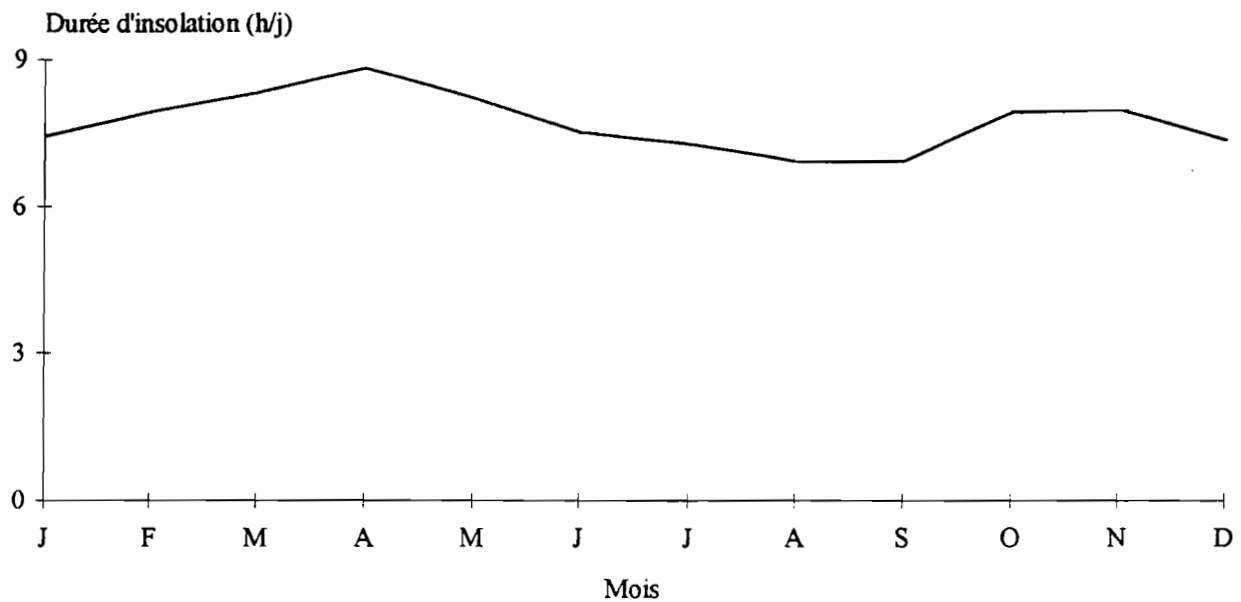


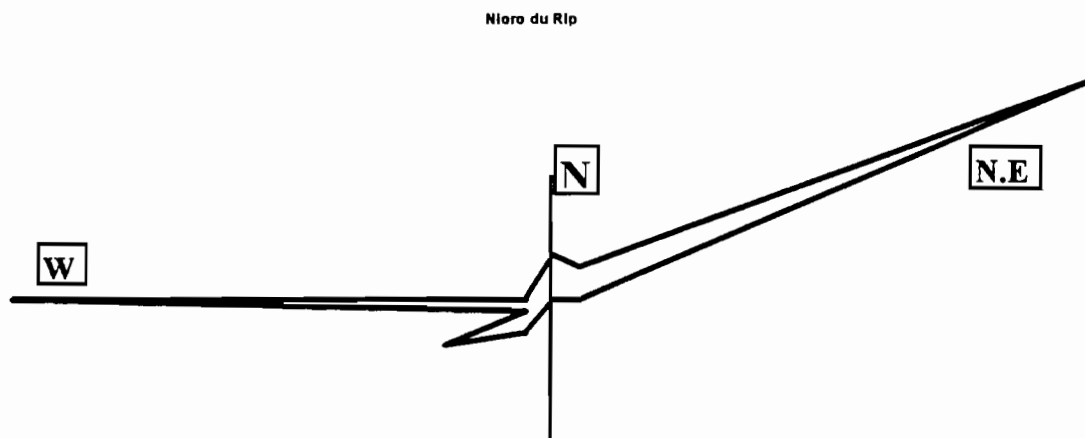
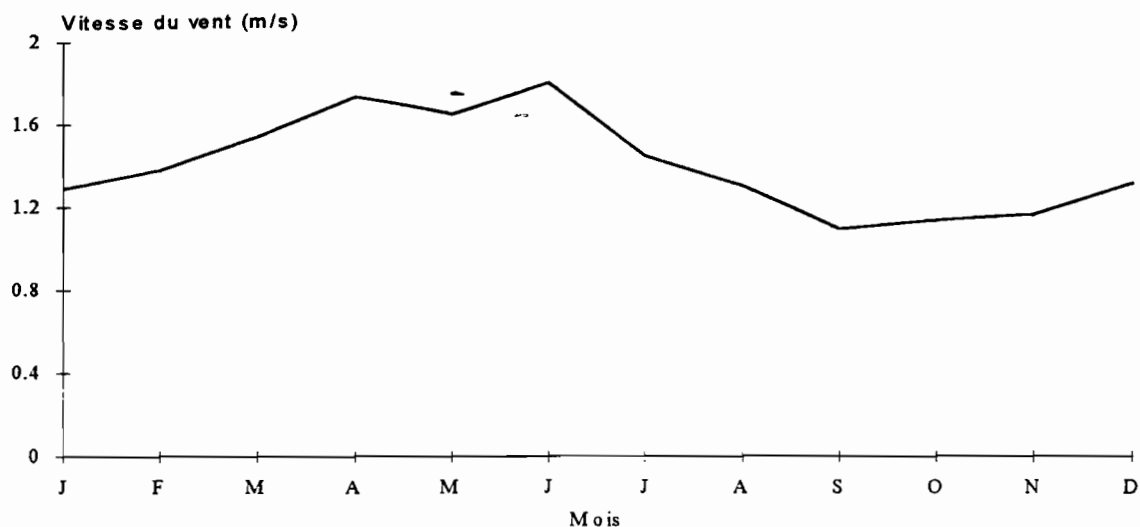
Figure 2-7 : Variations mensuelles de la durée de l'insolation de 1981 à 1992 (station synoptique de Kaolack).

Les vents de direction nord-est dominant en saison sèche (novembre à mai). En revanche, ceux du sud-ouest se manifestent en saison des pluies (fig. 2.8).

La vitesse de ces vents croît régulièrement entre les mois de novembre et d'avril ($1,2 \text{ ms}^{-1}$ à $1,8 \text{ ms}^{-1}$) puis diminue entre avril et mai ($1,8$ à $1,5 \text{ ms}^{-1}$), augmente de nouveau en juin (2 ms^{-1}) et enfin diminue très fortement entre juillet et octobre ($1,4$ à 1 ms^{-1}). En relation avec la direction et la vitesse, nous distinguons :

- les vents de saison sèche, caractérisés par un air chaud et desséchant appelé "harmattan". Ces vents généralement forts accentuent les conditions de sécheresse entre mars et avril.

- les vents de saison des pluies orientés sud-ouest apportent un régime de mousson et se caractérisent par leur humidité et leur vitesse relativement faible.



-Figure 2.8 : Variations annuelles de la vitesse et de la direction des vents (station de Nioro du Rip).

Le bilan climatique

Pour réaliser un bilan climatique - comparaison entre les précipitations et la demande évaporative - l'ETP PENMAN a été calculée à partir des données de température, d'humidité, de vent sur la station de Nioro du Rip et des données de bilan radiatif de la station synoptique de Kaolack.

On a reporté sur la figure 2.9 les pluies moyennes mensuelles (p) et le tiers de la valeur de l'évapotranspiration ($ETP / 3$). Ce dernier critère permet de déterminer la saison de végétation : toute l'eau de pluie supérieure à $ETP/3$ est utilisée par le végétal (LE HOUEROU 1989).

On peut observer que la saison sèche au sens d'AUBREVILLE (précipitations inférieures à 30 mm/mois) s'étale sur 7 mois. Durant cette période, la demande évaporative de l'atmosphère est la plus forte de l'année (température mensuelle maximale de l'air constamment supérieur à 30°C, insolation intense en moyenne 10 heures par jour et une humidité relative inférieure à 60%).

En revanche, la saison pluvieuse qui s'étend sur cinq mois, peut être décomposée en trois périodes suivant le bilan climatique d'une part et la satisfaction des besoins en eau des végétaux d'autre part:

- de mai à la fin de la première décade du mois de juin, $P < ETP/3$: c'est la période de préhumectation;
- deuxième décade de juin à la fin du mois de septembre, $P > ETP/3$; c'est la période de végétation,
- tout le mois d'octobre durant lequel on a $P < ETP/3$ et un assèchement du sol.

Ainsi, la saison de végétation se situe-t-elle entre la deuxième décade de juin et la fin du mois de septembre, soit sur une période d'au moins 110 jours.

Ce bilan met en évidence une fin de saison des pluies relativement précoce pour les plantes à cycle biologique long. Dans la région du sud Sine Saloum, il faudrait envisager une gestion agricole de l'eau de pluie pour assurer la fin du cycle de cultures annuelles à cycle long (sorgho, riz pluvial, coton).

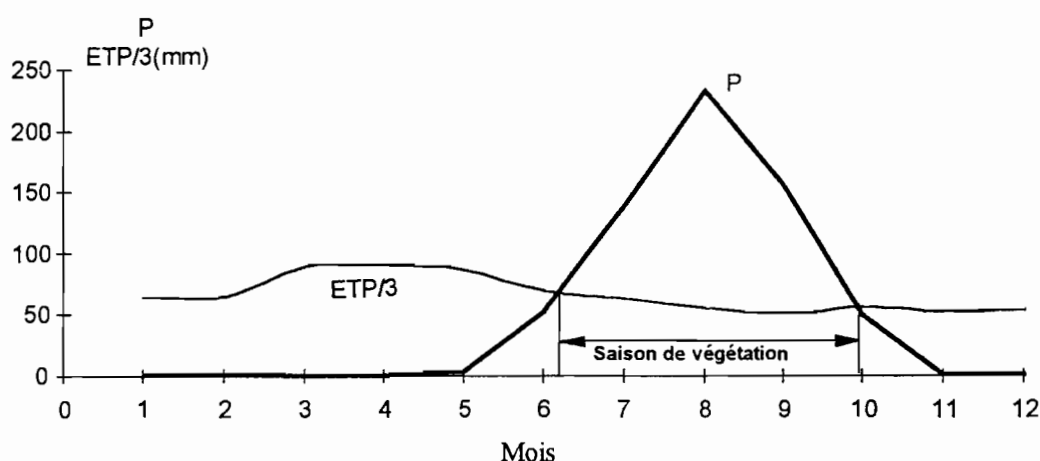


Figure 2.9 : Pluviométrie et évapotranspiration moyennes.

2.1.2 Le cadre morphopédologique.

2.1.2.1 Les caractéristiques géomorphologiques de la région

Elles sont connues grâce aux travaux de BERTRAND (1971), MICHEL (1973), SALL (1983) et ANGE (1985). Les états de surface des sols sur chaque unité du modelé ont été étudiés par VALENTIN (1990). Les développements suivants s'inspirent de leurs travaux.

La région étudiée fait partie du bassin hydrographique du fleuve Gambie et est drainée par son affluent de rive droite le Baobolon. Elle appartient à la partie centre-sud du bassin sédimentaire sénégal- mauritanien dont les séries marines d'épaisseur croissante d'est en ouest sont recouvertes en discordance par des formations gréso-argileuses du Continental Terminal (SALL, 1983). Ces formations, qui reposent sur les calcaires et marnes comportent de nombreuses variations de faciès.

Le faciès dominant est un grès argileux, bariolé et azoïque (MICHEL, 1969). Le modelé résulte de l'enfoncement du réseau hydrographique dans la masse des grès cuirassés, au pliocène. Les formes dominantes sont des plateaux et des niveaux intermédiaires étagés qui assurent le raccordement aux vallées. Ce paysage d'aspect monotone comporte deux entités morphologiques bien individualisées : les secteurs est et ouest du Baobolon.

Le secteur ouest, caractérisé par une plaine basse, est drainé par un réseau hydrographique faiblement hiérarchisé. BERTRAND (1972) assimile cette basse plaine à un bas glacis recouvert par un manteau sableux discontinu dont la morphologie dunaire est émoussée. Les vallées de ce secteur sont généralement fossilisées avec, par endroits, des dépressions à régime endoréïque.

Le secteur est du Baobolon est dominé par un paysage très contrasté de bas plateaux larges se raccordant aux vallées par des versants à corniche cuirassée ainsi que des niveaux étagés, correspondant à des "glacis" de démantèlement ou des terrasses colluvio-alluviales.

La cuirasse affleurante à sub-affleurante sur le rebord des plateaux disparaît progressivement dans leur partie centrale sous un manteau sablo-argileux (BERTRAND, 1972).

De nombreuses traces de bras anciens du Baobolon sillonnent encore la plaine inondable.

De manière générale, ce modelé, d'une grande simplicité dans ses lignes, ne traduit qu'en apparence un état de stabilité. Malgré la faible pente (<1%), le

ruissellement conserve une compétence suffisante pour provoquer une érosion des sols parfois spectaculaire (planche 1 : photos 1 et 2).

A l'échelle plus ponctuelle du secteur de Thyssé Kaymor, la zone étudiée se caractérise par des dépôts sédimentaires du continental terminal. Les formes dominantes du paysage sont des plateaux résiduels, cuirassés, des surfaces tendues en contrebas de ces derniers et des vallées généralement mortes .

En vue de la caractérisation des principales séquences géomorphologiques, nous avons réalisé des levés topographiques sur deux transects recoupant l'ensemble du paysage du plateau à la vallée.

Des coupes ont été réalisées sur deux types de toposéquences caractéristiques.

Sur la toposéquence n° 1 (fig 2.10), on distingue les unités géomorphologiques suivantes :

- un plateau cuirassé,
- un talus d'éboulis,
- un glacis de raccordement,
- un bas fond.

Le plateau cuirassé se distingue par son altitude qui varie entre 15 et 25 m. En fait, la cuirasse n'est affleurante qu'à la périphérie et évidemment sur toute la corniche en borbure du plateau (figure 2.10).

La zone interne du plateau présente un modelé mollement ondulé. Elle est couverte essentiellement par une surface qui se caractérise par une faible réorganisation pelliculaire : 55 % de croûte de dessiccation (DES), 40 % de surface à placages de termites liée à des débris herbacés (T) et 5 % de croûte d'érosion correspondant à des sites d'anciens nids de termite à différents stades d'effondrement (VALENTIN, 1990). Malgré une pente générale très faible, inférieure à 1%, le ruissellement conserve une compétence suffisante pour provoquer une érosion des horizons supérieurs.

L'érosion se manifeste sur les plages nues qui correspondent aux termitières abandonnées (environ 10 à 15 nids à l'hectare). Ces taches nues recouvertes par une croûte d'érosion constituent des zones d'amorce du ruissellement.

La zone de bordure du plateau se caractérise par un affleurement de la cuirasse dû à l'érosion des horizons superficiels. Cette unité du plateau affectée par la déforestation subit une érosion dégageant parfois l'horizon gravillonnaire sous-jacent. La pente relativement forte contribue à l'accentuation de ce processus sur le versant d'éboulis.

Planche 1. Erosion régressive sur la terrasse et ensembledent des bas-fonds
(bassin versant de sonkorong).



Photo 1

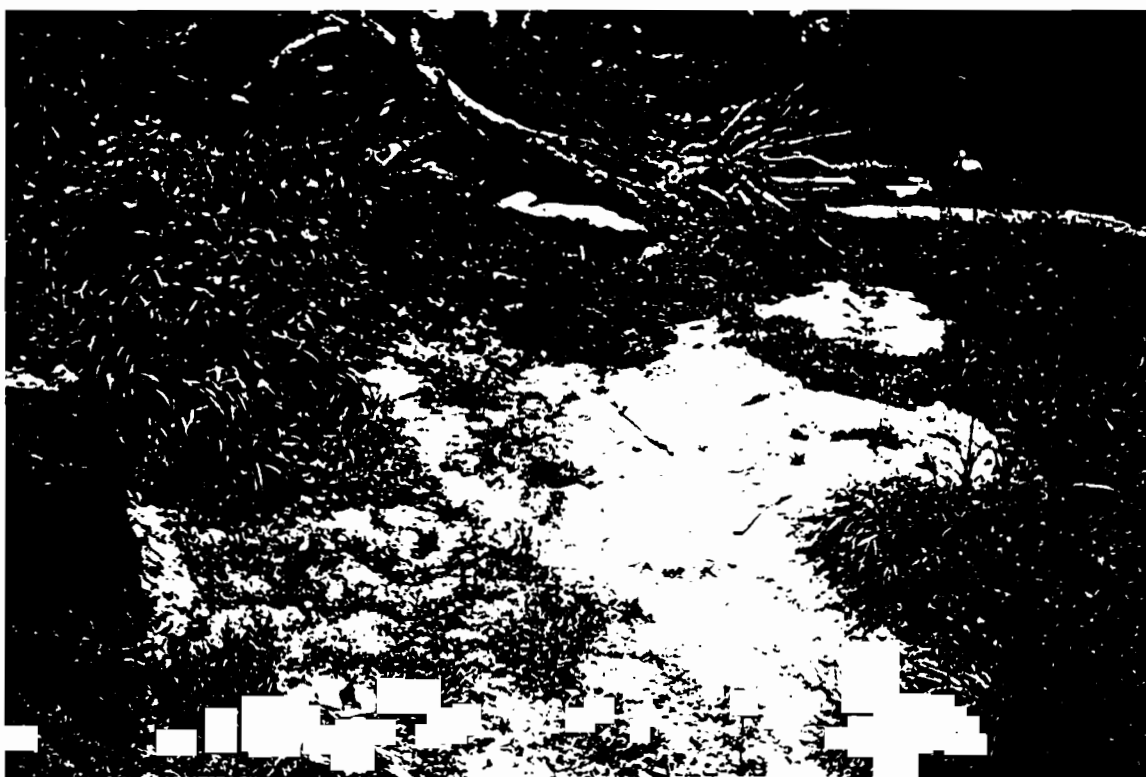


Photo 2

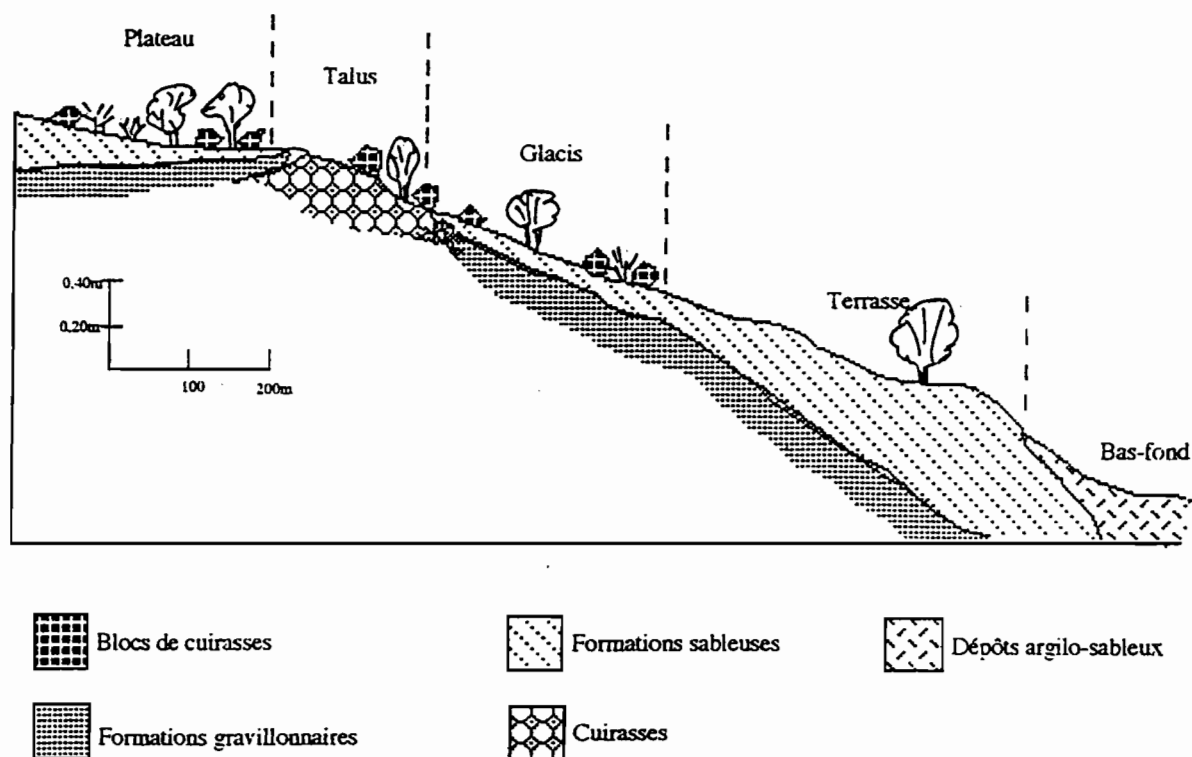


Figure. 2.10 : toposéquence n°1 du paysage soudanien du sud Sine Saloum (communauté rurale de Thyssée Kaymor).

Planche 2. démantèlement d'une termitière et auréole de sol nu.



photo n°3

Le talus d'éboulis fait suite à la corniche discontinue à cuirasse démantelée (BERTRAND, 1970). Cette surface de type grossier, recouverte de blocs de cuirasse se distingue par une pente plus perceptible de 3 à 4%.

On peut observer des laissés de ruissellement et des amas de matériau grossier sur des plages nues entre les buissons. Ceci suggère une érosion relativement forte des formations sableuses qui reposent sur une couche gravillonnaire soudée ou carapace. C'est au niveau de cette unité de la toposéquence que le ruissellement venant du plateau acquiert une énergie suffisante pour entraîner une érosion des sols du glacis.

Le glacis est une surface entaillée dans les altérites de grès cuirassé. Elle présente différents profils transversaux suivant les secteurs : convexo-concave ou convexe (BROUWERS, 1987). La profondeur de la cuirasse est très variable et dépend des variations du modelé. Deux unités principales se distinguent :

Sur cette toposéquence, la partie amont est recouverte d'un épais manteau sableux recouvrant l'horizon gravillonnaire en profondeur. La surface se caractérise par la présence d'une forte densité de termitières abandonnées : nombreuses taches nues, à structures superficielles indurées ou recouvertes d'une pellicule d'érosion avec parfois des amas de gravillons fins. Cette surface très sensible à l'érosion hydrique se dégrade très rapidement dès la mise en culture (décapage des sols, ravinement et formation d'une croûte de ruissellement). Ainsi dans les parcelles cultivées, observe-t-on des fragments de croûtes superficielles qui témoignent d'une sensibilité à l'érosion hydro-éolienne (VALENTIN, 1990). Sur les parcelles d'arachide, la surface du sol est pulvérulente après l'arrachage des gousses et devient très sensible à l'érosion éolienne. Dans les champs de mil, les résidus (tiges et racines) assurent au sol une protection contre les agents de l'érosion.

A mi-versant, un replat correspond à un cuirassement localement affleurant où les formations végétales de savane n'ont pas été défrichées par les paysans, ce qui pourrait expliquer la réduction du ruissellement et de l'érosion dans la partie tout à l'aval de ce glacis.

La terrasse correspondrait à des formations de colluvionnement et d'alluvionnement épaisses, principalement sableuses, plus limoneuses en surface et argileuses en profondeur. Son modelé en croupe est localement marqué par des traces d'érosion linéaire, parfois même par un ravinement intense, notamment le long des pistes. Cette zone est exploitée en priorité pour la culture des céréales (mil, maïs).

Le **bas-fond** se décompose en une surface alluviale temporairement inondée et une aire colluvio-alluviale latérale.

Des traces d'érosion régressive et des indices d'hydromorphie apparaissent sur cette dernière

La surface alluviale temporairement inondée correspond aux lits d'anciens bras du Baobolon.

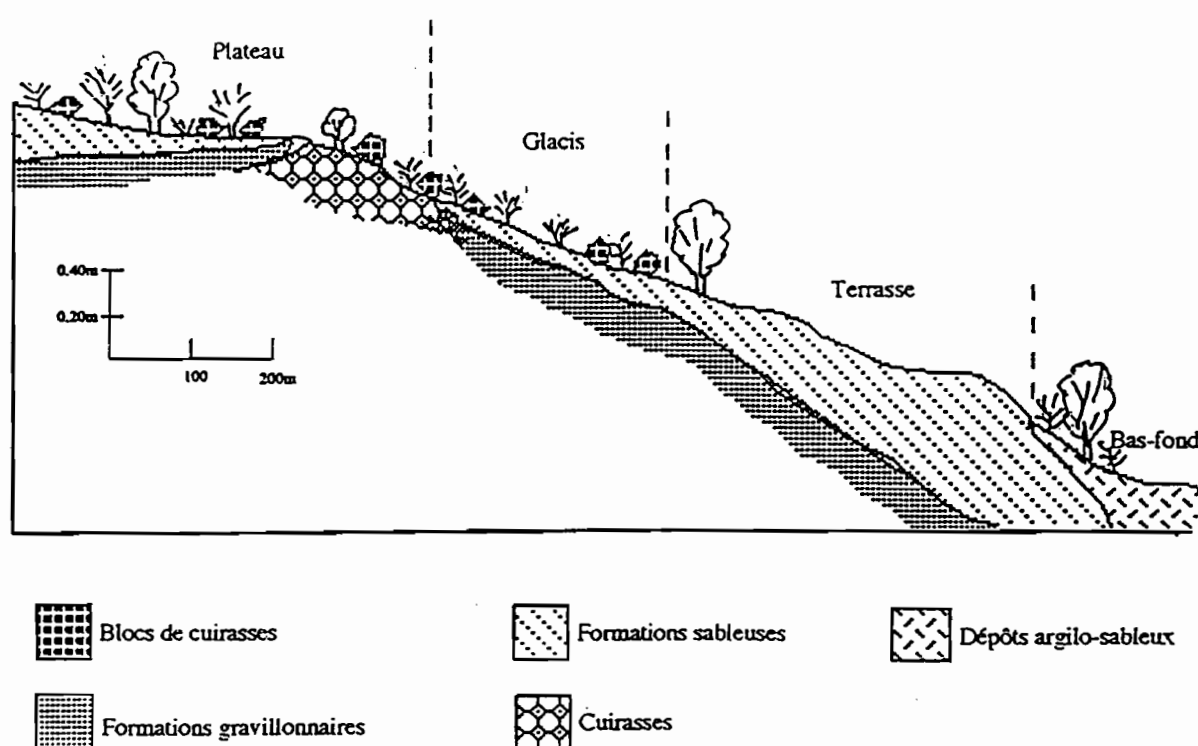


Figure 2.11. Toposéquence n°2 : paysage soudanien au sud du Sine Saloum

La **toposéquence n° 2** (figure 2.11) se distingue de la précédente par le fait qu'il n'y a pas de talus d'éboulis et que le glacis de raccordement est marqué plus largement par une cuirasse ici à faible profondeur. Sur ce « glacis », les états de surface du sol sont également caractérisés par des croûtes, il s'agit probablement de la décomposition d'algues et de lichens, de couleur gris-verdâtre, très ruisselantes, déjà décrites par MIETTON (1988) au Burkina Faso.

2.1.2.2 Les caractéristiques des sols

En nous référant à l'étude de BERTRAND (1971), nous pouvons préciser les grandes familles de sols rencontrées sur nos toposéquences.

Les sols ferrugineux tropicaux cuirassés des plateaux se rencontrent essentiellement sur le plateau cuirassé. Ce sont des sols sur cuirasse appelés sols beiges. Ils se caractérisent par deux horizons (AC) :

- un horizon supérieur à texture sablo-limoneuse (5 à 10% d'argile), de structure massive à polyédrique moyenne et d'épaisseur variant de 15 cm à 50 cm,
- un horizon sous-jacent enrichi en argile (20 à 30%).

Ces sols reposent sur un matériel clair et argileux en profondeur, contenant des tâches ferrugineuses indurées sur cuirasse ferrugineuse. La teneur en matière organique est faible dès la surface (0,1 à 0,5%) . La capacité d'échange cationique (CEC) varie de 3,5 meq/100 g en surface à 4,5 meq/100 g en profondeur et le taux de saturation diminue dans les mêmes horizons de 77 à 55% (DIATTA et MATTY, 1993).

La teneur en azote est de l'ordre de 0,05% le potassium 0,05 meq/100 g et le phosphore assimilable 0,7%. Ce sont des sols pauvres en phosphore et potassium.

Ces sols sont actuellement soumis à des défrichements massifs agricoles qui les exposent à l'action mécanique de la pluie : la formation d'une croûte de battance réduit très fortement l'infiltration de l'eau dans cette zone.

Les sols ferrugineux tropicaux sur glacis de raccordement se localisent sur la toposéquence entre le plateau résiduel et la vallée colluvo-alluviale. Ils sont généralement plus profonds que les précédents (70 à 100 cm).

Présentant une forte hétérogénéité morphologique, on les classe en deux groupes.

- Sols peu évolués, d'apport colluvial sur gravillons et cuirasse

Ces sols appelés sols modaux possèdent un horizon supérieur peu épais (70 cm de profondeur) à texture sablo-limoneuse, à faible taux d'argile (8 à 10%).

La texture fine est argileuse en profondeur d'où la capacité satisfaisante de rétention en eau (RU = 13-15%). La structure est polyédrique moyenne

en surface et fine à tendance grumeleuse en profondeur (BROUWERS, 1987).

Ces sols comme les précédents présentent des propriétés chimiques médiocres : matière organique (0,5%), azote (0,8‰), phosphore (0,07‰) et potassium (0,05 meq/100g).

Les propriétés hydriques sont limitées par la profondeur utile de sol sauf dans les secteurs convexes où l'épaisseur importante de terre fine les améliore.

- Sols ferrugineux tropicaux lessivés à peu lessivés

Ces sols relativement profonds possèdent un horizon supérieur à texture sableuse à sablo-limoneuse, profond, de couleur brun-rougeâtre, pauvre en matière organique (0,5 à 0,6%) à structure massive à tendance polyédrique qui passe en profondeur à un horizon rouge plus argileux (15 à 30%). Des taches beiges apparaissent en profondeur sur des gravillons indurés (BROUWERS, 1987).

Ces sols sont considérés comme étant des terres agricoles par excellence malgré une capacité moyenne de stockage de l'eau et des carences en phosphore et potassium (BERTRAND, 1971).

La capacité d'échange varie de 2 à 3 meq/100 g et le taux de saturation relativement bon atteint 77% .

Les problèmes rencontrés sur ces sols sont leur exploitation "minière", c'est-à-dire qu'ils sont soumis à une culture continue sans apport de fertilisant minéral ou organique. Sur ces sols apparaissent de nombreux signes d'érosion : encroûtement en surface, rigoles et ravines.

Les sols d'apport alluvial sont des sols très épais rencontrés sur les terrasses colluvo-alluviales et dans les bas fonds.

Ils se distinguent par un horizon superficiel très sableux pauvre en matière organique (0,3%). Cet horizon superficiel est peu structuré. En profondeur, on rencontre un horizon sableux de couleur claire à structure massive. Ces sols de bas-fond sont pauvres chimiquement : capacité d'échange faible de l'ordre 2 meq/100 g, un taux de saturation faible (20 à 40%). Leur position topographique est favorable à l'érosion régressive (sur alluvions récentes des berges). Comme les précédents, ces sols sont mis en culture continue sans restitution de la matière organique (déjà faible) ni apport d'engrais minéral, ce qui accentue ainsi leur pauvreté en éléments fertilisants.

Les sols hydromorphes, enfin, se sont développés sur alluvions récentes. Leur horizon de surface a 60 à 100 cm de profondeur, il est de texture limoneuse à limono-argileuse, à structure polyédrique. Leur profil est marqué par des taches d'hydromorphie dues à une nappe d'eau temporaire durant la saison des pluies. En certains endroits, la nappe provoque la formation de gley.

Ces sols, possèdent une teneur en matière organique de 1%, un complexe absorbant élevé, une capacité d'échange cationique de 9,4 meq/100 g et un taux de saturation supérieur à 60%. Ce sont les terres potentiellement les plus fertiles de la

région mais leur difficulté de travail et leur engorgement temporaire entraînent leur non-mise en culture pluviale. Actuellement, ces sols sont utilisés pour le maraîchage et l'arboriculture fruitière (manguiers, papayers, etc.)

En résumé, dans le « constat des lieux » qu'il convient de dresser avant de mesurer les effets des aménagements anti-érosifs, il ressort que les sols de la région se caractérisent par :

- une teneur en matière organique faible (0,3% à 1%).
- une faible capacité d'échange cationique ; ce caractère pouvant s'expliquer par le fait que la fraction argileuse dominante est la kaolinite connue pour sa faible activité chimique.

des capacités de rétention hydrique en général faibles : l'eau utile est évaluée par Bertrand (1971) en utilisant les PF 2,5 et PF 4,2, entre 4,6% et 8,8% en surface et 6,5% à 7,8% en profondeur en particulier sur les sols peu évolués des plateaux résiduels cuirassés.

VALET(1985) indique que les vitesses d'infiltration mesurées par la méthode de Müntz se stabilisent entre 40 et 140 mm/h, quel que soit le type de sol. Ces valeurs sont confirmées par AUDIN (1987) qui trouve pour les sols de terrasses des vitesses d'infiltration variant de 42 à 87 mm/h.

Malgré ces caractères hydro-dynamiques jugés favorables, on observe dans la zone une importante dynamique de surface par ruissellement. En effet, ces sols d'une manière générale pauvres en argile, de texture sablo-limoneuse en surface et de structure peu développée sont sensibles au phénomène de battance dès que la couverture végétale est supprimée. A ce stade de dégradation de l'écran végétal naturel, le ruissellement et l'érosion sont donc agressifs.

2.1.3 Le paysage végétal

TROCHAIN (1940) définit cette région comme étant la transition entre le sous-secteur oriental du secteur soudano-sahélien et le secteur soudano-guinéen du domaine soudanien.

L'auteur utilisant des critères géobotaniques montre que ce sous-secteur est caractérisé par une forêt claire où dominant, par suite des transformations par l'homme (feu, déboisement pour les cultures), *Bombax costatum*, *Lannea acida*, *Pterocarpus erinaceus* et *Sterculia setigera*, avec un sous-bois à dominance de combrétacées : *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans*, *Guiera senegalensis* auxquelles s'ajoute *Acacia macrostachya*. Au niveau des zones de friches,

TROCHAIN note la présence d'un parc champêtre constitués de *Cordyla pinnata*, *Parkia biglobosa* et *Prosopis africana*.

VALENZA (1973) qui a étudié les pâturages, définit les principaux types de complexes ligneux-herbacées. Il distingue deux types de pâturages : les formations herbacées de la savane arbustive du plateau résiduel cuirassé et celles des zones marécageuses (galerie forestière, savane boisée). En 1986, FONTANEL décrit les principaux groupements végétaux ligneux en fonction des types géomorphologiques :

- sur le plateau, il distingue des groupements végétaux qui correspondent aux trois principales unités morphopédologiques : les dépressions, la zone interne (replats ou secteurs convexo-concaves) et les versants cuirassés (cuirasse peu profonde et affleurante par endroit).

- sur les terrasses récentes et les bas-fonds, l'auteur définit un seul groupement végétal : la galerie forestière.

Par ailleurs, des inventaires forestiers ont été effectués dans la zone par DIATTA (1988) et ARBONNIER (1990). Ces auteurs ont tenté d'une part de caractériser les formations forestières et d'autre part de suivre la dynamique de cette végétation (croissance, production des espèces principales). Ces différentes études ont pour la plupart abordé des aspects qualitatifs de la végétation mais surtout ont été réalisées à des échelles régionales.

Dans le cadre du présent travail, il nous a semblé nécessaire d'affiner la définition des unités de végétation à l'échelle du secteur écologique en rapport avec les éléments de paysage et sur la base de la strate ligneuse, strate qui confère à la communauté végétale sa stabilité.

L'objectif principal est donc ici de caractériser les unités de végétation des seuls bassins versants de Keur Dianko/Ndiarguène. Il s'agit de partir d'un inventaire détaillé des ligneux pour étudier la répartition des espèces en fonction des variations topographiques du milieu.

Les relevés ont été traités par l'analyse factorielle de correspondances dont le principe repose sur l'examen de suites de cartes factorielles correspondant à une analyse globale puis à une série d'analyses partielles discriminant les groupes de relevés.

L'analyse globale a porté sur la matrice 251 relevés x 54 espèces. La variance totale est de 16,4% pour l'axe 1, 9,21% (axe 2), 5,11% (axe 3) et 4,4% (axe 4) soit 35,1% pour les 4 premiers axes.

L'agencement des relevés dans le plan factoriel principal (figure 2.12) qui absorbe plus de 25.61% de la variabilité totale, montre que :

- sur l'axe 1, les relevés 3 D56 (550)³ *, 3 D57 (430)*, D60 (350) et D57 (330) aux abscisses négatives s'opposent aux relevés des plateaux 4P18(80)*, 4P13(70)* et 4P19(60) aux abscisses positives. Cet axe oppose donc les relevés de dépression(D) des relevés du plateau (P). L'axe 1 peut donc être interprété comme représentant le gradient d'humidité en relation avec la topographie; facteur principal de redistribution de l'eau dans les paysages semi- arides (KOECHLIN, 1982 in GROUZIS, 1988)

- l'axe 2 distingue de façon peu nette les relevés de glacis (G) des relevés du plateau (P). Cet axe tend à opposer le glacis (G) au plateau (P), c'est - à -dire des relevés qui s'opposent par la densité à l'hectare. Il peut être interprété comme représentant la densité de végétation, qui est moins importante dans les glacis du fait qu'ils sont largement cultivés.

Il ressort donc de cette analyse trois groupes floristiques (figure 2.12) :

- le groupe GF1 formé par des relevés situés dans les points bas et caractérisé par des espèces que FONTANEL (1986) considère comme appartenant à la forêt claire du domaine soudanien (liste des espèces annexe 4),
- le groupe GF2, bien individualisé, correspond aux unités végétales des terrasses. Les espèces caractéristiques sont *Parkia biglobosa* (,1463) *Diospyros mespiliformis* (685) et *Ziziphus mauritiana* (2078) (liste des espèces annexe 3),
- le troisième groupe correspond à un mélange des relevés du glacis et du plateau qu'il est difficile d'individualiser dans le cadre de cette analyse globale. La matrice 216 relevés x 54 espèces correspondant à ce dernier groupe a été soumise à une analyse partielle .

³ ()* valeurs des contributions à l'axe en millième

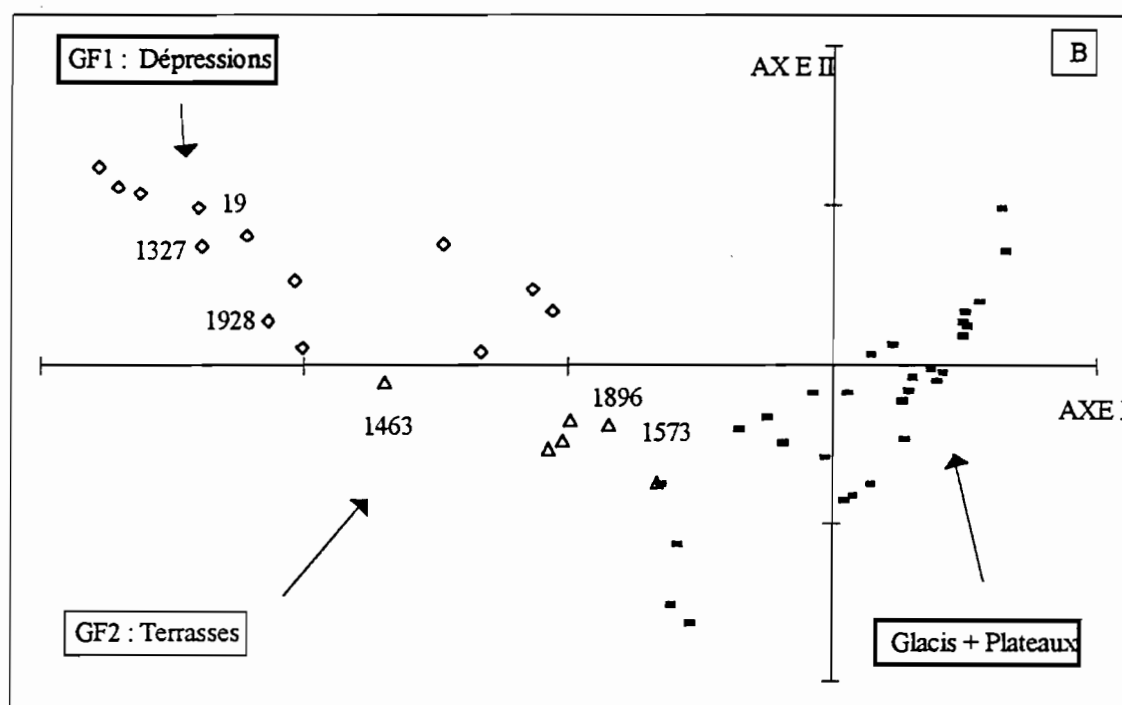
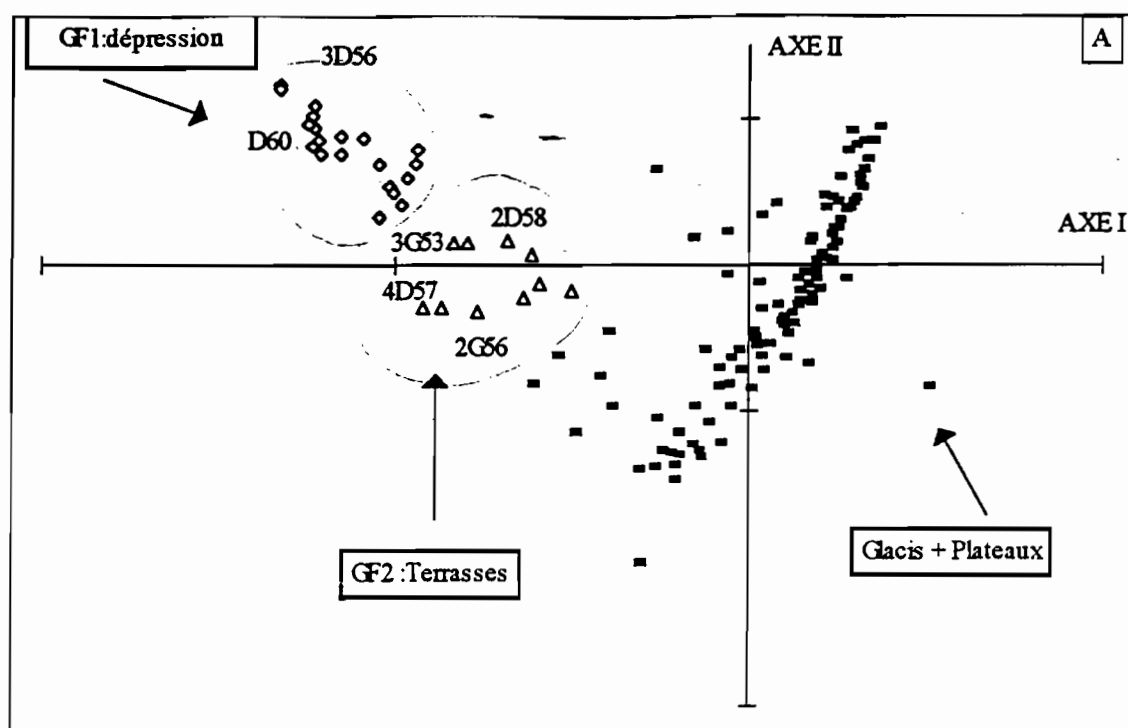


Figure 2.12.: Analyse globale dans le plan des facteurs 1 et 2 de la matrice 251 relevés x 54 espèces : carte des relevés (A) et des espèces (B).

A travers cette analyse partielle, il apparaît que le taux d'inertie absorbée par les 4 principaux axes est de 36% : les axes (1) et (2) absorbent 27% de l'inertie totale.

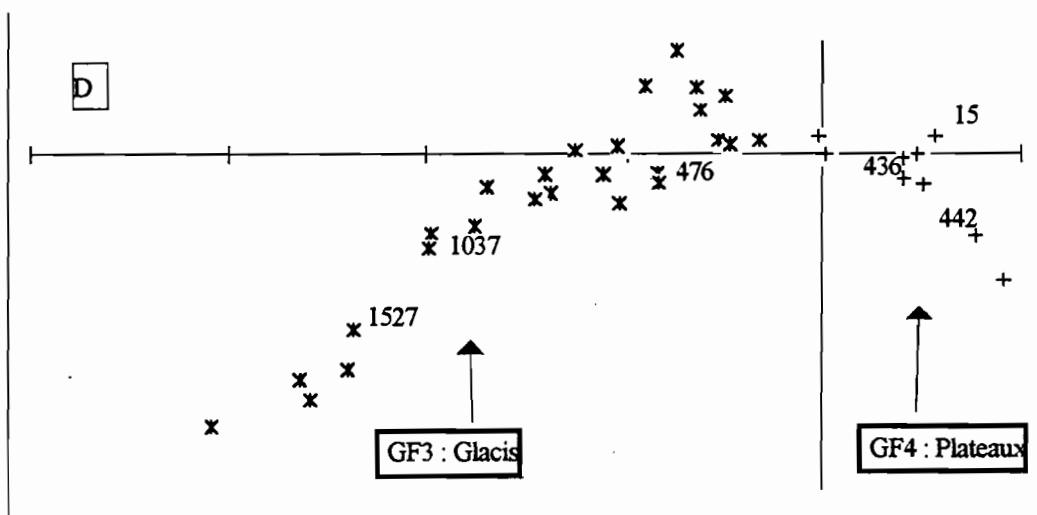


Figure 2.13 : Analyse partielle dans le plan des facteurs 1 et 2 de la matrice 216 relevés x 54 espèces : carte des relevés (C) et des espèces (D) .

L'examen de la figure 2.13 montre que :

- l'axe 1 sépare les relevés 4 G56 (630), 2G47(360) et 2 G50 (330) (abscisse négatives) des relevés 4 P19 (250), 4 P18 (160), 4 P12 (150) et 4 P13 (140) (abscisses positives). Cet axe opposant les relevés du glacis aux relevés du plateau

est toujours l'axe topographique comme dans le cas de l'analyse globale (gradient d'humidité).

- l'axe 2 représente la zone de transition glacis/plateau. Cette transition correspond à la bordure du plateau reconquise par les cultures.

Cette analyse partielle permet d'individualiser deux autres groupes :

- le groupe GF3 qui rassemble les relevés du glacis ou zone de cultures. Les espèces caractéristiques sont : *Acacia senegalensis*, (1037) *Guiera senegalensis* (939), *Combretum glutinosum* (436), *Cordyla pinnata* (476) (annexe 4 liste des espèces),

- le groupe GF4 constitué par les relevés du plateau résiduel cuirassé est caractérisé d'espèces de savanes dégradées : *Combretum glutinosum* (436), *Combretum nigricans* (442), *Acacia macrostachya* (15), *Guiera senegalensis* (939) (annexe 4, liste floristique des espèces) .

Par- delà les groupes floristiques ainsi définis, des unités de végétation ligneuse peuvent donc être identifiées (figure 2.14). On distingue :

-Une unité de points bas ou bas-fonds (GF1) dans laquelle les espèces caractéristiques sont : *Acacia seyal* (19), *Mitragyna inermis* (1327) et *Terminalia macroptera* (1928).

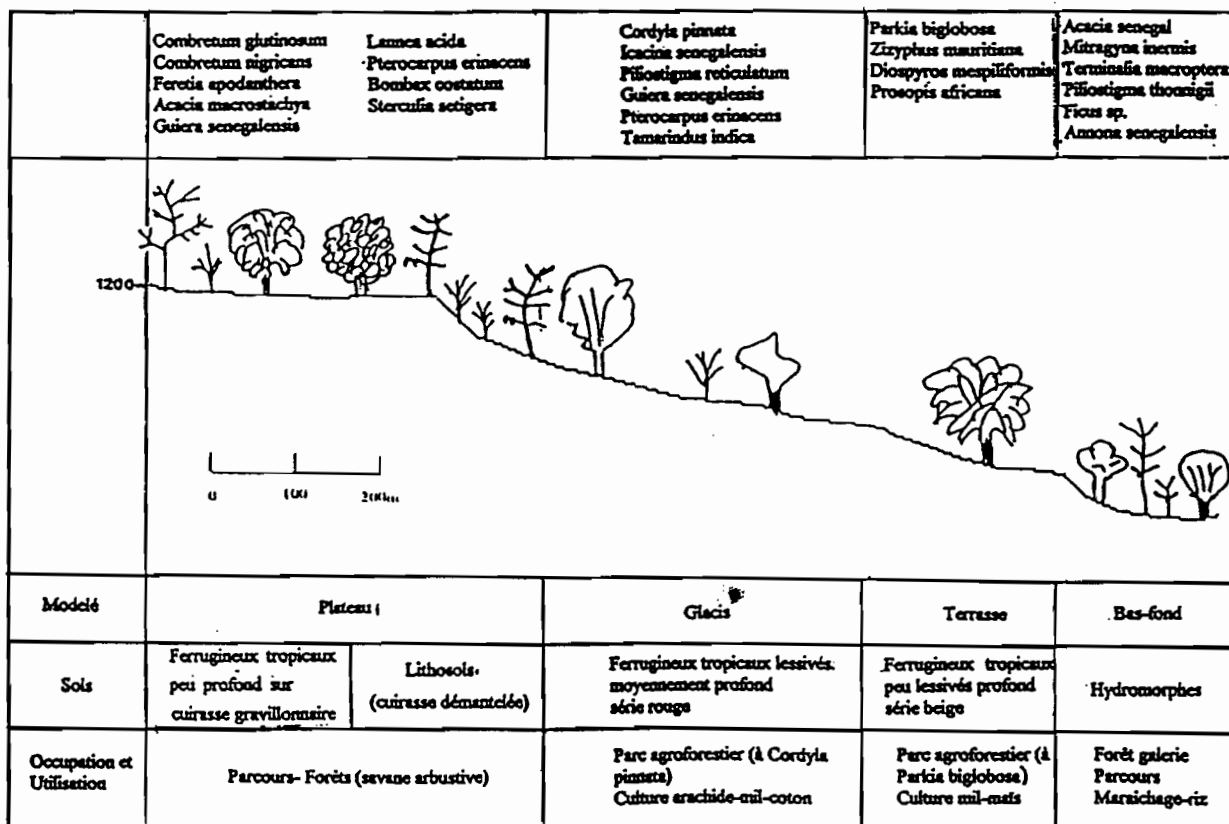


Figure 2. 14: répartition des unités de végétation

Selon TROCHAIN (1940) et FONTANEL (1986) ces trois espèces colonisent les stations humides caractérisées par des sols peu évolués, d'apport alluvial, hydromorphes, sur alluvions récentes. L'horizon superficiel, d'épaisseur variable (30 à 100cm), présente une texture limoneuse à argilo-limoneuse et des tâches d'hydromorphie en profondeur. Les trois espèces précitées représentent à elles seules un peu plus de 60% du spectre floristique calculé sur la base de la densité moyenne de l'espèce et de la densité totale du groupe floristique (figure 2.15). **Sur le plan régional, cette unité de végétation est largement représentée.** En effet, elle couvre l'ensemble du réseau hydrographique dégradé qui est constamment inondé au cours de la saison des pluies. Ces conditions édaphoclimatiques relativement favorables (sol profond, très bonne réserve hydrique, apports colluvio-alluviaux) expliquent la présence au sein de cette unité d'espèces appartenant à la flore soudano-guinéenne du domaine soudanien (TROCHAIN, 1940) : *Ficus gnaphalocarpa*, *Ficus glumosa* et *Terminalia macroptera* (liste floristique annexe 4).

- L'unité des terrasses (GF2) a pour espèces caractéristiques *Parkia biglobosa* (1463) *Diospyros mespiliformis*(685) et *Ziziphus mauritiana* (2079). Ces trois espèces représentent un peu plus de 90% du spectre floristique du groupe (figure 2.15). Cette unité, caractérisée par la présence de sols ferrugineux tropicaux, lessivés, sur colluvio-alluvions, de couleur beige, de profondeur supérieure à 2 m avec des propriétés physico-chimiques qualifiées d'excellentes par BERTRAND (1971), est réservée en priorité à la culture de céréales (mil, maïs). Le défrichement est important dans cette unité qui a été transformée en parc agroforestier à *Parkia biglobosa*, très dégradé. Des cinq espèces recensées dans cette unité, une seule représente un peu plus de 50% du spectre floristique. Il s'agit de *Ziziphus mauritiana* à l'état buissonnant qui régénère très rapidement par rejet de souche après les récoltes.

- L'unité du glaciais (GF3) est caractérisée par les espèces *Icacina senegalensis*, *Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Piliostigma reticulatum* et *Cordyla pinnata*. Les deux premières espèces représentent un peu plus de 60% du spectre floristique (fig.2.15). Cette unité est caractérisée par un sol ferrugineux tropical, peu évolué, sur gravillons et cuirasse. La profondeur du sol peut varier de 1 à 2 mètre mais, dans certains cas, la profondeur d'apparition de la cuirasse plus ou moins indurée peut atteindre 60 cm seulement. Cette unité est utilisée en priorité pour les cultures de rente (arachide, coton) en rotation avec des céréales (mil, sorgho). Outre les arbustes ou buissons (*Icacina*, *Piliostigma*, *Guiera senegalensis*), dont la régénération se fait essentiellement par rejets de souche, l'unité

s'individualise par la présence remarquable de *Cordyla pinnata*. Cette espèce caractérise le système agroforestier dans le sud du bassin arachidier où elle remplace *Acacia albida*, caractéristique des régions centre et nord. Ce parc est aujourd'hui dégradé.

L'unité du plateau résiduel cuirassé GF4 a pour espèces caractéristiques des combrétacées, notamment *Combretum nigricans*, *Combretum micranthum*, *Guiera senegalensis* mais aussi *Feretia apodanthera* et *Acacia macrostachya*. Ces cinq espèces représentent à elles seules plus de 70% du spectre floristique (figure 2.15). Les espèces compagnes sont listées en annexe 4. Parmi celles-ci, nous notons la présence de *Bombax costatum*, *Lannea acida*, *Sterculia setigera*, toutes appartenant à la strate supérieure.

Cette unité est caractérisée par des sols peu profonds à squelettiques sur cuirasse ferrugineuse dont les principaux sont les lithosols d'érosion (profondeur utile de l'ordre de 30 cm) et les sols gravillonnaires à faciès ferrugineux pouvant atteindre 70 cm de profondeur. Elle occupe les plus hautes surfaces de la toposéquence, point de départ d'un ruissellement important dont l'action érosive se manifeste sur les unités aval (zone des cultures).

En résumé, il apparaît un zonage topographique très marqué de la végétation dans notre secteur d'étude.

Les unités de végétation se succèdent au long de la toposéquence, se répartissant suivant un gradient d'humidité, en relation étroite avec l'organisation morphopédologique. D'amont en aval, on observe les unités des pédoclimats secs (plateau) caractérisées par une végétation de savane boisée dégradée en passant par les systèmes agroforestiers (glacis et terrasse) à *Cordyla pinnata* et *Parkia biglobosa* jusqu'aux unités des pédoclimats humides (bas-fond) où l'on rencontre principalement des espèces hygrophiles telle que *Mitragyna inermis*.

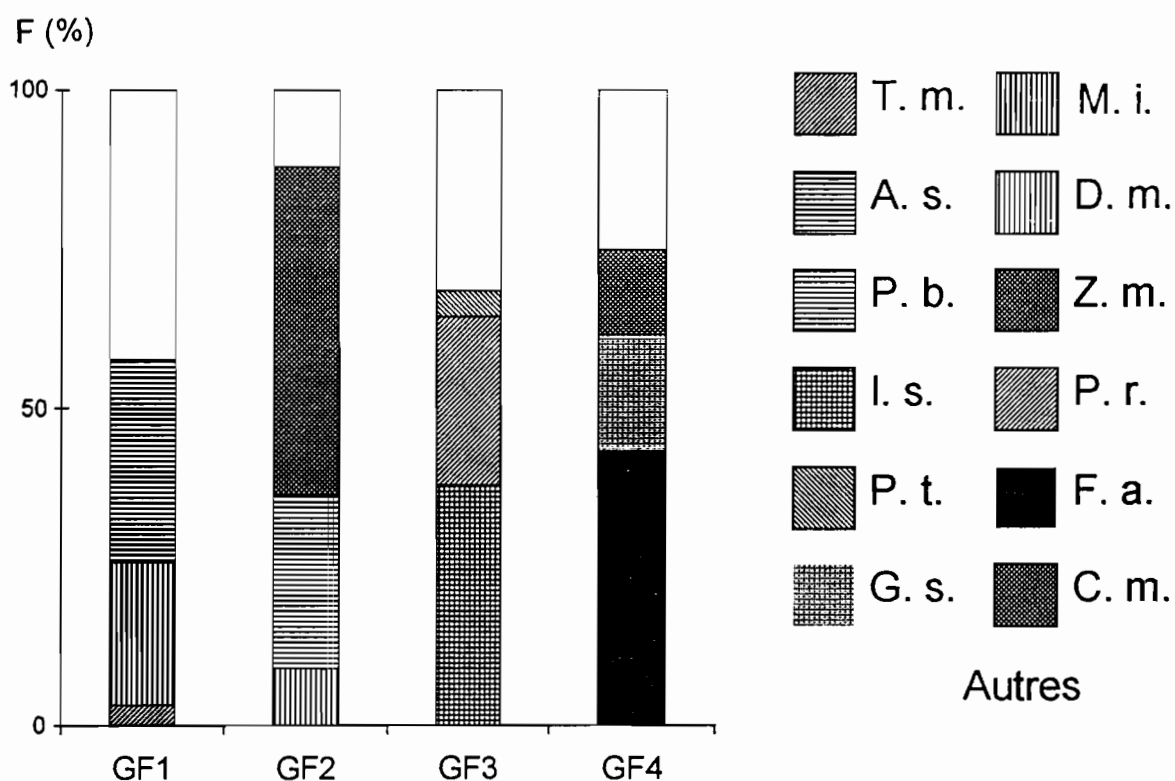


Figure 2.15 Spectre floristique des quatre groupes de végétation

T.m. *Terminalia macroptera* ; M.i. *Mitragyna inermis* ; A.s. *Acacia seyal* ; D.m. *Diospyros mespiliformis* ; P.b. *Parkia biglobosa* ; Z.m. *Ziziphus mauritiana* ; I.s. *Isacina senegalensis* ; P.r. *Piliostigma reticulatum* ; P.t. *Piliostigma thoningii* ; F.a. *Feretia apodanthera* ; G.s. *Guiera senegalensis* ; C.m. *Combretum micranthum* ;

F (%) = densité moyenne de l'espèce/densité totale du groupe floristique

2.2 L'environnement humain

Lors du recensement de 1983, la communauté rurale de Thyssé Kaymor comptait 12847 habitants répartis dans 23 villages et hameaux. Elle présentait alors une densité de population de 70 hab/km². Par rapport à la moyenne régionale estimée à 61 habitants/km² (FAYE et al, 1985), la communauté de Thyssé appartient aux zones rurales les plus peuplées du pays.

Cette population est composée en majorité de wolofs (90 %), de toucouleurs (7 %) et de peulhs (3 %). Les hommes représentent 49 % de la population totale contre 51 % de femmes. Pour les catégories d'âge : 35 % de la population est constituée par des individus âgés de 0 à 15 ans, 64% de 15 à 65 ans et 1% des plus de 65 ans

2.2.1 L'occupation des sols

A l'échelle historique, la région a probablement été anciennement occupée.

De nombreux auteurs (PELISSIER, 1966 ; BERTRAND, 1970 ; BERGERET, 1986) ont souligné l'existence de sites mégalithiques, que l'on peut voir d'ailleurs sur le site même de Thyssé Kaymor.

Ces pierres tombales, que les spécialistes datent du 7^{ème} ou 8^{ème} siècle ne sont revendiquées par aucun groupe ethnique, peuplant actuellement la région (BERGERET, 1986).

D'autre part, des vestiges d'occupations, à côté desquels sont implantés les villages contemporains, auraient été habités par des populations d'origine mandingue (FAYE et al., 1985). Ces mandingues, absents de la zone aujourd'hui, ont laissé des traces notamment toponymiques, au travers de noms de villages actuels : SOTOKOYE, SONKORONG, KOLOMBA...

FAYE et al (1985) et BERGERET (1986) estiment que ces premiers occupants auraient quitté la zone à cause d'épidémies, de guerres fréquentes et probablement de la famine.

Avec les bouleversements socio-culturels plus récents (colonisation, religions) et économiques (introduction de la culture de rente), la région a accueilli de nouveaux occupants dont l'implantation s'est effectuée suivant trois axes de peuplement (FAYE et al., 1985) :

- un premier axe, de loin le plus ancien, concerne les migrations Wolofs originaires du Djolof (dans la partie nord du Sénégal). Ces immigrants ont fondé les premiers villages du peuplement actuel.

- un second axe correspondant à l'arrivée de Toucouleurs originaires de la vallée du fleuve Sénégal, qui auraient quitté le Fouta Toro pour échapper aux sévices des guerres fratricides.

- un dernier axe, le plus récent, concerne l'arrivée du marabout mouride⁴ El Hadj Yacine SECK et de ses disciples. Ce dernier axe s'inscrit dans le cadre du front pionnier arachidier qui a entraîné une extension de la culture de l'arachide sur les sols du plateau résiduel.

Le contexte actuel de l'occupation des sols reste marqué par le grand tournant de l'introduction des cultures de rente, tout particulièrement de l'arachide. En effet, le développement de l'économie de marché, favorisé par la colonisation, a provoqué d'importants mouvements migratoires du nord du bassin arachidier vers la région étudiée, pour des populations à la recherche de terres de cultures.

En 1949, AUBREVILLE signalait déjà des surfaces importantes défrichées dans la forêt claire pour des champs de cultures. La pratique agricole basée sur un système itinérant oblige le paysan après épuisement de la fertilité de son champ à défricher de nouvelles terres dans la forêt. Les surfaces défrichées vont augmenter d'autant plus vite qu'à partir de 1970 la région bénéficie de l'appui d'un projet de développement visant à intensifier les systèmes de production (BENOIT-CATTIN, 1986). La forte pression foncière due à un taux de croissance démographique élevé (3 % par an) et surtout à l'introduction de la culture attelée entraîne également la mise en culture des zones marginales.

Etudiant l'évolution de l'occupation des sols, par comparaison de photographies aériennes entre 1970 et 1983, VALET (1985) dégage trois unités principales : les forêts ou parcours naturels, les jachères et les cultures. Ces différentes unités représentaient respectivement en 1970, 62%, 10% et 28% de la surface totale. En 1983, ces unités en représentent respectivement 34%, 2% et 64%.

Il ressort donc une dégradation importante de la forêt et des zones boisées (diminution de 3% l'an) et une nette régression de la jachère (10 à 2%). La conséquence de cette pression de l'homme est une fragilisation des écosystèmes qui se traduit par un ensemble de conditions défavorables notamment l'accroissement sensible de l'érodibilité des terres. En effet la mise en culture des terres incultes du plateau se traduit par la dégradation des couvertures végétales protectrices des sols vis à vis du ruissellement.

⁴ Mouride : confrérie religieuse au Sénégal.

2.2.2 Les hommes dans leur milieu : les activités

L'agriculture est largement dominée par la culture d'arachide et de mil qui couvrent 80 % de la surface cultivée dans la région (statistiques agricoles 1989-1990). Les autres cultures (coton, maïs et sorgho) en représentent 20%. Le système de culture est basé sur une rotation arachide-mil en continu. Etudiant l'évolution des surfaces occupées par les deux cultures au sein d'une exploitation moyenne entre 1983 et 1991, MONIMEAU (1992) montre sur le tableau 1.3 :

- une diminution de l'ordre de 28% de la surface cultivée en arachide,
- une légère augmentation (10%) de la superficie en mil.

Cette tendance est probablement liée aux problèmes de semences que l'on rencontre pour l'arachide depuis l'arrêt des subventions accordées par l'état.

Malgré cette situation conjoncturelle, la culture de l'arachide continue à dominer dans la région du Sine Saloum. Elle occupe environ 45% de la surface agricole utile, ce qui représente un peu plus de 40 % de la production nationale d'huile d'arachide (d'après l'inspection régionale de l'agriculture de Kaolack).

Cette production relativement importante s'appuie sur un système extensif de plus en plus incapable de maintenir la productivité à un niveau satisfaisant.

*Tableau 2 4 Evolution des surfaces cultivées en mil-arachide :
(MONIMEAU 1992, extrait de l'enquête de LHOSTE, 1983 et FOSSARD, 1991).*

Année	Surface moyenne par exploitation/ ha	Surface en mil par ha	Surface en arachide par ha
1983	9.96	3.70	5.81
1991	9.25	4.10	4.15

On remarque également par analyse des résultats d'enquêtes réalisées dans la région (tableau 2 4), une diminution (0,71 ha) de la surface moyenne par exploitation. Ceci témoigne de la forte pression démographique exercée sur les terres de cultures et se traduit par un épuisement de la réserve foncière.

L'élevage : Les travaux de VALENZA.(1973) et de FAYE et al.(1985) soulignent l'importance de l'élevage dans la zone tant par la diversité des espèces et leurs effectifs que par leur rôle dans les systèmes de production.

On recense 108 troupeaux de bovins composés en moyenne de 43 têtes (Faye, 1981). Le rapprochement de ces effectifs avec ceux de l'ensemble de l'arrondissement de Médina Sabakh montre que la pression bovine moyenne par unité de surface est légèrement plus importante dans la communauté rurale de Kaymor.

Tableau 2 5 : Position de l'élevage bovin dans l'arrondissement de Médina Sabakh et la communauté rurale de Thyssé Kaymor (d'après FAYE et al., 1985).

Caractéristiques	Communauté	Arrondissement
Superficie (km ²)	195	611
Effectifs bovins	6110	17500
Densité bovine	31	29
Nombre de bovins/100	24	21

On distingue deux types d'élevage dans la communauté :

- l'élevage intégré concerne principalement les animaux dont le mode de conduite est directement lié à l'exploitation agricole (LHOSTE, 1986). Ce système traduit une certaine intensification et une gestion plus intégrée de l'animal dans l'exploitation. Les animaux de traits (bovins, chevaux et ânes) et les petits ruminants (chèvres, moutons) sont concernés par ce système. Ces animaux pâturent dans les jachères en saison des pluies ou restent attachés au piquet dans les champs de cases.

- l'élevage extensif intéresse les bovins regroupés en troupeaux collectifs. Ces troupeaux sont gérés par les patriarches qui les confient à la garde d'un berger en période de cultures. Ces troupeaux sont conduits sur les aires naturelles (plateaux cuirassés, bas-fonds et forêts classées). Ce mode de gestion se révèle aujourd'hui incapable de maintenir un élevage productif en raison de la mise en culture de ces espaces jusqu'ici réservés aux animaux et à la cueillette des produits forestiers.

Les activités de cueillette : le bois, soit comme source d'énergie, soit comme matière première constitue la principale ressource.

GIFFARD (in SALL, 1993) estime que *Cordyla pinnata* est en début des années soixante-dix l'espèce forestière la plus exploitée dans la zone du Sine Saloum avec 3000 arbres abattus en moyenne chaque année par les bûcherons pour divers services (mortiers, pilons, menuiserie, artisanat, charbonnage etc). NIANG (in SALL, 1993) souligne que au milieu des années 1980, la société de développement et de vulgarisation agricole (SODEVA) a encouragé les paysans à couper et à dessoucher les arbres de leurs champs pour faciliter la mécanisation.

D'autres activités, moins prédatrices, sont pratiquées. Il s'agit de la cueillette des fruits sauvages (*Cordyla pinnata* ; *Parkia biglobosa* ; *Ficus gnaphalocarpa* ; *Diospyros mespiliformis* ; etc), des feuilles pour les sauces et le ramassage de la gomme arabique. Certaines espèces telles que le baobab, le *Piliostigma reticulatum* fournissent des fibres pour le cordage.

Rappelons que la carbonisation a été la principale cause du déboisement dans la zone. Cette activité aujourd'hui interdite par l'administration forestière est clandestinement pratiquée par d'anciens charbonniers devenus agriculteurs et fixés dans la région.

Conclusions du chapitre 2

D'une situation d'équilibre pénestable, l'écosystème du sud Sine tend vers un déséquilibre croissant. En effet, la surexploitation du milieu naturel dans un contexte écologique défavorable (sécheresse permanente, agressivité des pluies) a entraîné une fragilisation du système qui se traduit actuellement par un processus de dégradation généralisé.

Les températures moyennes mensuelles sont élevées (25 à 28°C), le rayonnement global très important (durée d'insolation moyenne 2900 h./an) et les vents desséchants (Harmattan) déterminent des niveaux d'évapotranspiration très défavorables aux réserves hydriques disponibles pour les plantes. Les pluies peu abondantes, irrégulières se concentrent sur quatre mois, mais l'essentiel des précipitations est enregistré en deux mois (août et septembre). Depuis les années 70, la fréquence de plus en plus élevée des années déficitaires accentue les problèmes d'aridité dans la zone. A ce déficit pluviométrique s'ajoute une agressivité des pluies qui entraîne un ruissellement important dans les zones marginales défrichées pour les cultures (extension des cultures sur les sols pentus, peu épais et fragiles du plateau cuirassé) et une érosion intense en aval, sur les bonnes terres.

Avec des moyens de production précaires (faible niveau d'intrants agricoles), les paysans s'adonnaient à une agriculture régénératrice, basée sur la pratique de la jachère.

La mécanisation et l'accroissement démographique entraînent une extension des cultures aux zones marginales qui se traduit par une réduction du temps de jachère et des surfaces réservées aux pâtures et à la forêt.

Le système de production actuel, caractérisé par un contexte écologique défavorable et une pression foncière entretenue par une forte croissance démographique, met en évidence les limites de l'écosystème qui s'exprime à travers une dégradation généralisée du milieu (entraînant un déséquilibre entre la production et les besoins de consommation).

L'évolution du milieu physique, en relation avec les activités humaines, montre la nécessité d'approfondir nos connaissances des facteurs qui agissent directement sur la conservation de l'eau et la fertilité des sols .

DEUXIEME PARTIE

LES AMENAGEMENTS CONSERVATOIRES ET LEURS EFFETS

En s'appuyant sur les caractéristiques du milieu physique (topographie, nature et états de surface des sols), trois techniques d'aménagement conservatoire ont été expérimentées dans le secteur de Thyssé Kaymor : la mise en défens, la haie vive et le cordon pierreux. Ces techniques sont parmi les plus couramment utilisées dans la conservation de l'eau et du sol dans les domaines soudanien et sahélien de l'Afrique de l'ouest (RUELLE et al, 1990).

Dans le chapitre 3, l'accent est mis, parmi l'ensemble des techniques conservatoires, sur la seule mise en défens ; cela pour deux raisons. D'une part, cette technique a donné lieu à un maximum d'expérimentations et d'autre part ses effets sont appréciés d'abord par rapport aux seules composantes structurelles du milieu : les couvertures végétale et pédologique notamment.

Les effets des techniques conservatoires sur la dynamique, le fonctionnement du milieu ne sont abordés que dans un deuxième temps, au travers du chapitre 4.

CHAPITRE 3.

les effets de la mise en défens sur la structure du milieu

La mise en défens est une technique qui consiste à mettre au repos, par des rotations périodiques, des surfaces dégradées afin d'y favoriser la régénération des couvertures végétale et pédologique (DELWAULLE, 1975). Elle peut être une solution alternative aux opérations de reboisement à la réussite bien incertaine et très coûteuses par nature.

Pour l'aménageur, l'aspect le plus important dans la mise en défens est relatif au rôle de la végétation dans la lutte contre les érosions hydrique et éolienne qui peuvent être diminuées (DELWAULLE, 1973). Cette méthode a été utilisée pour mesurer la vitesse de « cicatrisation » d'un écosystème dégradé (TOUTAIN et al., 1983).

3.1 La mise en défens et ses effets sur le couvert végétal

Dans la zone de Thyssé Kaymor, le ruissellement le plus fort affecte principalement les formations végétales dégradées du plateau résiduel. Les défrichements, le surpâturage et la surexploitation du bois de chauffe fragilisent les sols (formation de croûtes superficielles) et augmentent leur sensibilité au ruissellement et à l'érosion.

Cette situation de dégradation des couverts végétaux expose les sols à l'agressivité des pluies qui entraîne un ruissellement important et une érosion intense dans les zones de cultures en aval.

Le contrôle de ce phénomène requiert des actions d'aménagement qui favorisent la régénération des ressources naturelles, en particulier le couvert végétal dans les parties hautes de la toposéquence. La maîtrise de ce ruissellement du plateau permettrait d'endiguer, tout au moins de réduire le phénomène d'érosion au niveau des zones de cultures. Il s'agit donc de s'attaquer à ce problème en considérant prioritairement l'amont de la toposéquence. En effet, malgré les méthodes culturales anti-érosives proposées par les agronomes (travail du sol à la dent, culture perpendiculaire à la pente générale, paillage, gestion des résidus de cultures), l'érosion demeure importante sur les sols agricoles.

La cartographie des bassins versants faite par BROUWERS (1987) a mis en évidence quatre unités correspondant aux principaux faciès de végétation du plateau (annexe 5) : sommet (faciès 4), versant (faciès1), bordure (faciès2) et glacis cuirassé ou piémont (faciès 3). Ces unités ou faciès ont fait l'objet d'un suivi de l'évolution des couverts végétaux et pédologiques en condition de mise en défens .

3.1.1 L'implantation des parcelles et les protocoles d'observations

Le protocole d'étude a consisté à suivre pendant quatre ans le comportement des couvertures végétales dans des couples de parcelles de 0.5 ha mises en défens ou non, sur les terres dégradées du plateau cuirassé (planches 3 à 5).

Les observations concernent :

- l'évolution de la composition floristique : densité, structure, phytomasse, diversité et régularité des espèces ligneuses .
- l'analyse des spectres floristiques et biologiques de la strate herbacée.

La mesure de la phytomasse a été faite en 1991, soit après quatre années de protection.

La comparaison des différents paramètres entre les parcelles mises en défens et témoins permettra de mesurer la pression anthropique. Par ailleurs, l'évolution des différents paramètres dans le temps par rapport à la mise en défens permettra d'évaluer le niveau de dégradation de l'écosystème et de mesurer la vitesse de « cicatrisation ».

3.1.2 L'état de la végétation après quatre (4) années de protection

3 1 2 1 La strate herbacée

Le spectre floristique de la strate herbacée exprime, en %, la contribution des différentes familles dans la composition des espèces au niveau des quatre faciès étudiés. Ce sont des faciès de végétation qui correspondent aux principales unités de la toposéquence du plateau résiduel : le sommet, la mi-pente, la bordure de plateau et le piémont.

La figure 3.1 représente les spectres floristiques des parcelles protégées et témoins. Ces spectres présentent des résultats qui varient en fonction des faciès. Ils font apparaître en proportions importantes des légumineuses et des graminées.

Les légumineuses représentent 20 à 45% des espèces dans les parcelles protégées et 15 à 35 % dans les témoins. Quant aux graminées, elles occupent en stations protégées 20 à 35 % et 10 à 30 % dans les témoins. Les autres familles représentent 35 à 65 % des spectres floristiques des parcelles mises en défens et 50 à 60 % dans les stations non protégées.

Dans la majorité des faciès, il semble se dégager un effet positif de la mise en défens dans la composition des spectres floristiques des formations herbeuses des zones de parcours du plateau résiduel. **Cet effet protecteur est plus marqué sur l'évolution des légumineuses et des graminées**

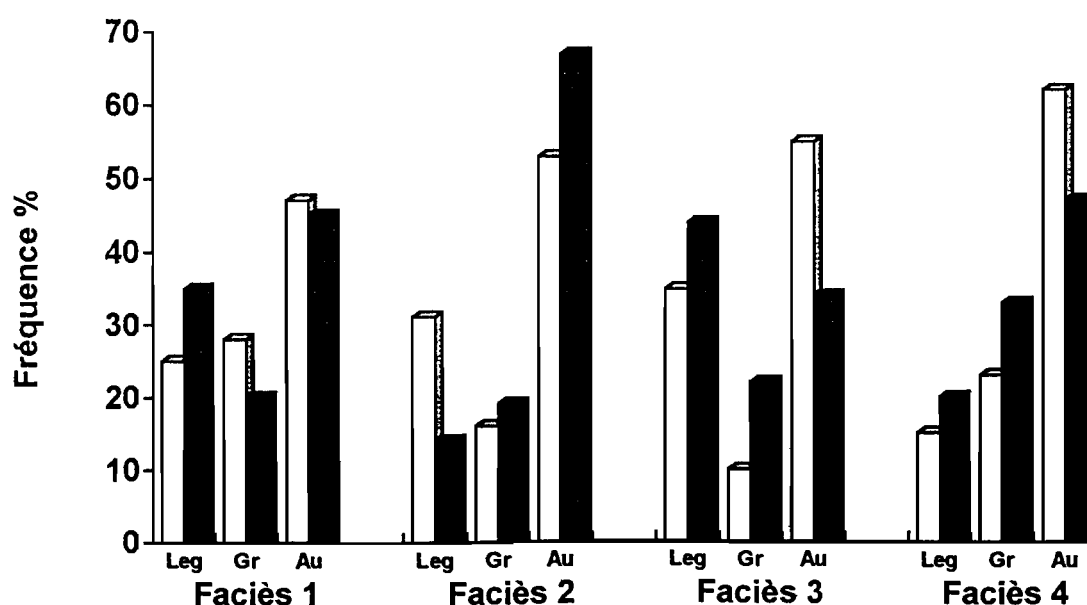


Figure 3.1 : Spectre floristique des parcelles protégées ■ et non protégées □.
(Leg = Légumineuses ; Gr = Graminées ; Au = Autres familles)

Le tableau 3.1 résume les résultats relatifs à la richesse floristique de la végétation herbacée de l'ensemble des faciès de l'unité du plateau en défens et témoin.

On notera à la lecture de la liste des espèces donnée en annexe 6 une différence dans la composition floristique des parcelles protégées et des témoins.

Tableau 3.1 : Nombre d'espèces recensées dans la strate herbacée, après quatre ans de mise en défens dans le plateau cuirassé de Keur Dianko- Sonkorong (1991).

	faciès 1		faciès 2		faciès 3		faciès 4	
parcelles	défens	témoin	défens	témoin	défens	témoin	défens	témoin
Nomb. espèces	27	23	43	36	25	18	34	31

Le nombre d'espèces varie dans les parcelles :

- en défens, de 25 à 43 avec une moyenne de 32 espèces pour l'ensemble des faciès,
- non protégées, de 18 à 36, avec une moyenne de 27 espèces pour l'ensemble des faciès.

Ces résultats montrent que la richesse floristique de la strate herbacée est plus élevée dans la mise en défens. **En moyenne, quatre années de mise en défens ont permis d'augmenter de 26 % la richesse floristique herbeuse dans la zone de parcours du plateau cuirassé.**

Le spectre biologique représente la proportion des différents types biologiques de RAUNKIAER; c'est à dire les thérophytes, les phanérophytes, les chaméphytes, les cryptophytes, les hémicryptophytes. Ces différents types biologiques ont été définis par la position des bourgeons au cours de la saison défavorable (hiver), adaptée à la saison sèche dans les régions tropicales par différents auteurs (MORAT, 1973 ; GROUZIS, 1988).

Les résultats, portés sur la figure 3.2, permettant la comparaison entre mise en défens et témoin ; ils donnent une image de l'évolution des divers types biologiques pour l'ensemble des faciès. L'analyse de ces résultats montre une évolution peu différente des spectres biologiques dans les parcelles témoins mises en défens.

Cette analyse révèle par ailleurs que la strate herbeuse est dominée dans chaque cas par les thérophytes (70 à 90 % de l'ensemble). Les autres types biologiques constitués d'espèces à cycle plus long sont faiblement représentés (10 à 30 %).

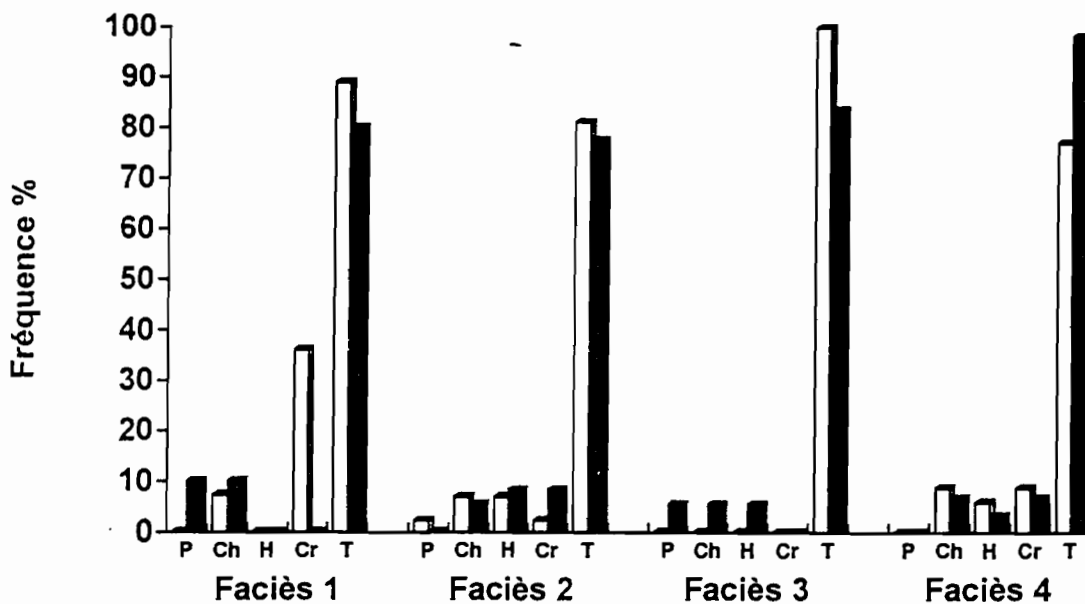


Figure 3.2 : Spectre biologique de la strate herbacée des parcelles protégées ■ et non protégées □.

P : Phanérophytes ; Ch : Chaméphytes ; H : Hémicryptophytes ; Cr : Cryptophytes ; T : Thérophytes

L'évolution du spectre biologique après quatre années de mise en défens montre qu'au-delà de la pression anthropique, d'autres facteurs interviennent très probablement dans la composition de la flore herbacée des parcours naturels du plateau résiduel. En effet, les conditions écologiques qui prévalent actuellement dans ce milieu (sécheresse, sol limité par une cuirasse peu profonde) semblent limiter la régénération et le développement des plantes à cycle biologique long. En revanche, les thérophytes, composées de plantes à cycle très court qui ont la capacité de passer la mauvaise saison à l'état graines, semblent mieux s'accommoder aux conditions actuelles de sécheresse (MORAT, 1973).

3 1 2 2 La strate ligneuse

Elle est appréciée dans son évolution à travers la mise en défens suivant quatre critères : la richesse floristique, la densité, la surface terrière, la structure.

La richesse floristique est présentée dans le tableau 3.2 à travers la liste des espèces ligneuses dans les couples de parcelles (protégées et témoins). On note une variation du nombre d'espèces en fonction des faciès. Il varie de 24 à 30 en défens avec une moyenne 26 espèces pour l'ensemble des faciès, de 14 à 20 dans les témoins, avec une moyenne de 16 espèces. Ce résultat montre que la richesse floristique de la strate ligneuse est plus élevée dans la mise en défens et cela quel que soit le faciès considéré.

Tableau 3.2 : Liste floristique des espèces ligneuses, après quatre ans de mise en défens dans le plateau cuirassé de Keur Dianko- Sonkorong (relevés effectués en 1991).

ESPECES	Faciès 1		Faciès 2		Faciès 3		Faciès 4	
	D	T	D	T	D	T	D	T
1. <i>Acacia macrostachya</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
2. <i>Albizia chevalieri</i>	+	-	-	-	-	-	-	-
3. <i>Bombax costatum</i>	+	+	+	-	+	-	+	-
4. <i>Cassia sieberiana</i>	+	+	+	-	-	-	-	-
5. <i>Combretum glutinosum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
6. <i>Combretum micranthum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
7. <i>Combretum nigricans</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
8. <i>Commiphora africana</i>	+	+	-	-	-	+	-	-
9. <i>Dichrostachys glomerata</i>	+	-	+	-	-	-	+	-
10. <i>Diospyros mespiliiformis</i>	+	+	-	-	+	-	-	+
11. <i>Feretia apodanthera</i>	-	-	+	+	+	+	+	+
12. <i>Gardenia ternifolia</i>	+	+	-	-	-	-	+	+
13. <i>Guiera senegalensis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
14. <i>Grewia villosa</i>	+	+	+	-	-	-	-	-
15. <i>Heeria insinis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
16. <i>Hexalobus monopetalus</i>	+	-	+	+	+	+	+	+
17. <i>Hymenocardia acida</i>	-	-	-	-	+	+	+	-
18. <i>Lagenaria siceraria</i>	+	+	-	-	-	-	-	-
19. <i>Lannea acida</i>	+	-	+	+	-	-	+	-
20. <i>Lonchocarpus laxiflorus</i>	+	+	-	-	+	+	-	-
21. <i>Maerua angolensis</i>	+	+	+	-	+	+	+	-
22. <i>Pavetta cinereifolia</i>	+	+	+	-	-	-	-	+
23. <i>Piliostigma reticulatum</i>	+	-	+	+	+	+	+	+
24. <i>Pterocarpus erinaceus</i>	+	-	+	-	+	-	+	-
25. <i>Sclerocarya birrea</i>	-	-	-	-	-	-	+	-
26. <i>Securidaca longipeduncula.</i>	+	-	+	+	+	-	+	-
27. <i>Securinea virosa</i>	+	-	+	-	+	-	+	-
28. <i>Stereospermum kunthianum</i>	-	-	-	+	+	+	-	-
29. <i>Strophanthus sarmentosus</i>	+	-	+	-	+	-	+	-
30. <i>Strychnos spinosa</i>	+	+	-	-	+	+	-	-
31. <i>Grewia lasiodiscus</i>	+	+	+	+	+	+	+	-
32. <i>Baissea multiflora</i>	+	-	+	-	+	+	+	-
33. <i>Detarium microcarpum</i>	-	-	+	-	+	-	-	+
34. <i>Cordyla pinnata</i>	+	+	+	+	+	-	+	-
35. <i>Sterculia setigera</i>	-	-	-	-	-	-	+	+
36. <i>Cissus vogelii</i>	+	+	+	-	+	+	+	-
	-	-	-	-	-	-	+	+
	+	-	-	-	+	-	+	-
TOTAL	30	19	24	14	25	17	25	14

D = mise en défens et T = témoin

L'examen de la liste floristique permet de constater que :

- certaines espèces ne sont recensées que dans les parcelles de mise en défens.

Ce sont pour la plupart des ligneux de la strate arborescente et des ligneux lianescents : *Bombax costatum*, *Pterocarpus erinaceus*, *Detarium microcarpum*, *Commiphora africana*, *Maerua angolensis*, *Baissea multiflora*, *Sterculia setigera*, *Strophanthus sarmentosus*, et *Cissus vogelii*.

- huit (8) espèces sont relativement indifférentes au traitement. Ce sont : *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans*, *Acacia macrostachya*, *Guiera senegalensis*, *Feretia apodanthera*, *Piliostigma reticulatum*, *Heeria insignis* et *Cassia sieberiana*.

L'effet de la mise en défens sur la composition floristique de la strate ligneuse se traduit par une augmentation de 50 % en moyenne de la richesse en espèces.

- La densité et la surface terrière des ligneux

Le tableau 3.3 présente les résultats se rapportant à l'évolution des valeurs de la densité des ligneux (ou tiges pour les espèces multicaules) par hectare dans les différents faciès en 1991, soit quatre ans après la mise en défens. On peut noter une forte variation du nombre d'individus ou de tiges selon le faciès :

- en défens, de 2645 à 5430 individus ha^{-1} avec une moyenne de 3920 individus ou tiges à l'hectare pour l'ensemble des faciès,

- en témoin, de 1455 à 1780 individus ha^{-1} avec une moyenne de 1590 pour l'ensemble des faciès.

Ces chiffres montrent que, quel que soit le faciès, le nombre de tiges ou d'individus ligneux sur la parcelle protégée est systématiquement supérieur à celui du témoin.

La mise en défens des couvertures végétales du plateau cuirassé, durant quatre ans, a permis de multiplier la densité des ligneux par un facteur 2,4.

- **L'évolution des valeurs de la surface terrière** est donnée dans le tableau 3.3. Il apparaît nettement que, quel que soit le faciès considéré, la surface terrière sur la parcelle en défens est plus élevée que celle du témoin. En moyenne, la surface terrière en défens est de 3.06 m^2 et celle en témoin de 0.52 m^2/ha .

Par rapport à la densité, les différences observées permettent de dégager quelques conclusions partielles :

- l'effet de la mise en défens est plus manifeste sur la surface terrière pour l'ensemble des faciès .

- les écarts sont nettement plus importants pour la surface terrière que pour la densité; le rapport défens/témoin varie de 5.5 à près de 9 pour la surface terrière contre 1.8 à 3.06 pour la densité.

Il y a aussi des modifications de rang. L'exemple du faciès 2 est à cet égard remarquable. C'est dans ce faciès que l'effet de la mise en défens est le plus fort sur l'évolution de la surface terrière ($D/T = 8.8$) mais également le plus faible sur la densité ($D/T = 1.8$)

En résumé, la mise en défens a permis de multiplier en moyenne la surface terrière par un facteur 6.

Tableau 3.3 : Caractéristiques de la végétation ligneuse dans les quatre faciès de végétation du plateau cuirassé de Keur Dianko-Sonkorong en 1991, quatre ans après la mise en défens

Unité	Traitement	Nbre d'espèces	Densité/ha	Surface terrière (m²/ha)
Faciès 1	D	30	4600	3.8
	T	19	1670	0.69
Faciès 2	D	24	3005	3.10
	T	14	1455	0.35
Faciès 3	D	25	2645	3.6
	T	17	1460	0.56
Faciès 4	D	25	5430	3.06
	T	14	1780	0.49
Moyenne	D	26	3920	3.06
	T	16	1590	0.52
Rapport	D / T	1.6	2.4	5.6

D = parcelle en défens

T = parcelle témoin

D/T = rapport défens sur témoin

- **La structure des ligneux** : son étude porte sur la structure des peuplements ligneux, c'est à dire les variations de fréquence des individus (ou tiges pour les espèces multicaules) en fonction du diamètre du tronc à 20 cm du sol. La répartition harmonieuse des arbres est un facteur essentiel de l'équilibre des peuplements de savane.

Cette analyse structurale peut apporter une information importante aussi bien sur l'état actuel que sur la tendance évolutive des populations (VAN PRAET et VAN ITTERSUM, 1983). La figure 3.3 présente le diagramme de distribution des individus ou tiges des espèces ligneuses en fonction des classes de diamètre dans les différents faciès étudiés. On peut noter que :

- quels que soient le faciès et le traitement, le modèle de distribution des individus dans les différentes classes de diamètre est du même type. Ce modèle de distribution décroissante indique que la population est dominée dans les deux cas par des individus des classes de petit diamètre suggérant une bonne régénération.

- les effectifs des individus par classe de diamètre nettement plus élevés dans les parcelles protégées par rapport aux témoins confirment les résultats obtenus par l'analyse des densités (régénération et recrutement des individus des classes inférieures aux classes supérieures),

- les individus de gros diamètre font leur apparition dans les parcelles protégées.

La population dans les parcelles de mise en défens est en équilibre relatif. Ce bon comportement des individus est attribué à l'effet de la protection (une espérance de vie élevée des individus de la population ligneuse).

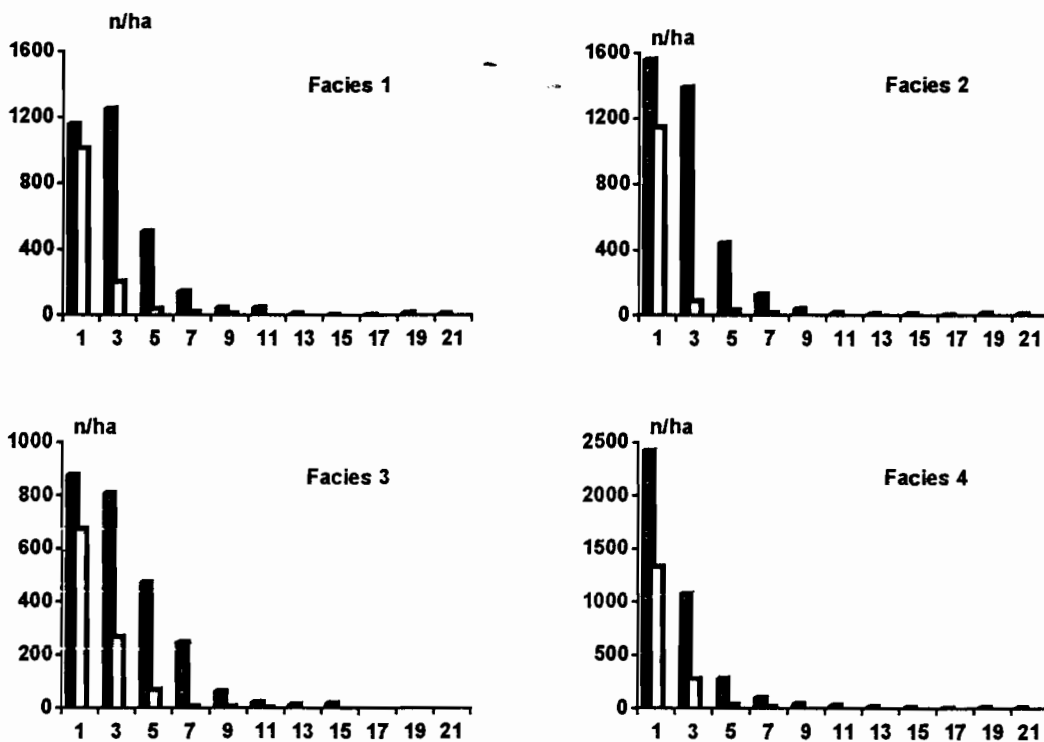


Figure 3.3 : Comparaison entre parcelles protégées ■ et non protégées □ de la structure du peuplement ligneux pour les différents faciès. L'axe des abscisses représentent les centres des classes de diamètre considéré (exemple : 1 cm est le centre de la classe 0-2 cm)

Ce résultat très important montre que, dans l'état de la dynamique actuelle, le problème des formations ligneuses naturelles dans la région de Thyssé se pose plus en terme de survie des plantules qu'en terme de régénération (DONFACK, 1992). En effet, la mise en défens de quelques années (4 ans) montre clairement que ces savanes renferment un bon potentiel de régénération naturelle, pouvant assurer la reconstitution de la végétation des ligneux.

L'étude de la structure des populations des espèces caractéristiques de cette savane permet de mieux comprendre l'effet de la mise en défens sur la distribution des individus en fonction du diamètre. *Combretum glutinosum*, *Combretum nigrans*, *Feretia apodanthera*, *Acacia macrostachya*, *Guiera senegalensis* et *Grewia lasiodiscus* constituent les principales espèces qui ont été étudiées.

Les figures 3.4 et 3.5 rapportent les résultats relatifs aux variations de fréquence des individus(ou tiges pour les espèces multicaules) de ces espèces en fonction du diamètre. Les histogrammes montrent que, quel que soit le traitement ou l'espèce, les classes jeunes sont bien représentées. Cependant, il apparaît deux modèles de distribution : le type log normal pour les espèces *Combretum glutinosum* et *Combretum nigrans* et le type exponentiel décroissant pour les autres espèces (*Guiera senegalensis*, *Grewia lasiodiscus*, *Feretia apodanthera* et *Acacia macrostachya*)

Dans la mise en défens, la structure de population de *Combretum glutinosum* et *Combretum nigrans* montre que la première classe de diamètre (0-2 cm) et celles des individus de grandes tailles de diamètre (supérieur à 5 cm) sont peu

représentées par rapport à la deuxième classe (2-4 cm) qui constitue l'essentiel des effectifs.

En revanche, dans les parcelles témoins, les plus gros effectifs sont représentés dans les classes de petits diamètres (0 à 2 cm). Les structures de type log-normal observées dans les deux cas révèlent une population qui semble se régénérer difficilement par semis. En effet, après quatre ans de protection intégrale, l'évolution des classes jeunes s'est traduite par une diminution, par rapport aux témoins où elles représentent toujours l'essentiel de la population. Ce comportement peut s'expliquer par le fait que ces espèces se reconstituent principalement par voie végétative (ARBONNIER, 1990; YOSSEI et FLORET, 1991).

Pour les autres espèces, à l'exception de *Guiera senegalensis* dont la structure de population montre une diminution du nombre d'individus dans les classes de grande taille en défens, *Acacia macrostachya*, *Feretia apodanthera* et *Grewia lasiodiscus* présentent des structures qui illustrent bien le modèle exponentiel décroissant (ROLLET, 1979 in GROUZIS, 1988) : autrement dit, des populations en équilibre indiquant une bonne régénération sous l'effet de la mise en défens.

En résumé, il ressort de la mise en défens deux principaux types de structure :

- la structure de *Combretum glutinosum* et *Combretum nigricans* qui suggère une grande espérance de vie des individus mais une population relativement en déséquilibre (difficulté de reconstitution par voie de semis);

- le second type de structure, celle des autres espèces y compris *Guiera senegalensis*, décrit le modèle exponentiel décroissant qui caractérise l'équilibre des populations.

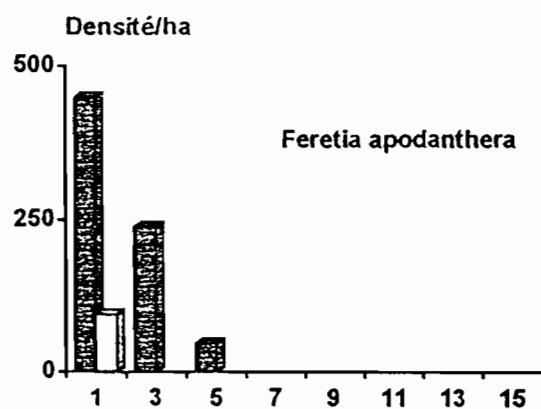
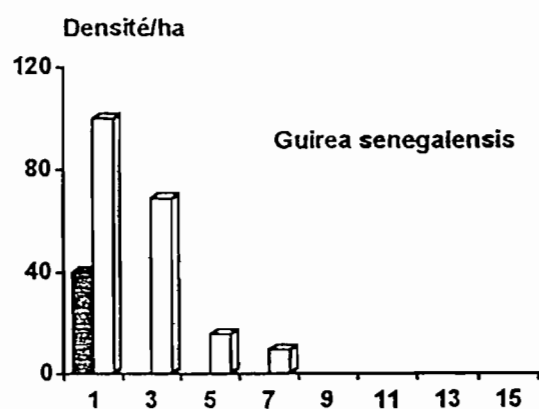
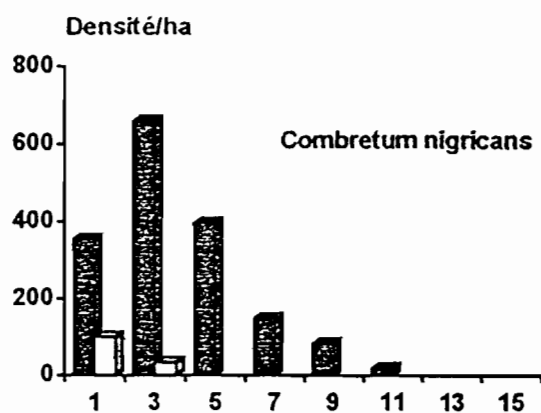
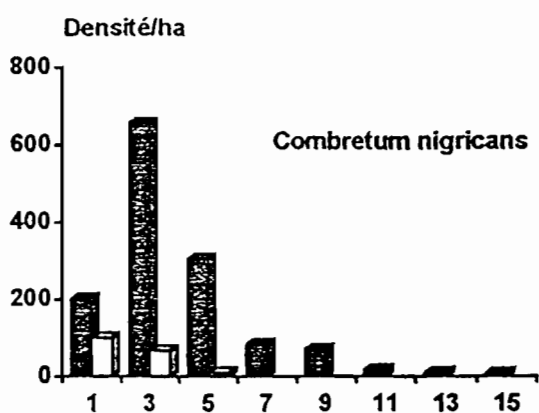
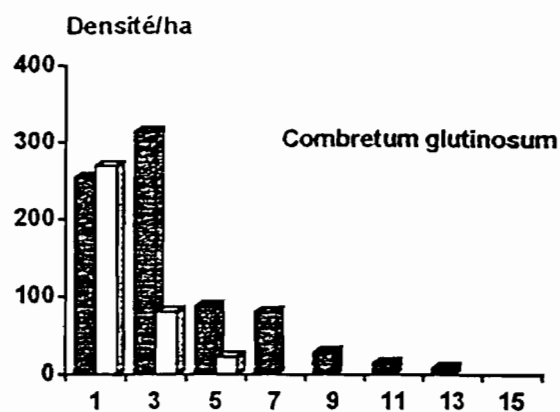
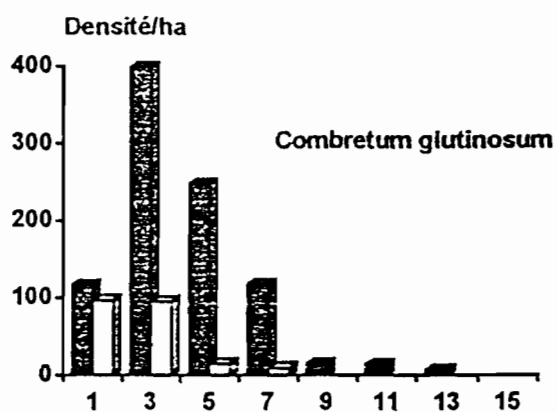


Figure 3.4: Structure des principales espèces des parcelles protégées ■ et non protégées □ dans les faciès de végétation 1 (graphiques de gauche) et 2 (graphiques de droite) sur le plateau. L'axe des abscisses représente les centres des classes de diamètre considérées (exemple : 1 cm est le centre de la classe 0-2cm)

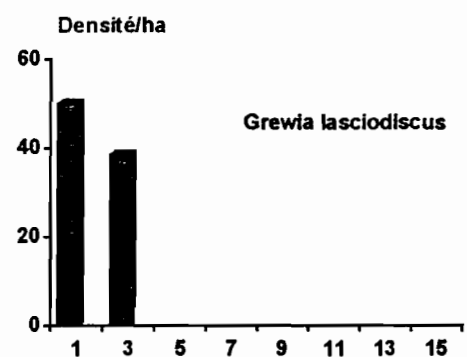
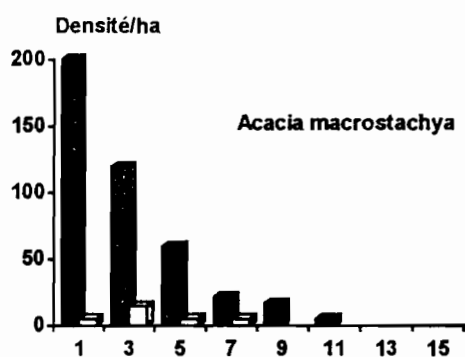
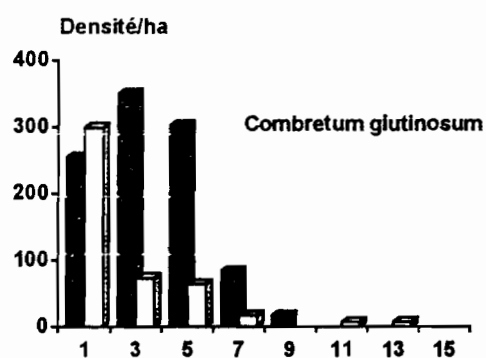
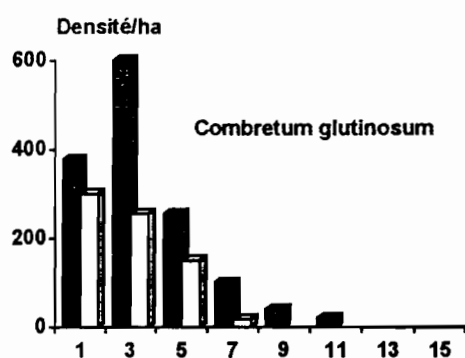
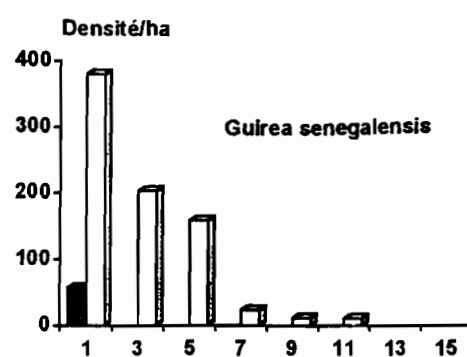
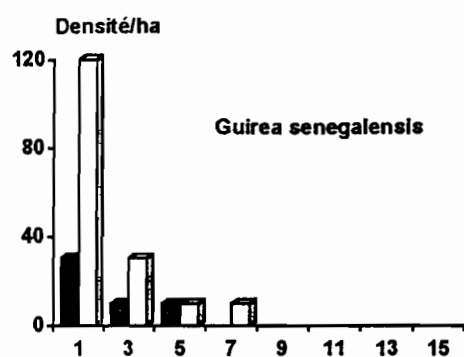


Figure 3.5: Structure des principales espèces des parcelles protégées ■ et non protégées □ dans les faciès de végétation 3 (graphiques de gauche) et 4 (graphiques de droite) sur le plateau. L'axe des abscisses représente les centres des classes de diamètre considéré (exemple : 1 cm est le centre de la classe 0-2cm)

S'agissant de *Guiera senegalensis*, on observe une évolution surprenante en raison de sa tendance à disparaître sous l'effet de la mise en défens. On pourrait penser que cette espèce redoute probablement les phénomènes de compétition pour la lumière puisque d'après les observations de VON-MAYDELL (1983), *Guiera* s'exprime mieux dans les zones dégradées où elle a tendance à former un peuplement pur monospécifique.

3.1.3 L'analyse de l'évolution annuelle de la végétation

On a étudié la dynamique des ligneux depuis le début de la mise en place du dispositif expérimental en 1988 (mise en défens) en analysant la régénération et le développement des différentes espèces, chacune des quatre années jusqu'en 1991.

Les observations ont permis d'élaborer les 4 matrices suivantes:

- faciès 1 : 8 relevés x 30 espèces
- faciès 2 : 8 relevés x 24 espèces
- faciès 3 : 8 " x 25 espèces
- faciès 4 : 8 " x 25 espèces

Ces matrices ont été traitées au moyen de l'analyse factorielle des correspondances des données espèces-relevés, collectées dans les différentes unités de végétation en conditions protégées ou non. Cette méthode permet une analyse diachronique des populations complexes (DAGET et TRANCHEFORT, 1974; GROUZIS, 1988).

Les résultats fournis dans le tableau 3.4 montrent la variance expliquée par chacun des axes

Tableau 3.4 : Taux d'inertie porté par les deux premiers axes de l'AFC appliquée aux relevés des espèces dans les quatre faciès de végétation du plateau cuirassé de Keur Dianko-Sonkorong.

Axe	Savane boisée		Jachère	
n°	Faciès 1	Faciès 2	Faciès 3	Faciès 4
Axe I	79,9	87,9	71,6	79,9
Axe II	9,6	6,8	15,1	9,6
Axe I + Axe II	89,5 %	94,7 %	86,7 %	89,5 %

Les deux premiers axes contiennent donc le maximum d'information (plus de 86 % de la variance).

Sur la figure 3.6 est représenté le chronogramme qui illustre les diagrammes des relevés. Le cheminement ou le pas d'évolution de la végétation est le tracé qui relie les différentes dates et traduit les phases successives des images de la végétation entre 1988 et 1991 dans des stations protégées (D) et témoins (T) des quatre faciès étudiés.

La même figure présente le cénogramme qui définit aussi le diagramme des espèces et matérialise leur relation avec les différentes phases d'évolution de la végétation

Concernant le faciès 1 : L'axe 1 du chronogramme 3.6 (A 1) relatif au faciès 1 oppose les relevés T 91(335)⁵ et T 90 (217) en abscisses négatives aux relevés D 91 (161) et D 90 (116) en abscisses positives. Il peut donc être interprété comme représentant **l'effet de la protection**.

L'axe 2 oppose en ordonnées négatives D 89 (338) aux relevés de référence D 88 (260) et T 88 (259). Cet axe décrit essentiellement les états de la végétation caractérisés par la régénération (ou apparition de nouvelles espèces) et la densité. En 1988, les relevés relatifs au défens et au témoin se trouvaient à proximité. Mais l'évolution des images représentatives de la végétation s'oppose nettement : les images du défens allant vers les abscisses positives; tandis que celles du témoin vont vers les abscisses négatives.

(⁵) : valeurs des contributions à l'axe en millième

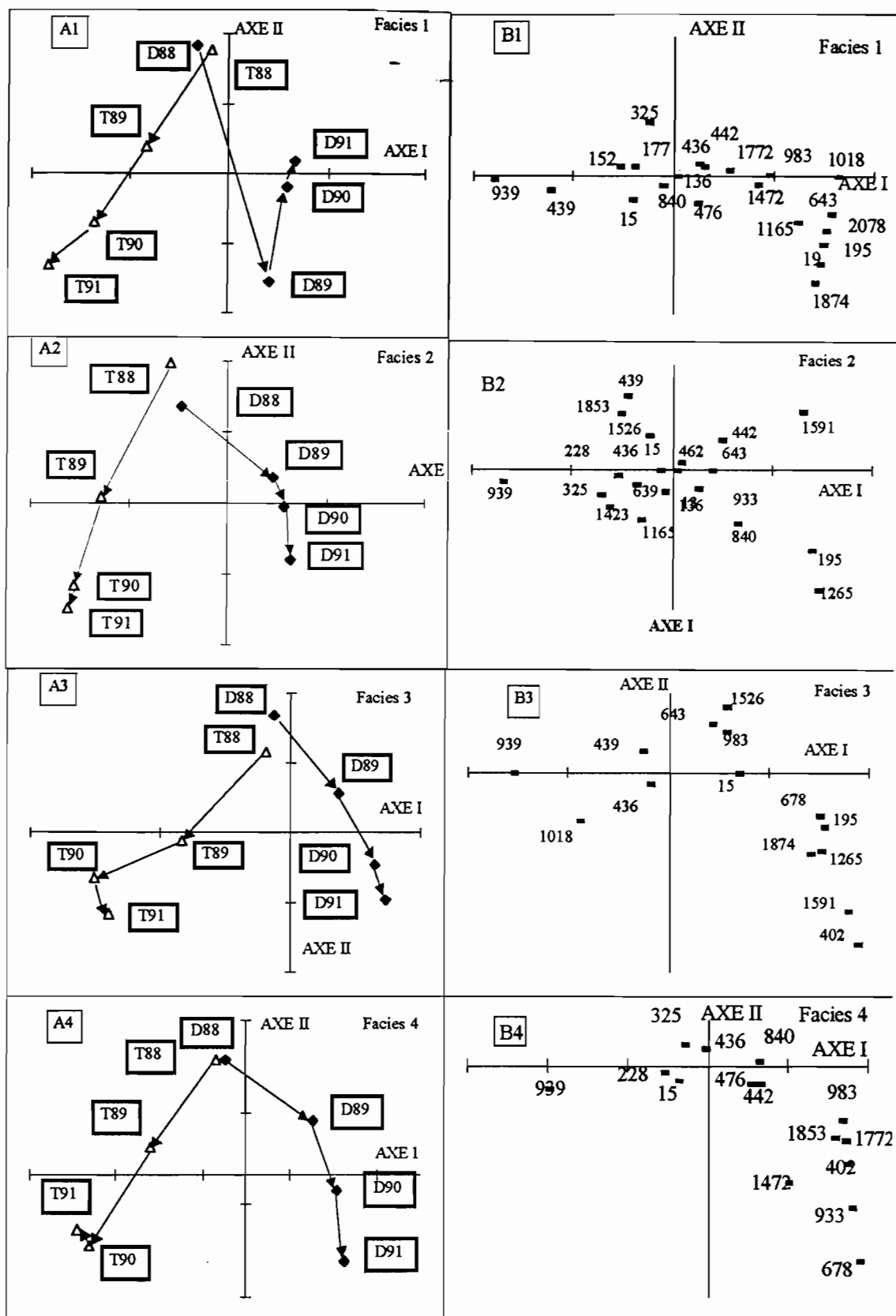


Figure 3.6. : Chronogramme (A) et Cénogramme (B) des quatre faciès de végétation.

Le cénogramme relatif au faciès 1 (fig.3.6. B1) permet d'interpréter la dynamique des espèces en mode diachrone dans la parcelle protégée (D) et le témoin (T). Il apparaît nettement deux groupes d'espèces.

- dans la parcelle témoin dominant les espèces : 939⁶ (*Guiera senegalensis*), 439 (*Combretum micranthum*), 15 (*Acacia macrostachya*), 840 (*Feretia apodanthera*) 1526 (*Piliostigma reticulatum*) 177 (*Securidaca longipedunculata*) et 325 (*Cassia sieberiana*)

L'axe1 divise les sept (7) espèces en deux groupes distincts. Le premier groupe est constitué par des espèces qui se sont déplacées vers les ordonnées négatives entre 1990 et 1991 : ce sont 939, 439, 15 et 840 . Le second est caractérisé par les espèces qui ont peu évolué par rapport à l'année 1988 (année de référence) : 325, 177 et 1526

Le premier groupe contient les espèces indicatrices des conditions écologiques marginales (sol sableux très sec, horizon gravillonnaire et pierreux):

Guiera senegalensis (sols sableux très sec),
Combretum micranthum (sols gravillonnaires et pierreux),
Feretia apodanthera (termitières abandonnées).

Le second regroupe les espèces peu appréciées par les populations comme le bois de chauffe : *Acacia macrostachya*, *Piliostigma reticulatum*, *Securidaca longipedunculata* et *Cassia sieberiana*.

-dans la parcelle protégée le déplacement de l'image représentative de la végétation vers les abscisses positives s'explique par l'augmentation de la densité des espèces dominantes en 1988 (442 436 et 1472) et l'apparition de nouvelles espèces (1874, 195, 1591, 1165, 476 et 462). Les espèces liées à cette évolution sont :

les ligneux lianescents : 1874 (*Strophantus sarmentosus*), 195 (*Baisea multiflora*),

les ligneux de la strate arborée: 1591 (*Pterocarpus erinaceus*), 1165, (*Lannea acida*), 476 (*Cordyla pinnata*) et 462 (*Commiphora africana*),

les espèces de la strate arbustive : 442 (*Combretum nigricans*), 436 (*Combretum glutinosum*), 1472 (*Pavetta cinereifolia*).

L'évolution de la végétation dans la parcelle mise en défens durant l'année 1989 est à mettre en relation avec l'apparition d'une strate arborée constituée d'espèces de bois d'oeuvre (*Pterocarpus erinaceus*, *Cordyla pinnata*, *Commiphora africana*) dont les jeunes pousses sont consommées par les bovins ou supprimées par le feu de brousse.

En 1990 et 1991, le cheminement de la végétation vers les ordonnées positives s'explique par la forte participation de 1018 (*Hymenocardia acida*), 1772 (*Securinega virosa*), 983 (*Hexalobus monopetalus*) et 228 (*Bombax costatum*).

Entre 1989 et 1991 (figure 3.6.B1), soit après quatre ans de mise en défens, la succession des images de la végétation se resserre, traduisant une tendance à un état de stabilité relative.

⁶ : numero de l'espèce selon la codification LEBRUN

L'axe 2 oppose les espèces à coordonnées positives 436 (*Combretum glutinosum*) et 442 (*Combretum nigricans*) aux espèces 1874 (*Strophanthus sarmentonus*), 462 (*Commiphora africana*), 195 (*Baissea multiflora*) (coordonnées négatives). Cet axe divise les espèces en deux groupes :

- le premier contient les espèces qui dominent dans les savanes arbustives (YOSSI et FLORET, 1991) : *Combretum nigricans* et *Combretum glutinosum*.

- le second est formé d'espèces nouvelles en voie de disparition (DIATTA, 1988) : *Strophanthus sarmentosus*, *Baissea multiflora*, *Commiphora africana* et *Pterocarpus erinaceus*.

Concernant le faciès 2, on remarque (figure 3.6. B2) :

- dans la parcelle protégée, les points représentatifs de la végétation regroupés autour de 442 (*Combretum nigricans*) se déplacent vers le bas : 1261 (*Maerua angolensis*), 195 (*Baissea multiflora*) et 840 (*Feretia apodanthera*),

- dans la parcelle témoin, la végétation est dominée par deux espèces : 939 (*Guiera senegalensis*) et 436 (*Combretum glutinosum*). Ces deux espèces sont opposées suivant l'axe 1 aux espèces liées à la mise en défens : 442 (*Combretum nigricans*), 1265 (*Maerua angolensis*) et 840 (*Feretia apodanthera*).

Dans ce faciès (figure 3.6 A2), les pas d'évolution se resserrant à partir de 1990 suggèrent que l'état d'équilibre commence à se réaliser. Dans le cas de la parcelle protégée où la pression anthropique est éliminée, il faut souligner la régénération affaiblie de *Combretum glutinosum* et de *Combretum nigricans*, espèces dont la reconstitution se fait par voie végétative. Les autres espèces présentes dans cette communauté végétale se reconstituent sans prendre un grand développement : *Maerua angolensis*, *Baissea multiflora*, *Feretia apodanthera* etc.

Quant à la parcelle témoin, il semble que le stade atteint soit en équilibre avec la pression de l'homme qui agit en sélectionnant les espèces exploitées (bois de feu).

Concernant le faciès 3 :

La figure (3.6. A3) représente le chronogramme du faciès 3 (jachère de 20 ans environ) :

l'axe 1 oppose les relevés T 90 (263) et T 91 (263) en abscisses négatives aux relevés D 91 (179) et D 90 (163) en abscisses positives. Il représente donc l'effet de mise en défens.

l'axe 2 oppose en ordonnées D 91 (203) aux relevés D 88 (203) et T 88 (179). Cet axe peut être interprété comme représentant les états de la végétation caractérisés par la régénération et la densité.

Le cénogramme relatif au faciès 3 (fig.3.6, B3) traduit l'expression de l'image représentative de la végétation de la parcelle protégée D (88) très proche de celle représentant la végétation témoin T (88). Il apparaît nettement deux groupes d'espèces:

- les espèces liées à l'évolution de la végétation dans la parcelle témoin : 1988 (439 : *Combretum micranthum*), 1989 (939 : *Guiera senegalensis*), 1990/1991 (436 : *Combretum glutinosum* et 1018 : *Hymenocardia acida*). On peut noter qu'en dehors de *Combretum glutinosum* utilisée comme bois de chauffe, les autres espèces sont généralement de mauvais combustibles et d'intérêt fourrager secondaire (GUERIN et al., 1986),

- les espèces liées à la mise en défens, par ordre chronologique : 1988 (643 : *Dichrostachys glomerata*, 1526 : *Piliostigma reticulatum*), 1989 (963 : *Hexalobus monopetalus*, 15 : *Acacia macrostachya*); 1990 (678 : *Dioscorea prahensis*; 195 : *Baissea multiflora*; 1874 : *Strophantus sarmentosus*; 1265 : *Maerua angolensis*) et 1991 (1591 : *Pterocarpus erinaceus*, 402 : *Cissus vogelii*).

Dans la parcelle protégée, en plus du développement de nombreux rejets de souches du taillis arbustif entre 1988 et 1989, il y a une apparition de la strate arborée et des lianes ligneuses en 1990 -1991.

Concernant le faciès 4 (figure 3.6; A4 et B4) les images de la végétation dans les deux parcelles s'ordonnent autour de quatre (4) espèces caractéristiques :

- sur la parcelle protégée, on observe un déplacement vers le bas de l'axe des ordonnées en raison de la forte participation de 1472 (*Grewia lasiodiscus*), 933 : *Pavetta cinereifolia*) et 678 (*Dioscorea prahensis*) puis vers les abscisses positives, en s'approchant de l'origine des axes, en raison d'une importante apparition d'espèces de la strate arborée : 228 (*Bombax costatum*), 476 (*Cordyla pinnata*), 1853 (*Sterculia setigera*) enfin vers les coordonnées positives : 840 (*Feretia apodanthera*), 436 (*Combretum glutinosum*) et 15 (*Acacia macrostachya*).

- dans la parcelle témoin, l'image de la végétation est le reflet de quelques espèces: 939 (*Guiera senegalensis*), 325 (*Cassia sieberiana*).

Tout comme dans les autres faciès, la végétation s'est fortement transformée entre 1988 et 1989, du fait de l'apparition de nouvelles espèces et de l'augmentation de la densité de *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans*, *Feretia apodanthera*, *Acacia macrostachya*.

Ces résultats montrent que quel que soit le traitement (témoin ou mise en défens), la végétation évolue. Cependant, le sens de l'évolution diffère de la parcelle protégée à la parcelle témoin. **Concrètement, la différence observée sur les tendances évolutives de la végétation indique deux processus opposés :**

- sur la parcelle protégée, on observe une évolution à tendance positive, c'est-à-dire que la végétation s'enrichit d'espèces nouvelles sensibles à la pression pastorale et à l'action des feux de brousse (feu, surpâturage). Ce sont les ligneux lianescents et ceux de la strate arborée.

- sur la parcelle témoin, quelques espèces semblent en équilibre avec la pression de l'homme qui agit en sélectionnant les espèces qu'il prélève (*Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*).

3.1.3.1 La diversité et la régularité

Les concepts de diversité, de stabilité et de succession ont été développés par de nombreux auteurs (WHITTAKER, 1975 et 1977 ; DAGET, 1979, 1980 ; CANCELA DAFONSECA, 1980 ; LEPART et ESCARRE, 1983 ; ZOUNGRANA, 1991 etc.). Les indices de diversité et de régularité représentent des outils importants qui permettent d'apprécier le niveau d'organisation des communautés végétales. Ils donnent des indications sur leur stabilité et leur évolution (LEPART et al., 1983). La diversité prend en compte la richesse et l'abondance des espèces ou leur rareté. Elle peut être un indicateur écologique important dans la mesure où elle permet de

comprendre les relations intra et inter-spécifiques au sein d'une communauté végétale donnée (DI CASTRI et YOUNES, 1990).

A partir des relevés effectués annuellement dans les parcelles protégées et leurs témoins, nous avons tenté d'évaluer le niveau d'organisation de la communauté végétale des ligneux au cours de quatre années d'observations. Les indices ont été calculés à partir des contributions spécifiques qui représentent la participation des espèces au recouvrement. Les indices pris en compte sont :

- l'indice de diversité H' ou de SHANNON-WEAVER calculé à partir de l'effectif des espèces recensées (N) dans chaque parcelle et l'effectif de chacune d'elles (N_i). A cet effet, la fréquence des espèces (f_i) qui représente le rapport de la densité de l'espèce (i) et la densité totale du peuplement a été utilisée

$$H' = - \sum_{i=1}^S f_i \log_2 f_i \quad 0 < f_i < 1$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{N_i}{N} \log_2 \frac{N_i}{N} \quad 0 < N_i < N$$

avec S : nombre d'espèces ; N : densité du peuplement ; N_i : densité de l'espèce i .

$$- \text{l'indice de régularité : } R = \frac{H'}{H'_{\max}} = \frac{H'}{\log_2 S}$$

avec $H'_{\max}$: indice de diversité maximale théorique

La figure 3.7 donne les résultats des variations dans le temps des indices de diversité (H' et $H_{\max}$) et de régularité R pour chaque faciès de végétation protégée ou non.

L'examen de cette figure montre que les valeurs de diversité selon Shannon-Weaver et de régularité varient suivant les faciès :

- dans les faciès 1 et 2, les indices varient dans le même sens. La diversité selon Shannon-Weaver est relativement constante, tandis que la diversité maximale théorique ($H_{\max}$) augmente dès la première année de mise en défens et l'indice de régularité a tendance à diminuer. En revanche, dans les témoins, ces indices varient à l'inverse, avec une diversité H' légèrement augmentée, une diversité maximale théorique stable et une régularité croissante,

- dans les faciès 3 et 4, les mêmes tendances sont observées. Cependant, par rapport aux faciès 1 et 2, on observe une évolution parallèle des trois paramètres suivant que la parcelle est protégée ou non, avec une tendance à l'augmentation dans les mises en défens et à la diminution dans les témoins.

Selon CANCELA DA FONSECA (1980), les valeurs élevées de l'indice de diversité de Shannon-Weaver traduisent une faible organisation du système, tandis que les faibles valeurs indiquent, en général, un système plus organisé, sauf dans le cas d'un peuplement monospécifique ou de peuplement très fortement dominé par une ou deux espèces (ZOUNGRANA, 1991).

Par rapport à nos résultats, les valeurs relativement élevées de l'indice de diversité maximale théorique ($H_{\max}$) dès la première année de protection révèlent des phénomènes de régénération caractérisée par l'apparition d'espèces en voie de disparition (espèces probablement sensibles à la pression pastorale et l'action des feux de brousse).

Par ailleurs, la tendance à l'augmentation des valeurs de l'indice H' dans la mise en défens montre un faible niveau d'organisation de ces communautés végétales. Toutefois, cette interprétation doit être nuancée car si les indices de diversité (liés au nombre d'espèces recensées ainsi qu'à leurs effectifs respectifs)

évoluent dans le même sens dans les quatre faciès protégés, il n'en est pas de même pour la régularité qui en sa qualité de rapport (entre la diversité observée ou de Shannon-Weaver et la diversité maximale théorique) permet de comprendre les relations intra et inter - spécifiques au sein de ces communautés végétales.

Dans les faciès 1 et 2 protégés, la tendance à la diminution des valeurs de la régularité traduit une répartition très irrégulière des effectifs entre les espèces et soulignent des phénomènes de forte dominance (DAGET, 1980; DEVINEAU et al., 1984) : *Combretum glutinosum* et *Combretum nigricans* dominent dans ce peuplement relativement diversifié. En revanche, dans les faciès 3 et 4 correspondant à des jachères anciennes (vieilles d'environ une vingtaine d'années), la tendance à **l'augmentation de l'indice de régularité peut être due à l'abondance de *Combretum glutinosum* qui domine ce type de formation** (principale espèce des jachères dans la zone).

Dans les témoins des faciès 1 et 2, les indices de diversité observée (H') et de diversité maximale théorique (H max) diminuent, alors que la régularité augmente. Cela traduit le phénomène de forte dominance des espèces telles que *Combretum glutinosum* et *Combretum nigricans* qui résistent aux feux de brousse et se reconstituent rapidement par rejets de souches issues d'exploitation de bois de chauffe. Pour ce qui est des témoins (faciès 3 et 4), la forte diminution des indices de diversité observée (H') et de régularité peut être due à l'abondance de *Guiera senegalensis* (faciès 4) et *Combretum glutinosum* (faciès3), **espèces dominant les jachères anciennes utilisées comme réserve de bois de chauffe.**

Ces résultats montrent une intense colonisation des terres de parcours dégradés du plateau résiduel dès la première année de mise en défens par les espèces dominantes, suivie d'un afflux d'espèces de la strate arborée en voie de disparition : diversité maximale théorique élevée. Ce stade correspond à une situation de remaniement floristique des communautés végétales ligneuses.

La période de quatre ans de protection a permis de mettre en évidence une dynamique de la strate ligneuse beaucoup plus lente que celle de la strate herbacée (GROUZIS, 1988).

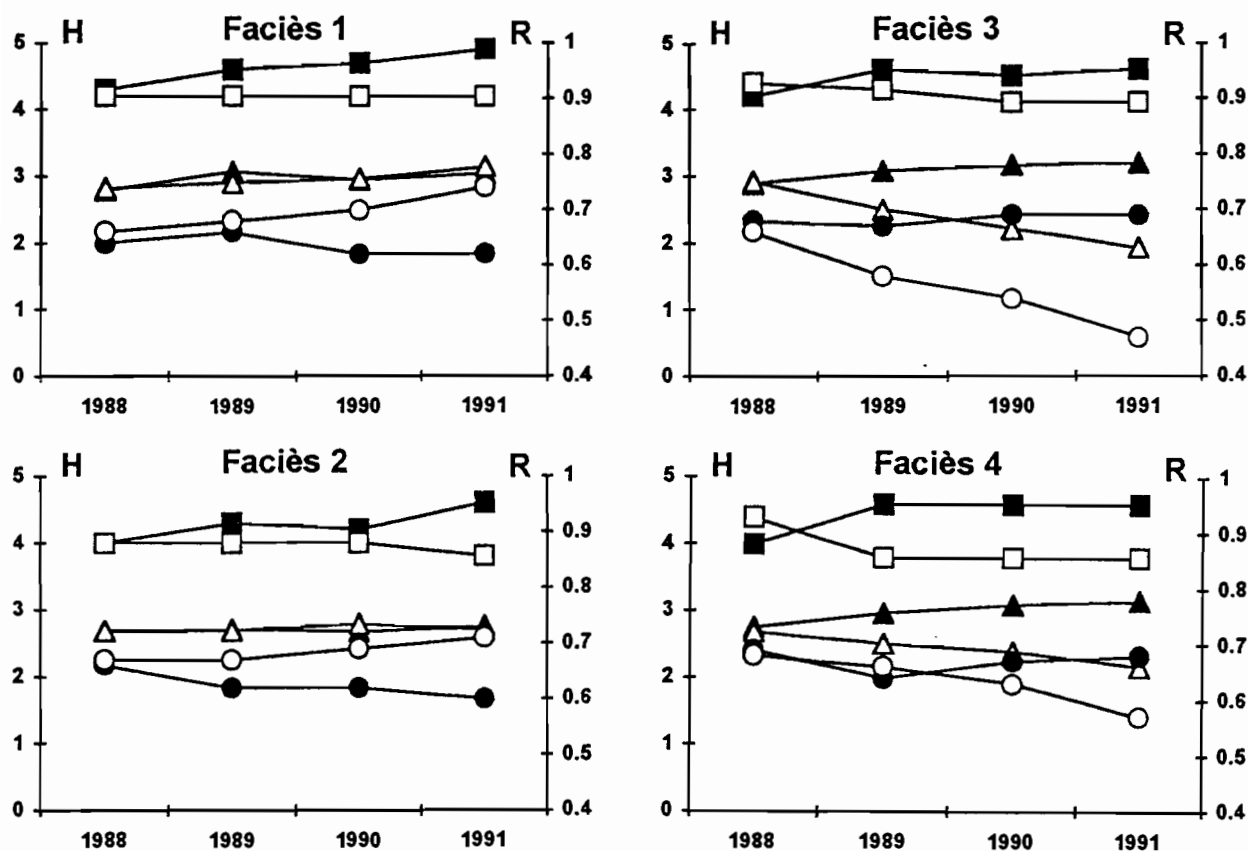
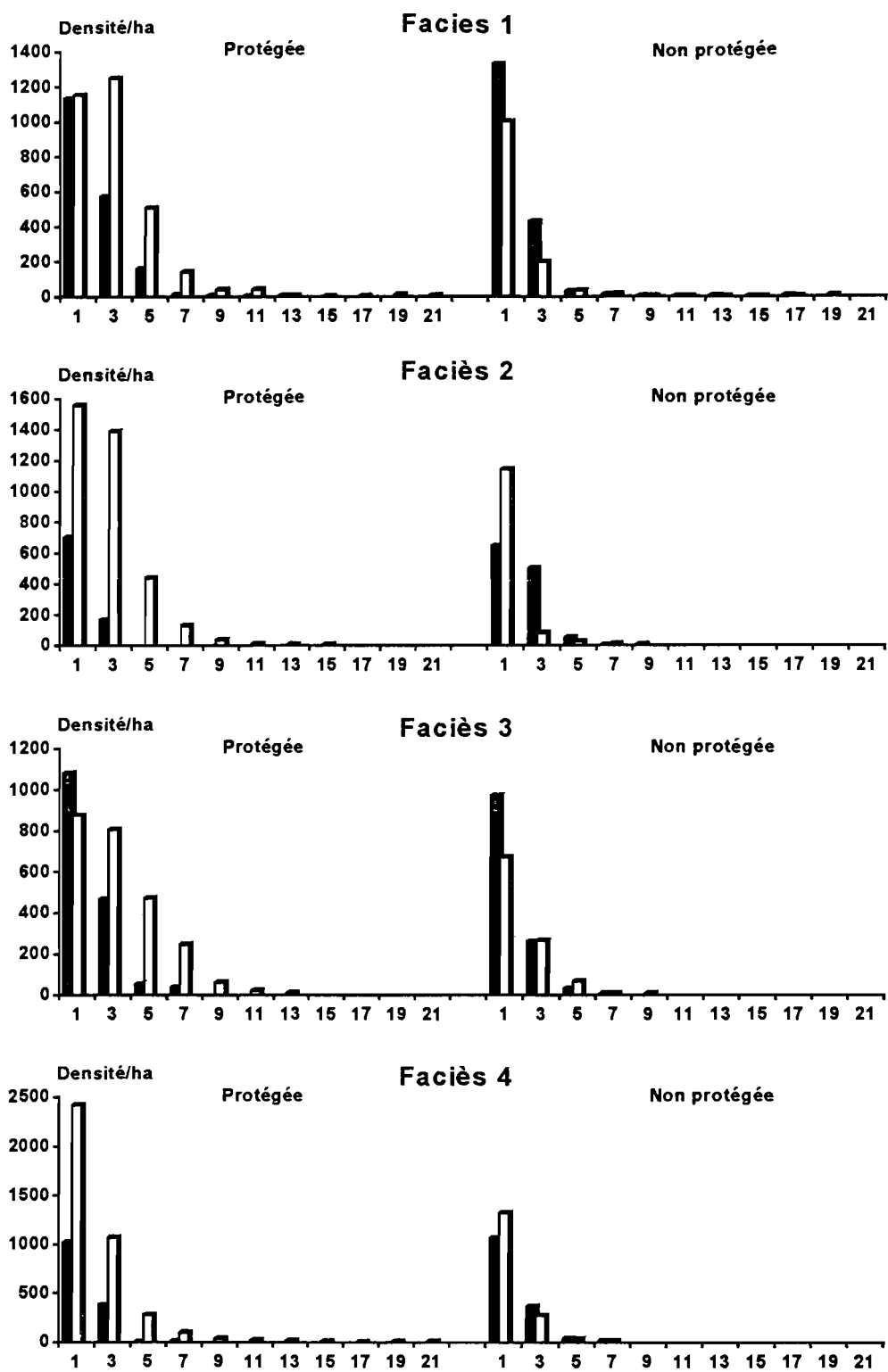


Figure 3.7 : Evolution dans le temps des indices de diversité et de régularité des parcelles protégées (en noir) et non protégées (en blanc).
 n : Hmax = Diversité potentielle s : H' = Diversité Shannon et Weaver
 ● : R = Régularité



■ 1988 □ 1991

Figure 3.8 : Evolution dans le temps de la structure des parcelles protégées et non protégées. L'axe des abscisses représentent les centres des classes de diamètre considérées (exemple : 1 cm est le centre de la classe 0-2cm)

3.1.3.2 L'évolution de la structure de la végétation

L'analyse de la structure du peuplement en défens et sur témoin permet d'apprécier les tendances évolutives de l'équilibre global des populations et de leur dynamique entre 1988 et 1991.

La distribution des effectifs en fonction des classes de diamètre mesuré à la base du tronc dans les quatre faciès de végétation en défens et témoin est donnée par la figure 3.8. A l'exception du faciès 1 protégé dont la structure est de type log normal, on peut noter que, quels que soient le faciès et le traitement, la distribution observée est du même type, c'est à dire le modèle exponentiel décroissant. En règle générale, les classes jeunes sont bien représentées. Toutefois, l'examen des histogrammes permet de faire les constations suivantes :

- la distribution observée en 1988 a montré que la première classe de diamètre (0-2cm) était la plus représentée dans le peuplement aussi bien en défens qu'en témoin.

- après quatre ans de protection, la structure du peuplement révélant encore une nette dominance des individus des classes de petit diamètre montre une relative importance des individus des grandes tailles (diamètre supérieur à 5 cm). En revanche, dans les témoins, il n'y a aucune évolution remarquable, cela étant dû probablement au prélèvement des gros individus qui rejetant abondamment de souches maintiennent cette population en équilibre métastable. Du fait de la très forte demande en bois de feu les individus des classes de grand diamètre sont absents ou très rares dans les parcelles témoins.

En résumé, l'analyse de la structure de la population révèle que dans l'état actuel de dégradation, **le peuplement ligneux des plateaux de Thyssée Kaymor peut se reconstituer rapidement (après quelques années de protection) dès que lapression anthropique cesse** (DONFACK et FLORET, 1993).

La figure 3.9 montre l'évolution de la distribution des diamètres des individus ou tiges des principales espèces du peuplement ligneux dans le plateau résiduel : *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans*, *Acacia macrostachya*, *Guiera senegalensis* et *Feretia apodanthera*.

On note au cours du temps des modifications relativement importantes de la structure tant sur la végétation protégée que sur le témoin. La structure observée en 1988 est différente de celle de 1991.

Après quatre ans de mise en défens, en dehors de *Combretum glutinosum* et *Combretum nigricans*, dont le nombre d'individus de la première classe de diamètre (0-2 cm) a régressé au profit de la deuxième (2-4cm de diamètre), les structures des autres espèces montrent une distribution des classes de diamètre de type exponentiel décroissant (forte représentation des classes de petit diamètre). Dans les parcelles témoins, en règle générale, la structure des espèces révèle une dominance des individus de la première classe de diamètre et une très faible représentation, voire une absence, des arbres de grande taille de diamètre.

La structure de *Guiera senegalensis* dans les parcelles protégées montre qu'elle tend à disparaître : les individus recensés en 1988 dans les classes 4 et 6 cm ne sont plus représentés en 1991. En revanche, *Guiera* a tendance à bien se développer dans les parcelles témoins. On observe une apparition en nombre important d'individus dans les classes de gros diamètre.

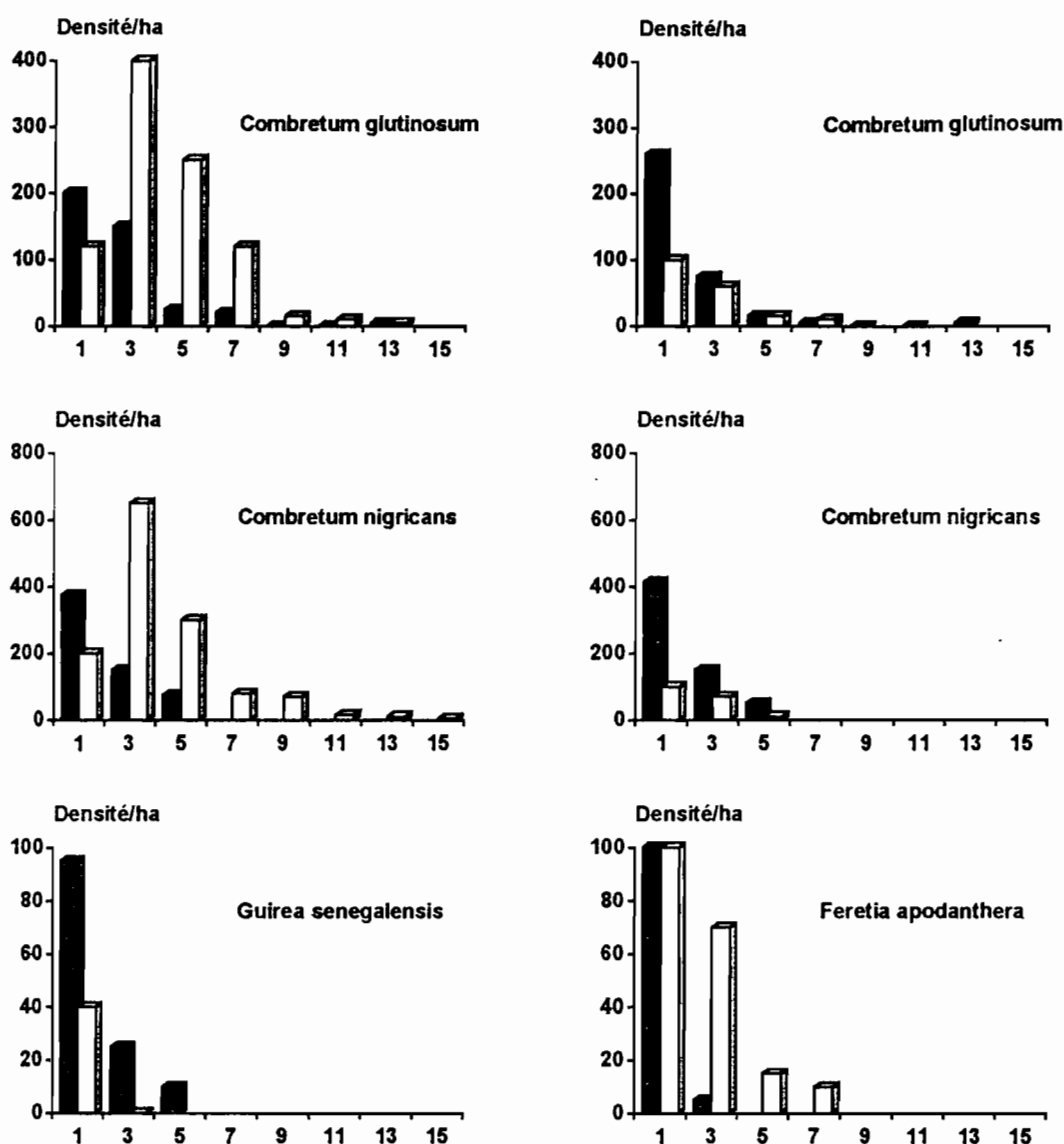


Figure 3.9. : Evolution dans le temps (■1988 □ 1991) de la structure des principales espèces des parcelles protégées et non protégées du faciès 1. L'axe des abscisses représentent les centres des classes de diamètre considéré (exemple : 1 cm est le centre de la classe 0-2 cm)

Parcelles protégées

Parcelles non protégées

Sous l'effet de quelques années de mise en défens les principales espèces des formations ligneuses des plateaux cuirassés ont une dynamique progressive, elles présentent une structure de type exponentiel décroissant qui signifie une population relativement équilibrée

3.1.3.3 L'évolution de la densité et de la surface terrière

La figure (3.10) présente l'évolution au cours du temps de la densité des espèces caractéristiques des quatre faciès de végétation ligneuse dans les couples comparatifs de parcelles. Après quatre ans de mise en défens, on peut noter que :

- dans les parcelles protégées, l'effectif de *Combretum nigricans*, *Combretum glutinosum*, *Acacia macrostachya* et *Feretia apodanthera* a remarquablement augmenté d'une année à l'autre. Une seule espèce, *Guiera senegalensis*, a régressé,

- dans les parcelles témoins et à l'exception de *Guiera senegalensis*, les effectifs des quatre autres espèces ont fortement baissé.

A titre d'exemple, *Combretum nigricans* avec une densité de 600 individus à l'hectare en 1988 (faciès 1) passe à 1400 en 1991, soit une augmentation de 133% sous l'effet de la mise en défens. Au niveau du témoin, la densité de l'espèce qui était de l'ordre de 600 tiges h a - ¹ chute à 200, soit une diminution de 66%.

Ce résultat montre que la reconstitution de la végétation ligneuse se fait normalement dans la mise en défens. Il faut souligner l'effet remarquable de la protection sur la régénération et le développement de *Combretum glutinosum* et *Combretum nigricans*, ligneux très appréciés dans la zone pour le bois.

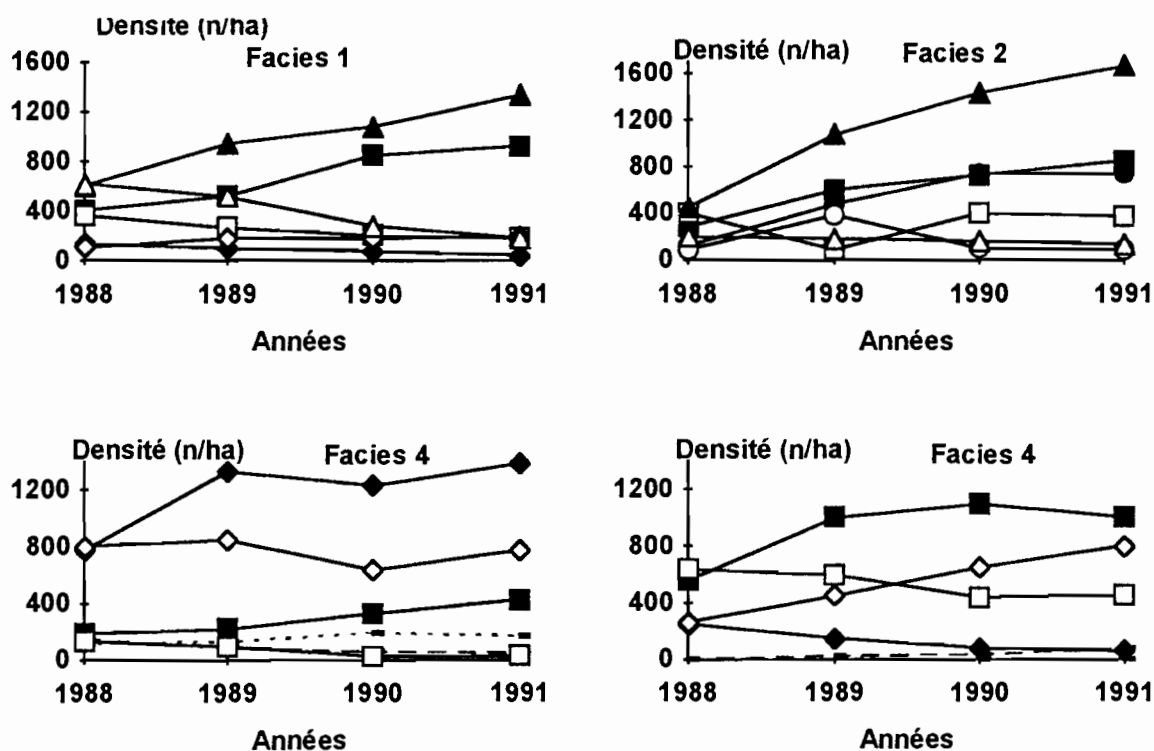
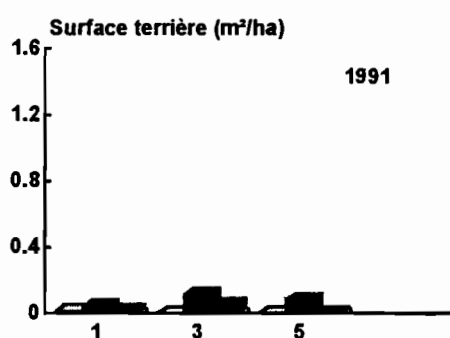
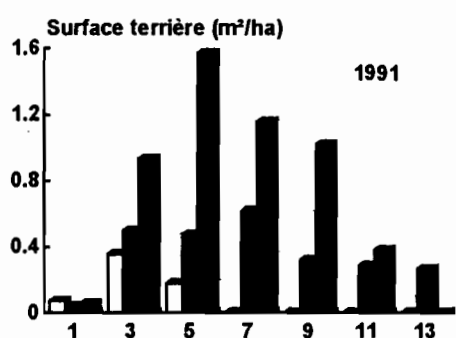
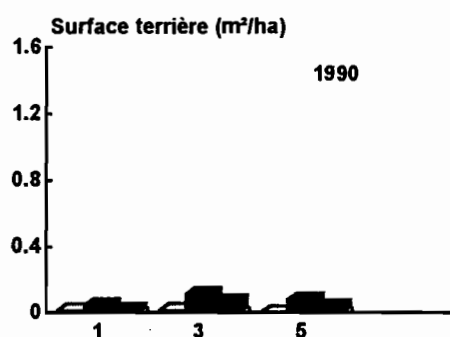
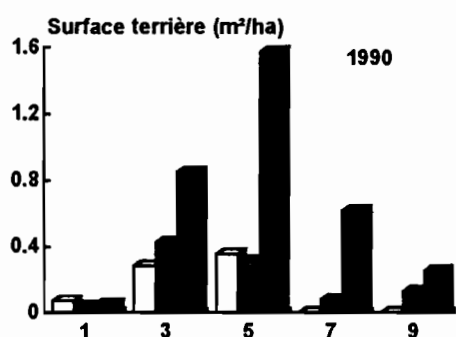
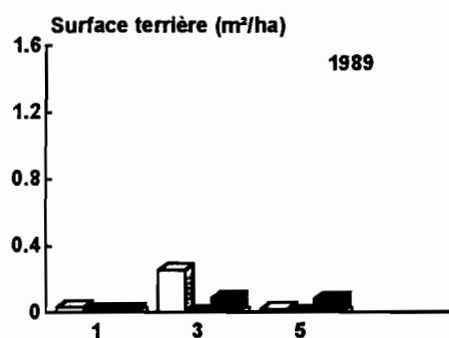
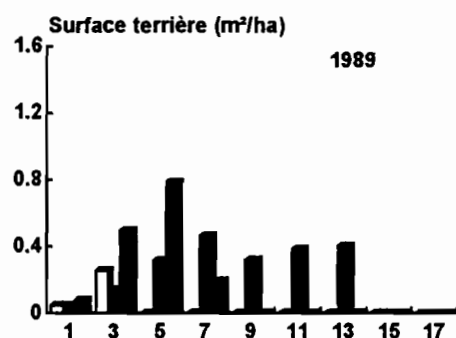
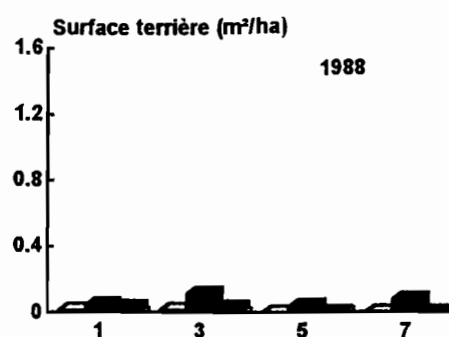
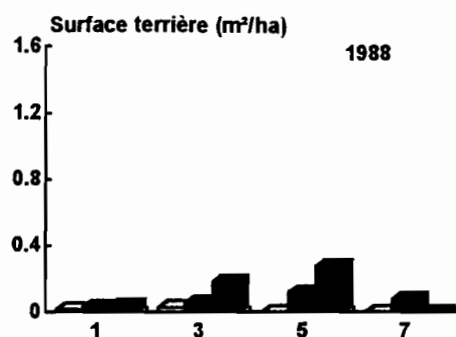


Figure 3.10 : Evolution dans le temps des densités des principales espèces des quatre faciès de végétation .

■ *Combretum glutinosum* (parcelles protégées en noir ; parcelles non protégées en blanc) ; ◆ *Guiera senegalensis* ; □ *Combretum nigricans* ; ◇ *Feretia apodanthera* ; - *Acacia macrostachya* (parcelles protégées ; parcelles non protégées) ; - - *Grewia lasiodiscus* (- - - parcelles protégées ; --- parcelles non protégées) .



Parcelles protégées

Parcelles non protégées

Figure 3.11 : Evolution des surfaces terrières en fonction du temps des principales espèces du faciès 2. L'axe des abscisses représente les centres des classes de diamètre considéré (exemple : 1 cm est le centre de la classe 0-2 cm)

* *Feretia apodanthera* ; n *Combretum glutinosum* ; ▨ *Combretum nigricans*

En revanche, *Guiera senegalensis* présente une évolution contraire. La densité de l'espèce diminue dans la protection et augmente dans les zones non protégées.

Ce résultat permet de conclure qu'en dehors de *Guiera senegalensis*, dont le comportement est meilleur dans le témoin, les autres espèces caractéristiques de la savane boisée de Thyssé Kaymor s'épanouissent dès que la pression anthropique cesse.

De même, la surface terrière évolue différemment suivant que la parcelle est protégée ou non (fig.3.11). L'examen de cette figure montre une évolution relativement importante des surfaces terrières de *Combretum glutinosum* et *Combretum nigricans* entre 1988 et 1991, soit après quatre ans de mise en défens.

Les valeurs varient de 0,60 à 2 m² ha⁻¹ en 1991 sous l'effet de la protection. Dans les parcelles témoins, celles-ci diminuent fortement de 0,14 m² à 0,04 m² ha⁻¹. Ce résultat indique une bonne évolution des couvert ligneux sous l'effet de la mise en défens. Dans les parcelles témoins, les faibles valeurs sont en revanche probablement le résultat de la pression de l'homme qui agit en sélectionnant les individus qu'il prélève (bois de feu et de service).

Dans le cas des formations ligneuses des parcours sur le plateau résiduel où la pression anthropique est forte (prélèvement de bois, surpâturage de saison des pluies, feu de brousse), il faut souligner que la mise en défens de quelques années favorise la reconstitution de la végétation ligneuse qui se fait principalement par voie végétative (*Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans*, *Feretia apodanthera*).

Nous savons par ailleurs que la végétation, la strate ligneuse en particulier, joue un rôle important dans le maintien et la conservation de la fertilité des sols (LAL, 1975 ; FELLER et al., 1977 ; ROOSE, 1978, , KNISEL et al., 1981). C'est dans ce contexte que nous avons cherché à mettre en évidence l'effet de cette végétation sur l'évolution d'une autre composante structurale du milieu, les sols, dans les couples comparatifs des parcelles mises en défens et leurs témoins.

3.2 .L'évolution des sols dans les parcelles mises en défens.

Divers états de surface représentatifs du plateau résiduel ont été retenus dans l'étude des sols (sous couvert arbustif et herbacé suivant le taux de recouvrement du sol). Le protocole adopté consiste en six (6) prises élémentaires d'échantillon de sol à l'aide d'une tarière de manière à couvrir toute la parcelle. Les prélèvements de sol concernent les 15 premiers centimètres du sol (cuirasse peu profonde). Pour la détermination du statut organique, il a été mis en place trois profils pédologiques par parcelle suivant l'état dégradé ou non de la couverture végétale avec des prélèvements d'échantillons dans les différents horizons. Les échantillons ont fait l'objet d'une analyse pour étudier et comparer l'évolution des paramètres organiques entre la mise en défens et le témoin (matière organique, carbone azote total et phosphore total).

Soulignons par ailleurs que de nombreux auteurs ont mis en évidence le rôle de la végétation et de l'arbre en particulier dans la conservation et la restauration de la fertilité des sols ferrugineux tropicaux (DANCETTE et al., 1979; AKPO et GROUZIS, 1993).

Ce rôle réside dans l'apport de matière organique et par voie de conséquence dans l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du substrat.

Comment évoluent donc les sols du plateau sous couverture végétale mise en défens durant quelques années (4 ans) ?

Par delà la présentation générale des sols faite précédemment (Chapitre 2), l'étude pédologique détaillée du plateau cuirassé de Keur Dianko-Sonkorong révèle l'existence de deux classes de sols :

- les sols lithosoliques d'érosion peu épais qui dominent dans les faciès 3 et 4 ;
- les sols gravillonnaires peu évolués sur cuirasse, d'épaisseur moyenne comprise entre 50 et 60 cm occupant les sites 1 et 2.

Les sols lithosoliques d'érosion peu évolués reposent sur une cuirasse de profondeur variant de 15 à 30 cm ; ils sont recouverts en surface par un matériau épars, constitué de fragments de cuirasse démantelée.

Ces sols ont une texture fine de type limono-sableux en surface et argileux en profondeur, une structure fondue en surface (croûte indurée) et massive à débit polyédrique moyen faiblement développé. L'horizon de surface renferme des concrétions ferrugineuses.

Les sols ferrugineux gravillonnaires peu évolués, érodés sur cuirasse relativement perméable parce qu'en voie de désagrégation, sont caractérisés par :

- une texture limono-sableuse en surface à argileuse en profondeur,
- une structure de type polyédrique fine à grumeleuse, continue à tendance massive en profondeur,
- un horizon gris foncé humifère très poreux, marqué par de nombreuses racines, avec une activité biologique abondante.

Ces sols présentent une épaisseur relativement importante par rapport aux précédents (profondeur utile variant de 50 à 70 cm).

3.2.1 Les caractéristiques analytiques des sols et leur évolution.

-Les lithosols.

Les résultats analytiques (tableau 3.5) montrent que ces sols sont chimiquement pauvres. Les teneurs en matières organiques faibles en témoin ($C = 4$ à 5% et $N = 0,4$ à $0,5\%$) ont légèrement augmenté en défens ($C = 5$ à 6% et $N = 0,4$ à $0,6\%$).

Le rapport C/N est dans les deux cas de l'ordre de 10 montrant ainsi que ces sols minéralisent plus qu'ils ne stockent de la matière organique ($MO = 0,8$ à 1%). Les taux de phosphore et de potassium déjà médiocres en témoin ($P_{2O_5} = 4,3$ ppm et $K = 0,05$ à $0,11$ meq / 100 g) n'ont pas évolué en défens ($P_{2O_5} = 4$ à 5 ppm et $K = 0,06$ à $0,08$ meq / 100 g). Le taux de saturation en bases diminue en moyenne de 50 à 40 % en parcelle protégée et le pH varie autour de 4 indiquant un sol relativement acide.

Le pourcentage élevé de limons grossiers et de sables fins (environ 60 %) et le faible taux de matière organique (0.9 %) révèlent la sensibilité de ces sols à la battance. Ainsi, en l'absence d'écran végétal, ces sols peuvent se transformer en véritable impluvium.

-Les sols gravillonnaires à faciès ferrugineux tropicaux.

Les résultats analytiques montrent que ces sols gravillonnaires sont aussi pauvres que les lithosols bien que leurs teneurs en matière organique soient légèrement plus élevées. Le pourcentage des autres éléments varie dans le même

ordre de grandeur (phosphore, potassium, taux de saturation en bases échangeables, granulométrie et pH).

Ces sols comme les précédents sont fragiles et sensibles à la battance en l'absence de couverture végétale. Leur localisation en haut de versant (sommet du plateau résiduel) montre leur importance dans le paysage puisque leur déstabilisation peut entraîner des processus de ruissellement et d'érosion hydrique sur l'ensemble de la toposéquence.

Tableau 3.5: Caractéristiques analytiques des sols avant et après 4 années de mise en défens, horizon : 0-15 cm (échantillons moyen ou composite)

		Sol peu évolué gravillonnaire à faciès ferrugineux tropical				Sol lithosolique d'érosion			
Caractéristiques physico-chimiques		Niveau moyen du plateau(parcelle 1)		Niveau inférieur du plateau(parcelle 2)		Niveau supérieur du plateau(parcelle 4)		Bordure du plateau(parcelle 3)	
traitement		Avant mise en défens	4 ans de mise en défens	Avant mise en défens	4 ans de mise en défens	Avant mise en défens	4 ans de mise en défens	Avant mise en défens	4 ans de mise en défens
Granulométrie %	A.	11.1	16.0	11.7	11.1	14.5	14.5	11.8	11.2
	L.F.	9.4	10.0	7.8	8.7	8.7	8.7	11.3	11.7
	L.G.	22.9	27.1	22.1	22.2	22.4	22.4	25.8	22.6
	S.F.	34.9	34.7	35.4	36.4	33.3	33.3	38.4	39.2
	S.G.	16.9	13.6	24.1	22.6	22.0	22.0	13.4	14.7
pf	pf2.0 ù	20.8	22.0	19.9	19.4	19.7	22.1	21.3	20.5
	pf4.2 %	4.8	5.1	3.9	4.0	4.5	9.2	3.8	3.8
Matière organique	C 0/00	5.67	6.52	5.85	6.37	5.33	6.48	4.68	4.6
	MO %	0.97	1.1	1.0	1.1	0.92	1.1	0.8	0.8
	Nt 0/00	0.55	0.58	0.49	0.58	0.51	0.61	0.45	0.46
	C/N	10.3	11.2	11.9	11.0	10.5	10.6	10.4	10.0
Phosphore	Pt ppm	96	94	72	96	71	70	69	88
	Ass.ppm	4.3	4.2	4.1	4.7	4.3	3.8	4.3	5.2
pH	H2O	5.3	5.4	6.0	6.3	5.8	5.7	5.3	5.5
	Kcl	4.0	4.1	4.7	5.1	4.5	4.5	4.0	4.2
Complexe adsorbant meq/100g	Ca	1.24	2.02	1.39	1.90	1.60	1.48	0.77	0.90
	Mg	0.41	0.77	0.47	0.57	0.39	0.49	0.27	0.32
	Na	0.03	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
	K	0.07	0.23	0.07	0.11	0.11	0.08	0.05	0.06
	T(cec)	3.98	5.67	3.34	3.70	3.34	4.87	2.97	3.29
	V(%)	44	53	58	70	63	43	37	39

Rappelons que l'une des contraintes majeures sur ces sols est l'instabilité de la structure du matériau, surtout en surface. Cette péjoration est due à une forte présence des limons dans l'horizon humifère de surface. La dégradation avancée des propriétés physiques, notamment pour la structure du sol, peut avoir des conséquences néfastes sur le régime hydrique des sols en place, que ce soit par :

- la faible infiltration des eaux dans le sol,
- la formation de croûte de battance favorable à la naissance du ruissellement,
- les actions érosives surtout envers les sols cultivés situés en aval du plateau,
- l'approvisionnement en eau compromis pour les végétaux.

La mise en défens, entreprise depuis 1988, du couvert végétal sur le plateau cuirassé de Keur Dianko-Sonkoron, se traduit par des résultats encourageants. La structure d'ensemble des sols concernés en situation protégée est polyédrique fine à granulée sous arbustes tandis qu'on observe un état structural du sol peu favorable en situation non protégée. Dans ce dernier cas, la structure est polyédrique moyenne à tendance grossière et continue.

Autant qu'il soit possible d'en juger dans un délai relativement court, le sol paraît donc relativement mieux structuré dans la parcelle mise en défens.

3.2.2 L'analyse statistique de quelques éléments

Si l'amélioration des conditions du milieu par la mise en défens est directement perceptible sur le plan de la structure du sol, elle l'est en revanche peu, dans l'état actuel de nos observations, sur le plan chimique.

Le tableau 3.6 donne les résultats d'analyses statistiques ($\alpha = 5\%$) relatives au carbone, à l'azote total et au phosphore total.

Tableau 3.6 : Résultats de l'analyse statistique des teneurs en carbone, azote total, phosphore total selon le test T par couple de parcelles défens - témoin.

Parcelles	Eléments nutritifs du sol	Différence de moyenne (di)	Degré de liberté (n-1)	T observé	T théorique ($t_{0.975}$)	Différences
Faciès 1	C (‰)	-1.0966	5	1.306	2.571	ns
	Nt (‰)	-0.1216	5	1.62	2.571	ns
	Pt (ppm)	-0.1666	5	0.02	2.571	ns
Faciès 2	C (‰)	-0.9383	5	1.305	2.571	ns
	Nt (‰)	-0.0783	5	1.20	2.571	ns
	Pt (ppm)	-19.5	5	2.21	2.571	ns
Faciès 3	C (‰)	0.00166	5	0.005	2.571	ns
	Nt (‰)	-0.005	5	0.13	2.571	ns
	Pt (ppm)	-17.5	5	2.571	2.571	s
Faciès 4	C (‰)	-0.8966	5	2.196	2.571	ns
	Nt (‰)	-0.038	5	1.4	2.571	ns
	Pt (ppm)	3.16	5	0.90	2.571	ns

Cette analyse statistique ne montre pas une différence significative entre la parcelle protégée et le témoin pour les teneurs en carbone et en azote. La seule différence statistique significative est notée au niveau des teneurs en phosphore assimilable (P_2O_5 en ppm).

Ces résultats montrent que quelques années (4 à 5 ans) de mise en défens n'ont pas suffi, semble-t-il, pour améliorer significativement les propriétés chimiques et biologiques des sols dégradés du plateau cuirassé (annexe 6).

Conclusions du chapitre 3

L'effet de la mise en défens sur l'évolution des couvertures végétale et pédologique montre la possibilité d'intervenir efficacement sur les principaux facteurs de dégradation dans ce milieu. Les résultats obtenus au cours de quatre années d'observations permettent de bien différencier l'effet de la protection de celui des variations pédoclimatiques tant sur les ligneux que les herbacées mais également sur les sols.

L'étude des effets de la mise en défens sur l'évolution de la végétation naturelle a permis d'obtenir, après quatre ans, d'importants résultats quant à la reconstitution des couvertures herbacée et ligneuse du plateau résiduel cuirassé (zone de parcours).

La richesse floristique de la strate herbacée est plus élevée dans la mise en défens : après quatre années, le nombre d'espèces a augmenté de 26 %. Dans le cas de la composition des spectres de famille et des types biologiques, il semble que la période d'étude (4 ans) n'ait pas suffi à faire varier d'une part les proportions de légumineuses et de graminées et d'autre part celles des types biologiques. En effet, il conviendrait de souligner qu'au delà de la pression de l'homme (feu, prélèvement sélectif), les conditions écologiques à certaines formes biologiques réduisent leur vitalité (OZENDA, 1964). La période de sécheresse régnant depuis 1970 n'a pas été favorable à la reconstitution des espèces à cycle biologique long : phanérophytes, chaméphytes, hémicryptophytes et cryptophytes (GROUZIS, 1988; MORAT, 1973)

Les thérophytes qui dominent le spectre biologique (80%) dans l'ensemble des faciès traduisent l'état actuel des conditions pédoclimatiques défavorables (déficit pluviométrique, sols dégradés à faible capacité de rétention d'eau).

Quatre années de mise en défens ont suffi cependant pour reconstituer la strate ligneuse des parcours naturels du plateau résiduel cuirassé et mettre en évidence le potentiel de régénération. L'évolution des ligneux s'est traduite par :

- une augmentation de plus de 50 %, de la richesse floristique. Cet enrichissement de la flore ligneuse est le fait de régénération d'espèces rares, c'est à dire des espèces sensibles à la forte pression anthropique : des ligneux lianescents (*Dioscorea prahensis*, *Strophanthus sarmentosus*, *Baisea multiflora* et *Cissus vogelii*.) et des ligneux de bois d'oeuvre ou fourragers (*Pterocarpus erinaceus*, *Bombax costatum*, *Sterculia setigera*, *Lannea acida*, *Detarium microcarpum*, *Maerua angolensis*, *Commiphora africana*, *Grewia lasiodiscus*, *Hexalobus monopetalus*).

- une multiplication par deux, voire par trois, de la densité du peuplement et par cinq à huit de la surface terrière,

- une amélioration de la structure de la population qui se manifeste par une dominance des individus des classes de petit diamètre révélant ainsi une bonne évolution des couverts ligneux.

La période d'étude (4 ans) est certes insuffisante pour faire apparaître la succession d'espèces mais, en revanche, l'évolution de leur composition floristique qui se manifeste par une augmentation de la richesse floristique, du taux de recouvrement végétal et une amélioration de la structure de la population ligneuse est perceptible.

Cette méthode biologique de mise en défens, utilisée depuis 1988, n'a pas permis, en 4 ans d'expérimentation, d'atteindre l'objectif de régénération de la fertilité physique et chimique de ces sols fortement dégradés par l'action anthropique.

Cependant, il faut souligner que, dans la mise en défens, il a été observé une tendance à l'amélioration du statut organique du sol. Ce dernier, dont l'évolution est étroitement liée aux conditions climatiques, dépend de la production végétale et de l'activité biologique pour se reconstituer. Or, le climat est agressif et les matières organiques se minéralisent très vite dans ce milieu comme nous avons eu à le démontrer par nos résultats. ROOSE (1982) a conclu que les sols se minéralisent plus qu'ils ne stockent de la matière organique en milieu tropical chaud et humide

Des recherches plus poussées sur la dynamique des différentes formes de matière organique dans le sol, selon la méthode de fractionnement par voie physique (FELLER et al 1991), sur la biomasse racinaire et sur l'ampleur du dépôt de la litière, auraient pu contribuer à montrer une différence significative quant au comportement chimique des sols en place en situation de mise défens et de témoin.

Les sols du plateau résiduel de Sonkorong sont des sols marginaux très sensibles à la dégradation physique et chimique. Et pourtant, ils continuent de faire l'objet d'une exploitation à cause de la pression foncière soit pour la culture, soit pour le bois d'énergie.

Il est donc plus qu'impératif d'assurer la protection, voire la restauration des ressources naturelles végétales et des sols sur ce terroir cuirassé pour atténuer la dégradation des terres de cultures situées en aval.

état de recouvrement comparé en saison sèche (mois de mai)



photo 4

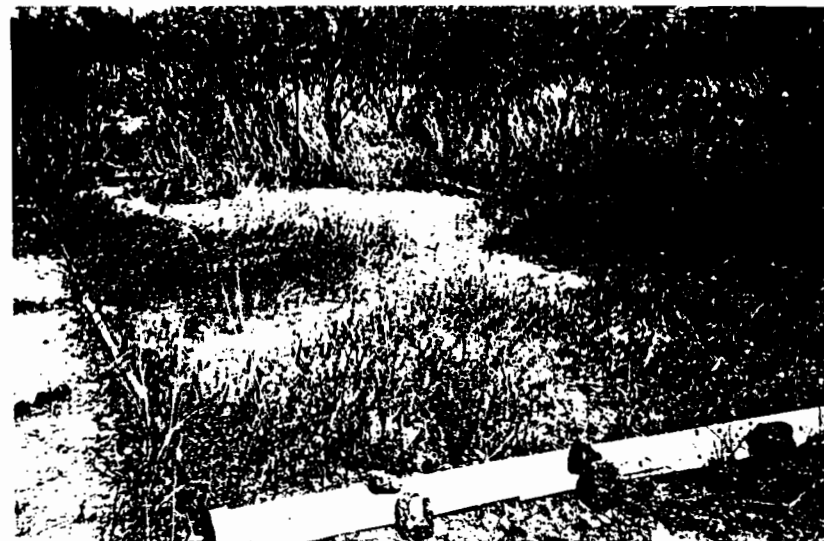


photo4'

état de recouvrement comparé en début de saison des pluies (30 juin).



photo 5



photo 5'

Planche 3. Evolution des états de recouvrement herbacé dans les parcelles de mise en défens et témoin sur le plateau cuirassé de Keur-Dianko. photos prises aux dates.

recouvrement en pleine saison des pluies

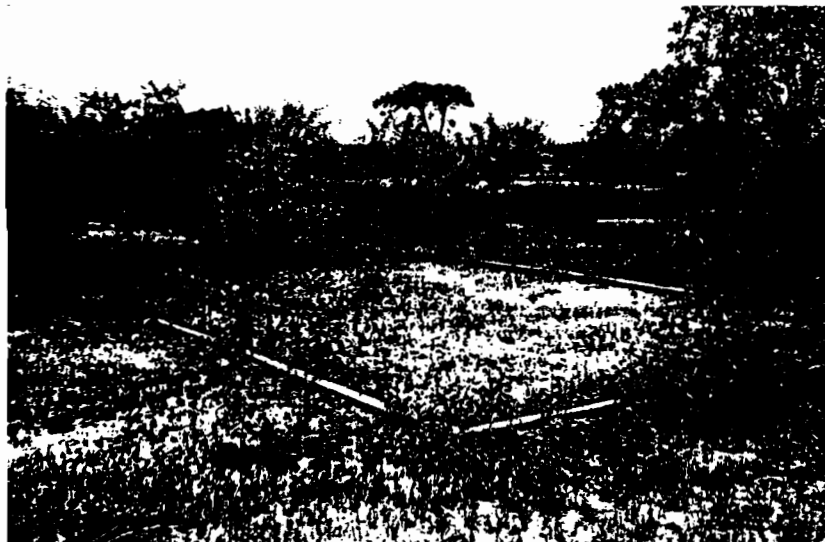


photo 6.



photo6'

recouvrement en fin de saison des pluies.



photo 7.



photo 7'.

Planche 4. Evolution des états de recouvrement herbacé dans les parcelles de mise en défens et témoin sur le plateau cuirassé de Keur-Dianko. photos prises aux dates.



photo 8



photo 9



photo 10



photo 11

planche 5. effets de la mise en défens sur les strates ligneuse et herbacée
(plateau résiduel de Thyssé Kaymor)

CHAPITRE 4

LES EFFETS DES AMENAGEMENTS

AGROFORESTIERS SUR LE FONCTIONNEMENT DU MILIEU

Dans ce chapitre sont présentés à *une échelle stationnelle* et discutés les effets de la mise en défens sur le ruissellement et les pertes en terres fines. Sont ensuite présentées les haies vives anti-érosives ainsi que la technique des cordons pierreux, en essayant d'évaluer là encore leurs effets sur le fonctionnement du milieu.

4.1 L'effet de la mise en défens sur le ruissellement et les pertes en terres fines

Le ruissellement est généré par la fraction des pluies qui n'a pas pu s'infiltrer dans le sol (ROOSE, 1977; ALBERGEL, 1987). Il est lié à plusieurs facteurs parmi lesquels :

- les caractéristiques de la pluviométrie : hauteur de la pluie (P), intensité et durée des averses caractérisée par l'indice d'agressivité climatique de WISCHMEIER (Rusa) et l'état d'humectation du sol caractérisé par l'indice des pluies antérieures IK.
- les caractéristiques morphopédologiques (modelé, sol, état de surface) et celles du couvert végétal.

Au long de ce paragraphe 4.1, nous présenterons successivement les résultats de ruissellement sur parcelles mises en défens et témoins, sous pluies naturelles et sous pluies simulées.

4.1.1 Le ruissellement et l'érosion sous pluies naturelles

Le protocole expérimental de mesure du ruissellement et de l'érosion sous pluies naturelles, sur parcelles de 50 m², a été largement décrit, en particulier par ROOSE (1982) et ALBERGEL(1987).

Pour caractériser le fonctionnement hydrique de la zone de parcours des hauts de versants cuirassés, nous disposons de deux types d'informations :

- des données pluviométriques et des enregistrements pluviographiques journaliers,
- des mesures de ruissellement par averse.

Dans le tableau 4.1 sont présentés les résultats synthétiques relatifs au ruissellement dans la parcelle protégée et le témoin au cours des trois années d'observations : 1991, 1992 et 1993. Ces résultats sont exprimés sous forme de lame ruisselée (Lr) et de coefficients de ruissellement annuels moyens (Kram %) et unitaires maximums (Kramax %).

Tableau 4.1 : Le ruissellement sous pluies naturelles, sur parcelles en défens et sur témoin (1991-1993)

Année	Lp mm	Lrd mm	Lrt mm	Kramd %	Kramt %	Kramax %	Kramxt %
1991	487	52,5	159,5	11	33	38	70
1992	641	46,2	149,8	7	23	21	54
1993	796	67,4	220,2	8	27	23	41

Lrd : Lame ruisselée en défens (mm)

Lrt : Lame ruisselée annuelle en témoin (mm)

Lp : Lame précipitée annuelle totale (mm)

Kram : coefficient de ruissellement annuel moyen en % (d en défens et t témoin)

Kramax : coefficient de ruissellement maximum (%) sous une averse (d en défens et t témoin).

Il ressort de ce tableau que la lame ruisselée annuelle varie fortement de la parcelle de mise en défens au témoin :

- en 1991, la lame ruisselée est de 52,5 mm en défens et 159,5 mm en parcelle témoin. Cela correspond à des Kram variant de 11% à 33 %, soit un rapport de 1 à 3.

- en 1992, elle est de 46,2 mm en mise en défens pour 149,8 mm en témoin, soit des Kram de 7% à 23%, soit un rapport de 1 à 3 environ.

- en 1993, la lame ruisselée varie de 67,4 mm à 220,2 mm représentant respectivement des Kram% de 8% en défens et de 27% en témoin, soit un rapport de 1 à 3 environ une fois encore.

Ces variations confirment et précisent l'influence positive de la protection sur le fonctionnement de ce type de sol, avec un facteur 3 remarquablement constant au

long des trois années d'expérimentation, cela quelle que soit la lame précipitée totale, d'ailleurs très variable entre 487 et 796 mm.

Tableau 4.2 : Le ruissellement sous pluie naturelles, sur parcelles défens et sur témoin, à l'échelle des pluies unitaires (1991-1993)

année 1991						année 1992						année 1993								
date	pluie		défens		témoin		date	pluie		défens		témoin		date	pluie		défens		témoin	
	Lr	Kr	Lr	Kr	Lr	Kr		Lr	Kr	Lr	Kr	Lr	Kr		Lr	Kr	Lr	Kr		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm	
7/7	3.6	0	0	0	0	0	30/5	81.5	9.2	11.2	17	20.9	6/6	0	0	0	0	0	0	
9/7	06	0	0	0	0	0	7/6	39	2.2	5.6	11.6	29.7	27/6	0	0	0	0	0	0	
10/7	36	1.8	5	5.8	16.1	27/6	19	0.4	2.1	4.4	23.2	29/6	45.9	2.6	5.7	16.2	35			
12/7	35.1	13.2	37.6	15.8	45	29/6	29.9	6.2	20.7	16	53.5	30/6	19	0.6	3	8	40.8			
19/7	2.4	0	0	0	0	0	10/7	5.8	0	0	0	0	7/7	11	0	0	2	18		
22/7	39.1	6.2	16	18	46	11/7	1.4	0	0	0	0	0	9/7	53.4	7	13	17	32		
22/7	8.7	3	34	5	57.5	14/7	9.9	0	0	1.6	16.1	10/7	0	0	0	0	0	0		
26/7	8	0.12	1.5	0.4	5	15/7	9.9	0	0	1.6	16.1	13/7	9.9	0	0	2	20			
28/7	4	0	0	0	0	0	16/7	53.4	7	13.1	19.6	36.7	17/7	32	0.6	1.9	11.4	35.6		
1/8	5.5	0	0	0	0	0	17/7	5.3	0	0	1.2	22.6	21/7	46.5	4	8.6	16	34.4		
7/8	6.4	0	0	0	0	0	23/7	4.3	0	0	0	0	24/7	3.6	0	0	0	0		
10/8	4.4	0	0	0	0	0	26/7	0.8	0	0	0	0	25/7	57.2	8.4	15	16.4	26.7		
13/8	37.5	1.8	4.8	18	46	28/7	1.3	0	0	0	0	0	27/7	17	0	0	3.8	23.4		
16/8	16.9	4	23.7	9	53.3	29/7	46.9	3.2	8.8	14.2	30.3	28/7	3.3	0	0	0	0	0		
22/8	25	4.2	16.8	13.2	52.8	1/8	1.6	0	0	0	0	0	30/7	3.3	0	0	0	0		
25/8	22	7	31.8	15.6	70.9	2/8	44.8	7.8	17.4	16	35.7	31/7	15.5	3.6	23	6	39			
1/9	45.6	4	0.9	18	39.5	11/8	24	2	8.3	8.8	36.7	4/8	80	15.2	19	22	27.5			
5/9	6.9	0	0	0.2	2.9	14/8	16.5	0.2	1.2	2.4	14.5	5/8	68	12	18	20	29			
8/9	3.7	0	0	0	0	0	15/8	0.6	0	0	0	0	8/8	0.8	0	0	0	0		
9/9	39.1	6.6	16.9	16	46	17/8	2.2	0	0	0	0	0	11/8	17.2	1.6	9.3	3	17.4		
14/9	4	0	0	0	0	0	18/8	3.9	0	0	0	0	12/8	63.2	9.8	15	19.8	31.3		
19/9	16.6	0.4	2.4	7	42.2	25/8	9.8	0	0	0	0	0	16/8	7.3	0	0	0	0		
27/9	30	0.2	0.7	6.8	22.7	26/8	1.2	0	0	0	0	0	17/8	11	0	0	0	10.9		
7/10	8.9	0	0	0	0	0	29/8	9.6	0	0	1	10.4	20/8	54.1	2	1.8	1.2	37		
9/10	16.4	0	0	0.6	3.7	30/8	10.6	0	0	0.6	5.7	26/8	1.8	0	0	20	0			
10/10	50	5.6	11.2	20	40	31/8	16.3	0.6	3.7	3	18.4	28/8	0	0	0	0	0			
19/10	3.5	0	0	0	0	0	1/9	20.5	0.6	2.9	3.2	15.6	29/8	0.2	0	0	0	13		
							2/9	4.9	0	0	0	0	31/8	23.3	0	0	0	0		
							5/9	0.2	0	0	0	0	2/9	5.3	0	0	3	0		
							8/9	15.2	0	0	1.2	7.9	3/9	1.1	0	0	0	16		
							13/9	6.3	0	0	0	0	5/9	7.8	0	0	0	18.6		
							17/9	65	5.6	8.6	20	30.8	7/9	0.2	0	0	1.2	37		
							18/9	8.4	0	0	0.4	4.8	9/9	8.6	0	0	0	0		
							21/9	0.4	0	0	0	0	10/9	30.8	0	0	1.6	0		
							23/9	10.6	0	0	0.22	2.1	15/9	11.9	0	0	13	0		
							25/9	3.2	0	0	0	0	21/9	2.5	0	0	0	0		
							1/10	20.6	0	0	2.6	12.6	22/9	2.6	0	0	0	0		
							3/10	25.5	1	3.9	3.8	14.9	24/9	14	0	0	0	0		
							7/10	11	0	0	0.4	3.6	3/10	4.3	0	0	0	0		
													4/10	6.7	0	0	0	0		
													12/10	4.3	0	0	0	0		
													26/10	34.9	0	0	9.8	28.1		
													27/10	16.2	0	0	6.4	39.5		

A l'échelle des pluies unitaires (Tableau 4.2), le ruissellement maximum atteint

- en 1991, 37.6% sous savane protégée pour une averse de 35,1 mm (12 juillet), sur un sol préalablement humecté par une pluie de 36 mm deux jours auparavant, contre 45% le même jour sur la parcelle témoin et un maximum de 70.9% sur cette dernière le 25 août (31% ce jour sur le défens).

- en 1992, 21% (29,9 mm le 29 juin) sur la mise en défens contre 53,5% au témoin le même jour.

- en 1993, 23% dans la mise en défens (39% sur le témoin après une averse de 15,5 mm le 31 juillet) contre 40,7% sur parcelle non protégée (le 30 juin).

Au cours des trois campagnes, ce coefficient maximum a toujours été observé en début de saison des pluies sur la parcelle protégée. En revanche, sur le témoin, il y a une exception : celle de l'année 1991.

En cette période de début d'hivernage, le sol est en effet moins bien protégé, y compris sur la parcelle mise en défens, du moins si l'on considère la couverture herbacée (Planche 3 photo 5). Le ruissellement n'est pas entravé. Cet effet protecteur de la végétation est moins assuré sur la parcelle non protégée, y compris plus tardivement durant la saison des pluies.

En outre, le sol subit l'effet battant des premières averses qui se traduit par la dislocation de sa structure en surface et le développement de pellicule de battance, limitant considérablement l'infiltration de l'eau. Dans la parcelle mise en défens, ce processus de désagrégation du sol en surface est cependant rapidement atténué par le développement de la strate herbacée et ce dernier constitue le facteur explicatif principal pour rendre compte de la place des ruissellements maximums en début d'hivernage.

A l'échelle des événements unitaires, on a essayé suivant ALBERGEL (1987) d'ajuster un modèle de ruissellement pour prendre en compte les pluies extrêmes.

Il s'agit :

- du modèle développé par la Soil Conservation Service (MOCKUS, 1969 in ALBERGEL, 1987)

$$Lr = \frac{\beta - a}{p + b}$$

où L_r est la lame ruisselée en mm., p la pluie moyenne en mm, a le paramètre qui tend à expliquer la pluie d'imbibition moyenne sur la parcelle, β et b les paramètres d'ajustement caractérisant la parcelle.

- d'un ajustement selon une fonction puissance (CHEVALLIER et al, 1985).

$$L_r = aP^\beta$$

où L_r est la lame ruisselée en mm, P la pluie moyenne en mm, a et β paramètres d'ajustement caractérisant le bassin versant.

- de la méthode des courbes enveloppes (LAMACHERE, 1984).

Le nuage de points représente les couples lame ruisselée-pluie moyenne est compris entre deux droites enveloppes caractérisant l'état sec et l'état le plus humide du bassin.

- d'un ajustement d'une fonction à concavité vers le haut d'asymptote oblique. SEGUIS (1986), propose, après examen des graphes « pluie-lame ruisselée » sur 21 bassins versants sahéliens, la fonction suivante pour caractériser l'état de ruissellement moyen des bassins versants.

$$L_r = \sqrt{\beta 2 p^2 + a} - a$$

avec $a \geq 0$ et $0 \leq \beta \leq 1$

L_r = lame ruisselée en mm

P = pluie moyenne en mm

β et a = constantes

pour $P = 0$ $L_r = 0$

pour $P \rightarrow \infty$ $L_r \rightarrow \beta P - a$.

Cette dernière fonction a été retenue avec $\beta = 1$.

Ainsi nous caractérisons le ruissellement en condition moyenne sur les parcelles étudiées (défens et témoin) par la fonction :

$$Lr = \sqrt{P^2 + a^2} - a$$

où Lr = lame ruisselée en mm

P = pluie moyenne au sol mm

Pour

$$P = 0$$

$$Lr = 0$$

$$P \rightarrow \infty$$

$$Lr \rightarrow P - a$$

a est la quantité de pluie maximale perdue par ruissellement sur une parcelle dans l'hypothèse d'une pluie « infinie » à forte intensité.

Nous déterminons cette fonction pour chaque parcelle étudiée (défens et témoin) en utilisant les couples de points (Lr, P).

Pour chaque parcelle, la valeur de a est calculée par une méthode d'optimisation graphique à partir des événements pluvieux ayant provoqué une lame supérieure à 3 mm.

$$a_{\text{protégé}} = 173 \text{ mm}$$

$$a_{\text{témoin}} = 65 \text{ mm}$$

Les événements les plus forts sont surestimés dans le cas de la parcelle témoin et un modèle asymptote horizontal rendrait mieux compte des points les plus forts (fig.4.1). Les quatre points correspondant à des pluies supérieures à 60 mm et montrant un plafonnement du ruissellement correspondent peut être à un biais de la méthode expérimentale. Pour de forts ruissellements, l'évacuation de l'eau par l'aval n'est peut être plus instantanée et une infiltration forcée par mise en charge doit se produire. Rappelons que « la représentation de la variation de la lame ruisselée en fonction de la pluie doit admettre une asymptote à 45°c (quand p croît, Lr tend vers p) » (DUBREUIL, 1974; in ALBERGEL, 1987).

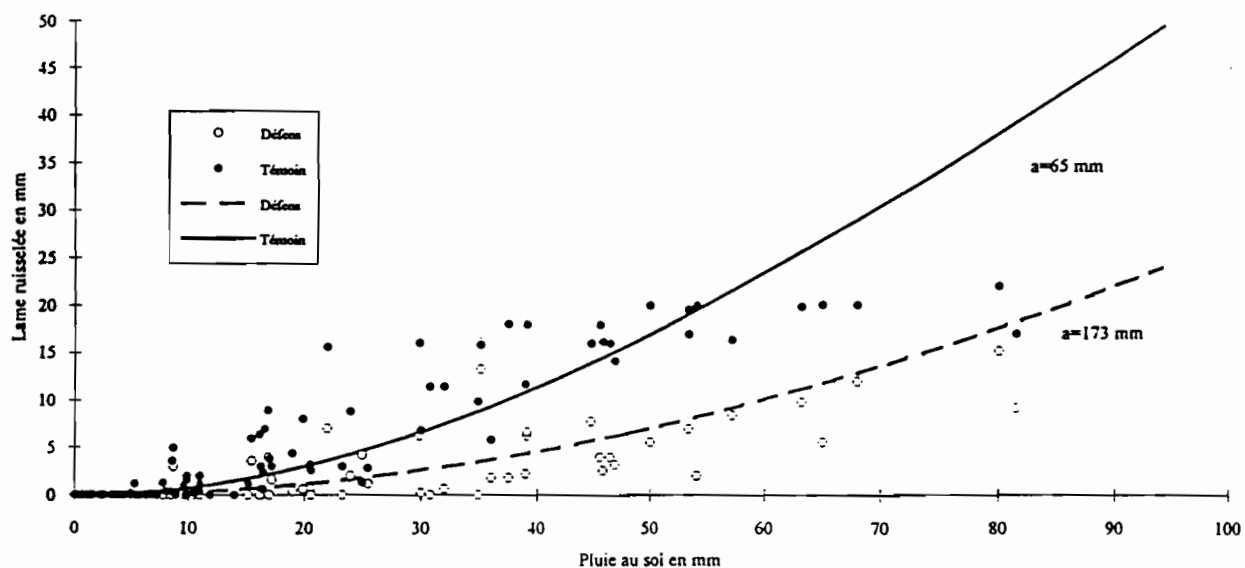


Figure 4.1 : Ajustement des courbes d'aptitude au ruissellement

Ce premier examen du ruissellement a permis de mettre en évidence des différences de comportement entre les deux traitements : mise en défens et témoin

La figure 4.2 montre pour toutes les pluies que la parcelle mise en défens a un ruissellement nettement inférieur à la parcelle témoin.

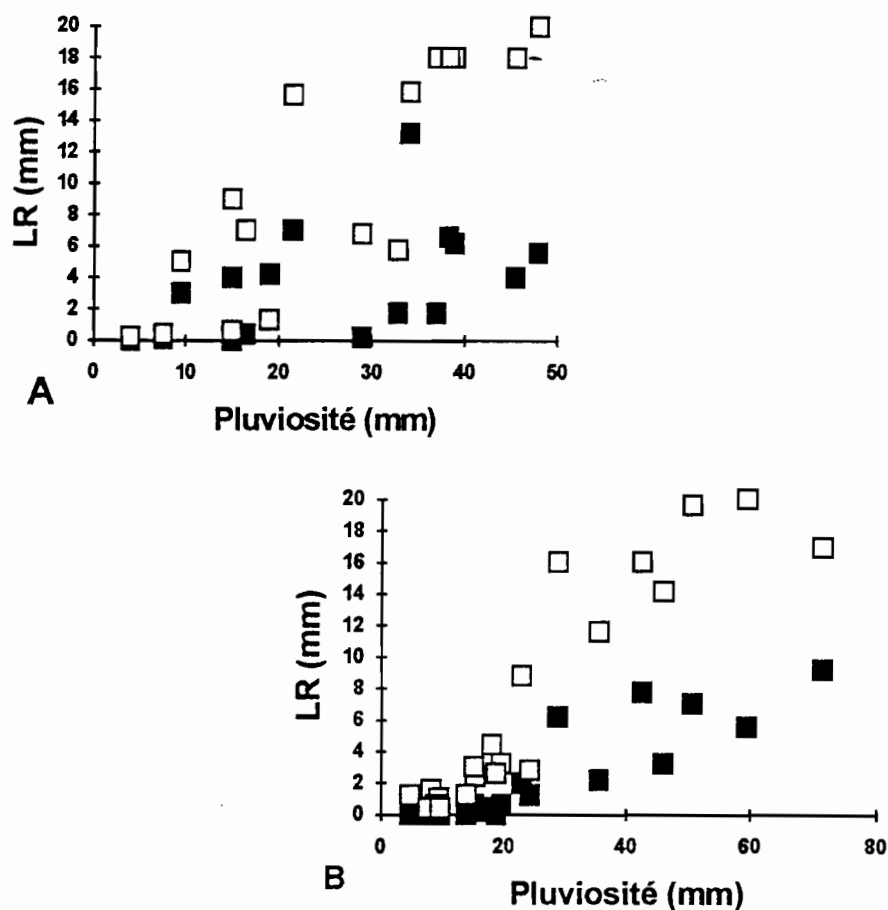


Figure 4.2 : *Lame ruisselée en fonction des pluies enregistrées en 1991 (A) et en 1992 (B) sur les parcelles protégées (■) et non protégées (□)*

La figure 4.3 montre que la lame ruisselée cumulée augmente avec la pluie cumulée.

Dans la parcelle protégée, cependant, il apparaît que :

- la lame ruisselée cumulée tend vers un palier à partir de 400 mm. Ce palier obtenu dès que la végétation a un développement maximum, met en évidence l'importance de cette dernière sur la réduction de l'effet de la pluie sur le ruissellement (planche 4, photos 6' et 7')

- la valeur limite de la lame ruisselée semble varier autour de 50 mm. En d'autres termes pour une lame cumulée de 641 mm par exemple (1993), il est perdu environ 50 mm, soit un peu moins de 8% des précipitations totales.

Au niveau du témoin, le ruissellement tend à augmenter avec la pluie ; ainsi, pour un cumul annuel de 641 mm (en 1993) il est perdu environ 160 mm, soit 25% des précipitations totales. On retrouve le rapport de 3 qui traduit ici l'effet positif de

la mise en défens sur le ruissellement dans ces formations savanicoles du plateau cuirassé.

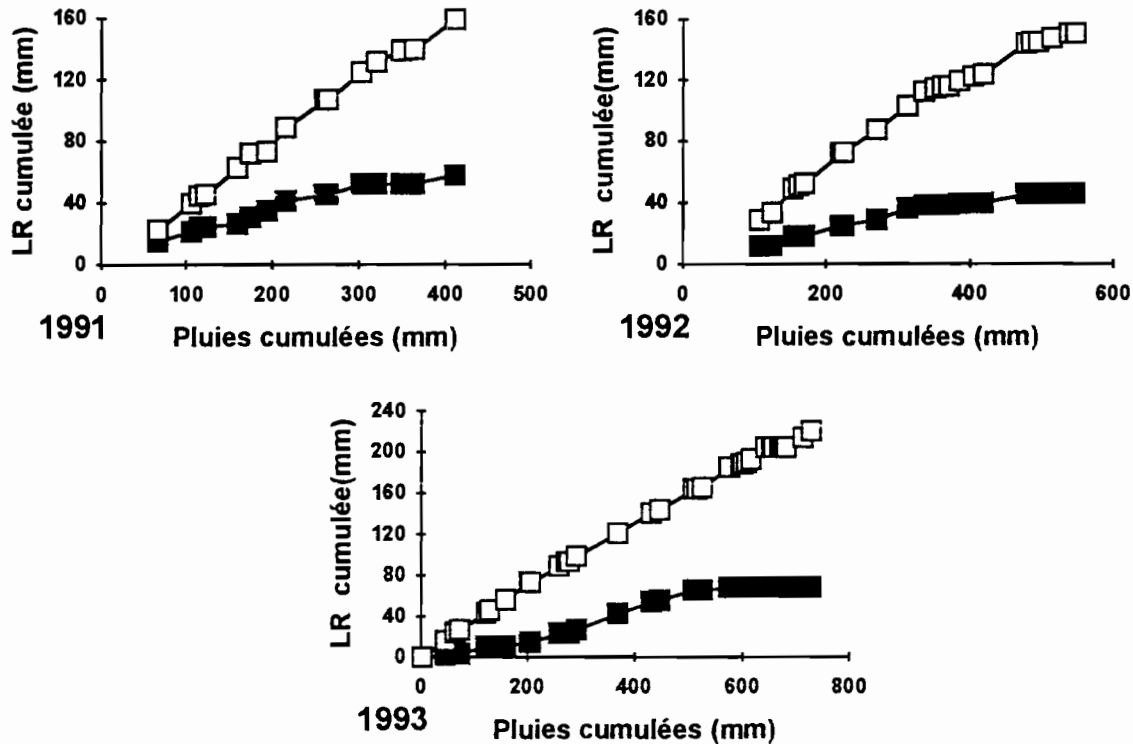


Figure 4.3 : Evolution des lames ruisselées cumulées en fonction des pluies cumulées sur les parcelles protégées (■) et non protégées (□).

On peut essayer de mettre en relation la lame ruisselée avec l'intensité maximale en 15 minutes (I_{Max})

Il ressort de la figure (4.4) que la lame ruisselée est peu liée à l'intensité des pluies et cela plus dans la parcelle témoin que dans la parcelle protégée. La relation n'est pas bien décrite puisqu'on observe une forte dispersion des valeurs de la lame ruisselée en fonction de I_{max} . Il semble néanmoins se dégager une tendance :

- sur la parcelle non protégée, on observe un ruissellement faible pour toutes les intensités inférieures à 30 mm/h.
- au niveau de la mise en défens, le ruissellement apparaît pour une intensité variant autour de 30 mm/h.

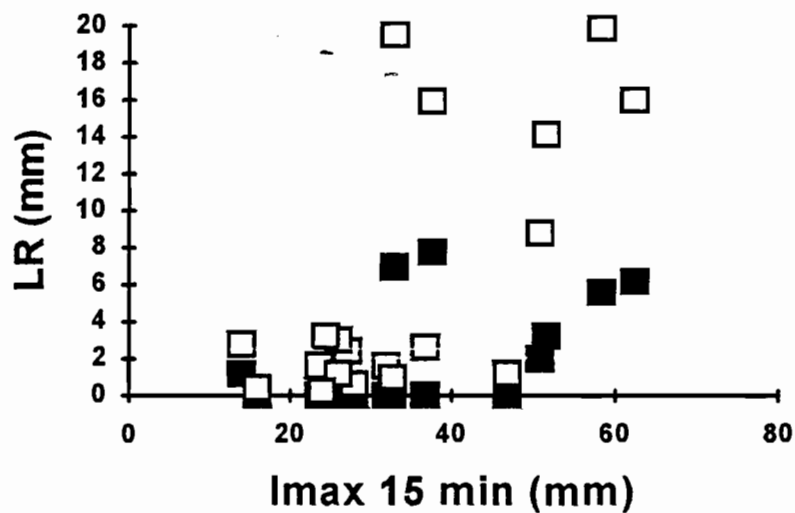


Figure 4.4 : Lames ruisselées en fonction de l'intensité maximale en 15 min sur les parcelles protégées (■) et non protégées (□), en 1991.

L'indice Rusa, très lié on le sait à l'intensité maximale en 30 minutes, ne semble pas être un meilleur prédicteur du ruissellement que ce dernier (fig 4.5).

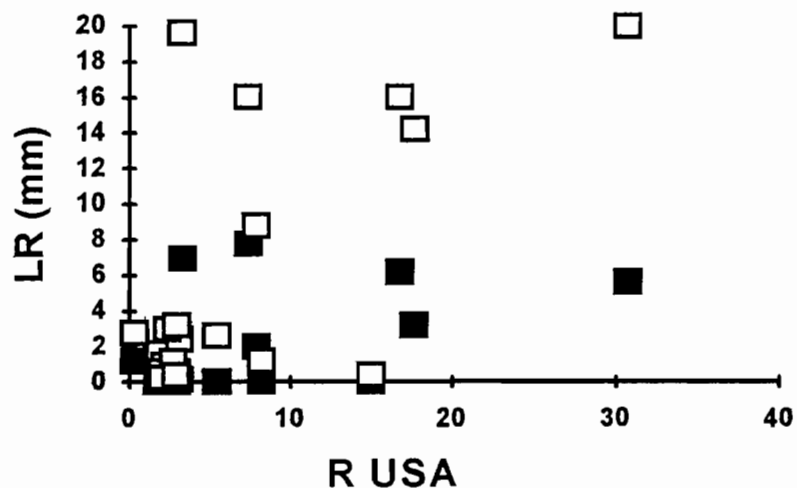


figure 4.5 : Lames ruisselées en fonction de l'indice R USA sur les parcelles protégées (■) et non protégées (□), en 1991.

Lorsque l'on calcule une régression multiple entre la lame ruisselée et différents paramètres caractéristiques de la pluie, l'intensité en 15 minutes, l'indice RUSA et la hauteur de la pluie sont évidemment des variables très corrélées.

Pour expliquer le ruissellement, deux variables indépendantes sont significatives (test de Fisher à 5 %) : la pluie et l'indice des pluies antérieures.

La relation recherchée est de type double régression linéaire de la forme :

$$LR = a \times P_{mm} + b \times IK + e$$

a et b = coefficients de régression

e = constante

P = hauteur de la pluie

IK = indice des pluies antérieures ou indice de KOHLER, calculé selon la formule utilisée pour la simulation des pluies en Afrique de l'Ouest (CASENAVE et al., 1982) :

$$IK_n = (IK_{(n-1)} + P_{(n-1)}) \times e^{-\alpha \times ta}$$

où $IK_{(n-1)}$: indice des précipitations antérieures avant l'averse de rang n-1

$P_{(n-1)}$: hauteur des précipitations de l'averse de rang n-1

ta : temps en jours séparant la fin de l'averse de rang n-1 de l'averse de rang n

α : coefficient d'ajustement pris égal à 0,5

On obtient alors les équations suivantes pour :

$$LR = 0,125P + 0,042 IK - 0,75 \text{ pour la parcelle mise en défens :}$$

avec $R = 0,831$; $n = 115$

$$LR = 0,334 P + 0,069 IK - 1,08 \text{ pour la parcelle non protégée (témoin) :}$$

avec $R = 0,943$; $n = 115$.

Ces équations montrent que la lame ruisselée est bien corrélée à la hauteur de la pluie (P mm) et à l'indice des pluies antérieures (IK). La relation est cependant meilleure (0,943) dans la parcelle témoin.

En résumé, sur ces sols fragiles du plateau cuirassé, l'augmentation du couvert végétal permet de réduire l'effet de la hauteur de pluie sur le ruissellement.

L'influence de la mise en défens se traduit par une bonne régénération du couvert végétal dont l'effet protecteur s'exerce à deux niveaux et aussi par une amélioration de la structure du sol du fait du développement de l'activité biologique. Les termites et les vers de terre attirés par la litière (planche 5 photo 11) remanient

le sol et augmentent sa macroporosité (ROOSE, 1976; LAL, 1975; 1988). Une telle activité biologique contribue à améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol.

L'évaluation de l'érosion se fait à travers la mesure des seules pertes en terres en suspension dans les eaux de ruissellement. Les échantillons d'eau ont été collectés pour chaque crue après homogénéisation du contenu des cuves (photo annexe 8).

Le tableau 4.3 donne de façon synthétique, pour les parcelles protégée et témoin et pour chacune des trois années d'expérimentation, la concentration moyenne de matières en suspension et la quantité de particules érodées (pertes en terre).

Tableau 4.3 : Estimation des pertes en terres en kg/ha/an sous savane protégée et non protégée.

Année	Pluie/an mm	VRD m ³	VRT m ³	TMD g/l	TMT g/l	SED kg/ha	SET kg/ha	Rapport SET/SED
1991	487	2,6	7,9	3,83	5,98	119,8	463,9	3,8
1992	641	2,3	7,5	3,95	12,41	119,8	685	4
1993	796	3,3	11	7,30	32,85	370,6	4087,4	11

VR = Volume d'eau ruisselé (D = défens ; T = témoin)

TM = Turbidité moyenne (D = défens ; T = témoin)

SE = Perte en terre fine (D = défens ; T = témoin)

Les résultats obtenus (tableau 4.3) permettent d'observer pour toutes les années que:

- les concentrations les plus fortes sont celles de la parcelle témoin;
- la parcelle de mise en défens a des pertes en terres fines nettement inférieures à la parcelle témoin avec des écarts de l'ordre de 3.8 pour l'année 1991, de 4 pour l'année 1992 et de 11 pour l'année 1993.

Ces résultats montrent qu'il est possible de réduire de 4 à 11 fois le transports des fines par mise en défens des zones boisées du sommet de la toposéquence étudiée.

Ces valeurs peuvent être utilement comparées à celles obtenues dans des milieux comparables de savanes soudaniennes, en particulier au Burkina Faso (in MIETTON, 1988), sur des parcelles mises en défens ou non (Gonse, Linoghin, Saria, Bané, Pô). De ce point de vue, les résultats de Thyssé Kaymor sont du même ordre de grandeur, c'est à dire quelques centaines de kg/ha/an (Maximums annuels à Gonsé : 0,41T/ha, Linoghin : 0,81 T/ha, Pô : 0,16 T/ha, Saria : 0,34 T/ha, Bané : 0,05 T/ha). Une exception très notable toutefois est relevée en 1993, où l'on enregistre une ablation de plus de 4 tonnes. Cette valeur est apparemment suspecte, d'autant qu'elle est enregistrée pour moitié sous deux averses seulement (53,4 mm le 9 juillet et 30,8 mm le 10 septembre).

Hormis ces cas, les résultats annuels comme unitaires (Tableau 4.4) doivent être interprétés à la lumière de la dynamique des couvertures végétales qui gèrent en grande partie le processus de ruissellement et de l'érosion. **Le couvert végétal bien conservé contribue efficacement à la protection des sols contre l'efficiencia morphogénique (DUNNE et al., 1991) des principaux éléments de la pluie (intensité et durée des averses, agressivité climatique R_{USA}).**

Tableau 4.4 : Estimation des pertes en terres sous savane protégée et non protégée à l'échelle des pluies unitaires (1991-1993) : plateau cuirassé de Keur Dianko.

année 1991						année 1992						année 1993					
date	pluie	défens		témoïn		date	pluie	défens		témoïn		date	pluie	défens		témoïn	
		Lr	T.er	Lr	T.er			Lr	T.er	Lr	T.er			Lr	T.er	Lr	T.er
	mm	mm	kg/ha	mm	kg/ha		mm	mm	kg/ha	mm	kg/ha		mm	mm	kg/ha	mm	kg/ha
9/7	9.9	0	0	0		30/5	81.5	9.2	-	17	-	29/6	45.9	2.6	36.6	16.2	265.8
10/7	36	1.8	10.3	5.8	21.1	7/8	39	2.2	-	11.6	-	30/6	19	0.6	5.7	8	158.2
12/7	35.1	13.2	37.4	15.8	45.7	27/6	19	0.4	-	4.4	-	7/7	11	0	0	2	80.7
19/7	2.4	0	0	0	0	29/6	29.9	6.2	-	16	-	9/7	53.4	7	99.3	17	1171.8
22/7	39.1	6.2	13.8	18	23.2	10/7	5.8	0	0	0	0	10/7	0	0	0	0	0
22/7	8.7	3	11.6	5	4.8	11/7	1.4	0	0	0	0	13/7	9.9	0	0	2	28.4
26/7	8	0.12	1	0.4	1.1	14/7	9.9	0	0	1.6	-	17/7	32	0.6	4.5	11.4	101.1
28/7	4	0	0	0	0	15/7	9.9	0	0	1.6	-	21/7	46.5	4	26.2	16	182.1
1/8	7.1	0	0	0	0	16/7	53.4	7	-	19.6	-	24/7	3.6	0	0	0	0
7/8	3.2	0	0	0	0	17/7	5.5	0	0	1.2	-	25/7	57.2	8.4	35.8	16.4	96.3
10/8	4.4	0	0	0	0	23/7	4.3	0	0	0	0	27/7	17	0	0	3.8	5.3
13/8	4	0	0	0	0	26/7	0.8	0	0	0	0	28/7	3.3	0	0	0	0
13/8	37.5	1.8	2.1	18	11.5	28/7	1.3	0	0	0	0	30/7	3.3	0	0	0	0
16/8	16.9	4	8.3	9	12.2	29/7	46.9	3.2	-	14.2	-	31/7	15.5	3.6	-	6	-
22/8	25	4.2	4.5	13.2	4.1	1/8	1.6	0	0	0	0	4/8	80	15.2	77.5	22	192.3
25/8	22	7	21.6	15.8	35.3	2/8	44.8	7.8	138.0	16	382.9	5/8	68	12	33	20	308.8
1/9	45.6	4	7.8	18	32.6	11/8	24	2	12.7	8.8	151.9	8/8	0.8	0	0	0	0
5/9	4.4	0	0	0.2	0.3	14/8	16.5	0.2	0.3	2.4	13.8	11/8	17.2	1.6		3	287.3
8/9	3.2	0	0	0	0	15/8	0.6	0	0	0	0	12/8	63.2	9.8	42.8	19.8	0
9/9	39.1	6.6	-	18	113.4	17/8	2.2	0	0	0	0	16/8	7.3	0	0	0	4.4
14/9	4	0	0	0	0	18/8	3.9	0	0	0	0	17/8	11	0	0	1.2	128.0
19/9	16.6	0.4	1	7	77.6	25/8	9.8	0	0	0	0	20/8	54.1	2	9.1	20	0
27/9	30	0.2	0.8	6.8	74.7	26/8	1.2	0	0	0	0	26/8	1.6	0	0	0	0

4.1.2 Le ruissellement sous pluies simulées

Le protocole expérimental de simulation des pluies sur parcelles de 1 m² a été décrit avec précision par plusieurs auteurs : CASENAVE (1982), ALBERGEL (1987). Les pluies sont simulées avec des averses de récurrences annuelle et décennale. Cinq pluies sont appliquées successivement sur chaque parcelle.

Les valeurs suivantes sont calculées : lame ruisselée (Lr), lame infiltrée (Li), coefficients de ruissellement (Kr%), pluie d'imbibition (Pi).

Le tableau (4.5) rassemble les données de simulation des pluies sur des couples comparatifs de parcelles de 1 m² en station protégée et témoin au niveau d'une formation de savane arbustive du plateau cuirassé de Thyssé Kaymor.

Sur ce tableau (4.5), on présente les résultats du protocole complet de simulation de pluie sur trois états de surface les plus représentatifs de ce milieu. Dans chaque état de surface est délimité un couple de parcelle défens (D) et témoin (T), physionomiquement homogènes. Ces trois états sont les suivants :

- sol recouvert d'une pellicule indurée, nu (T1) et sous couvert herbacé très clairsemé (D1)

- sol recouvert de gravillons fins à épandage sableux sous couvert herbacé dense (plus de 80%) (D2) et recouvert de placages de termites sur nécromasse de couvert herbacé fractionné (T2).

- sol gravillonnaire sous couvert arbustif avec une litière couvrant le sol à 100% (D3) et son témoin sous litière à 20 % (T3).

Tableau 4.5 : Résultats de la simulation des pluies de couples comparatifs de parcelles protégées et témoin.

Parcelles	Traitement	Temps	Lame		Lame i	Lame		Pluie	Observations
		ressuy.	précip.	IK	infiltrée	ruissel.	Kr %	imbibit.	
		heures	en mm		en mm	en mm		en mm	
P R O T E G E S	D1	sec	97,3	0,0	41,1	55,6	57,5	3,9	Recouvrement - herbacé 30 à 40% gravillon fins 80% récoltes de termité en revégétalisation
		70	61,8	22,6	18,1	43,7	70,7	3,9	
		12	61,6	65,8	12,8	48,8	79,2	2,1	
		48	61,9	46,9	20,4	41,5	67	3,5	
		12	96,7	84,7	16,5	80,2	82,9	1,3	
	D2	sec	96,9	0,0	83	13,9	14,3	17,5	Recouvrement herbacé 95%,récoi tes de termité sur nécromasse herb. litière 1 à 3 %.
		70	61,8	22,6	45	16,8	27,2	8,3	
		12	61,8	65,8	37,2	24,6	39,8	5,	
		48	61,8	46,9	42,7	19,1	30,9	8,3	
		12	97,2	84,7	35,9	61,3	63,1	3,6	
	D3	sec	96,8	0,0	96,2	0,6	0,6	19,1	Couvert arbustive dense,100% de litière, placages de termité, biomasse herbacée morte.
		70	61,7	22,6	60,8	0,9	1,5	10,1	
		12	61,7	65,8	59,5	2,2	3,7	7,5	
		48	61,7	46,9	60,2	1,5	2,5	9,2	
		12	96,8	84,7	92	4,8	5,2	5,4	
T E M O I N S	T1	sec	116,7	0,0	9,5	107,2	91,9	1	sol nu recouvert d'une pellicule indu rée (croûte de ruis sellement),recouv rement végét. 0 %
		70	61,7	22,6	12,2	49,5	80,2	0,7	
		12	61,7	65,8	7,3	54,4	88,2	1,2	
		48	61,7	46,9	6,2	55,5	90	1,6	
		12	96,7	84,7	5,3	91,4	94,5	1	
	T2	sec	96,7	0,0	47,8	48,9	50,6	15	sol sableux, placa ges de termité im portantes, graviers et végétation 60 % pellicule indurée
		70	61,7	22,6	29,6	32,1	52	5	
		12	61,7	65,8	20,7	41	66,5	4	
		48	61,7	46,9	25,9	35,8	58	4,7	
		12	96,7	84,7	36,9	59,8	61,8	4,5	
	T3	sec	96,7	0,0	41,2	55,5	57,4	5,5	Sol caillouteux et gravillonnaire végétation 5 %, litière 0 %, croûtes grossières.
		70	61,7	22,6	20,5	41,2	66,8	3,3	
		12	61,7	65,8	14,6	47,1	76,3	2	
		48	61,7	46,9	16,9	44,8	72,6	2,7	
		12	96,7	84,7	15,7	81	83,8	2	

Ces résultats concernent le ruissellement et les paramètres explicatifs : la hauteur de la lame précipitée (P), l'indice des pluies antérieures IK, la pluie d'imbibition (pi).

La hauteur de la lame précipitée prise isolément ne peut expliquer les processus du ruissellement. Le ruissellement dépend fortement de l'état physique du

sol superficiel et du sous-sol au moment où intervient la pluie et de la modification au cours de l'averse de l'état de surface et de l'humidité du sol. C'est donc l'indice IK, l'état physique du sol (texture et structure), la présence ou l'absence d'un écran végétal, l'état du sol (travaillé ou non), la pente, combinés à l'intensité-durée de la pluie qui peuvent expliquer l'importance ou non du ruissellement.

Toutefois, il faut noter que la variabilité dans le temps de la surface du sol, liée surtout à l'intensité et la durée de la pluie, influence en partie l'évolution du ruissellement après ou durant la première averse.

Toute pluie peut déclencher d'une certaine façon un ruissellement. C'est pourquoi, il serait peu significatif de vouloir définir des limites nettes au dessus desquelles les pluies déclenchent un ruissellement et au dessous desquelles elles cessent d'avoir un effet ruisselant. Mais c'est l'indice IK qui est le facteur essentiel dans l'occurrence du ruissellement.

La pluie d'imbibition est la hauteur de précipitation infiltrée totalement dans le sol entre le début de l'averse et l'instant où se déclenche le ruissellement (ROOSE, 1976).

Nombreuses sont les études qui mettent en relation la pluie d'imbibition avec le déficit hydrique à saturation (LAFFORGUE, 1977) ou le temps de ressuyage (CHEVALLIER, 1982). Cela revient à expliquer la variation de la hauteur de pluie d'imbibition en fonction de l'état d'humectation du sol caractérisé dans notre étude par l'indice des pluies antérieures IK.

La figure (4.6) présente les résultats relatifs à la variation de la hauteur de pi en fonction de l'indice IK calculé pour chaque protocole de pluie simulée. On remarque deux types de courbes : des courbes présentant deux phases d'évolution de la pluie d'imbibition, des courbes quasiment linéaires.

Les courbes à deux pentes représentent la variation de la pluie d'imbibition sur les parcelles avec traitements suivants :

D3 ou parcelle sous couvert arbustif, mise en défens avec une importante litière sur le sol.

D2 ou parcelle sous couvert herbacé à plus de 80%, sol gravillonnaire avec voile de sable en surface.

T2 ou parcelle témoin recouverte de nombreux placages de termites sur de la paille fractionnée des couvertures herbeuses mortes.

Ces trois parcelles montrent une pluie d'imbibition qui varie de la même manière :

- La hauteur de la pluie d'imbibition est relativement importante pour l'indice $IK = 0$ (sol sec à ressuyage infini), de l'ordre de 15 à 20 mm.

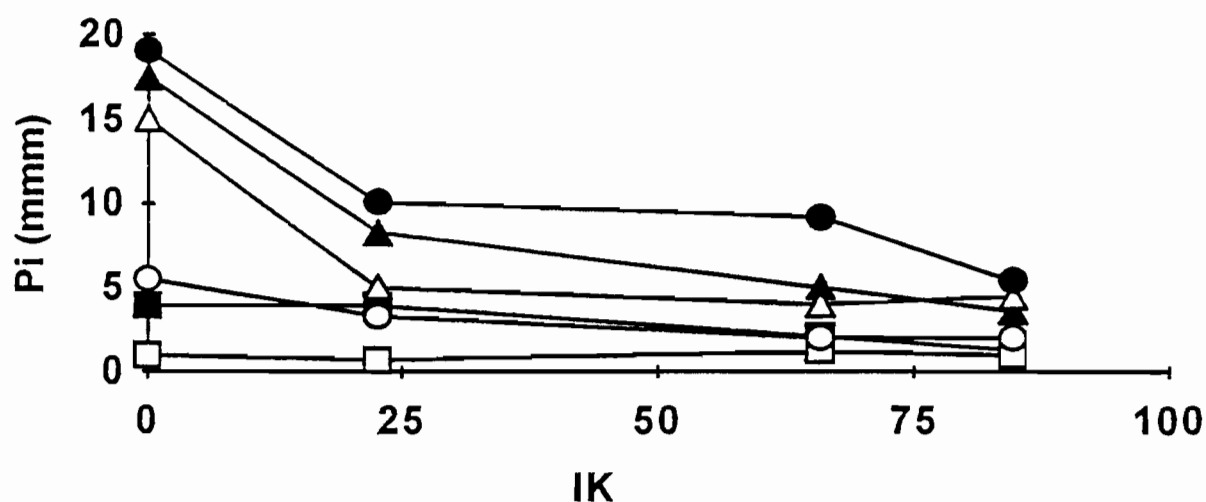


Figure 4.6 : Pluie d'imbibition en fonction de l'indice d'antécédence sur les parcelles protégées

- La pluie d'imbibition décroît brutalement pour les valeurs de l'indice IK comprises entre 0 et 22,5 (sol humecté, à ressuyage de 70 heures). Cette diminution est plus marquée sur la parcelle T2 caractérisée par l'activité biologique des termites. Sur cette dernière parcelle, il semble que cette influence soit effacée dès la première averse (macroporosité oblitérée sous l'effet de l'énergie cinétique de la pluie).

- La variation de la pluie d'imbibition n'est plus sensible au-delà de $IK > 22,5$.

Les deux phases observées sur ces parcelles mettent en évidence l'effet du couvert végétal et de l'activité de la mésosfaune d'une part et d'autre part l'influence de l'indice IK sur la hauteur d'eau infiltrée. La protection des sols par un couvert

végétal conséquent (arbustif et herbacé) améliore évidemment la capacité d'infiltration. Celle-ci est liée aussi à l'état d'humectation du sol. Plus le temps de ressuyage est court, moins la pluie d'imbibition est importante.

Les courbes de type linéaire traduisent la variation de la pluie d'imbibition sur les parcelles suivantes :

D1 ou sol induré protégé recouvert d'une végétation herbacée très lâche.

T1 ou sol induré nu (pellicule de ruissellement) non protégé.

T3 ou sol encroûté, voile de sable sous couvert arbustif.

Sur ces trois états de surface, quel que soit l'indice IK, la pluie d'imbibition reste relativement constante. On peut relever toutefois une légère amélioration au niveau de la parcelle protégée (D1) qui bien que recouverte d'une pellicule indurée bénéficie de l'effet de la mise en défens (reconstitution d'un tapis herbacé lâche).

Les résultats sont synthétisés dans le tableau (4.5) dont sont tirés les enseignements suivants :

- Quel que soit le couple comparatif de parcelles, la hauteur de la pluie d'imbibition est plus importante dans le traitement de mise en défens. L'effet est plus net lorsqu'il existe un couvert végétal dense, surtout un couvert arbustif avec une bonne litière.

- Sur les sols nus, la pluie d'imbibition est très faible par rapport aux états de surface protégés correspondants. Cependant, sur ces sols, "l'effet termites" peut améliorer l'infiltration tout au moins au cours des premières averses.

Tableau 4.6 : Pluie d'imbibition en fonction de IK.

IK	Pi en mm mesurée dans les différents états de surface					
	D1	T1	D2	T2	D3	T3
0	3.9	1	17.	15	19.	5.5
			5		1	
22.6	3.9	0.7	8.3	5	10.	3.3
					1	
65.8	2.1	1.2	5	4	9.2	2
46.9	3.5	1.6	8.3	4.7	7.5	2.7
84.7	1.3	1	3.6	4.5	5.4	2

D=défens ; T=témoin

IK = Indice d'antécédence des pluies pi=pluie d'imbibition

On peut mettre en évidence une fois de plus le rôle important du couvert végétal mais aussi de l'activité biologique dans la gestion de l'eau au niveau des sols marginaux du sommet de la toposéquence (zone de parcours naturels).

Concernant la relation lame ruisselée-hauteur de la pluie-indice IK, dans la majorité des cas, la hauteur de la pluie est le paramètre déterminant pour estimer le ruissellement. A ce titre, nous pouvons citer les travaux de SWANSON (1965, in CASENAVE et *al.*, 1982), LAFFORGUE (1977), ROOSE (1978) et plus récemment de CHEVALLIER (1982) et d'ALBERGEL (1984) ; la plupart des auteurs ont retenu comme variables explicatives du ruissellement la hauteur de la pluie (P), l'indice des pluies antérieures (IK).

Pour estimer la lame ruisselée sur les couples de parcelles représentatifs des différents états de surface rencontrés sur le plateau cuirassé boisé, nous avons travaillé une nouvelle fois sur une régression linéaire multiple. Les variables explicatives de la lame ruisselée sont la hauteur de la pluie P, l'indice des pluies antérieures IK.

On obtient pour les trois couples de parcelles les corrélations suivantes :

Pour le couple D1-T1 (surface indurée respectivement mise en défens et non protégée), les équations sont les suivantes.

$$(D1) LR = 0,68 P + 0,26 IK - 8,80$$

$$\text{avec } r^2 = 0,956$$

$$(T1) LR = 0,90 P + 0,002 IK + 0$$

$$r^2 = 0,977$$

Pour le couple D2-T2 (surface gravillonnaire remaniée recouverte de sable respectivement en défens et en témoin), les équations sont les suivantes

$$(\text{Défens D2}) LR = 0,53 P + 0,47 IK - 34,3$$

$$r^2 = 0,927$$

$$(\text{Témoin T2}).LR = 0,70 P + 0,26 IK - 11,04$$

$$r^2 = 0,980$$

Pour le couple D3-T3 ou surface sous couvert arbustif.

$$\text{Défens (D3)} LR = 0,036 P + 0,045 IK - 2,78$$

$$r^2 = 0,973$$

$$\text{Témoins (T3)} \text{ LR} = 0,52 \text{ P} + 0,14 \text{ IK} - 2,70$$

$$r^2 = 0,989$$

On peut remarquer que la relation entre la lame ruisselée et les deux variables hauteur de la pluie (P) et indice des pluies antérieures est excellente. Le coefficient de détermination r^2 est voisin de 1.

Toutefois, sur les parcelles témoins, la lame ruisselée bien que liée aux deux variables, semble avoir une plus forte liaison avec la hauteur de pluie car les coefficients de régression de cette variable sont d'un ordre de grandeur plus important. En revanche, la tendance à la baisse des coefficients de régression observée sur les parcelles protégées traduit l'effet du couvert végétal sur la relation lame ruisselée-pluie. La destruction du couvert végétal expose le sol à l'énergie de la pluie qui bouche les pores favorisant ainsi le ruissellement. Ce processus peut expliquer le rôle prépondérant de la hauteur de la pluie sur le ruissellement dans les parcelles témoins dépourvues de végétation. Afin d'essayer d'apprécier la liaison entre la lame ruisselée et la pluie, nous avons établi une relation graphique entre les deux paramètres.

La figure 4.7 $\text{LR} = f(\text{P})$ représente des courbes tracées pour chaque couple de parcelles correspondant aux trois états de surface considérés.

On remarque une extrême variabilité des courbes.

Les parcelles protégées D2 et D3, correspondant respectivement au couvert herbacé sur épandage gravillonnaire avec gravillons fins et au couvert arbustif sur sol gravillonnaire à épandage sableux ont des comportements très différents des quatre autres. Cette différence est très nette sur la parcelle D3 (couvert arbustif protégé) où la variation de la lame ruisselée cumulée en fonction de la pluie est très faible. En revanche, on observe une forte variation de la lame ruisselée au niveau des parcelles témoins T1 (sol nu avec pellicule indurée intacte) et T2 (sol couvert à 10% de débris végétaux sur pellicule indurée).

Tableau 4.7: Synthèse des résultats de lame ruisselée cumulée

TRAITEMENT		Lame précipitée(mm)	Lame ruisselée(mm)	Coefficient de ruissellement	Observations
1	D1	97.7	55.6	55 %	LRT1/LRD1 = 1.3
		159.1	99.3	62%	
		220.7	148.1	67%	
		282.6	189.6	67%	
		379.3	269.8	71%	
	T1	116.7	107.2	91%	
		178.4	156.7	88%	
		240.1	211.1	88%	
		301.8	266.6	88%	
		398.5	358	89%	
2	D2	96.9	13.9	14%	LRT2/LRD2 = 2
		158.7	30.7	19%	
		220.5	55.3	25%	
		282.3	74.4	26%	
		379.5	135.7	35%	
	T2	96.7	55.5	57%	
		158.4	96.7	61%	
		220.1	143.8	65%	
		281.8	188.6	66%	
		378.5	269.6	71%	
3	D3	96.8	0.6	0.6%	LRT3/LRD3 = 36
		158.5	1.5	0.9%	
		220.2	3.7	2%	
		281.9	5.2	2%	
		378.7	6	2%	
	T3	96.7	48.9	50%	
		158.4	81	51%	
		220.1	122	55%	
		217.6	157.8	56%	
		378.5	217.6	57%	

4.2 Les haies vives et leurs effets sur les transferts d'eau

La haie vive isohypse est une technique biologique de lutte anti-érosive. Elle consiste en une plantation linéaire, dense, d'espèces ligneuses et (ou) herbacées pérennes.

Elle est testée dans les champs de cultures constamment menacés par le ruissellement en provenance des surfaces dégradées du plateau cuirassé. La haie vive a l'avantage d'être une technique simple et appropriable par les paysans. Elle permet de réintroduire l'arbre dans le paysage agricole comme l'a proposé ROOSE (1986) dans une stratégie de revégétalisation de l'espace. Outre son rôle dans la lutte anti-érosive, la haie vive peut contribuer à la diversification de la production au niveau de l'exploitation : fourrage, fruits, bois.

La plantation, qui a démarré ici en 1988, vise essentiellement à :

- identifier les espèces les plus appropriées.
- étudier et maîtriser les modes de plantation et de gestion de ces espèces.
- évaluer l'effet de la haie vive sur le stock hydrique du sol.

4 2.1 Les choix techniques : espèces, plantation

Plusieurs critères entrent en compte dans le choix des espèces à utiliser en haie vive: adaptation aux conditions pédoclimatiques, facilité de multiplication, croissance rapide, recouvrement et bonne ramification. Ainsi, sur la base de ces critères et des résultats de recherches en station mais surtout des besoins des populations, nous avons retenu une dizaine d'espèces (tableau 4.8).

Tableau 4.8 : Liste des espèces expérimentées en haie vive à Thyssé Kaymor
en 1988

espèces	locales	exotiques
<i>Acacia nilotica</i> var. <i>adansonii</i>	+	-
<i>Acacia seyal</i>	+	-
<i>Acacia senegal</i>	+	-
<i>Acacia mellifera</i>	+	-
<i>Bauhinia rufescens</i>	+	-
<i>Gliricidia sepium</i>	-	+
<i>Parkinsonia aculeata</i>	+	-
<i>Dichrostachys glomerata</i>	+	-
<i>Prosopis chilensis</i>	-	+
<i>Piliostigma reticulatum</i>	+	-
<i>Ziziphus mauritiana</i>	+	-
11 espèces	9	2

Le nombre important des espèces locales montre la volonté d'effectuer un criblage.

Pour l'implantation d'une haie vive, la première étape consiste à produire des plants de qualité. Une pépinière a été installée dans le village pilote de Keur Dianko situé à un kilomètre du site à aménager. Les travaux de pépinière, démarrés en avril 1988, ont consisté en :

- la délimitation d'un site de 100 m² à côté d'un puits ;
- l'installation d'une clôture autour du site,
- le transport et la préparation du substrat composé de 1/3 de terre riche (terreau, fumier) et de 2/3 de sable,
- la préparation de planches pour accueillir les gaines remplis de ce substrat,
- le prétraitement des graines (eau chaude ou acide sulfurique avant le semis).

Le semis est effectué à raison de deux graines par pot (gainés de polyéthylène) placé sur des planches de 10 x 1 m = 10 m². Les plants sont élevés dans la pépinière durant trois mois avant d'être transplantés sur le site expérimental.

L'objectif visé est de réaliser des plantations en courbe de niveau. Pour cela, nous avons effectué un maillage du paysage pour déterminer les lignes isohypses sur lesquelles seront plantés les arbres. Les contraintes liées d'une part au parcellaire établi et d'autre part aux exigences de la culture attelée ont conduit à lisser certaines courbes à la demande des propriétaires.

Toutes les lignes repérées sont matérialisées par des piquets. Après le repérage des lignes, la préparation du chantier consiste à :

- creuser des tranchées de 50 cm de large sur une profondeur de 50 cm le long des lignes ;
- reboucher ces tranchées.

Les espèces ont été plantées en fonction du protocole suivant :

- écartement de 50 cm les unes des autres ;
- les haies sont composées de trois espèces plantées 2 *E1+2*E2+2*E3* le long de la ligne
- l'écartement entre deux haies est compris entre 40 et 60 m.

La plantation est entièrement réalisée par les paysans avec l'appui technique des techniciens du programme. Pour éviter les stress hydriques, la mise en terre des plants est faite après une pluie abondante. Les parois des trous où sont logés les arbres sont traités au diel-poudre pour prévenir l'attaque des termites.

Les premiers entretiens ont été effectués trois semaines après la plantation. Ils consistent à supprimer sur la ligne et autour des plants les mauvaises herbes.

Les résultats obtenus en pépinière de comportement des espèces in situ, ainsi que les tests sur les techniques de gestion, sont successivement présentés :

Les résultats obtenus en pépinière sont donnés dans le tableau 4.9

*E = espèce (E1 = espèce 1 ; E2 = espèce 2 et E3 = espèce 3)

Tableau 4.9 : Variation interannuelle de la production de plants en pépinière.

ESPECES	1988	1989	1990	1991	1992	Total
<i>Acacia nilotica</i> var <i>adan.</i>	1550	838	1104	200	300	3992
<i>Acacia senegal</i>	300	86	312	-	50	748
<i>Acacia seyal</i>	182	202	-	-	-	384
<i>Acacia mellifera</i>	590	227	223	-	200	1240
<i>Bauhinia rufescens</i>	1203	1275	888	200	352	3918
<i>Gliricidia sepium</i>	101	-	-	-	-	101
<i>Prosopis chilensis</i>	396	355	-	-	-	751
<i>Parkinsonia aculeata</i>	100	61	-	-	-	161
<i>Piliostigma reticulatum</i>	608	681	440	-	-	1729
<i>Dichrostachys glomerata</i>	106	110	-	-	-	216
<i>Ziziphus mauritiana</i>	306	392	108	200	100	1106
Totaux plants mis en place	5442	4227	3075	600	1002	14346

Les productions les plus importantes ont été assurées pour *Acacia nilotica* et *Bauhinia rufescens*. Les deux espèces couvrent à elles seules un peu plus de 50% du total des plants produits au niveau de la pépinière villageoise.

Sur le terrain, 14346 plants ont été utilisés pour l'implantation du réseau de haies vives anti-érosives dans le terroir cultivé du village de Keur Dianko (bassin versant S2). Cela représente 7173 mètres linéaires répartis à travers la zone de culture du bassin versant expérimental. Sur l'ensemble des plants produits, 30% ont été utilisés pour remplacer les manquants en 1990, 1991 et 1992.

Les taux de survie des plants sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 4.10 : Variations interannuelle et interspécifique du taux de survie
(extrait RAUTUREAU, PEREZ et DIATTA 1991).

espèces	198 8	198 9	199 0	199 1	199 2	TS/esp.
	TS %	TS %	TS %	TS %	TS %	TS %
<i>Acacia nilotica</i> v.	98	96	92	92	92	94
<i>Acacia senegal</i>	87	83	83	83	83	84
<i>Acacia seyal</i>	97	93	90	90	89	92
<i>Acacia mellifera</i>	92	87	87	87	87	88
<i>Bauhinia rufescens</i>	96	95	95	92	95	94
<i>Gliricidia sepium</i>	33	20	10	5	5	14
<i>Dichrostachys glomerata</i>	76	66	56	50	50	59
<i>Parkinsonia aculeata</i>	98	80	75	75	75	81
<i>Prosopis chilensi</i>	83	43	35	35	35	46
<i>Piliostigma reticulatum</i>	84	80	77	77	77	79
<i>Ziziphus mauritiana</i>	79	78	78	78	78	78

(TS en %, taux de survie de l'espèce après une année, correspond au rapport du nombre d'individus vivants sur le nombre d'individus plantés).

Les résultats du tableau 4.10 permettent de constater que :

- les espèces telles que : *Acacia nilotica* var *adansonii*, *Acacia seyal* et *Bauhinia rufescens* ont le meilleur taux de survie (T S % > 92)
- *Acacia senegal*, *Acacia mellifera*, *Parkinsonia aculeata* ont également un taux de survie élevé variant entre 84 et 88%
- *Ziziphus mauritiana*, *Piliostigma reticulatum* ont un bon comportement (taux de survie de l'ordre de 78%).
- *Gliricidia sepium*, *Prosopis chilensis* et *Dichrostachys glomerata* ont le taux de survie le plus bas (T S % varie de 14 à 59%). La plus forte mortalité est observée au niveau de *Gliricidia sepium* (T S de 33% en 1988 et 5% en 1992).

Sur les 11 espèces utilisées pour confectionner les haies vives dans les champs, les espèces exotiques ont le taux de survie le plus faible.

En résumé, *Acacia nilotica* var *adansonii*, *Bauhinia rufescens*, *Acacia seyal*, *Acacia mellifera* et *Acacia senegal* avec un taux de survie élevé ($T_s \% > 80\%$) peuvent être sélectionnées pour les plantations de haie vive dans les conditions qui prévalent actuellement dans la zone d'étude (déficit pluviométrique, sols pauvres et érodés, forte pression pastorale).

La croissance en hauteur

Le tableau 4.11 présente les résultats relatifs à la croissance en hauteur des espèces expérimentées en haie vive .

Il apparaît trois groupes d'espèces en fonction de la hauteur moyenne et du taux de croissance relatif annuel :

- *Acacia seyal*, suivie de *Acacia nilotica* var. *adansonii*, *Bauhinia rufescens* et *Parkinsonia aculeata* dominant largement en hauteur et possèdent le meilleur taux de croissance relatif annuel ($TRC > 100\%$). Les espèces dans ce groupe se caractérisent par un port érigé et un élagage naturel des branches basses.

- *Acacia senegal*, *Prosopis juliflora* et *Ziziphus mauritiana* ont une hauteur moyenne qui varie autour de 1.20 m et un taux de croissance de l'ordre de 100%. Ce groupe renferme des espèces à croissance rapide caractérisées par un port flexible indiquant une ramification moyenne à la base,

- *Acacia mellifera*, *Gliricidia sepium* et *Dichrostachys glomerata* ayant une hauteur moyenne inférieure à 1 m et un taux de croissance relativement bas ($TRC < 100\%$) forment le troisième groupe. Il contient des espèces qui favorisent une très bonne ramification à la base ; ces espèces possèdent les caractéristiques recherchées dans une haie vive anti-érosive (formation au collet de nombreux rameaux, bonne couverture du sol).

**Tableau 4.11 Hauteur moyenne de chaque espèce en trois ans de plantation
en haie vive (1988-1991).**

Espèces	Hauteur moyenne (H88 cm)	Hauteur moyenne (H91 cm)	Taux de croissance relatif annuel (TCR %)	Classement
<i>Acacia nilotica</i> var <i>adansoni</i>	35	175	132	2
<i>Acacia mellifera</i>	30	85	61	9
<i>Acacia seyal</i>	30	210	200	1
<i>Acacia senegal</i>	30	120	100	5
<i>Bauhinia rufescens</i>	35	162	120	3
<i>Dichrostachys glomerata</i>	30	80	55	10
<i>Glyricidia sepium</i>	30	75	50	11
<i>Parkinsonia aculeata</i>	40	185	120	3
<i>Piliostigma reticulatum</i>	25	85	80	8
<i>Prosopis juliflora</i>	30	120	100	5
<i>Zizyphus mauritiana</i>	30	115	94	7

TCR : $H91-H88 \times 100/H88 \times 3$; H91 et H88: Hauteurs moyennes de chaque
espèce en 1991 et en 1988.

Ces résultats intéressants sont à mettre en relation avec le taux de survie pour la sélection des espèces à retenir dans la plantation de haie vive anti-érosive. Ainsi les espèces à croissance lente à moyenne et dont le taux de survie atteint environ 80% sont à retenir en priorité. Il s'agit de *Acacia mellifera*, *Acacia senegal*, *Piliostigma reticulatum* et *Zizyphus mauritiana*. Les espèces du premier groupe dont le taux de survie est supérieur à 80 % (*Acacia nilotica* var *adansoni*, *Bauhinia rufescens* et *Parkinsonia aculeata*) sont à recommander dans les dispositifs de haies vives anti-érosive en association avec les espèces couvrantes. Elles doivent être gérées de manière à limiter la croissance en hauteur et favoriser la ramification à la base.

La coupe en hauteur de certaines espèces à croissance rapide a pour objectif de limiter la croissance en hauteur, de favoriser la ramification à la base et de réduire l'incidence du houppier sur la parcelle de culture (espace couvert par les branches).

Le protocole mis en place s'établit comme suit :

- 3 lignes d'arbres de 15 m correspondant à 3 blocs,
- 2 répétitions par bloc,
- 2 traitements, T1 : coupe à 50 cm du sol et T2 à 80 cm,
- 15 arbres par traitement, tous sont mesurés avant la coupe,
- comptage du nombre de rameaux tous les 15 jours après la coupe.

Le tableau 4.12 présente les résultats relatifs à l'effet de la coupe à différents niveaux de hauteur sur *Acacia nilotica*, *Acacia seyal* et *Bauhinia rufescens*.

Tableau 4.12 : Hauteur moyenne des plants en cm (extrait de RAUTUREAU, PEREZ et DIATTA 1991).

BLOC	1	1	2	2	3	3
Trait	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Nb ind.	15	15	15	15	15	15
Hini.	118	113	106	127	101	92
Coupe	50	80	50	80	50	80
19/06	70	91	68	101	67	70
24/07	98	111	90	123	86	96
09/08	113	124	104	136	96	109
24/08	145	158	149	178	146	146
24/10	160	176	166	190	156	158
24/11	168	185	170	194	164	164

Nb ind : nombre d'individu

Hini : hauteur initiale

1 : *Acacia nilotica* var *adansonii*; 2 : *Acacia seyal*; 3: *Bauhinia rufescens*

Les résultats obtenus montrent que, quelle que soit la hauteur de coupe, il n'y a pas d'effet sur la croissance en hauteur. La différence observée après un mois est faible et même s'annule au bout de six (6) mois.

Les effets constatés après coupe sont presque nuls à cause de la croissance fugace de ces espèces. Il n'y a pas eu de ramification à la base du tronc. Cependant, le fait que ces espèces réagissent favorablement à la coupe est un avantage pour leur utilisation dans des haie vives en association avec les espèces couvrantes : *Acacia mellifera*, *Ziziphus mauritiana*, *Piliostigma reticulatum*. Dans ces associations, les espèces telles que *Acacia nilotica* var *adansonii*, *Bauhinia rufescens* et *Parkinsonia aculeata* peuvent fournir une biomasse suffisante pour renforcer la haie vive à la base (paillage, andain).

4.2.2 L'influence de la haie vive sur les transferts d'eau et les cultures

Les variations du stock hydrique du sol en fonction de la distance à la haie vive sont d'abord appréciées.

Pour cela, des prélèvements à la tarière ont été réalisés sur des sites symétriques par rapport à la haie. Ces sites sont répartis respectivement à 0,5 m (sous la haie), 1 m (limite de la frondaison), 2 et 5 m (extérieur de la haie) le long de trois transects perpendiculaires à la haie. Les transects sont distants d'une dizaine de mètres.

Les mesures réalisées tous les 15 jours durant la saison des pluies ont débuté en saison sèche avant la première averse et se sont prolongées un mois après la dernière durant deux années : 1991 et 1992.

Le stock hydrique est évalué sur une épaisseur de sol d'un mètre. Pour l'analyse, nous avons séparé les observations provenant des sites situés en amont de celles réalisées en aval de la haie vive.

La figure 4.8 présente les principaux résultats obtenus au cours des deux campagnes de mesures (1991 et 1992) et illustre une remarquable différence de comportement hydrique en fonction de la distance à la haie vive.

A proximité immédiate des arbres (0,5 à 1 m), on note une augmentation de l'humidité qui s'accompagne d'un drainage profond. Cependant, on remarque une tendance à la diminution de l'humidité du sol au niveau des profils relativement éloignés de la haie vive (2 à 5m). Sur ces derniers, le drainage vers les horizons sous-jacents est en général faible.

S'agissant de la comparaison amont-aval, il faut souligner qu'en dehors d'une légère tendance à un drainage plus lent en amont, il n'y a pas une différence tranchée entre des profils symétriques par rapport à l'axe de la haie.

Par ailleurs, le suivi au cours du temps de l'évolution des profils hydriques a montré une forte variation des stocks d'eau par rapport à la haie vive en fonction de la saison (figure 4.9) :

- en saison des pluies, la haie vive entraîne une réduction de ruissellement qui se traduit par une augmentation de l'infiltration avec une amélioration du profil hydrique sur une distance de 2 m en amont et de 1 m en aval. Le stock d'eau mesuré avant la première averse de la saison (15 juin 1991) comparé à celui du 28 août (profil le plus humide) montre à la fois le rôle important de la haie vive dans le processus de réduction du ruissellement concentré et l'amélioration du profil hydrique. L'écart observé entre le profil sec et le profil le plus humide est de l'ordre de 80 millimètres. Il y aurait donc, pendant cette phase pluvieuse, une capacité de stockage d'eau importante sur la ligne d'arbres due probablement à l'amélioration de la structure du sol (bonne porosité) favorable à l'infiltration.

- un mois après l'arrêt de la pluie, on remarque une très forte diminution du stock d'eau à proximité immédiate de la haie vive (profil du 2 novembre 1992). Il semble donc que le gain d'infiltration soit en grande partie utilisé par la haie vive pour les besoins des arbres en saison sèche.

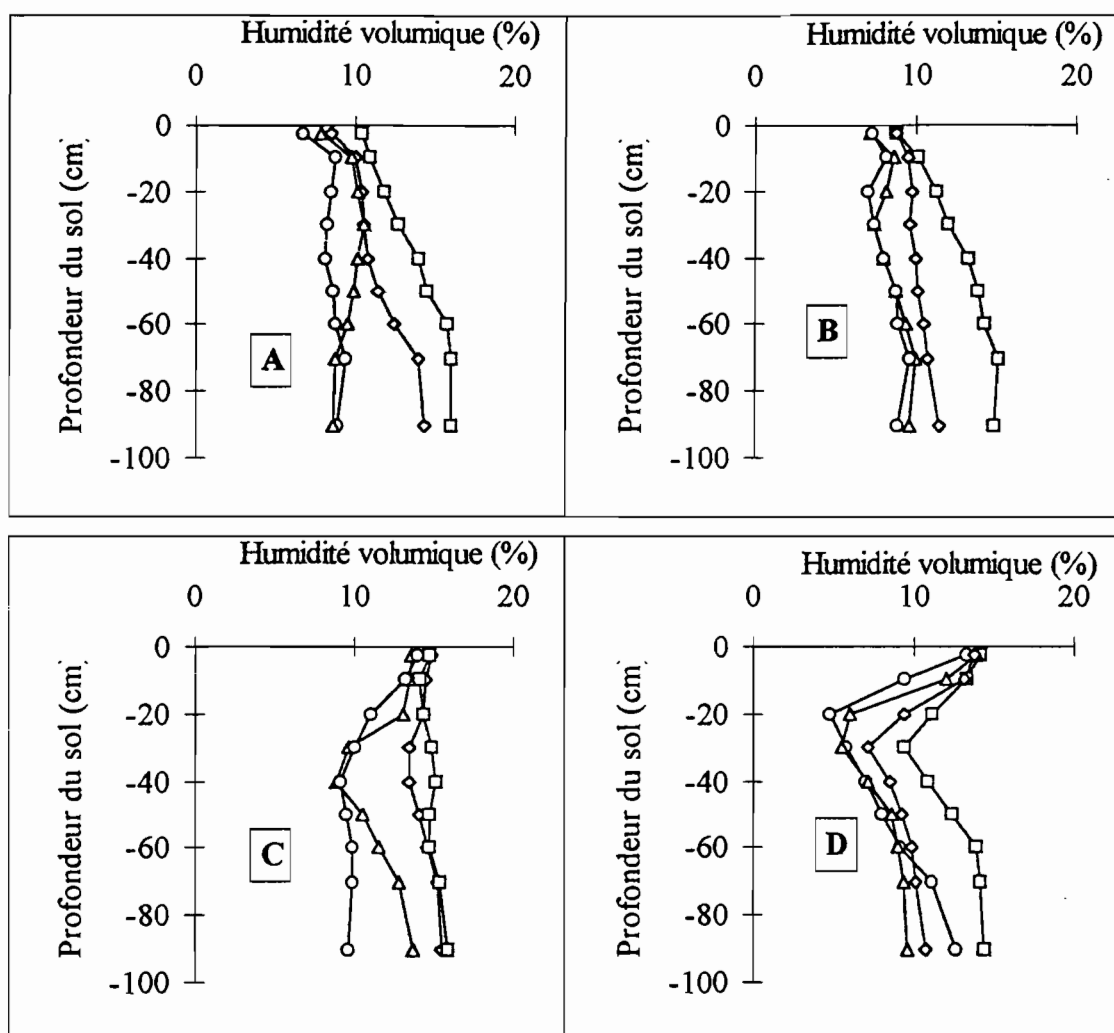
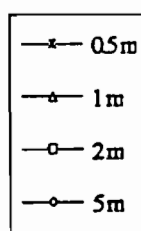


Figure 4.8 : Profils hydriques en amont (A et C) et en aval (B et D) des haies vives le 28 juillet 1991 (A et B) et le 2 septembre 1992 (C et D).



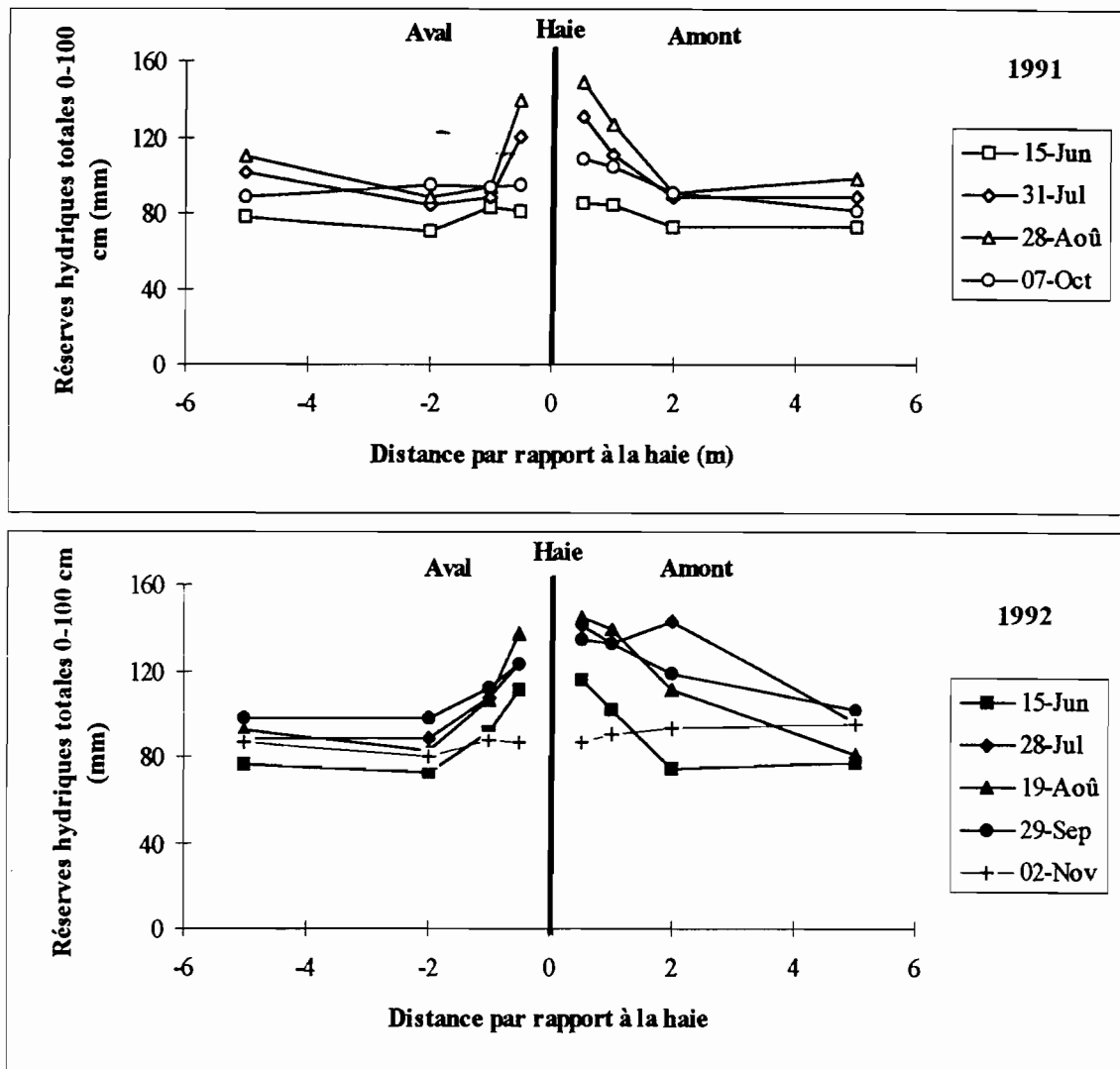


Figure 4.9. : Influence des haies vives sur le stock hydrique du sol sur la tranche 0 à 100 cm

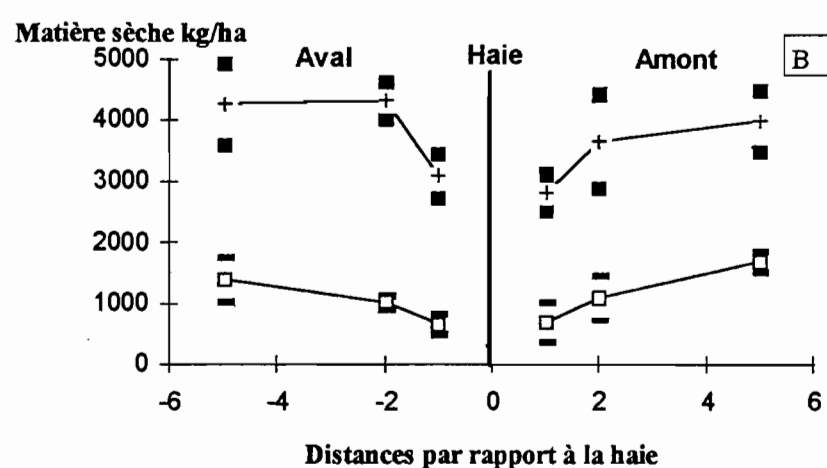
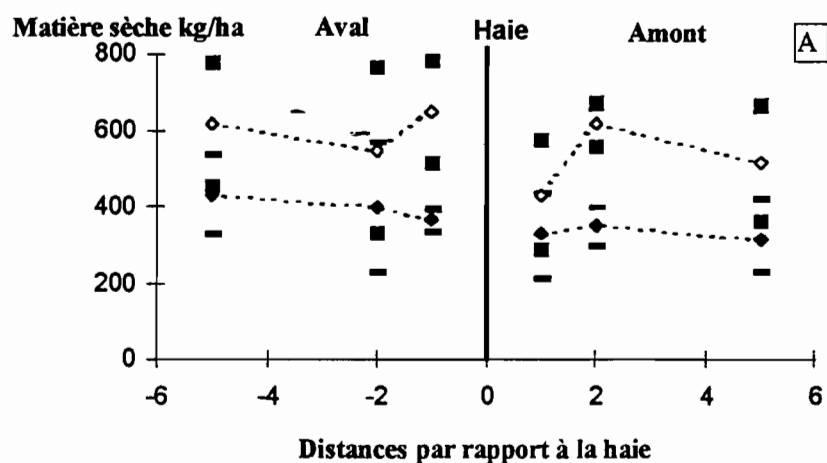
En résumé, il est apparu que la haie vive entraîne une réduction des transferts d'eau. Cette réduction s'accompagne d'une augmentation de l'infiltration de l'eau avec amélioration du profil hydrique en moyenne sur une distance de 2 m de part et d'autre de la ligne des arbres. Les quantités d'eau stockées en saison des pluies sont ensuite utilisées pour les besoins de la haie vive.

On peut donc penser que la haie vive n'aurait pas un effet dépressif sur les cultures.

L'influence de la haie vive sur les cultures a été testée sur deux cultures, l'arachide en 1991 et le mil en 1992, dans le cadre d'une rotation arachide/mil pratiquée dans la zone d'étude. Un dispositif linéaire a été utilisé pour étudier la variabilité spatiale des rendements de cultures par rapport à la haie vive. Les prélèvements sont effectués sur des lignes d'un mètre de long avec trois répétitions par traitement. Les traitements sont à des distances de 1 m, 2 m et 5 m de part et d'autre de la haie vive. Pour chaque point de mesure, la moyenne des trois valeurs est prise en compte avec les intervalles de confiances (figure 4.10).

La figure 4.10 (A et B) montre que le rendement des cultures tend à décroître à proximité immédiate de la haie vive. On remarque cependant que la tendance au déclin des rendements à faible distance est plus forte pour les productions du mil.

Ces résultats sont confirmées par l'analyse de variance réalisée sur les différents paramètres (gousses, épis, fane + gousses et tiges + épis). Cette analyse montre, au seuil de 5 %, une différence significative pour le mil et non significative pour l'arachide.



□ = Gousses + Fanes ; ■ = Gousses ; + = Tige + Epi ; □ = Epi

Figure 4.10 : Effets de la haie vive sur les cultures d'arachides 1991 (A) et de mil 1992 (B) (- = Bornes des intervalles de confiance pour les valeurs Gousses et Epi ; ■ = Bornes des intervalles de confiance pour les valeurs Gousses + Fanes et Tige + Epi)

Ces résultats sont confirmées par l'analyse de variance réalisée sur les différents paramètres (gousses, épis, fane + gousses et tiges + épis). Cette analyse montre, au seuil de 5 %, une différence significative pour le mil et non significative pour l'arachide.

Tableau 4.13.: Effet de la haie vive sur la production des cultures (test de Newman Keuls au seuil de 5 %) de mil et d'arachide.

Mil		
distance à la haie vive	produits (moyennes) kg ha ⁻¹	groupe homogènes
5 m	2841.67	A
2 m	2529.17	B
1 m	1825.50	C
Arachide		
distance par rapport à la haie	produits (moyennes) kg ha ⁻¹	groupes homogènes
5 m	479.17	D
2 m	470.83	D
1 m	445.83	D

Au bout de deux années d'évaluation de l'interaction haie vive/culture, les résultats montrent une tendance à la perte de rendement de mil sous les arbres. Il n'y a pas eu d'effet net en ce qui concerne la production d'arachide (tableau 4.13).

L'effet dépressif de la haie sur le mil à faible distance alors qu'il y a plus d'eau près de celle-ci conduit à des interrogations.

Le mil (plante c_4) et l'arachide (c_3) ont-ils les mêmes exigences en lumière et les mêmes efficacités photosynthétiques ? A cette question, PEARCY et EHLEXINGER (1984), ayant étudié l'assimilation de carbone de trois espèces herbacées désertiques du système c_4 , ont trouvé une forte corrélation entre l'assimilation de carbone et l'énergie reçue par les feuilles. MORDELET (1993) trouve la même chose pour *Hyparrhenia diplandra* (en Côte d'Ivoire). On pourrait donc lier la chute du rendement de mil à l'effet de l'ombre portée des arbres qui réduit l'efficacité photosynthétique de cette plante. Les fortes variations de l'énergie photosynthétiquement active dans le couvert végétal auront de fortes répercussions sur le rendement final. La concurrence se marque à la fois par l'occupation des racines, la consommation d'eau et de fertilisants, par l'ombrage (BALDY, 1985, 1993).

Par rapport à l'arachide, le mil exploite-t-il la même zone racinaire que les arbres de la haie vive ? Si c'est le cas, nous pensons qu'il y a suffisamment d'eau sous la zone d'influence de la haie vive (cf ci-dessus) pour qu'il se pose un problème

de compétition hydrique entre la culture et les arbres. LAMACHERE et SERPANTIE (1988) ont étudié les conséquences d'amélioration des bilans hydriques aux champs pour une culture pluviale. Ils ont montré que l'amélioration des profils hydriques par réduction du ruissellement s'accompagne d'une lixiviation lors du drainage profond. La lixiviation importante à proximité de la haie vive entraînerait une malnutrition minérale du mil dans une zone racinaire identique à celle des arbres (DAOUDA .O.S et al.,1992)..

En définitive, la haie vive isohypse permet de réduire la vitesse du ruissellement, d'augmenter l'infiltration sous les arbres et de limiter en conséquence les transferts d'eau. Son influence sur la perte de rendement n'est perceptible que sur le mil, à faible distance de la haie.

4.3 Les cordons de pierres : une méthode mécanique de lutte anti-érosive

Les cordons pierreux représentent une autre technique destinée à dissiper l'énergie des eaux de ruissellement et à augmenter l'infiltration de l'eau dans le sol. Le cordon de pierres est un ouvrage mécanique simple qui peut être mis en oeuvre par les vulgarisateurs ou par les agriculteurs eux-mêmes (ROOSE, 1986 ; MIETTON, 1986 ; SERPANTIE et LAMACHERE, 1989).

Ce type d'aménagements se rencontre à proximité d'affleurement cuirassé, principalement dans la zone bordière du plateau résiduel où ils atténuent les ruptures brutales de pente. Il s'agit de protéger en priorité les terres de cultures situées en aval et d'assurer la reconstitution progressive des couvertures végétales et pédologiques des hauts de versants. Cette technique est utilisée dans le dispositif d'aménagement intégré du bassin versant de Keur Dianko (S2). Elle a pour but de diminuer la vitesse de l'eau de ruissellement, favoriser le dépôt des particules de terres, des graines et des débris végétaux transportés; laisser filtrer l'eau tout en améliorant en amont le stock hydrique.

Dans le cadre du bassin versant de Keur Dianko (S2), la première étape a été le repérage des courbes de niveau. Pour éviter d'empiéter sur les champs de

culture, les lignes isohypses ont été légèrement redressées. La mise en place des blocs a été effectuée en double rangée de 25 cm de large et de 30 cm de hauteur ; les blocs sont enfoncés dans le sol à 25 cm de profondeur (RUELLE et al., 1989).

Le cordon d'une longueur de 640 m occupe toute la largeur du bassin versant au niveau de la bordure du plateau résiduel. Environ 50 m³ de matériaux ont été nécessaires à son édification.

Le cordon ayant été implanté tardivement, il n'a pas été possible de présenter de manière significative des résultats concernant le stock hydrique des sols à proximité. En revanche, des mesures de phytomasse épigée herbacée, réalisées en septembre 1992 sur trois transects perpendiculaires au cordon, en trois points (30m, 15m et 1m) en amont et en aval permettent d'évaluer de manière indirecte l'effet de la ligne de pierres sur les transferts d'eau.

La phytomasse herbacée est nettement plus élevée en amont qu'en aval (figure 4.11). La différence observée entre l'amont et l'aval peut être interprétée comme l'effet du cordon de pierres sur la conservation de l'eau et du sol : le ruissellement est réduit (en vitesse, énergie cinétique et volume) et les résidus organiques (pailles, fèces, litière) retenus dans la zone de sédimentation (ROOSE et RODRIGUEZ, 1990). On sait également que le cordon de pierres crée une hétérogénéité du potentiel de production (eau + nutriments) sur 2 à 6 mètres en amont (ROOSE, 1989).

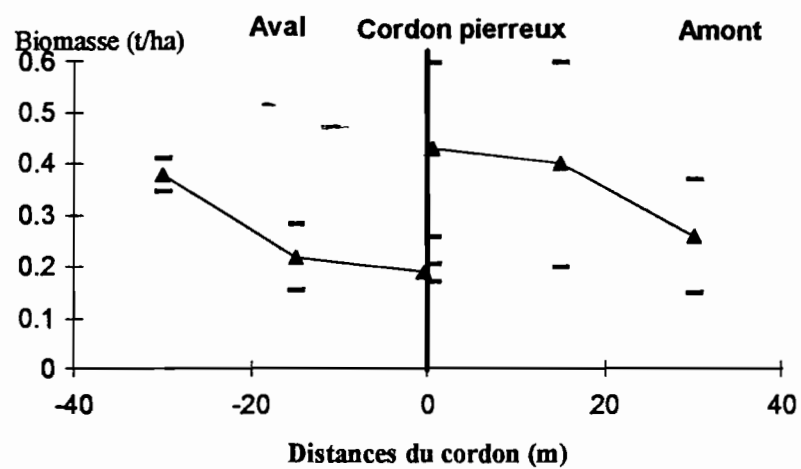


Figure 4.11. : Effets du cordon pierreux sur la production de phytomasse aérienne herbacée (- représentant les bornes des intervalles de confiance).

Conclusions du chapitre 4

Les mesures ont eu lieu durant trois ans : une année déficitaire (487 mm en 1991), une année légèrement déficitaire (641 mm en 1992) et une année relativement excédentaire (796 mm en 1993). Les risques de ruissellement sont plus importants en début de saison pluvieuse, époque où les sols sont dépourvus de végétation ; il en résulte un processus d'encroûtement qui limite l'infiltration de l'eau. Sur ce type de sol sensible à la battance (texture limono-argileuse), le ruissellement peut prendre des proportions importantes (70% des pluies) en l'absence d'une protection par la végétation.

Les résultats montrent que la mise en défens sur les zones de parcours dégradés du plateau résiduel cuirassé satisfait les objectifs de conservation de l'eau et du sol. Le ruissellement a été réduit du double au simple et de quatre à onze fois les transports solides. De nombreux auteurs (FOURNIER, 1967; CHARREAU et NICOU, 1971; ROOSE, 1977, MIETTON, 1988 et CASENAVE et VALENTIN, 1989) ont conclu qu'il était important de couvrir le sol pour lutter efficacement contre l'érosion. COLLINET (1988) rapporte qu'en zone de savane humide, on note un allongement de la phase d'imbibition sous tapis herbacé et une diminution du ruissellement et de l'érosion. Le couvert végétal bien constitué développe une bonne rugosité au ras du sol (litière, paille, bois mort), une macroporosité liée à l'activité racinaire et biologique (DUNNE et *al.*, 1991), autant de facteurs de conservation des sols.

En conséquence, la gestion rationnelle des couvertures végétales des plateaux résiduels est un impératif pour tout programme d'économie de l'eau et de conservation des sols dans les terroirs du sud-est Sine Saloum.

En ce qui concerne les haies vives, des 11 espèces testées en terres de cultures, 8 ont montré un taux de survie de l'ordre de 80 à 90 % : *Acacia nilotica* var

adansonii, *Acacia seyal*, *Bauhinia rufescens*, *Acacia senegal*, *Acacia mellifera*, *Ziziphus mauritiana*, *Parkinsonia aculeata* et *Piliostigma reticulatum*. Les trois autres espèces ont présenté des taux de survie très bas (taux de survie inférieur à 50 %) indiquant une forte mortalité au cours du temps : *Gliricidia sepium* (espèce exotique), *Prosopis chilensis* (exotique) et *Dichrostachys glomerata* ; ces espèces sont à exclure des plantations de haie dans la zone.

La presque totalité des espèces a une bonne croissance en hauteur. Le meilleur taux de croissance relatif annuel est obtenu par *Acacia nilotica* var *adansonii*, *Acacia seyal*, *Parkinsonia aculeata* et *Bauhinia rufescens* (arbustes haut-branchus ou de dégarnissement à la base). Ce développement rapide en hauteur suivi d'un dégarnissement à la base limite l'efficacité de ces espèces par rapport à la conservation de l'eau et du sol. Des coupes de gestion en vue d'optimiser le développement de la hauteur et de favoriser la ramification à la base n'ont pas été concluantes.

La faculté de ces espèces de supporter des tailles sévères nous autorise à les retenir dans l'aménagement de haie vive anti-érosive, dans les conditions de la zone d'étude, en association avec *Acacia mellifera*, *Ziziphus mauritiana*, *Piliostigma reticulatum* et *Acacia senegal*.

Les résultats qui ont été exposés laissent apparaître un espoir de développement facile et rapide de la haie vive dans les systèmes de cultures pour lutter contre le ruissellement et l'érosion dans la zone.

La haie vive entraîne une réduction des transferts d'eau qui s'accompagne d'une augmentation de l'infiltration avec amélioration du profil hydrique sur une distance de 2 m de part et d'autre de la ligne d'arbres.

Avec une zone d'influence réduite, on peut donc conclure que la haie vive n'aurait pas d'effet dépressif sur les cultures.

En ce qui concerne le cordon de pierre, on peut noter un bon comportement du dispositif. Malgré plusieurs épisodes pluvieuses intenses, il n'a subi aucun dommage et a bien rempli son rôle comme le montre les laissés de crues en amont.

CHAPITRE 5

EVALUATION DES AMENAGEMENTS A TRAVERS LA PRODUCTION PRIMAIRE ET A L'ECHELLE INTEGREE DU BASSIN VERSANT

Ce chapitre répond à la nécessité qu'il y a d'évaluer l'effet des aménagements à une échelle beaucoup plus intégrée, « globalisante », que précédemment. Cette intégration peut se faire de deux manières :

- d'une part, à une échelle spatiale plus large, qui est celle de l'unité hydrologique fonctionnelle : le bassin-versant. Le ruissellement est ici évalué au niveau de l'exutoire du bassin S2 de Keur-Dianko. Cette dynamique intègre les différents éléments du paysage et rend compte de l'ensemble des aménagements agroforestiers et de leur juxtaposition dans l'espace.

- d'autre part, à travers l'appréciation de la production végétale primaire, qui est un intégrateur des conditions de milieu (fertilité, eau et du peuplement végétal) et traduit bien le fonctionnement d'un écosystème (RIDDER et *al.*, 1982).

Différents auteurs ont souligné le rôle de la production primaire dans le bilan infiltration / ruissellement (FLORET et *al.*, 1989; RIDDER et *al.*, 1982) et ont démontré que la biomasse produite est proportionnelle à l'infiltration réelle d'eau. La production peut contribuer à la modulation du ruissellement.

Cet attribut fonctionnel (ARONSON et *al.*, 1993) est un bon indicateur de l'état de dégradation de l'écosystème (BARRY et *al.*, 1983,).

5.1 Les effets de la mise en défens sur la production primaire

L'effet de la mise en défens sera évalué à partir de la phytomasse épigée herbacée au pic de la production et de la phytomasse ligneuse sur pied (planche 4 photo 6 chap3).

La production de phytomasse aérienne herbacée au cours du cycle de l'année 1991, après 4 ans de mise en défens, est donnée dans le tableau 5.1.

Tableau 5.1 : Phytomasse aérienne herbacée des divers faciès des formations herbeuses du plateau cuirassé

Faciès	Phytomasse moyenne t. ha ⁻¹ /an			
	1	2	3	4
Défens	2.94 ± 1.79	3.04 ± 0.65	2.49 ± 0.36	4.81 ± 1.16
Témoin	1.06 ± 0.47	1.98 ± 1.08	1.75 ± 0.47	1.97 ± 0.8
Rapport	2.8	1.5	1.4	2.4

On constate que la production annuelle en situation protégée à Thyssé varie de 2.5 ± 0.36 à 4.81 ± 1.16 t .ha⁻¹ suivant les faciès.

Ces valeurs corroborent les résultats de FOURNIER (1991), en Côte d'Ivoire, qui donne les valeurs suivantes :

2.93 ± 0.53 t. ha⁻¹ / an pour une savane herbeuse annuelle sur cuirasse,

3.55 ± 0.16 t ha⁻¹ pour une forêt claire de plateaux cuirassés,

2.93 ± 1.47 à 4.63 ± 0.52 t ha⁻¹ pour une formation herbeuse de plateau cuirassé.

La production annuelle des témoins à Thyssé est nettement plus faible. Elle varie de 1 ± 0.47 à près de 2 ± 0.8 t ha⁻¹. Il apparaît donc que la mise en défens favorise la production d'un facteur 1.4 à 3. La différence résulterait de la forte pression pastorale sur ces zones soumises à un surpâturage en saison des pluies. Ce surpâturage se traduit par une diminution du taux de recouvrement de la végétation (photo 6 et 9 des planches 4 et 5 annexe 5). Un faible recouvrement du sol entraîne une désagrégation de la structure du sol sous l'effet de l'énergie cinétique des gouttes de pluie qui s'accompagne d'un fort ruissellement. Les conséquences directes de ce phénomène de ruissellement sont une faible alimentation hydrique du sol qui affecte à son tour la production (photo 5 de la planche 3, annexe 5).

Concernant la production de *phytomasse aérienne ligneuse*, l'étude concerne 3 espèces : *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans* et *Acacia macrostachya*.

Le tableau 5.2 donne pour ces trois espèces une estimation de la biomasse de bois. On peut constater des différences nettes entre les valeurs de phytomasse de la parcelle mise en défens et du témoin. Cette différence est probablement due à plusieurs facteurs dont la forte pression anthropique (prélèvement de bois de chauffe). Ces résultats montrent donc l'effet de la protection sur l'évolution de la production : l'augmentation de 50 % de la densité ligneuse en défens a probablement influencé à la hausse la production de phytomasse (photo 8, 9 et 10 de la planche 5, annexe5). On peut donc conclure que la mise en défens favorise la production ligneuse même si la différence est en partie attribuée à l'effet parasite de prélèvement de bois dans les témoins.

Les phytomasses les plus fortes ont été observées dans les faciès 1 et 4 où *Combretum glutinosum* constitue l'espèce dominante. Il semble que cette espèce réagit plus vite que les deux autres à l'effet des interruptions des coupes.

Tableau 5.2 : Biomasse (kg/ha) des trois principales espèces pour les 4 faciès de végétation de l'unité du plateau cuirassé.

Parcelle	Cg	Cn	Am	Total
D1	6522	1478	758	8758
T1	981	23	212	1216
D2	3574	1226	52	4852
T2	1519	120	28	1667
D3	3920	44	1040	5004
T3	1534	18	177	1713
D4	7962	372	806	9140
T4	320	78	126	524

Cg : Combretum glutinosum ? Cn : Combretum nigricans

AM : Acacia machrostachya

Le tableau 5.3.rassemble les résultats relatifs aux effets d'une mise en défens sur la phytomasse totale.

Tableau 5.3 : Effet de la mise en défens sur la production de phytomasse totale (herbe et arbre) .

Faciès de végétation	Production de phytomasse herbacée en t.ha-1			production de phytomasse ligneuse en t.ha-1		
	protégées	témoins	rapport (p/t)	protégées	témoins	différence (p/t)
1	2.94	1.06	2.80	8.8	1.2	7.3
2	3.04	1.98	1.50	4.8	1.6	3
3	2.50	1.75	1.40	5	1.7	3
4	4.81	1.98	2.4	9.1	0.5	18
moyennne	3.30	1.69	2	6.9	1.2	6

Les chiffres présentés par le tableau 5.3 permettent de conclure que la mise en défens augmente la phytomasse totale par un facteur 4, la phytomasse herbacée par un facteur 2 et la phytomasse ligneuse sur pied par un facteur 6.

Malgré l'effet parasite difficilement appréciable des coupes dans les zones non protégées, l'augmentation constante de la biomasse dans les mises en défens peut être mise en relation avec les conditions édaphiques devenues favorables sous l'effet de la protection (réduction de ruissellement, restauration de la fertilité physique du sol, bonne infiltration). Une production améliorée de la biomasse est un indicateur de conditions hydro-pédologiques plus favorables. Les capacités de régénération et de restauration de cet écosystème sylvo-pastoral du plateau se sont encore accrues en dépit de la tendance à la désertification.

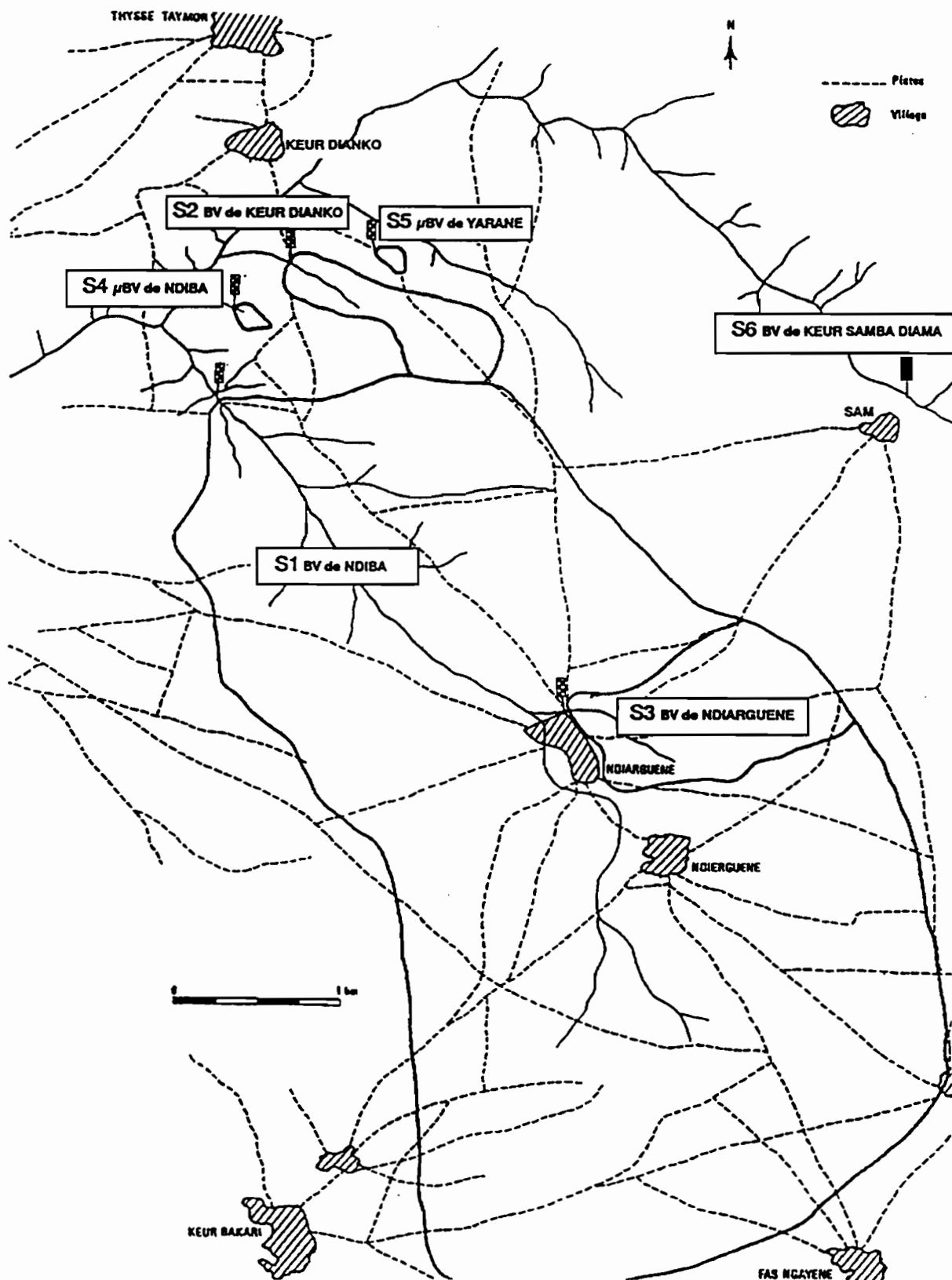


Figure 5.1 : Carte de situation des petits bassins versants expérimentaux de Thyssé Kaymor (extrait ALBERGEL et al., 1989).

5.2 Effets des aménagements sur le bilan hydrologique du bassin versant

Le but de cette étude est de préciser en le quantifiant l'effet des aménagements sur le ruissellement et les transports solides à l'échelle du bassin versant (figure 5.1). Pour cela des observations hydrologiques complètes ont été réalisées avant et après les aménagements du bassin versant expérimental de de Keur Dianko (S2 : 60 ha).

Un même suivi a été effectué sur le bassin versant de Ndiarguène non aménagé et qui sert de témoin (S3 : 90 ha).

On présentera successivement les bilans hydrologiques annuels au niveau du bassin versant de Keur Dianko avant et après l'aménagement, puis le comportement hydrologique comparé des deux bassins versants S2 et S3 au cours des deux périodes de référence. Les bilans hydrologiques annuels comparés permettront de savoir dans quelle mesure l'aménagement est ou non efficient.

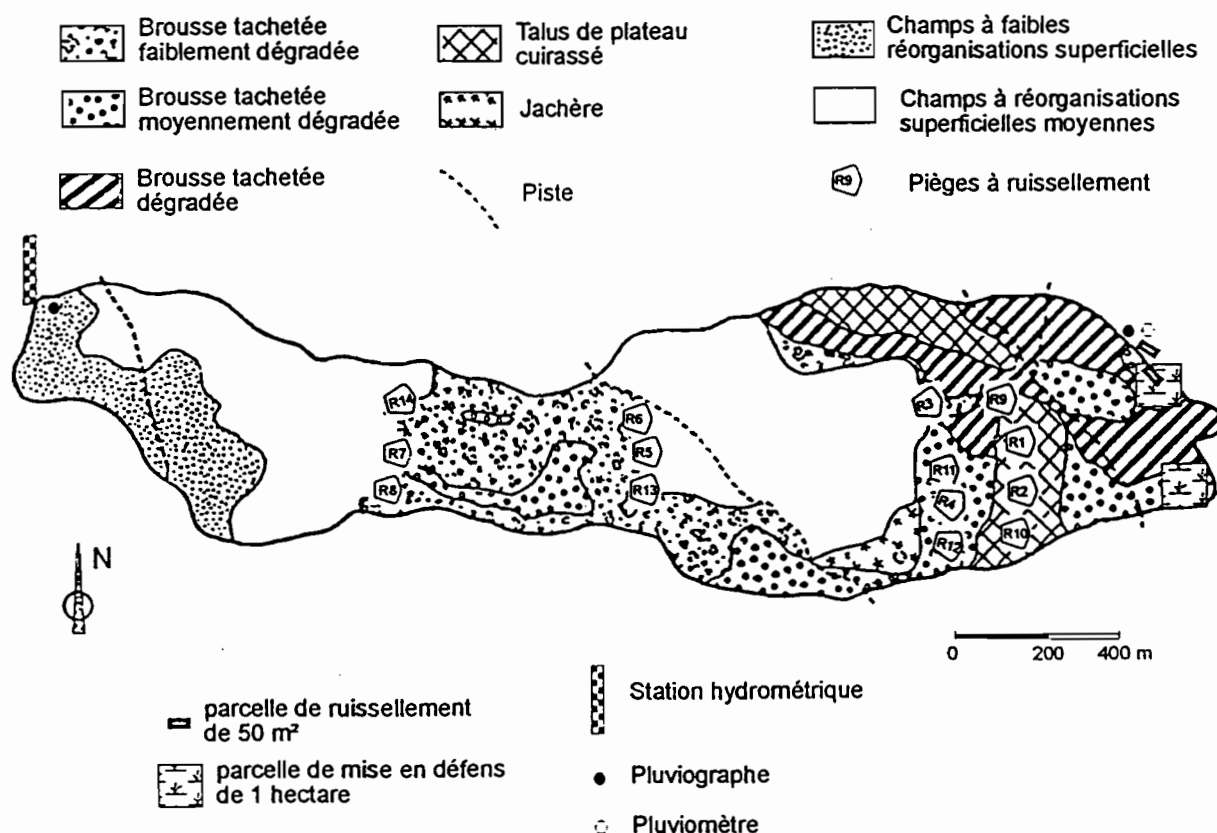


Figure 5.2 : Carte du dispositif hydrologique et des états de surface du bassin versant de Keur Dianko (S2).

Ces bilans hydrologiques ont été obtenus grâce à l'aménagement de l'exutoire des bassins versants d'un canal bétonné de 3.50m de long équipé d'un déversoir à lame mince à l'aval, d'un limnigraphe OTTX de réduction 1/5^e et d'un pluviographe. Un réseau de minipièges à ruissellement répartis sur les principales unités de la toposéquence (plateau, talus d'éboulis, glacis piémont et glacis de raccordement) a également été mis en place ((figure 5.2).

Une reconstitution du ruissellement par unité paysagique suivant le modèle simulateur de pluie (ALBERGEL, 1987) et à partir des données de campagnes de pluies simulées est représentée en figure 5.3. On peut noter une aptitude au ruissellement qui décroît de l'amont vers l'aval. Ce comportement hydrologique du bassin versant permet de tirer les conclusions partielles suivantes :

- le plateau résiduel et le talus d'éboulis réagissent comme un impluvium dans le système. Ici l'importance du ruissellement varie avec la hauteur de la précipitation incidente. Cette relation forte entre le ruissellement et la pluie peut s'expliquer par le fait que la mise en culture de ces terres fragiles et la forte pression pastorale en saison des pluies donnent lieu à des états de surface très ruisselants (Kr % compris entre 60 à 80 %),

- S'agissant des unités en contrebas du plateau (Yarane et Ndiba), on remarque une tendance à un ruissellement plus faible pouvant s'expliquer par l'effet des aménagements (cordon de pierres, haies et jachère). D'autre part ces sols peuvent également bénéficier de la protection des cultures couvrantes qui contribuent à la réduction de la vitesse du ruissellement.

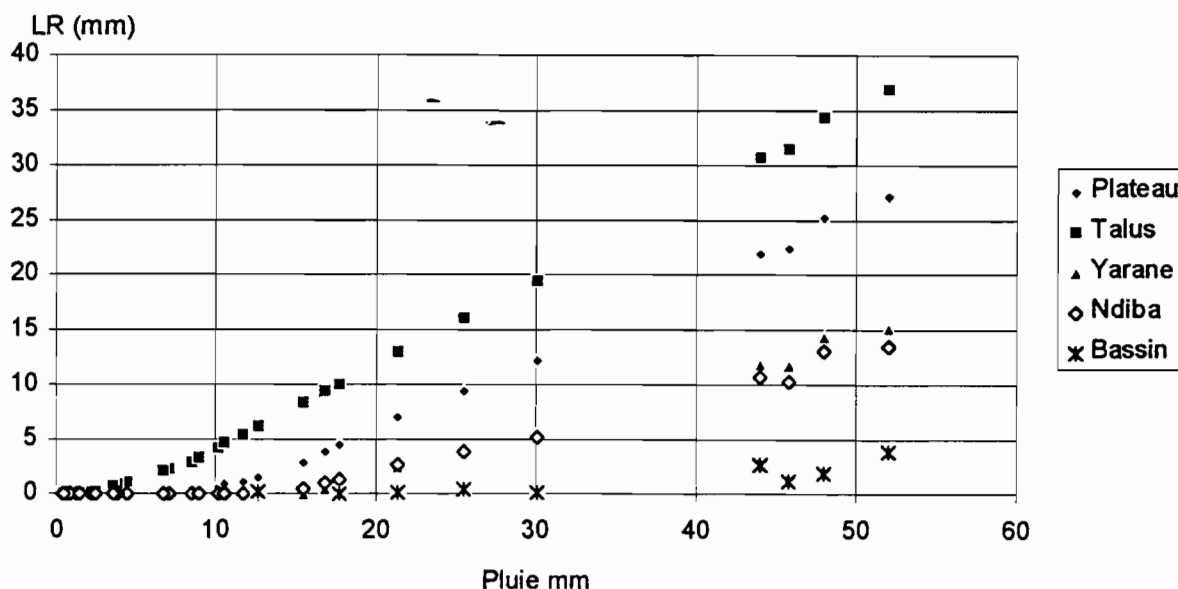


Figure 5.2 : Lames ruisselées par unité contributive et à l'exutoire du bassin versant de Keur Dianko

Cette étude montre que, malgré les aménagements, le ruissellement se manifeste dans toutes les unités paysagiques du bassin versant; il faut souligner que le phénomène est plus intense sur les terres de parcours situés au sommet de la toposéquence.

La figure 5.3 compare pour le bassin versant de Keur Dianko le bilan annuel des ruissellements et des transports solides avant et après les aménagements.

Il ressort de cette comparaison que le ruissellement mesuré à l'exutoire du bassin versant n'a pas beaucoup diminué après les aménagements. En revanche, on note une réduction importante des pertes en terre par érosion. Ce résultat relève du fait que les ouvrages expérimentés sont des micro-barrages filtrants (cordon de pierres, haies vives, revégétalisation des parcours), dont le rôle principal est d'étaler l'eau, de diminuer son pouvoir érosif et de piéger les particules.

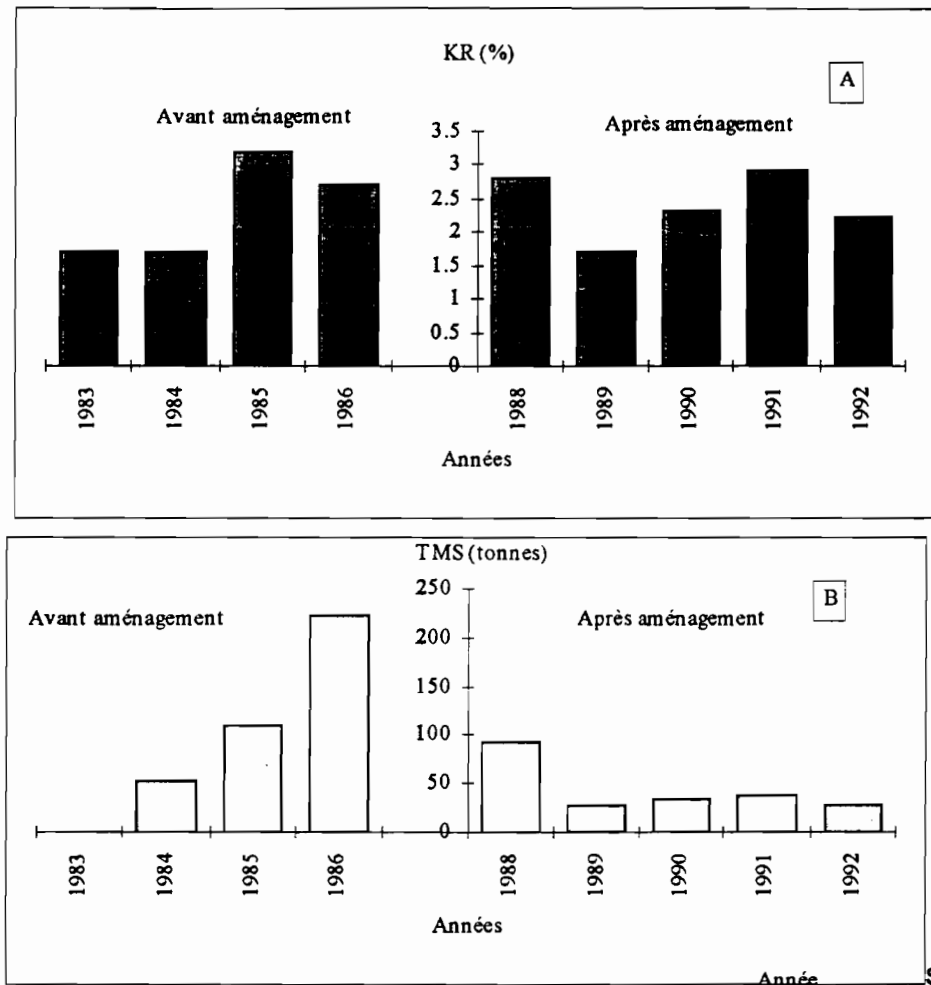


Figure 5.3. : Effets des aménagements sur le ruissellement (A) et les transports solides (B) à l'échelle du bassin versant de Keur Dianko

Les données contenues dans le tableau 5.4. sont relatives aux bilans hydrologiques annuels comparés sur le bassin aménagé et le témoin. Ces résultats montrent des coefficients de ruissellement du même ordre de grandeur sur les deux bassins avant les aménagements et des différences nettes après les aménagements. En effet, après 1988, les coefficients de ruissellement sont nettement plus faibles dans le bassin aménagé surtout à partir de 1991, année au cours de laquelle les travaux sont achevés sur S2.

Quant aux matières solides transportées, les résultats font apparaître un effet des aménagements. Les plus faibles valeurs sont observées dans le bassin aménagé, surtout après l'achèvement de l'aménagement en 1991.

Tableau 5.4 : Bilans hydrologiques comparés des bassins versants de Keur Dianko et de Ndiarguène (d'après ALBERGEL, 1993, à paraître)

station	bassin versant aménagé en 1988 (S2) Keur Dianko					bassin versant témoin (S3): Ndiarguène				
Année	pluie mm	Lr mm	Kr %	Mes g/l	Ts t/ha	pluie mm	Lr mm	Kr %	Mes g/l	Ts t/ha
1983	391.4	6.6	1.7			429.2	3.1	0.7		
1984	354.6	6.7	1.9			420.8	7.8	1.9		
1985	389.5	18.3	3.1			493.1	14.3	2.9		
1986	658.1	17.9	2.7			670.5	28.2	4.2		
1987	663.1	5	0.8			767.8	19.2	2.5		
1988	894.2	24.1	2.7	5.7	1.4	825.2	22.7	2.8		
1989	722	7.4	1	6.2	0.45	631.9	5.7	0.9		
1990	442.5	10.3	2.3	5.5	0.56	488.6	12.3	2.5		
1991	498.8	14.5	2.9	4.4	0.63	455.6	22.8	5	3.1	0.69
1992	578.1	12.7	2.2	3.8	0.48	615	44.5	7.2	2.6	1.15
1993	796	43	5.4	3.6	1.5	741.9	119.9	16.2	3	3.5

Lr = Lane ruisselée

Kr= Coefficient de ruissellement.

Mes = Concentration des matières en suspension Ts = Transports solides

On remarquera que l'aménagement a un rôle d'autant plus fort sur le bilan en eau et en matières solides transportées que l'année comporte des ruissellements importants : par exemple en 1991, les quantités de matières solides transportées sont équivalentes sur les deux bassins de l'ordre de $0,650 \text{ t ha}^{-1}$, en 1992, elles passent à $0,488 \text{ t ha}^{-1}$ pour le bassin aménagé et plus d'une tonne à l'hectare sur le bassin témoin, en 1993 où un événement exceptionnel (179 mm en 24 heures) est à l'origine de près de 50% de l'érosion annuelle, les transports solides passent de 1.5 t ha^{-1} sur le bassin aménagé à 3.5 t ha^{-1} sur le témoin, soit deux fois plus.

Un fait étonnant est toutefois à noter : les concentrations moyennes sont

systématiquement plus fortes sur le bassin aménagé. Il semble que cela relève des effets de l'itinéraire cultural amélioré qui comporte plus de travail du sol (série de sarclages mécaniques).

Il est apparu que l'efficacité de l'aménagement intégré augmente avec le temps ce qui peut bien se traduire par un effet cumulé. Cependant, une certaine variabilité inter-annuelle s'observe aussi. Cette variabilité est essentiellement liée soit au rythme des pluies, soit à la variation de la couverture végétale sur le bassin versant considéré. L'intégration des aménagements à l'échelle du versant apporte une amélioration globale du bilan en eau et en matière de conservation du sol.

Conclusion

Les résultats des observations du fonctionnement du milieu sous l'effet des aménagements montrent que globalement la dégradation de l'écosystème, malgré les conditions pédoclimatiques rendues très défavorables par la persistance de la sécheresse et l'inadéquation entre le système extensif d'utilisation des terres et la forte pression démographique, n'est pas irrémédiable. Cette étude montre la possibilité d'intervenir efficacement sur le fonctionnement hydrodynamique du milieu (conservation de l'eau et des sols) par des solutions techniques réalisables à moindre coût.

CONCLUSION GENERALE

Les principaux résultats dégagés à travers cette étude peuvent tout d'abord être soulignés.

La zone d'étude fait partie du bassin arachidier du Sénégal, caractérisé par une dégradation de son environnement qui se manifeste par une érosion hydrique, une baisse de fertilité des sols et une diminution importante de la couverture végétale naturelle. C'est particulièrement vrai dans la partie sud, en particulier dans la communauté rurale de Thyssé Kaymor, où les pratiques culturelles basées sur un système extensif d'utilisation des terres entraînent une dégradation de l'écosystème. C'est dans ce contexte de dégradation généralisée que nous avons recherché des solutions pour étudier les modalités de la réhabilitation et (ou) de la restauration de ce paysage.

Cet objectif de réhabiliter le paysage doit passer par une stabilisation des phénomènes d'érosion hydrique à travers une maîtrise du ruissellement le long d'une toposéquence. Ainsi des techniques de restauration et de réhabilitation des écosystèmes ont-elles été testées dans l'aménagement intégré d'un bassin versant expérimental, en tenant compte des spécificités écologiques et des contraintes socio-économiques.

Pour cela, nous avons dégagé des priorités suivant le phénomène étudié et les contraintes socio-économiques liées à l'unité de paysage à aménager :

- mise en défens des unités du plateau résiduel où les couvertures végétales naturelles subissent actuellement une dégradation importante. Il s'agit de favoriser la régénération et le développement des végétations naturelles pour rétablir leur fonction de protection des sols et de conservation de l'eau;

- construction d'un cordon de pierres à la limite supérieure des champs de cultures sur la ligne de plus grande pente. Cet ouvrage, dont la fonction principale est de ralentir le ruissellement, de l'étaler et provoquer la sédimentation des fines et de divers résidus organiques (pailles, fèces et litières) en amont, permet de réduire la capacité érosive du ruissellement sur les terres de cultures en aval ;

- maillage du bloc de cultures réalisé à l'aide de plantations de haies vives isohypses dans le but de renforcer la protection des sols contre l'action érosive du ruissellement. Les haies vives permettent également de réintroduire l'arbre dans le

système agricole.

Le second objectif de l'étude a consisté d'autre part à évaluer les conséquences de la mise en place de ces techniques, à étudier leurs effets sur le ruissellement mais aussi le stock d'eau du sol, la conservation des sols mais aussi la régénération (physique et chimique) de la fertilité du sol et l'évolution des végétations naturelles.

La discussion des résultats repose sur les modèles de la dynamique des systèmes écologiques des zones sahéliennes (GROUZIS, 1988) et plus généralement des écosystèmes arides et semi-arides, dégradés (ARONSON et *al.*, 1993) que nous compléterons grâce à notre propre expérience (figure 6.1)

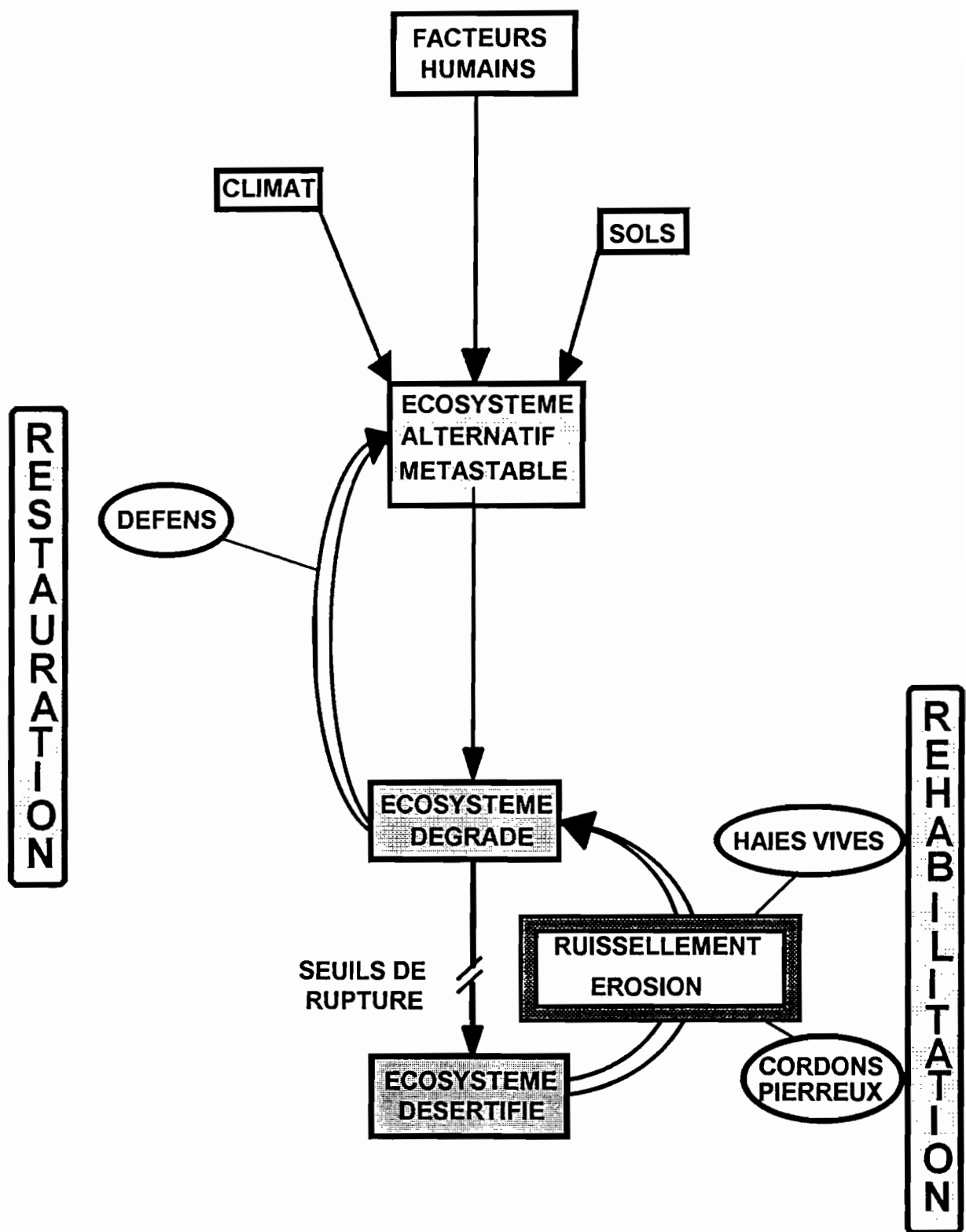


Figure 6.1 : Modèle de la dynamique des systèmes écologiques et techniques d'aménagement

Le modèle propose les solutions suivantes :

- restauration des zones de parcours par la technique de mise en défens (suppression de toute pression humaine et animale),
- réhabilitation des versants gravillonnaires et des couvertures végétales et pédologiques dégradées par la construction d'un cordon de pierres sur la ligne de rupture de pente à la périphérie du plateau cuirassé (limite supérieure des cultures),
- réhabilitation du parc agroforestier dégradé par des haies vives plantées en courbe de niveau.

Il peut encore exister dans notre région quelques rares surfaces occupées par des écosystèmes encore en bon état et dont les caractéristiques fonctionnelles et structurales oscillent autour d'un point d'équilibre selon les périodes et les traitements plus ou moins favorables.

Ces écosystèmes en état dit alternatif peuvent être issus des écosystèmes originels suite à de petites perturbations d'origine anthropique : pratique de feu précoce pour protéger la forêt de l'action des feux ravageurs, éclaircie de la végétation ligneuse pour favoriser la croissance de la forêt, etc.

Dans notre zone d'étude, en particulier dans le secteur nord du domaine soudano- sahélien du Sénégal, il semble que la majorité des écosystèmes puissent être considérés comme déjà dégradés. En fait, les perturbations d'origine anthropique s'exerçant sur le milieu et les êtres vivants sont importantes au point de rompre l'équilibre (diminution de l'inertie qu'oppose l'écosystème au changement). La régression des espaces boisés au profit de l'agriculture extensive, la disparition de la jachère sont autant d'éléments qui expliquent cette évolution régressive au sud Sine Saloum.

La sécheresse s'est encore ajoutée à ces perturbations anthropiques. En effet, depuis la fin des années soixante, on a enregistré une sécheresse intense, continue, généralisée qui a affecté de façon drastique les êtres vivants. Cette diminution des pluies ne se traduit pas par une baisse de l'agressivité climatique (ALBERGEL 1987). FONTANEL (1986) souligne la disparition progressive de certaines espèces exigeantes caractéristiques des climats soudaniens, telles que *Khaya senegalensis*, *Seiba pentendra*, *Daniela oliveri*.

Ces perturbations d'ordre naturel conjuguées à la pression de l'homme de plus

en plus forte ont conduit à cet état dégradé des écosystèmes.

Quand les perturbations s'exercent sur le milieu et les êtres de façon aussi marquée l'équilibre est rompu malgré une résistance naturelle (GROUZIS, 1988). C'est cet état de dégradation qui correspond le mieux à la situation des écosystèmes dans notre zone d'étude. En effet, la pression anthropique qui s'exerce sur ce milieu est très importante. L'accroissement continu de la population rurale se traduit par une demande croissante en terres de culture, un abandon de la jachère et une extension des champs dans les zones incultes du plateau cuirassé. Autre fait récent et repérable, la culture attelée a des conséquences qui dépassent le changement même de technique culturale, puisqu'elle a pour effet d'accroître les surfaces mises en culture. Elle compromet la régénération du parc agroforestier (LERICOLLAIS, 1990) et a beaucoup contribué à l'extension des cultures aux dépens des jachères et des parcours naturels (VALET, 1985). Ce paysage peut être qualifié de paysage anthropisé ou "humanisé". Les populations ont profondément altéré le système traditionnel d'utilisation des terres par défrichement des zones marginales autrefois réservées au pâturage, coupe et déssouchage des arbres dans les champs de culture. A cela s'ajoutent les pratiques de feux de brousse qui passent régulièrement dans la savane. Ces feux d'origine paysanne permettent de contourner le code forestier qui interdit le défrichement des zones de forêt. Parfois, comme nous l'avons montré, une simple protection de quelques années peut suffire à restaurer l'écosystème mais ces processus en interaction permanente peuvent conduire l'écosystème déjà dégradé vers un état désertifié, caractérisé par le franchissement de seuils de rupture au delà desquels l'écosystème ne peut revenir seul à son état antérieur (GROUZIS, 1988).

Les écosystèmes désertifiés ne sont pas faciles à détecter ou quantifier (ARONSON et al., 1993). Ce stade de dégradation constitue une étape ultime de l'évolution régressive des écosystèmes. Ces franchissements de seuils de rupture sont repérables sur certaines unités de paysage de la zone d'étude : sur le plateau résiduel et ses surfaces dénudées et encroûtées, régénération naturelle des couverts végétaux comprise sur les versants d'éboulis, sur le glaciaire de raccordement et les terrasses (zone des cultures) avec leurs secteurs de ravinements ou de décapage aréolaire.

Les principaux facteurs responsables de cette évolution des écosystèmes du sud Sine Saloum étant désormais bien connus (BERTRAND, 1971; ANGE, 1983; OLIVRY et al., 1984; VALET, 1985; BROUWERS, 1987; DIATTA, 1988), quels sont les enseignements et les solutions apportés par notre recherche ?

Une simple protection de quelques années peut suffir à restaurer les parcours dégradés du plateau résiduel cuirassé. En effet la mise en défens a permis d'améliorer les caractéristiques structurales et fonctionnelles de cet écosystème du plateau résiduel.

Elle a permis une augmentation de plus de 50 % du nombre des espèces, une multiplication de la densité de peuplement par 2, voire 3, une amélioration de la structure de population qui révèle une bonne évolution des couverts végétaux se traduisant par une augmentation de la production de phytomasse végétale. Ces résultats confirment la plupart des conclusions tirées des études peu nombreuses sur la dynamique des milieux naturels en conditions de mise en défens (DELWAULLE, 1975; DEVINEAU et al., 1984; GROUZIS, 1988)

Après quatre à cinq ans de protection intégrale, le ruissellement est devenu faible et même négligeable, trois fois inférieur à celui des témoins (pâturés et/ou brûlés régulièrement) et l'érosion est également réduit de 4 à 11 fois sur les défens. Ces résultats confirment qu'il est possible de réduire significativement le ruissellement et le transport des fines par mises en défens des zones déboisées. ROOSE (1975), MIETTON (1988), en zone de savane soudano-sahélienne, ont montré après un à trois ans de protection intégrale, un ruissellement faible et une érosion négligeable sauf lorsqu'on a emporté la litière. Cette litière qui s'accumule sur les parcelles en défens joue un rôle majeur sur les pertes en terre : celles-ci restent bien plus faibles que sous témoin, probablement parce que le couvert végétal dense au ras du sol entretient l'activité de la mésofaune qui s'accompagne d'une porosité fonctionnelle et améliore considérablement l'infiltration. Ce dernier aspect met en évidence l'effet de la mise en défens sur la protection et la régénération du sol : « un couvert végétal est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'il recouvre une forte proportion du sol durant les périodes les plus agressives de l'année, qu'il réduit l'écoulement du ruissellement et qu'il maintient une bonne porosité » (ROOSE, 1977)

Cependant, quatre ans de mise en défens n'ont pas suffi pour améliorer significativement les teneurs organo-minérales du sol et le p H. L'amélioration est remarquable sur la structure en surface (polyédrique à polyédrique grumeleuse), ce qui est important pour la conservation de l'eau dans ces milieux sensibles à l'érosion hydrique. Une augmentation légère de la teneur en matière organique s'accompagne d'une porosité fonctionnelle grâce aux turricules de vers de terre et aux placages de termites édifiés sur le sol (ROOSE, 1977; CASENAVE et VALENTIN, 1989);

Par delà la mise en défens, un cordon de pierres a été construit à la limite inférieure du plateau résiduel sur la ligne de plus grande pente. Le cordon de pierres favorise la régénération des couvertures végétales, en particulier les annuelles. Cela s'est traduit par une phytomasse aérienne herbacée relativement plus élevée à faible distance (2 à 10 m) en amont. D'après les travaux de ROOSE (1989), le cordon pierreux crée une hétérogénéité du potentiel de production (eau + nutriments) sur 2 à 6 mètres en amont.

Une implantation de lignes de haies vives en terres de cultures a permis de sélectionner les meilleures espèces sur la base du taux de survie et de la croissance en hauteur. Des onze espèces testées, huit ont montré un taux de survie de l'ordre de 80 à 90 %; 4 espèces ont présenté des caractéristiques recherchées pour l'efficacité de la haie vive anti-érosive (bonne ramification à la base, caractère buissonnant) : *Acacia mellifera*, *Acacia senegal*, *Ziziphus mauritiana* et *Piliostigma reticulatum*.

La haie vive entraîne une réduction des transferts d'eau qui s'accompagne d'une augmentation de l'infiltration avec amélioration du profil hydrique sur une distance de trois à quatre mètres. Elle assure la réduction de la lame d'eau ruissellée et augmente sa mise en réserve dans le sol pour les besoins de consommation à certaines périodes critiques (saison sèche).

S'agissant des cultures situées de chaque côté de la ligne des arbres, on note une tendance à la diminution du rendement du mil à faible distance des arbres, pouvant s'expliquer par l'ombre portée ou une concurrence pour les nutriments en supposant que la culture et les arbres explorent la même zone racinaire. On sait par ailleurs, que les phénomènes de compétition peuvent être importants. BALDY (1985, 1993), étudiant l'effet des brise vent sur les cultures associées, souligne que les

phénomènes de compétition existent aussi bien entre racines (pour l'eau et les nutriments) qu'entre parties aériennes (pour l'énergie photosynthétiquement active.

En définitive, la haie vivë anti-érosive semble avoir plus d'effet pour la protection du patrimoine foncier que pour l'amélioration du rendement des cultures associées.

A l'exutoire du bassin versant expérimental, le ruissellement mesuré n'est pas significativement limité par les aménagements. En revanche, on note une réduction de l'ordre de 80 % des pertes en terre par érosion. Les seuils en pierres (cordon de pierres, enrochement de stabilisation des ravines) et les haies vives limitent le transport des particules solides à l'échelle du bassin versant. Ce résultat est en accord avec les conclusions tirées par RUELLE et al.(1990).

Compte tenu de la diversité des activités qui se déroulent dans un espace rural et de leurs interactions, il nous apparaît important d'aménager cet espace d'une manière intégrée et non sectorielle comme on a eu trop tendance à le faire jusqu'à ces dernières années (techniques culturales, microbarrages ou diguettes anti-érosives, reboisement).

Pour orienter cet aménagement intégré, il est nécessaire d'une part de stratifier le paysage en fonction du rôle écologique de l'élément du paysage (amont ou zone de départ du ruissellement et aval, zone d'arrivée) et de son utilisation (champs, parcours, zone de cueillette) et d'autre part d'adapter chaque aménagement à ces deux critères.

A titre d'exemple, on développera plus une technique de piégeage de l'eau de ruissellement dans les éboulis des plateaux que dans les zones de dépression. De même, on introduira davantage l'arbre sur les plateaux (zones de parcours) que sur les glacis (zone de culture).

La deuxième exigence de l'aménagement de l'espace rural est l'évaluation des techniques. En effet, des opérations de développement ont été trop souvent conduites, sans qu'on ait pu tirer un véritable enseignement de ces expériences.

Ces évaluations doivent se situer à la fois au niveau technique, économique et de la perception sociale. Sur le plan technique, l'évaluation doit porter à la fois sur l'amélioration des attributs structurels (diversité, écologique, richesse biologique, production, recouvrement) et fonctionnels (productivité, stock hydrique, coefficient

d'efficacité de l'eau, fertilité au sens large)

A ce niveau, cette évaluation doit être en mesure de répondre si les conditions ont été réunies pour que les processus de régénération naturelle puissent de nouveau se réaliser, c'est-à-dire si les seuils trophiques et biologiques peuvent être de nouveau franchis.

L'évaluation économique doit être conduite non seulement sur des critères financiers (coût/bénéfice) mais encore en termes d'investissement de travail, beaucoup plus ressentis par les paysans : que m'apportera dans un proche avenir ce travail ?

Enfin, l'évaluation doit porter sur la perception des populations.

Que faire d'une technique, si performante soit-elle, si elle va à l'encontre des vœux des populations ?

A titre d'exemple dans un contexte de saturation de l'espace, la mise en défens absolu ne peut être utilisée qu'avec précaution. En revanche, une mise en défens temporaire, gérée par les populations, a été utilisée sans problème dans certaines régions sahélo-soudaniennes (Mali, Burkina).

De même, introduire l'arbre dans le système agricole de la zone d'étude paraîtra peu acceptable par les ruraux. Par rapport à la zone sahélienne, l'eau est ici un facteur moins limitant et l'arbre peut être considéré comme inhibant la production végétale dans un contexte de compétition vis à vis de la lumière et de la fertilité des sols.

Ce travail a fait appel à différentes disciplines (botanique, écologie, hydrologie, géomorphologie) et s'est déroulé dans un cadre pluridisciplinaire. De ce fait, il apporte, nous l'espérons, des réponses aux multiples problèmes posés par le monde rural. Cependant, dans certaines domaines, ce travail est loin d'être exhaustif et mériterait d'être approfondi.

Pour ce qui concerne la typologie de la végétation, il serait nécessaire d'intégrer dans l'analyse, les espèces de la strate herbacée. Il serait alors certainement possible, de subdiviser les quatre grandes unités que nous avons retenues sur la base des espèces ligneuses.

Sur le plan de la dynamique de la végétation, nous n'avons pas eu le recul suffisant pour constater le retour à de nouveaux équilibres. Il serait donc utile de suivre l'évolution de la végétation sur des périodes supérieures à quatre années, d'élargir l'étude à d'autres attributs de l'écosystème (diversité, richesse de la strate herbacée), de caractériser les interactions entre les composantes ligneuses et herbacées de l'écosystème, qui sont à la base de la dynamique des savanes.

Sur le plan socio-économique, une meilleure connaissance des techniques paysannes de gestion durable des ressources naturelles, en priorité l'étude et l'amélioration des pratiques traditionnelles comme les jachères (raccourcissement de la durée) et les parcs arborés dans les champs et les parcours, apparaît encore indispensable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AKPO E., GROUZIS M., 1993.- Interactions Herbe/Arbre en zones arides et semi-arides d'Afrique : état des connaissances. Symposium international, Ouagadougou, Burkina Faso, 9 p.

ALBERGEL J., 1984. - Les données pluviométriques , hydrologiques et agronomiques dans la phase de persistance sèche en Haute Volta. Conf. ; FAO, EIER 15 p.

ALBERGEL J., 1987.- Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso, du m² au km² étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse de doctorat sc. nat. université Paris VI, 341 p.

ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., et GROUZIS M., 1984.- Péjoration climatique au Burkina Faso. Incidences sur les ressources en eau et sur les productions végétales. Cah. ORSTOM, série Hydrologie, vol. XXI, n° 1, pp 3 - 19.

ALBERGEL J., CASENAVE, A., 1984. - Une nouvelle technique d'estimation des crues décennales des petits bassins versants : les études sous pluies simulées. CIEH Yaoundé, Compte rendu des journées techniques, Tome 2

ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M., 1985. - Sécheresse au Sahel : incidences sur les ressources en eau et les productions végétales. Veille climatique satellitaire, n°7 : 12 p.

ALBERGEL J., BERNARD A., RUELLE P., TOUMA J., 1989.- Hydrodynamique des sols, bassins versants expérimentaux de Thyssé Kaymor. ORSTOM, Dakar, 29 p.

ALBERGEL J. et VALENTIN C., 1990. « Sahélisation » d'un petit bassin versant soudanien Kognore - Boulssa, au Burkina Faso, pp. 119-133, in RICHARD J.F. éd. "La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest". AUPELF, Coopération française, UICN, ENDA, Dakar, 310p

ALBERGEL J., LAMACHERE J.M., LIDON B., MOKADEM A.I., et DRIEL W.V., 1993.- Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel : typologie fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles. Rapport final d'un projet CORAF, R3S, Ouagadougou, Burkina Faso, C.I.E.H., 302 p.

ANGE A., 1983. Cartographie morphopédologique au 1/20000^{ème}, zone de Thyssé Kaymor. ISRA/IRAT.

ANGE A., 1984.- Cartographie morphopédologique au 1/20000 sur 4000 ha de la communauté rurale de Thyssé Kaymor (Sénégal). I.S.R.A.

ANGE A., 1985. - Stratification des paysages agraires pour l'identification des contraintes à la production agricole, la mise au point et l'essai de solutions techniques. In : Actes de l'atelier « la recherche agronomique pour le milieu paysan » ISRA/D. systèmes. Nianing (Sénégal).

ANGE A., 1991.- Gestion de la fertilité des sols et stratégies de mise en valeur des ressources naturelles exemple du mil dans les systèmes de culture du sud du bassin arachidier sénégalais, in "Terres de savane, terres fertiles ?", Actes du séminaire de Montpellier, Décembre 1990). CIRAD-CA Publ., pp 25 - 50.

ARBONNIER M., 1990. Etude d'une savane graminéenne et forestière en vue de son aménagement à partir du cas de Koumpentoum (Sénégal). Thèse présentée à l'université de Nancy I, Fac. Sci. en vue de l'obtention du diplôme de recherches doctorales en sciences naturelles, spécialité : biologie végétale et forestière, 99p.

ARONSON J., FLORET C., LE FLOC'H E., OVALLE C., PONTANIER R., 1993.- Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems of Arid and semiarid Lands. I. A view from the South. Restoration Ecology, pp. 8-17.

AUBREVILLE A., 1949. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Société d'Edition Géographiques, Maritimes et coloniales. Paris, 351p.

AUDIN P., 1987. Etude expérimentale et modélisation du bilan hydrique avec ruissellement. Mémoire d'ing. agri, ESA angers, 71p. + annexes.

AVENARD J. M., 1990. Conditions et mécanismes de la dégradation des paysages, pp. 55-75, in RICHARD J.F. éd. "La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest". AUPELF, Coopération française, UICN, ENDA, Dakar, 310p

BALDY. C., 1985.- Contribution à l'étude des applications de la bioclimatologie végétale à l'agrométéorologie des zones arides et semi-arides en climats méditerranéen et tropical. Thèse de doctorat Es- Sciences, université D'AIX-Marseille 213 p.

BALDY C., STIGTER C.J., 1993. - Agrométérologie des cultures multiples en régions chaudes. Editions INRA CTA, Paris : 246p.

BERHAUT J., 1971- 1979. - Flore du Sénégal. Edit Clairafrique, Dakar, 7 tomes.

SBARRY J.P., BOUDET G., BOURGEOT A., CELLES J.C., COULYBALY A.M.,LEBRUN J.C., MANIERE;R., 1983. Etude des potentialités pastorales et leurs évolution en milieu sahélien au Mali Rap. multigr. ACC-GRIZA-LAT : 114p.

BENOIT-CATTIN M., 1986. Les unités expérimentales du Sénégal. CIRAD, Montpellier, 500p.

BENZECRI J.P., 1973.- L'analyse des données : vol. 2, l'analyse factorielle des correspondances. Ed. Dunod, Paris, 619 p.

BERGERET A., 1986.- Rôle alimentaire des arbres et arbustes et de quelques plantes herbacées. Communication au septième séminaire d'économie et sociologie rurale, Montpellier, 15-19 Sept. 1986, « Economie rurale en zone»

BERTRAND R., 1970.- Notice explicative , cartes morpho-pédologiques au 1/50000, unités expérimentales et de développement Koumbidia et Thyssé-Sonkorong, doc. IRAT.

BERTRAND R., 1971.- Morphopédologie et orientations culturelles des régions soudaniennes du Sine-Saloum (Sénégal). Agron. Trop., vol. XXVII n°11 : 1115-1190

BERTRAND R., 1972. Morphopédologie et orientations culturelles des régions soudaniennes du Sine Saloum(Sénégal). doc. IRAT, p.15-90, 2 cartes h.t.

BROUWERS M., 1987.- Etudes morpho et hydropédologiques dans la région de Thyssé Kaymor (Sine-Saloum - Sénégal). CIRAD, D.R.M./L-PM n° 5, 40 p.

BRUNET-MORET Y., 1963.- Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale République de Haute - Volta. ORSTOM, Paris, 23 p.

CANCELE DA FONSECA J.P., 1980.- Le concept de diversité, le chevauchement des niches écologiques et l'organisation des systèmes écologiques. Acta Oecologica, Oecol. Gener., 1 : 3, pp 293 - 305.

CARBONNEL J.P. HUBERT P., 1992.- Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Remise en cause de la stationnarité des séries, pp. 37-51. in :

CASENAVE A., 1982.- Le mini-simulateur de pluie : conditions de l'utilisation et principes de l'interprétation des mesures. Cah. ORSTOM série Hydrologie, vol. XIX, n°4, 207 - 227.

CASENAVE A., CHEVALIER P., GUIGUEN N., SIMON J.M., 1982.- Simulation de pluie sur bassins versants représentatifs Cah. ORSTOM série Hydrologie, vol. XIX, n°4. Paris : 297 p.

CASENAVE A., et VALENTIN C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne : influence sur l'infiltration. ORSTOM, 192 p.

CESAR J., 1971. - Etude quantitative de la strate herbacée de la savane de Lamto (moyenne Côte d'Ivoire). thèse doct. 3^è cycle, fac. Sc. Paris : 95 p. + annexes

CESAR J., 1991. Les facteurs de production herbacée des savanes humides d'Afrique tropicale, Ivé congrès international des terres de parcours. Montpellier, France 4p.

CHARREAU C., 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. Agron. Trop., 26 (9) : 903 - 978 (11) : 1183 1247.

CHEVALIER P., CLAUDE J., POUYAUD B., BERNARD A., 1985. - Pluies et crues au sahel : hydrologie de la mare d'Oursi (Burkina Faso). Trav. et Doc. ORSTOM, n°190, Paris : 251 p.

CHEVALLIER P., 1982.- Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi, Haute-Volta). Cah. ORSTOM série Hydrologie, vol. XIX, n° 4, 253 - 297.

CLAUDE J., GROUZIS M., MILLEVILLE P., 1991.- Un espace sahélien. La Mare d'Oursi. Ed. ORSTOM, Paris, 241 p.

COLLINET J., 1988.- Comportement hydrodynamiques et érosifs de sols de l'Afrique de l'ouest. Evolution des matériaux et des organisations sous simulation des pluies : Thèse de Doctorat, Géol. Pédol. Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 513 p. et annexes.

CORNET A., 1981.- Mesure de biomasse et détermination de la production nette aérienne de la strate herbacée dans trois groupements végétaux de la zone sahélienne au Sénégal. *Acta Oecologica, Oecol. Plant.*, 1981, Vol. 2 (16), n°3, p. 251-266.

DACOSTA H., 1992.- Economie de l'eau et DRS sur les bassins versants de Thyssé Kaymor,. Synthèse hydrologique 1983-1988, Programme Gestion des Ressources Naturelles. ISRA, CORAF, ORSTOM et IRAT. Dakar, 65 p. + annexes.

DAGET PH., 1979.- Les modèles mathématiques en écologie. Masson, Paris, 170 p.

DAGET PH., 1980.- Le nombre de diversité de Hill, un concept unificateur dans la théorie de la diversité écologique. *Acta Oecologica, Oecol. Gener.*, 1 : 1, pp 51 - 70.

DAGET PH., TRANCHEFORT J., 1974. - Une méthode d'analyse diachronique de population complexes (application au peuplement végétal d'une prairie permanente). In « colloque international sur l'utilisation de l'information dans la science de l'environnement, 18 p.

DANCETTE C., NIANG M., 1979. Rôle de l'arbre et son intégration dans les systèmes agraires au Sénégal. ISRA : 16p.

DAOUDA OUSMANE S., EMMANUEL R., et MIRINI P., 1992.- Rôle du système racinaire dans la résistance à la sécheresse chez le mil : analyse de la rhizogenèse post-florale, in *Le Mil en Afrique : Diversité génétique agro-physiologique : potentialités et contraintes pour l'amélioration génétique et l'Agriculture*. Serge Hamo,édit. ORSTOM, 12 p.

DELWAULLE J.C., 1973.- Résultats des six années d'étude de l'érosion au Niger. *Bois et Forêts des Tropiques*, 150 : 15 - 37.

DELWAULLE J.C., 1975.- Le rôle du forestier dans l'aménagement du Sahel. Revue Bois et Forêts des Tropiques, n° 160, Mars-Avril 1975. p. 3-22.

DEVINEAU J.L., LECORDIER C., et VUATTOUX R., 1984.- Evolution de la diversité spécifique du peuplement ligneux dans une succession préforestière de colonisation d'une savane protégée des feux (Lamto, Côte-d'Ivoire). Candollea, 39 : 1, pp 103 - 134.

DI CASTRI F., et YOUNES T. T., 1990.- Fonction de la diversité biologique au sein de l'écosystème. Acta OEcológica, 11 (3), 429 - 444.

DIATTA M., 1988.- Caractérisation morphodynamique des faciès forestiers de la communauté rurale de Thyssé - Kaymor (Sine - Saloum). Mémoire de titularisation ISRA/DRPF, 68 p.

DIATTA M., et MATTY F., 1993.- Dynamique de la végétation ligneuse sur d'anciennes terres et culture sur cuirasse au Sénégal, in FLORET C., SERPANTIE G. Ed. " La jachère en Afrique de l'ouest". Atelier international de Montpellier, Ed. ORSTOM, Paris, 461 p.

DONFACK P., 1992. Etude de la dynamique de la végétation après abandon de la culture au nord- Cammeroun. Thèse Doctorat 3e Cycle, Université de Yaoundé, 192p.

DONFACK P., FLORET C., 1993. - Régénération de la végétation spontanée d'un sol hardé : effet des techniques d'économie de l'eau et du travail du sol. In Cah. Scientifiques n °11, supplément de Bois et Forêts des Tropiques. Mémoires et travaux de l'IRA, ORSTOM, CIRAD, 9 p.

DUNNE T., ZHANG W., AUBRY B.F., 1991. - Effets of rainfall, vegetation and microtopography on infiltration and runoff. Water Ressources Research, vol.27 (9), 14p.

FAYE A., NIANG L., SARR D.Y., THIAM A., 1985.- Etude monographique de la communauté rurale de Thyssé Kaymor. ISRA, Dakar, 100 p.

FAYE J.; 1982. Régime foncier traditionnel et réforme foncière au Sénégal, thèse de doctorat de 3ème cycle, Université de Paris X Nanterre, Départ. de géog., 2 vol. 217 et 111 p.

FELLER C., FRITSCH B., VALENTIN C., 1991. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest en particulier). Cah. ORSTOM, série pédologie (sous presse).

FELLER L., MILLEVILLE P., 1977.- Evolution des sols de défriche récente dans la région des Terres Neuves (Sénégal). I : Présentation de l'étude et évolution des principales caractéristiques morphologiques et physiochimiques. Cah. ORSTOM série biologie, 12 (3) : 199 - 211.

FLORET C., MTIMET A., PONTANIER R., 1989.- Régime hydrique et sensibilité à l'érosion de systèmes écologiques de la zone aride (Tunisie). Cah. ORSTOM série Pédologie, vol. XXV, n° 1-2 : 81 - 94.

FONTANEL P., 1986. - Etat des végétations de parcours dans la communauté rurale de Kaymor (sud Sine Saloum). CIRAD, Montpellier, DSP n° 28, 41p.

FOURNIER A., 1991. Phénologie croissance et production végétales dans quelques savanes de l'Afrique de l'Ouest, variation selon un gradient de sécheresse. Thèse d'Etat, Université Paris VI, 445p.

FOURNIER F., 1967. La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent africain. Sols Africains, 12, pp. 5-53.

GROUZIS M., 1986.- Dynamiques et tendances évolutives des phytocénoses du Burkina Faso. Séminaire régional sur la dynamique et l'évolution des systèmes pastoraux sahéliens. Dakar, 15 p.

GROUZIS M., 1988. Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'oursi, Burkina Faso). Edit. de l'ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses, 336p.

GUINOCHET M., 1973. - Phytosociologie. Masson édit., Paris : 227 p.

HUDSON N.W., ROOSE E.J., 1990. Conservation des sols et des eaux dans les zones semi-arides. Bulletin Pédologique de la FAO, N° 57, Rome, 156p.

KNISEL W.G., FORSTER G.R., 1981. CREAMS : a system for evaluating best practices. In : economics, ethics, ecology : roots of productive conservation. Soil Conserv. Soc. Am., Ankeny Iowa, pp.285-295.

LACOSTE A., ROUX M., 1972. - L'analyse multidimensionnelle en phytosociologie et écologie. Application à des données de l'étage subalpin des Alpes maritimes. I. L'analyse des données floristiques. Acta Oecologia. Oecol. Plant., 6 : 16 p.

LAFFORGUE A., 1977.- Inventaires et examens des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées. Cah. ORSTOM série Hydrologie, vol. XIV, n°4, 299 - 344.

LAL R., 1975.- Role of mulching techniques in tropical soil and water management. Techn. Bull., IITA, Ibadan, 38 p.

LAL R., 1988. - Erodibility and erosivity. In : Lal R. (Eds), Soil erosion research methods. Soil and Water Cons. Soc., Ankeny Iowa, 141-160.

LAMACHERE J.M., 1984. Etude hydrologique des plaines de Niema Dionkele et Foullasso Lelasso. ORSTOM. 2 tomes. 387 p.

LAMACHERE J.M., SERPENTIE G., 1988. Aridification du climat subsahélien: conséquence de trois méthodes d'amélioration des bilans hydriques aux champs pour une culture pluviale (mil : Pennisetum typhoïdes, Burkina Faso). In programme de recherche : Dynamique des systèmes agropastoraux en zone Soudano-sahélienne, Bidi, Yatenga, Burkina Faso. Résultats d'étape. Ed. ORSTOM Ouagadougou, Burkina Faso, 38 p.

LAMAGAT J.P., ALBERGEL J.,BOUCHEZ J.M., DELCROIX L., 1989. - Monographie hydrologique du fleuve Gambie Ed. de l'ORSTOM Coll. Monographie hydrologique 90 p.

LAWESSON E. J., 1990.- Sahelian woody vegetation in Senegal. Kluwer Academic Publishers, Printed in Belgium, *Vegetatio*, n°86 pp. 161-174.

LE BORGNE J., 1990. La dégradation actuelle du climat en Afrique, entre Sahara et Equateur, pp. 17-35, in RICHARD J.F. éd. "La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest". AUPELF, Coopération française, UICN, ENDA, Dakar, 310p.

LE HOUEROU H.N., 1989. - The Grazing Land of The African Sahel. Ecological Studies 75, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 282 p.

LE FLOC'H E., GROUZIS M., CORNET A., BILLE J.C., 1991 Ed. "L'aridité une contrainte au développement", 597 p.

LEBART L., FENELON J. P., 1971. - Statistique et informatique appliquée. Dunod édit., Paris : 426 p.

LEBRUN J. P., 1973.- Enumération des plantes vasculaires du Sénégal. Maisons-Alfort, IEMVT, ét. bot. 2 : 209 p.

LEBRUN J.-P., STORK A.L., 1992.- Enumération des plantes à fleurs d'Afrique Tropicale. Vol. 2, Ed. Conservatoire et Jardin botaniques, Genève, 257 p.

LEPART J., et ESCARRE J., 1983.- La succession végétale, mécanismes et modèles : analyse bibliographique. Bull. Ecol., T. 14, 3, pp 133 - 178.

LERICOLLAIS A., 1987. - La mort des arbres à Sob, en pays sereer (Sénégal). ORSTOM, Dakar, 16 p.

LERICOLLAIS A., 1990. La gestion du paysage ? Sahélisation, surexploitation et délaisement des terroirs sereer au Sénégal, pp. 151-169, in RICHARD J.F. éd. "La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest". AUPELF, Coopération française, UICN, ENDA, Dakar, 310p

LEVANG P., GROUZIS M., 1980.- Méthode d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes : application à la Mare d'Oursi, Haute-Volta, Acta Oecologica, Oecol. Plant., 1 (15), n°3, 231-244.

LHOSTE P., 1986. L'association agriculture-élevage, évolution du système agropastoral au Sine Saloum(Sénégal). Thèse de Docteur ingénieur en « Sciences Agronomiques » Institut National Agronomique Paris-Grignon, 284p.

MAINGUET M., 1991. Désertification : natural background and human mismanagement. Springer Verlag. Berlin, 306p.

MARCHAL J.Y., 1987. - Vingt ans de lutte antiérosive au nord du Burkina Faso. Cah. ORSTOM, série pédol., vol XXII, n°2. Paris : 173 - 180

MICHEL P., 1969. - Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Thèse doctorat ès Sci., Strasbourg : 1167 p.

MICHEL P., 1973.- Les basins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique (tome 1). Coll. Mémoires ORSTOM, , n° 63, 365 p.

MIETTON M., 1986.- Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina Faso. Cah. ORSTOM série Pédologie, vol. XXII, n° 2 : 181 - 196.

MIETTON M., 1988.- Dynamique de l'influence lithosphère-atmosphère au Burkina Faso. L'érosion en zone de savane. Thèse de doctorat Géographie., université de Grenoble, 511p.

MONIMEAU A., 1992. Projet d'aménagement de la ravine de Sonkorong, perspectives pour un aménagement intégré d'un bassin versant (Sine Saloum Sénégal). Mém. d'ing., CNEARC-ESAT Montpellier, 65p+annexes.

MORAT PH., 1973. - Les savanes du sud-ouest de Madagascar. Mémoires ORSTOM, n°68, Paris, 235 p.

MORDELET P., 1993.- Influence of tree shading on carbon assimilation of grass leaves in Lamto savanna, Côte-d'Ivoire. Acta Oecologica, pp 119 - 127.

NICOU R., 1974.- Contribution à l'étude et à l'amélioration de la porosité des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche : conséquences agronomiques. Agron. Trop., XXIX (11) : 1101 - 1126.

NOUVELLET Y., 1992. Evolution d'un taillis de formation naturelle en zone soudanienne du Burkina Faso (fascicule1). Thèse Doc. Sci.Bot. Trop., Univ. Paris VI, 209 p.

OLIVRY J.C, 1983.- Le point en 1982 sur la sécheresse en Sénégal et aux îles du Cap-vert. Examens de quelques séries de longues durées (débits et précipitations). Cah. ORSTOM, série hydrologie, vol. XX, n°1 : 22 p.

OLIVRY J.C., DACOSTA H., FLORY J., 1984. - Etudes hydrologiques dans la région de Thyssé Kaymor (Sine-Saloum). Résultats de la campagne 1983. Rapport provisoire 60 p.

OZENDA P., 1964. - Biogéographie végétale. Eds. DOIN, Paris. ,130 figures dans le texte, 16 planches en noir et 2 cartes en couleurs h.t.

PARDE J., BOUCHON J., 1987. Dendrométrie, 2ème édition, Ecole Nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts (ENGREF), Nancy, 282p.

PEARCY R. W., EHLINGER J. 1984.- Comparative ecophysiology. of C₃ and C₄ plants. Plants, Cell Env., 7,1-13.

PELISSIER P., 1966.- Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. Imp. Fabrique, Saint Yriex, 940 p.

PIERI C., 1969.- Etude pédologique de la région de Niourou du Rip. IRAT - CNRA, Bambey, Sénégal, 131 p.

POUPON H., 1980. - Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal. Thèse de doct. ès- Sci., Univ., Paris - sud : 317 p. + annexes.

RAUTUREAU J., PEREZ P., DIATTA M., 1991. Implantation et gestion des haies vives. IRAT, Programme Climat-plante- Production, Montpellier et ISRA/KAOLACK, Sénégal, 33p.

RIDDER R., STROOSNIJDER L., CISSE A.M., 1982. La productivité des pâturages Sahéliens : Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Université agronomique, Département de science du sol et application des engrais. Wageningen, Pays-Bas et Ecole Normale supérieure du Mali, pp. 76-200.

RODIER J., 1975.- L'hydrologie des régions sahéliennes et la sécheresse 1968 - 1973. Etudes Scientifiques, 49 p.

ROLLET B., 1979.- Application de diverses méthodes d'analyse de données à des inventaires forestiers détaillés levés en forêt tropicale. *OEcol. Plant.*, n°14, pp. 319-344.

ROLLET B., 1979.- Application de diverses méthodes d'analyse de données à des inventaires forestiers détaillés levés en forêt tropicale. *OEcol. Plant.*, n°14, pp. 319-344.

ROMANE F., 1972.- Un exemple d'utilisation de l'analyse factorielle de correspondance en écologie végétale, in : *Grunfragen und Methoden in der Pflanzensoziologie*, Vander Maarel Fuxen Ed., Verlag Dr. W. JUNK N.V., DEN HAAG, pp 151 - 167.

ROOSE E.J., 1975. Quelques techniques antiérosives appropriées aux régions tropicales. Communication au colloque sur la conservation et l'aménagement du sol dans les tropiques humides. I.I.T.A. . Ibadan. 7 p.

ROOSE E.J., 1975. Erosion et ruissellement. Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. ORSTOM Abidjan, 72 p. multigr.

ROOSE E.J., 1976. Contribution à l'étude de l'influence de la mésofaune sur la pédogenèse actuelle en milieu tropical. Rapport Abidjan, 56 p. multigr.

ROOSE E.J, 1977.- Adaptation des méthodes de conservation des sols aux conditions écologiques et sociolo-économiques de l'Afrique de l'Ouest, *Agron. Trop.*, 32, 2 : 8 p.

ROOSE E.J, 1977.- Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en parcelles expérimentales. ORSTOM, Coll. Trav. et Doc., n° 78, 108 p.

ROOSE E. J., 1978.- Dynamique actuelle de deux sols ferrugineux tropicaux indurés sous sorgho et sous savane soudano-sahélienne -Saria (Haute-Volta) : Synthèse des campagnes 1971-1974- Paris, ORSTOM, 13 p.

ROOSE E.J., 1981. Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Coll. Travaux et Documents ORSTOM n°130. 567p.

ROOSE E.J., 1982. Ruissellement et érosion avant et après défrichement en fonction du type de culture en Afrique Occidentale : communication à la conférence Intern. sur le défrichement et la mise en valeur en régions tropicales, N°223, 3ème trimestre, pp. 49-61.

ROOSE E.J., 1984. Causes et facteurs de l'érosion sous climat tropical. Conséquences sur les méthodes anti-érosives. In l'Erosion en milieu Tropical. Réunion technique 55ème SIMA, N° 87, 14p.

ROOSE E.J., 1986. Terrasses de diversion ou microbarrages perméables ? Analyse de leur efficacité en milieu paysan ouest-africain pour la conservation de l'eau et des sols dans la zone soudano-sahélienne. Cah. ORSTOM, série Pédologie, Vol. XXII, n°2 pp.197-208.

ROOSE E. J., 1988.- Nouvelle stratégie de gestion conservatoire des eaux et des sols : GCES. Application en France et en Afrique occidentale. Communication à la conférence internationale ISCO 5 : Bangkok 18 - 29/01/1988. 13 p.

ROOSE E.J., 1989. Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens de l'Afrique Occidentale. ICRISAT, pp.55-72.

ROOSE E.J., 1989. Methodes traditionnelles de gestion de l'eau et des sols en Afrique Occidentale Soudano-sahélienne : Définitions, fonctionnements, limites et améliorations possibles. In Réseau Erosion Bulletin n°10. Communication à la 6e Réunion, Montpellier 9 p.

ROOSE E.J., RODRIGUEZ L., 1990. - Aménagement de terroirs au Yakuga (N.O. du Burkina Faso). Quatre années de GCES : Bilan et perspective. CRPA, INERA, CIRAD, ORSTOM Montpellier

RUELLE P., SENE M., JUNCKER E., DIATTA M., PEREZ P, 1990. Défense et restauration des sols. ISRA-CIRAD, coll. Fiches Techniques, Unival Dakar, 6 fiches + photos.

SALL M., 1983. - Dynamique et mophogenèse actuelles au Sénégal occidental, Thèse d'Etat Strasbourg-I, 2 tomes 604 p., cartes h. t.

SALL P.N., 1993. Etats des connaissances sur la végétation à parcs traditionnels au sénégala. ISRA/DRPF- ICRAF, 235p.

SEGUIS L., 1986. Recherche pour le Sahel d'une fonction de production journalière (lame précipitée, lame écoulée). Thèse de doctorat, USTL. Montpellier, 356p.

SERPANTIE G., LAMACHERE J.M., 1989.- Aménagement des pentes cultivées soudano-sahéliennes, grâce à des réseaux de microbarrages isohypses filtrants. Nécessité d'une amélioration de leurs conditions de mise en oeuvre. Communication à ISCO 6 Ethiopie, ORSTOM Ouagadougou, 24 p.

SERPANTIE G., LAMACHERE J.M., 1990.- Valorisation agricole des eaux de ruissellement et lutte contre l'érosion sur champs de mil en zone soudano-sahélienne. Actes du Colloque AUPELF - UREF, Ouagadougou, Mars 1990.

SIRCOULON J., 1976. - Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique Tropicale. Comparaison avec les sécheresses 1913 et 1940. Cah. ORSTOM. série hydrologie - vol. n°2, Paris.

TOUTAIN B., BORTOLI L., DULIEU D., FORIGIRNI G., MENAUT J.C., PIOT J., 1983.- espèces ligneuses et herbacées dans les écosystèmes pâturés sahéliens de Haute-Volta. ACC GRIZA (LAT), GERDAT : 124 p.

TROCHAIN J., 1940.- Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal. Mémoires de l'Institut Français d'Afrique Noire, 2, Librairie Larose, Paris, 433 p.

VALENTIN C., 1985. - Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement : une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques. Journées hydrologiques de Montpellier, ORSTOM 10 p.

VALENTIN C., 1990.- Les états de surface des bassins versants Thyssé - Kaymor (Sénégal). ORSTOM, Dakar, 10 p.

VALENZA J., 1973.- Pâturage et alimentation du bétail de l'unité expérimentale de Thyssé Kaymor : bilan fourrager. IEMVT, Rép. du Sénégal (Ministère du développement rural) CNRA/Bambey et LNERV, Dakar, 29p.

VALET S., 1985.- Notice explicative de la carte d'occupation comparative des sols en 1970 et 1983, région de Thyssé - Kaymor (Sine - Saloum, Sénégal). CIRAD - CA, Montpellier, 52 p.

VAN PRAET C.L., 1983.- Méthodes d'inventaire et de surveillance continue des écosystèmes pastoraux sahéliens : application au développement. Actes du Colloque de Dakar. ISRA/FAO, PNUE, 439 p.

VON MAYDELL H.J., 1983.- Arbres et arbustes du Sahel : leurs caractéristiques et leurs utilisations. GTZ, Eschborn, 531 p.

WARREN A., AGNEW C., 1988. Une analyse de la désertification et de la dégradation des terres des zones arides et semi-arides. IIED n°2, pp. 1-28.

WHITTAKER R.H., 1975.- Stability in plant communities in : Unifying concepts in ecology. VAN DOBBEN R.H., and LOWE - MAC CONNELL R.H. Ed., Wageningen.[UdG1]

WHITTAKER R.H., 1977.- Evolution of species diversity in plants communities. Evol. Biol., 10 : pp 1 - 67.

WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., 1960. A universal soil-loss equation to guide conservation farm planning. 7 th Intern. Congr., Soil Science, I, P. 418-425.

WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., 1958.- Rainfall energy and its relation to soil loss. Trans. Am. Géophys. Union, 39 (2) : 285 - 291.

WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., 1978.- Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning USDA, Agriculture Handbook, n° 537, 58 p.

YOSSI H., FLORET Ch. 1991.- Dynamique des ligneux dans une savane de la zone soudanienne au Mali : conséquences pour le pâturage. Montpellier, Actes du IV Congrès International des Terres de Parcours, Montpellier, France, pp. 189-191.

ZOUNGRANA I., 1991.- Analyse floristique de stades secondaires au cours de la reconstitution des jachères nord-soudaniennes au Burkina Faso. Diversité, stabilité, évolutions des communautés végétales 10 p. In FLORET C., SERPANTIE G. Ed. " La jachère en Afrique de l'ouest". Atelier international de Montpellier, Ed. ORSTOM Paris, 461 p

FIGURES ET TABLEAUX

Liste des figures

Figure 1.1 : Dispositif d'aménagement intégré du bassin versant de Keur Dianko (S2).

Figure 1.2 : Tarif de biomasse aérienne sèche pour les espèces *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans*, *Acacia macrosracha*.

Figure 1.3 : Parcelles de ruissellement et d'érosion.

Figure 1.4 : Simulateur de pluie (mini-simulateur type ORSTOM).

Figure 2.1 : Localisation de la zone d'étude.

Figure 2.2 : Variations des indices pluviométriques annuels du vecteur régional; station du PAPEM, Sonkorong à 30 kilomètres de Nioro du Rip.

Figure 2.3 : Distribution statistiques des pluies annuelles 1932 à 1992 (station du PAPEM, Sonkorong).

Figure 2.4 : Intensités- durées- fréquences pour les averses de la région étudiée.

Figure 2.5 : Variations moyennes mensuelles des températures maximales, minimales et moyennes (1981 à 1992).

Figure 2.6 : Variations mensuelles de l'humidité relative moyenne (1981 à 1992).

Figure 2.7 : Variations mensuelles de la durée de l'insolation (1981 à 1992).

Figure 2.8 : Variations annuelles de la vitesse et de la direction des vents.

Figure 2.9 : pluviométrie et évapotranspiration moyennes

Figure 2.10 : Toposéquence n°1 du paysage Soudanien au sud Sine Saloum et planche n°2

Figure 2.11 : Toposéquence n°2 = Paysage Soudanien au sud Sine Saloum.

Figure 2.12 : Analyse globale dans le plan des facteurs 1 et 2 de la matrice 251 relevés * 54 espèces (carte des relevés et des espèces).

Figure 2.13 : analyse partielle dans le plan des facteurs 1 et 2 de la matrice 216 * 54 espèces (carte des relevés et des espèces).

Figure 2.15 : Répartition le long de la toposéquence des unités de végétation de la zone étudiée.

Figure 3.2 : Spectre floristique des parcelles protégées et témoins.

Figure 3.2: Spectre biologique de la strate herbacée des parcelles protégées et non protégées.

Figure 3.3 : Comparaison entre parcelles protégées et témoins de la structure du peuplement ligneux.

Figure 3.4 : Structure des principales espèces dans les parcelles de mises en défens et les témoins.

Figure 3.5 : Structure des principales espèces dans les parcelles de mises en défens et les témoins.

Figure 3.6 : Chronogramme et cénogramme des quatre faciès de végétation.

Figure 3.7: Evolution dans le temps des indices de diversité et de régularité dans les parcelles protégées et les parcelles non protégées.

Figure 3.8 : Evolution dans le temps de la structure des ligneux dans la mise en défens et le témoin.

Figure 3.9 : Evolution dans le temps de la structure des principales espèces du peuplement ligneux dans la mise en défens et le témoin.

Figure 3.10 : Evolution dans le temps de la densité des principales espèces des quatre faciès.

Figure 3.11 : Evolution dans le temps de la surface terrière des principales espèces du faciès 2.

Figure 4.1 : Ajustement de courbes d'aptitude au ruissellement.

Figure 4.2 : Lame ruissellée en fonction des pluies enregistrées en 1991 et en 1992 sur les parcelles protégées et non protégées.

Figure 4.3 : Evolution des lames ruisselées cumulées en fonction des pluies cumulées sur les parcelles protégées et non protégées.

Figure 4.4 : Lames ruisselées en fonction de l'intensité en 15 minutes sur les parcelles protégées et non protégées.

Figure 4.5 : Lames en fonction de l'indice d'agressivité climatique (RUSA).

Figure 4.6 : Pluie d'imbition en fonction de l'indice d'antécédence sur trois états de surfaces protégés et non protégés.

Figure 4.7 : Cumul des lames ruisselées en fonction du cumul des pluies simulées sur trois états de surfaces protégés et non protégés.

Figure 4.8 : Influence des haies vives sur l'évolution des profils hydriques en amont et en aval.

Figure 4.9 : Influence des haies vives sur le stock hydrique du sol sur la tranche 0 à 100cm.

Figure 4.10 : Effets de la haie vive sur les cultures d'arachide et de mil.

Figure 4.11 : Effets du cordon pierreux sur la production de phytomasse aérienne herbacée.

Figure 5.1 : Carte de situation des petits bassins versants expérimentaux de Thyssé kaymor

Figure 5.2 : Carte du dispositif hydrologique et des états de surface du bassin versant de Keur Dianko (S2).

Figure 5.3 : Lames ruisselées par unité contributive et à l'exutoire du bassin versant de Keur Dianko.

Figure 5.4 : Effets des aménagements sur le ruissellement et les transports solides à l'échelle du bassin versant de Keur Dianko.

Figure 6.1 : Modèle de la dynamique des systèmes écologiques et techniques d'aménagement.

Liste des tableaux

Tableau 2.1: Pluies annuelles de diverses fréquences de retour.

Tableau 2.2 : Répartition des précipitations mensuelles à Nioro du Rip (1947 à 1968) et au PAPEM (1984 à 1992).

Tableau 2.3 : Hauteurs pluviométriques journalières des récurrences remarquables. Analyses fréquentielles 1932 à 1992.

Tableau 2.4 : Evolution des surfaces cultivées en rotation mil / arachide dans la région étudiée.

Tableau 2.5 : Position de l'élevage des bovins dans l'arrondissement de Médina Sabbakh.

Tableau 3.1 : Nombre d'espèces recensées dans la strate herbacée du plateau résiduel de Keur Dianko-Sonkorong, après quatre années de mise en défens.

Tableau 3.2 : Liste floristique des espèces ligneuses.

Tableau 3.3: Caractéristiques de la végétation ligneuse dans les différentes parcelles (protégées ou non) après quatre ans de mise en défens.

Tableau 3.4 : Taux d'inertie porté par les deux premiers axes de l'AFC appliquée aux relevés des espèces.

Tableau 3.5: Caractéristiques analytiques des sols avant et après quatre années de mise en défens.

Tableau 3.6 : Analyse statistique des teneurs en carbone, azote total et phosphore total selon le test t de Student par couple de parcelle défens-témoin

Tableau 4.1 : Ruissellement au cours de trois campagnes de mesure, sous pluies naturelles.

Tableau 4.2 : Ruissellement sous pluies naturelles, à l'échelle des pluies unitaires.

Tableau 4.3 : Estimation des pertes en terres en Kg /ha/an sous savane protégée et non protégée

Tableau 4.4 : Estimation des pertes en terres fines sous savane protégée et non protégée à l'échelle des pluies unitaires (1991-1993) dans le plateau résiduel de Keur Dianko- Sonkorong.

Tableau 4.5: Résultats de la simulation des pluies de couples comparatifs de trois états de surface (mise en défens et témoin).

Tableau 4.6 : Pluie d'imbition en fonction de l'indice d'antécédence des pluies.

Tableau 4.7 : Synthèse des résultats de la lame ruisselée cumulée des pluies simulées.

Tableau 4.8 : Liste des espèces testées en plantation des haies vives à Thyssé Kaymor.

Tableau 4.9 : Variation interannuelle de la production de plants en pépinière.

Tableau 4.10 : Variation interannuelle du taux de survie des espèces en plantation.

Tableau 4.11: Hauteur moyenne de chaque espèce en trois ans de plantation en haie vive (1988 à 1991).

Tableau 4.12 : Hauteur moyenne des plants après des coupes de gestion.

Tableau 4.13: Effet de la haie vive sur la production des cultures de mil et d'arachide.

Tableau 5.1: Phytomasse aérienne herbacée des divers faciès du plateau résiduel.

Tableau 5.2 : Phytomasse aérienne en kilogramme de trois principales espèces de bois de feu.

Tableau 5.3 Effet de la mise en défens sur la production de phytomasse totale (herbe et arbre).

Tableau 5.4: Bilans hydrologiques comparés des bassins versants de Keur Dianko et de Ndiarguène (1983 à 1993).

ANNEXES

ANNEXES

ANNEXE 1. Données de mensuration pour l'élaboration d'un tarif de biomasse ligneuse de trois espèces arbustives du plateau cuirassé de Thyssé kaymor. (**page 10**)

ANNEXE 2. Méthodes de mesure de l'humidité du sol (**page13**).

ANNEXE 3. Ajustement à une loi de distribution « DIXLOI » logiciel ORSTOM : test de BRUNET-MORET et résultats d'analyse de l'indice R_{USA} (**page 24**)

Annexes 4. Liste des espèces ligneuses des groupes floristiques du bassin versant de Keur Dianko. (**pages 48, 49**)

ANNEXE 5. Liste de la strate herbacée dans les parcelles protégées et non protégées. (**page65**)

ANNEXE 6. Résultats d'analyse sur les sols du plateau résiduel de Thyssé kaymor (**page90**)

ANNEXE 7. Résultats de trois campagnes de mesure de ruissellement et des matières en suspension dans des parcelles expérimentales (50 m^2) et à l'exutoire de deux petits bassins versants (S2 et S3). (**page 95**)

ANNEXE 8. Dispositif des parcelles de ruissellement sur le plateau résiduel de Thyssé kaymor (**115**).

ANNEXE 1

Données de mensuration pour l'élaboration d' un tarif de biomasse ligneuse (bois) de trois espèces des plus répandues de la savane du plateau cuirassé de Thyssé Kaymor.

Combretum glutinosum

N° Parcelle	N° Individu	Hauteur moyenne	N° Brin	Dia1 (mm)	Dia2 (mm)	Longueur brin (m)	MEH (Kg)	MES (kg)
3	1	4.39	1	58.4	58.2	4.4	7.1	5.68
			2	22.4	22.8	1.5	0.45	0.36
			3	28.5	31.3	3.5	1.3	1.04
			4	56.4	48.7	4.1	5.8	4.64
			5	37.8	35.6	4.05	4.2	3.36
			6	40.1	44.4	3.84	2.75	2.20
	2	5.35	1	57.7	54.8	3.85	5.4	4.32
			2	100.4	88.9	5.65	24.3	19.43
			3	87.7	98.4	5.77	30.8	24.63
			4	43.7	42.6	4	4.3	3.44
			5	70.3	81	5.73	16.4	13.12
			6	62.8	81.4	5.25	11.1	8.88
	3	5.15	1	24.5	37.5	3.7	2.5	2.00
			2	87.7	137.6	5.3	46	36.79
			3	33.6	30.1	3.29	2.5	2.00
			4	84.6	97.6	5.1	25	19.99
	4	3.46	1	21.9	21.1	1.6	0.37	0.30
			2	41.5	42.9	4.2	3.7	2.96
			3	41.8	40.5	4.1	3.8	3.04
			4	39.6	39.6	3.8	2.9	2.32
			5	43.5	44.4	4.4	4.6	3.68
			6	62.6	53.8	4.5	9.8	7.84
			7	41.7	46.5	3.5	3.7	2.96
			8	61.9	56.8	4.49	9	7.20
	5	4.66	1	51.9	72.1	4.65	16.6	13.28
	6	2.08	1	21.1	21.8	2	0.55	0.44
			2	20.5	19.9	1.6	0.4	0.32
			3	27.2	26.4	2.1	1	0.80
			4	26.6	29.7	2.7	1.2	0.96
			5	14.9	14.7	1.1	0.15	0.12
			6	13.1	13.3	1	0.05	0.04
			7	21.2	21.3	1.7	0.48	0.38

Combretum nigricans

N° Parcelle	N° Individu	Hauteur moyenne	N° Brin	Dia1 (mm)	Dia2 (mm)	Longueur brin (m)	MEH (Kg)	MES (kg)
2	1	3.65	1	93.6	93.9	3.6	20.8	16.26
			2	69.4	69.3	3.2	9.5	7.42
			3	49	46.9	2.6	2.2	1.72
	2	3.74	1	38.1	41	2.94	1.6	1.25
			2	107.6	126.6	3.6	17.7	13.83
			3	15.5	15.2	2.3	0.37	0.29
	3	3.09	1	15.9	16.8	1.19	0.09	0.07
			2	21.9	20.4	2.3	0.45	0.35
			3	52.3	37.5	3.1	3.7	2.89
			4	24.6	23.9	2.7	0.58	0.45
			5	19.7	19.5	1.45	0.22	0.17
			6	36.2	36.7	1.7	0.8	0.63
			7	27.5	28	2.4	0.9	0.70
	4	3.42	1	34.8	34.3	3.4	1.6	1.25
			2	60.6	52.7	2.9	5.6	4.38
			3	24	23.4	2.4	0.83	0.65
			4	31.2	29.3	1.75	0.71	0.55
			5	26	25.1	2.75	0.74	0.58
			6	19.7	18.7	1.5	0.25	0.20
			7	15.7	16.4	1.85	0.14	0.11
	5	3.71	1	11.1	9.4	0.8	0.03	0.02
			2	49.1	48.7	3.86	7.9	6.17
			3	73.7	70.8	3.43	13.9	10.86
	6	3.59	1	51.9	47.5	3.12	4.6	3.60
			2	89.7	111.1	3.75	27.1	21.18

Acacia macrostachya

N° Parcelle	N° Individu	Hauteur moyenne	N° Brin	Dia1 (mm)	Dia2 (mm)	Longueur brin (m)	MEH (Kg)	MES (kg)
3	1	3.23	1	55.4	59.1	3.9	9.5	8.20
			2	56.8	66.7	3.8	7.4	6.39
	2	3.77	1	29.3	30.7	2.85	1.1	0.95
			2	21.6	24.6	2.3	0.66	0.57
			3	30.9	34.2	3.2	1.5	1.30
			4	35.2	34.9	3.4	1.9	1.64
			5	52.8	53.4	3.9	6.6	5.70
			6	39.7	30.3	3.7	2	1.73
			7	45.9	68.7	3.9	6.5	5.61
			8	35.1	32.4	3.5	2.3	1.99
			9	9.1	10.4	1.65	0.07	0.06
	3	5.86	1	144.1	127.5	5.67	57.1	49.30
	4	3.19	1	95.1	94.2	4	35	30.22
	5	3.05	1	42.3	40.4	3.2	2.7	2.33
			2	82.2	95.9	3.8	19.8	17.10
2	6	3.15	1	42.3	43.2	3.2	3.6	3.11
	7	4.38	1	7.11	92.6	4.6	16.3	14.07
			2	105.5	74.6	5.5	22.3	19.25

Parcelle 1 Pluie a					
Profil	Av pluie a		Ap. pluie a		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	0.4	0.612	14.8	22.64	1.10
5-15	1.4	2.184	14.6	22.78	2.13
15-25	2.3	3.68	5.8	9.28	1.31
25-35	5.9	9.44	9.381		0.28
35-45					
45-55	Lame inf. Total				4.82

Parcelle 1 Pluie b					
Profil	av pluie b		ap. pluie b		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	5.2	7.956	12.6	19.28	0.57
5-15	7.6	11.86	10.1	15.76	0.76
15-25	7.6	12.16	8.3	13.28	0.25
25-35	7.8	12.48	12.48		0.06
35-45					
45-55	Lame inf. Total				1.63

Parcelle 1 Pluie c					
Profil	av pluie c		ap. pluie c		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	12.8	19.58	16.4	25.09	0.28
5-15	13.3	20.75	15	23.4	0.41
15-25	12.8	20.48	13.5	21.6	0.19
25-35	12.2	19.52	19.52		0.06
35-45					
45-55	Lame inf. Total				0.93

Parcelle 1 Pluie d					
Profil	av pluie d		ap. pluie d		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	8.1	12.39	15.6	23.87	0.57
5-15	9.5	14.82	13.7	21.37	0.90
15-25	10.4	16.64	12.3	19.68	0.48
25-35	11.8	18.88	13.1	20.96	0.26
35-45					0.10
45-55	Lame inf. totale				2.31

Parcelle 2 Pluie a					
Profil	Av pluie a		Ap. pluie a		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	0.6	0.9	18.5	28.31	1.37
5-15	1.2	1.8	16.4	25.26	2.54
15-25	2.8	4.4	15.7	24.65	2.18
25-35	7.1	10.8	14.8	22.5	1.60
35-45	4.4	6.7			0.58
45-55	Lame inf. Total				8.27

Parcelle 2 Pluie b					
Profil	Av pluie b		Ap. pluie b		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	7.4	11.3	17.6	26.93	0.78
5-15	10	15.4	17.4	26.8	1.35
15-25	10.7	16.8	20.1	31.56	1.31
25-35	11.3	17.7	13.1	19.91	0.85
35-45					0.11
45-55	Lame inf. Total				4.39

Parcelle 2 Pluie c					
Profil	Av pluie c		Ap. pluie c		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	13.8	21.1	20.4	31.21	0.50
5-15	13.3	20.5	19.4	29.88	0.97
15-25	14.3	22.5	16.9	26.53	0.67
25-35	17	26.7	19.9	31.24	0.43
35-45	17.5	26.8	19.9	30.45	0.23
45-55	16.2	24.3	17	25.5	0.18
55-65	12.8	19.2	12.8	19.2	0.06
	Lame inf. totale				3.06

Parcelle 3 Pluie a					
Profil	Av pluie a		Ap. pluie a		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	1	1.49	13.5	20.1	0.93
5-15	1.9	2.85	14.4	21.6	1.87
15-25	2.8	4.28	14.8	22.6	1.86
25-35			16.2	25.3	?
35-45			14.8	22.8	?
45-55			14.2	21.7	?
55-65			13.7	21	?
65-75			14.7	22.5	?

Parcelle 3 Pluie b					
Profil	Av pluie b		Ap. pluie b		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	9	13.4	18.3	27.3	0.69
5-15	10	15	15.7	23.6	1.12
15-25	10.6	16.2	16.9	25.9	0.91
25-35	10.4	16.2	14.3	22.3	0.79
35-45	10.8	16.6	15.6	24	0.67
45-55	12.4	19	12.4	29	0.37
	Lame inf. Total				4.55

Parcelle 3 Pluie c					
Profil	Av pluie c		Ap. pluie c		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5					
5-15	11	16.4	15.8	23.5	0.36
15-25	9.9	14.9	15.8	23.7	0.80
25-35	12.7	19.4	18.4	28.2	0.88
35-45	13	20.3	16.6	25.9	0.72
45-55	12.9	19.9	16.1	24.8	0.53
55-65	12.9	19.9	14.7	22.6	0.39
65-75	13.4	20.6			0.14
	Lame inf. Total				3.80

Parcelle 1 Pluie e					
Profil	av pluie e		ap. pluie e		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	13.7	20.96	15.9	24.33	0.17
5-15	14.7	22.93	16.1	25.12	0.18
15-25	13	20.8	17.7	28.32	0.59
25-35	13.3	21.28	16.3	26.08	0.59
35-45			13.8	22.08	0.31
45-55			13.4	21.44	0.08
65-75					0.04
Lame inf. totale					1.96

Parcelle 2 Pluie d					
Profil	Av pluie d		Ap. pluie d		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	9.1	13.9	16.2	24.79	0.54
5-15	12.3	18.9	14.9	22.95	0.74
15-25	13	20.4	13.1	20.57	0.21
25-35	14.5	22.8	?	?	?
35-45	16.1	24.6	?	?	?
45-55	15.1	22.7			
Lame inf. total artiel					1.49

Parcelle 2 Pluie e					
Profil	Av. pluie e		Ap. pluie e		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	15.1	23.1	19.2	29.38	0.31
5-15	14.1	21.7	19	29.26	0.69
15-25	15.8	24.8	19.8	31.09	0.69
25-35	14.9	23.4	19.6	30.77	0.68
35-45	14.8	22.5	22.5	34.2	0.95
45-55	15.2	22.8	15.2	22.8	0.59
55-65	Lame inf. totale				3.92

Parcelle 3 Pluie d					
Profil	Av pluie d		Ap. pluie d		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	9.4	14	20.2	30.1	0.80
5-15	10	15	17.4	26.1	1.36
15-25	13.3	20.3	16	24.5	0.76
25-35	12.8	20	18.4	28.7	0.64
35-45	12.9	19.9	19.4	29.9	0.94
45-55	14.7	22.6	18.6	28.6	0.80
65-75	13.3	20.5	13.3	20.5	0.30
Lame inf. Total					5.61

Parcelle 3 Pluie e					
Profil	Av. pluie e		Ap. pluie e		Lame inf cm
	Hp	Hv	Hp	Hv	
0 - 5	14.3	21.3	14.6	21.8	0.02
5-15	11.4	17.1	16.4	24.6	0.40
15-25	14	21.4	16.8	25.7	0.59
25-35	14.4	22.5	17.5	27.3	0.46
35-45	14.3	22	15.4	23.7	0.33
45-55	12.1	18.6	17.6	27.1	0.51
55-65	11	16.9	13.7	21.1	0.63
65-75	11	16.9	13.7	21.1	0.42
Lame inf. Total					3.35

ANNEXE 2

La méthode gravimétrique est utilisée pour :

- déterminer des conditions hydriques initiales et finales de la parcelle de simulation pour chaque averse du protocole de pluie,
- étudier la variabilité spatiale des stocks hydriques de part et d'autre de la haie vive.

Méthode de calcul :

- L'humidité pondérale est obtenue à partir de la formule :

$$Hp = (Pf - Ps) / Ps$$

Hp : teneur en eau pondérale en g

Pf : poids humide de l'échantillon en g.

Ps : poids sec de l'échantillon en g

- L'humidité volumique est égale à :

$$Hv = (Pf - Ps) / Ps * Da = Hp * Da$$

Hv : teneur en eau volumique en cm³

Da : densité apparente sèche

- le stock hydrique d'une tranche de sol d'épaisseur (Z cm) est obtenue ainsi :

$$S = Hv * Z * 10$$

S : stock d'eau en mm

Z * 10 : épaisseur du sol en cm

ANNEXE 3

Tableau annexe 3.1 : analyse statistique de la pluviométrie annuelle de 1932 à 1992 : meilleur ajustement possible d'une loi de distribution « dix lois » (ORSTOM).

	PEAR 5	GOODR	FRECH	GAMA	FUIT E	POLY	GAUS	GUM	GUM;M	GALT ₀	PEAR3
Moye..	771.2	770.2	800.6	77.4	769.8	769.8	769.8	778.2	769.8	770.9	769.8
Média.	747.4	766.4	728.4	746.0	759.6	756.8	769.8	743.3	741.0	753.2	758.7
Mode	703.4	769.3	636.3	698.3	739.1	750.9	769.8	682.6	630.9	718.7	736.5
C.vari.	0.169	0.223	0.375	0.248	0.230	0.228	0.226	0.273	0.228	0.241	0.230
Test	9.354	3.265	23.486	10.32	4.658	5.825	3.019	12.774	26.429	6.887	4.315

Tableau annexe 3.2 : Répartition mensuelle des indices de WISCHMEIER à Keur Dianko : 1983 à 1988 (Extrait in DACOSTA, 1992)

Année	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Total annuel
1983	0.00	7.25	82.87	50.17	0.00	140.29
1984	37.46	21.27	30.92	3.21	0.00	92.86
1985	37.39	146.30	100.35	43.71	5.98	333.73
1986	2.65	35.93	153.32	155.27	11.47	358.64
1987	44.55	48.35	80.17	9.22	2.44	182.83
1988	10.10	184.89	183.41	48.73	17.60	424.73
Total	132.25	421.99	631.04	310.31	37.49	1533.06
Moyenne	22.04	70.33	105.17	51.72	6.25	255.51
%	8.63	27.53	41.16	20.24	2.45	100.00
% cumulé	8.63	36.15	77.31	97.55	100.00	

ANNEXE 4

Tableau annexe 4 : Liste des espèces ligneuses inventoriées dans les terroirs villageois de Keur Dianko- Sonkorong - Ndiarguène

Espèces ligneuses (BERHAUT.J., 1971-1979)	Numéros (LEBRUN J.P., 1973, LEBRUN, STORK, - 1992)
Acacia macostachya REICHENB. ex BENTH.	15
Acacia Seyal DeL.	19
Adansonia digitata L.	33
Albizia chevalieri HARMS IN ENGL.	70
Annona senegalensis PERS.	135
Anogeissus leiocarpus GUILL. et PERR.	136
Azadirachta indica A.JUSS.	2087
Baissea multiflora A. DC.	195
Bombax costatum PELLGRIN et Vuillet.	228
Cassia sieberiana DC.	325
Combretum glutinosum PERR. ex DC.	436
Combretum lecardii ENGL. et DIELS	438
Combretum micranthum G. DON.	439
Combretum nigricans LEPR. EX GUILL. et PERS	442
Commiphora africana ENGL. in DC.	462
Cordyla pinnata (LEPR. EX A.RICH) MILNE-RED HEAD	476
Detarium microcarpum GUILL et PERR.	639
Dichrostachys glomerata CHIOV.	643
Diospyros mespiliformis HOCHST. ex A. DC.	685
Feretia apodanthera DEL.	840
Ficus glumosa DEL.	851
Ficus gnaphalocarpa STEUD.	862
Gardenia tertinafolia K.SCHUM	903
Grewia lasiodiscus K.SCHUM.	933
Guiera senegalensis J.GMEL.	939
Heeria insignis O.KTZE	1423
Hexalobus monopetalus ENGL. et DIELS	983
Hymenocardia acida TUL.	1018
Icacina senegalensis A.JUSS.	1037
Lannea acida A. RICH.	1165
Lannea microcarpa ENGL.	1167
Maerua angolensis DC.	1261
Mitragyna inermis O.KTZE	1327
Ostryoderris stuhlmannii DUMM.	2061
Parinari macrophylla SABINE	1462
Parkia biglobosa BENTH. in HOOK.	1463
Pavetta cinereifolia BERHAUT	1472
Piliostigma reticulatum DC.HOCHST	1526
Piliostigma thoningii MILNE-RED HEAD	1527
Prosopis africana TAUB. In ENGL. et PERR	1573
Pterocarpus erinaceus POIR.	1591
Sclerocarya birrea HOCHST.	1765
Securidaca longipedunculata FRES.	1771
Securinea virosa BAIL.	1772
Sterculia setigera DEL.	1853
Stereospermum kuntianum CHAM.	1855
Strophanthus sarmentosus DC.	1874
Strychnos spinosa LAM.	1879
Tamarindus indica L.	1896
Terminalia avicennoides GUILL. et PERR.	1925
Terminalia macroptera GUILL et PERR	1928
Vitex doniana SWEET	2045
Ziziphus mauritiana LAM.	2078
Ziziphus mucronata WILLD.	2079

Liste des espèces caractéristiques des groupes floristiques dans l'analyse globale.

Groupe 1 (GF1)

1327 : *Mitragina inermis**
136 : *Anogeissus leiocarpus*
1463 : *Parkia biglobosa*
1527 : *Piliostigma thoningii*
1765 : *Sclerocarya birrea*
19 : *Acacia seyal**
1925 : *Terminalia avicennoides*
1928 : *Terminalia macroptera**
2045 : *Vitex doniana*
325 : *Cassia sieberiana*
438 : *Combretum lecardii*
639 : *Detarium microcarpum*
70 : *Albizzia chevalierii*
851 : *Ficus glumosa*
862 : *Ficus gnafalocarpa*

Groupe 2 (GF2)

1423 : *Parkia biglobosa**
135 : *Annona senegalensis*
1462 : *Parinari macrophylla*
1573 : *Prosopis africana*
1896 : *Tamarindus indica*
2078 : *Ziziphus mauritiana**
685 : *Diospyros mespiliformis*

Dernier groupe (GF3 +GF4)

1018 : *Hymenocardia acida*
1165 : *Lannea acida*
1167 : *Lannea microcarpa*
1261 : *Maerua angolensis*
1423 : *Heeria insignis*
1472 : *Pavetta cinereifolia*
15 : *Acacia macrostachia*
1591 : *Pterocarpus erinaceus*
1772 : *Securinea virosa*
1853 : *Sterculia setigera*
1855 : *Stereospermum Kuntianum*
1874 : *Strophanthus sarmantosus*
1879 : *Strychnos spinosa*
195 : *Baissea multiflora*
2061 : *Ostrya dennis stuhlmannii*
2079 : *Ziziphus micronata*
228 : *Bombax cotatum*
436 : *Combretum glutinosum**
439 : *Combretum micranthum*
442 : *Combretum nigricans**
462 : *Commiphora africana*
476 : *Cordia pinnata*
643 : *Dichrostachys glomerata*
840 : *Feretia apodanthera**
933 : *Grévia lasiodiscus*
939 : *Guiera senegalensis**

* Les principales espèces dans les différents groupes floristiques

Liste des espèces caractéristiques des groupes dans l'analyse partielle.

Groupe 3 (GF3)

1037 : *Ipacina* *senegalensis*~
1327 : *Mitragyna inermis*
135 : *annona senegalensi*
1463 : *Parkia biglobosa*
1526 : *Piliostigma reticulatum*
1527 : *Piliostigma thonigii*
1573 : *Prosopis africana*
1765 : *Sclerocarya birrea*
1771 : *Securidaca longipedunculata*
1772 : *Securinega virosa*
1896 : *Tamarindus indica*
19 *Acacia seyal*
1925 : *Terminalia avicennoides*
1928 : *Terminalia macroptera*
2078 : *Ziziphus mauritiana*
2087 : *Azadirachta indica*
33 *Adansonia digitata*
438 : *Combretum lecardii*
476 : *Cordia pinnata*~
685 : *Diopyros mespiliformis*
70 : *Albizia chevalierii*
851 : *Ficus glumosa*
862 : *Ficus gnafalocarpa*
903 : *Gardenia ternifolia*
939 *Guiera senegalensis*~
983 : *Hexalobus monopetalus*

Groupe 4 (GF4)

1018 : *Hymenocardia acida*
1423 : *Heeria insignis*
15 : *Acacia macrostachya*~
1591 : *Pterocarpus erinaceus*~
1853 : *Sterculia setigera*
1855 : *Stereospermum Kuntianum*
1874 : *Strophanthus sarmantosus*
1879 : *Strychnos spinosa*
195 : *Baissea multiflora*
2045 : *Vitex doniana*
2061 : *Ostrya dennis stuhlmannii*
2079 : *Ziziphus mucronata*
228 : *Bombax costatum*~
325 : *Cassia sieberiana*
436 : *Combretum glutinosum*~
439 : *Combretum micranthum*
442 : *Combretum nigricans*~
462 : *Commiphora africana*
639 : *Detarium microcarpum*
643 : *Dichostachys glomerata*
840 : *Feretia apodanthera*~
933 : *Grewia lasiodiscus*

ANNEXE 5

Effet de la mise en défens sur la richesse floristique de la strate herbacée.

Comparaison des listes floristique entre les parcelles en défens (D) et témoin (T)

Tableau 3-1 : Effet de la mise en défens sur la composition floristique de la végétation herbacée dans l'unité du plateau cuirassé de Sonkorong

Noms des espèces	Fac 1		Fac 2		Fac 3		Fac 4		Famille
	D	T	D	T	D	T	D	T	
<i>Spermacos stachydea</i>	+	+	+	-	+	-	+	+	Rubiacee
<i>Justicia kotschy</i>	+	+	+	+	+	+	-	-	Acanthacee
<i>Indigofera stenophylla</i>	+	+	-	+	+	+	+	+	Fabacee
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	+	-	+	+	-	-	+	+	Poacee
<i>Tephrosia pedicellata</i>	+	+	+	+	+	-	+	+	Fabacee
<i>Eragrostis perbella</i>	+	+	+	+	-	-	+	+	Poacee
<i>Elytrophorus spicatus</i>	+	-	-	+	-	-	+	+	Poacee
<i>Setaria pallidifusca</i>	+	-	-	+	-	-	-	+	Poacee
<i>Hibiscus asper</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	Malvacee
<i>Cassia nigricans</i>	+	+	+	-	+	-	+	+	Caesalpiniee
<i>Asparagus pauli-guilemi</i>	+	-	+	+	-	-	+	+	Liliacee
<i>Pandiana heudelotii</i>	+	-	+	+	+	-	+	+	Amaranthacee
<i>Ipomea criocarpa</i>	+	+	-	+	-	+	+	-	Convolvulacee
<i>Indigofera dendroides</i>	+	-	+	-	+	-	-	-	Fabacee
<i>Mukia maderaspatana</i>	+	-	+	+	+	+	-	+	Cucurbitacee
<i>Chloris gayana</i>	+	-	+	+	-	-	-	-	Poacee
<i>Digitaria exilis</i>	+	+	-	+	-	-	-	-	Poacee
<i>Cassia obtusifolia</i>	+	-	-	+	-	-	-	+	Caesalpiniee
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	+	-	-	+	-	-	+	-	Poacee
<i>Indigofera pilosa</i>	+	-	-	-	-	+	-	+	Fabacee
<i>Cyphostemma adenocaulis</i>	+	-	-	-	-	-	-	+	Ampelidacee
<i>Ipomea argentea</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	Convolvulacee
<i>Tephrosia bracteolata</i>	+	-	+	-	+	-	+	-	Fabacee
<i>Euphorbia macrophylla</i>	+	-	+	-	-	-	+	+	Euphorbiacee
<i>Crotalaria macrocalyx</i>	+	-	+	+	+	+	-	-	Fabacee
<i>Triumfetta pentandra</i>	+	-	+	+	-	-	+	+	Malvacee
<i>Waltheria indica</i>	+	+	+	-	-	-	+	+	Sterculiacee
<i>Sida alba</i>	-	+	+	-	+	+	+	+	Malvacee
<i>Micrococca mercurialis</i>	-	+	-	-	+	-	-	+	Euphorbiacee
<i>Merremia pinnata</i>	-	+	+	+	-	-	-	-	Convolvulacee
<i>Spermacos compressa</i>	-	+	+	+	-	-	-	-	Rubiacee
<i>Indigofera oblongifolia</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	Fabacee
<i>Panicum lactum</i>	-	+	+	+	+	+	+	+	Poacee
<i>Indigofera terminalis</i>	-	+	+	-	-	+	-	-	Fabacee
<i>Polycarpea ciliaris</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	Caryophyllacee
<i>Vigna filiculis</i>	-	+	+	+	+	-	+	-	Fabacee
<i>Striga hermonthica</i>	-	+	-	-	-	-	-	+	Rubiacee
<i>Microchloa indica</i>	-	+	+	+	-	-	+	+	Poacee
<i>Blepharis maderaspatensis</i>	-	+	+	-	-	-	+	+	Acanthacee
<i>Brachiaria laeta</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	Poacee
<i>Cissampelos mucronata</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	Menispermacee
<i>Commelina forskalaei</i>	-	-	+	-	+	-	-	+	Commelinacee
<i>Zehneria thwaitesii</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	Cucurbitacee
<i>Ipomea pileata</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	Convolvulacee
<i>Urginea altissima</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	Liliacee
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	-	-	+	-	+	+	-	-	Fabacee
<i>Achyranthes argentea</i>	-	-	+	+	-	-	+	-	Acanthacee
<i>Tephrosia linearis</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	Fabacee
<i>Merremia kentrocaulos</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	Convolvulacee

<i>Vigna venulosa</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	Fabacée
<i>Desmodium setigerum</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	Fabacée
<i>Indigofera hirsuta</i>	-	-	+	-	+	-	-	-	Fabacée
<i>Stylochiton hypogaeus</i>	-	-	-	+	-	-	+	+	Aracée
<i>Cissus vogelii</i>	-	-	+	+	-	-	+	-	Vitacée
<i>Andropogon pseudapricus</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	Poacée
<i>Sida cordifolia</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	Malvacée
<i>Wissadula amplissima</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	Malvacée
<i>Blainvillea gayana</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	Asteracée
<i>Tacca involocrata</i>	-	-	-	+	-	-	+	-	Taccacée
<i>Begonia rostrata</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	Begoniacée
<i>Cyperus diffusus</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	Cyperacée
<i>Fimbristylis exilis</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	Cyperacée
<i>Mitracarpus scaber</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	Rubiaceae
<i>Lepidagathis sericea</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	Acanthacée
<i>Euphorbia convolvuloides</i>	-	-	-	-	+	-	+	-	Euphorbiacée
<i>Cucumis melo var. agrestis</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	Cucurbitacée
<i>Sporobolus pectinellus</i>	-	-	-	-	+	+	-	-	Poacée
<i>Hackelochloa granularis</i>	-	-	-	-	+	+	-	-	Poacée
<i>Stylosanthes mucronata</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	Fabacée
<i>Cyperus maculatus</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	Cyperacée
<i>Indigofera geminata</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	Fabacée
<i>Scilla sudanica</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	Liliacée
<i>Sporobolus granularis</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	Poacée
<i>Digitaria velutina</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	Poacée
<i>Commelina umbellata</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	Commelinacée
<i>Crotalaria lathyroides</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	Fabacée
<i>Trichomeria macrocarpa</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	Cucurbitacée
<i>Cassia absus</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	Caesalpiniacée
Total	27	23	42	36	24	17	34	31	

ANNEXE 6

Caractéristiques physico-chimiques des sols du plateau cuirassé de Thyssé Kaymor après quatre ans de mise en défens.

Tableau annexe 6.1

Statut organique des sols de plateau de la toposéquence de Keur Djanko-Sonkorong

Ten. en élém.	Sol peu évolué gravillonnaire à faciès ferrugineux tropical lessivé								Lithosol d'érosion							
	Parcelle 1 (Faciès 1)				Parcelle 2 (Faciès 2)				Parcelle 3 (Faciès 3)				Parcelle 4 (Faciès 4)			
	Témoin		Protégée		Témoin		Protégée		Témoin		Protégée		Témoin		Protégée	
	Moy. n=6	CV% n=6	Moy. n=6	CV% n=6	Moy. n=6	CV% n=6	Moy. n=6	CV% n=6	Moy. n=6	CV% n=6	Moy. n=6	CV% n=6	Moy. n=6	CV% n=6	Moy. n=6	CV% n=6
C(% _o)	5.6 ± 0.72	12.3	6.7 ± 1.5	21.4	5.5 ± 0.9	15.8	6.44 ± 1	15.6	4.8 ± 0.66	13.2	4.8 ± 0.41	8.1	5.5 ± 0.5	8.7	6.4 ± 1.0	15.1
Nt(% _o)	0.51 ± 0.1	17.6	0.64 ± 0.1	16.8	0.5 ± 0.07	13.5	0.58 ± 1	17	0.46 ± 0.06	13.3	0.46 ± 0.06	12.1	0.51 ± 0.04	8.1	0.55 ± 0.06	11.2
C/N	10.9 ± 1.2	10.4	10.5 ± 1.2	10.9	10.9 ± 0.6	5.4	11.1 ± 0.78	6.7	10.5 ± 0.6	5.5	10.35 ± 0.73	6.8	10.7 ± 0.6	5.2	11.6 ± 1.2	9.9
Pt (ppm)	95.8 ± 15.5	15.4	96 ± 10.5	10.4	72 ± 15.8	21	91.5 ± 18.3	19	73.8 ± 7.8	10	91.33 ± 21.1	22	74.3 ± 14.1	18	71.2 ± 13.5	18

tableau annexe 6.2

Statut organique du sol peu évolué à faciès ferrugineux tropical à la parcelle n° 1

	Teneur des élé- ments	Echan- compo- site	Prises élémentaires du sol (Répétition)						Teneur moyen. M _{tx}	Coeffi- de va- ria. % (C.V.)
			1	2	3	4	5	6		
Témoin	C % _o	5.67	5.92	5.61	5.46	6.47	5.71	4.38	5.6 ± 0.72	12.3
	N % _o	0.55	0.60	0.55	0.52	0.61	0.44	0.38	0.51 ± 0.1	17.6
	C/N	10.3	9.9	10.2	10.5	10.6	13.0	11.5	10.95 ± 1.2	10.4
	Pt (ppm)	96	89	85	100	123	95	83	95.8 ± 15.5	15.4
proté- gée	C % _o	6.52	6.23	7.66	5.65	5.07	6.51	9.01	6.7 ± 1.5	21.4
	N % _o	0.58	0.54	0.69	0.53	0.61	0.64	0.82	0.64 ± 0.1	16.8
	C/N	11.2	11.5	11.1	10.7	8.3	10.2	11.0	10.46 ± 1.2	10.9
	Pt (ppm)	94	101	98	85	83	109	100	96 ± 10.5	10.4

Tableau annexe 6.3

Statut organique du sol peu évolué gravillonnaire à la parcelle n° 2

	Teneur des élé- ments	Echan- compo- site	Prises élémentaires du sol (Répétition)						Teneur moyen. Mtx	Coeffi- de va- ria. % (C.V.)
			1	2	3	4	5	6		
Témoin	C ‰	5.85	6.42	4.51	5.57	6.60	4.67	5.22	5.5 ±0.9	15.8
	N ‰	0.49	0.57	0.41	0.48	0.59	0.46	0.51	0.5 ±0.07	13.5
	C/N	11.9	11.3	11	11.6	11.2	10.2	10.2	10.9 ±0.6	5.4
	Pt (ppm)	72	99	58	77	71	59	68	72 ±15.8	21
proté- gée	C ‰	6.40	4.98	6.90	7.56	5.41	6.86	6.94	6.44 ±1	15.6
	N ‰	0.58	0.42	0.65	0.62	0.50	0.66	0.64	0.58 ±1	17
	C/N	11	11.9	10.6	12.2	10.8	10.4	10.8	11.1 ±0.78	6.7
	Pt (ppm)	96	110	110	82	68	99	80	91.5 ±18.3	19

tableau annexe 6.4

Statut organique du sol

Lithosolique d'érosion à la parcelle n° 3

	Teneur des élé- ments	Echan- compo- site	Prises élémentaires du sol (Répétition)						Teneur moyen. Mtx	Coeffi- de va- ria. % (C.V.)
			1	2	3	4	5	6		
Témoin	C ‰	4.68	4.35	4.26	4.68	4.86	6.01	4.62	4.8 ±0.66	13.2
	N ‰	0.45	0.40	0.39	0.49	0.49	0.55	0.44	0.46 ±0.064	13.3
	C/N	10.4	10.9	10.9	9.6	9.9	10.9	10.5	10.45 ±0.60	5.5
	Pt (ppm)	69	74	70	85	73	78	63	73.8 ±7.8	10.0
proté- gée	C ‰	4.60	5.11	4.21	4.70	4.86	4.58	5.31	4.8 ±0.41	8.1
	N ‰	0.46	0.49	0.41	0.44	0.52	0.40	0.53	0.46 ±0.06	12.1
	C/N	10.0	10.4	10.3	10.7	9.3	11.4	10.0	10.35 ±0.73	6.8
	Pt (ppm)	88	83	76	131	85	81	92	91.33 ±21.1	22

Tableau annexe 6.5

Statut organique du sol lithosolique d'érosion à la parcelle n° 4 (S)

	Teneur des élé- ments	Echan- compo- site	Prises élémentaires du sol (Répétition)						Teneur moyen. M±x	Coeffi- de va- ria. % (C.V.)
			1	2	3	4	5	6		
Témoin	C ‰	5.33	5.78	5.82	4.67	5.35	5.34	5.97	5.5 ±0.5	8.7
	N ‰	0.51	0.54	0.54	0.43	0.53	0.52	0.51	0.51 ±0.04	8.1
	C/N	10.5	10.7	10.8	10.9	10.1	10.3	11.7	10.75 ±0.58	5.2
	Pt (ppm)	71	73	70	64	101	71	67	74.3 ±14.1	18.1
proté- gée	C ‰	6.48	5.53	6.76	5.22	7.82	6.91	6.07	6.4 ±1.0	15.1
	N ‰	0.61	0.51	0.51	0.52	0.67	0.56	0.53	0.55 ±0.06	11.2
	C/N	10.6	10.8	13.3	10.0	11.7	12.3	11.5	11.6 ±1.2	9.9
	Pt (ppm)	70	57	70	62	92	80	66	71.16 ±13.5	18

Tableau annexe 6.6.

Variabilité intraparcellaire et interparcellaire de la teneur du carbone (‰) sur sols du plateau résiduel de Keur Djanko - Sonkorong (Horizon : 0 - 15 cm)

Parcelles		Echan- moyen (‰) C	Prises élémentaires du sol (Répétition)						Teneur moyen C‰	Coeffi- de va- ria. % (C.V.)
			1	2	3	4	5	6		
parcelle n°1 (niveau moyen)	Témoin	5.67	5.92	5.61	5.46	6.47	5.71	4.38	5.6 ±0.72	12.3
	protégée	6.52	6.23	7.66	5.65	5.07	6.51	9.01	6.7 ±1.5	21.4
parcelle n° 2 (niveau infér.)	Témoin	5.85	6.42	4.51	5.57	6.60	4.67	5.22	5.5 ±0.9	15.8
	protégée	6.40	4.98	6.90	7.56	5.41	6.86	6.94	6.44 ±1	15.6
parcelle n° 3 (niveau "bord")	Témoin	4.68	4.35	4.26	4.68	4.86	6.01	4.62	4.8 ±0.66	13.2
	protégée	4.60	5.11	4.21	4.70	4.86	4.58	5.31	4.8 ±0.41	8.1
parcelle n° 4 (niveau supér.)	Témoin	5.33	5.78	5.82	4.67	5.35	5.34	5.97	5.5 ±0.5	8.7
	protégée	6.48	5.53	6.76	5.22	7.82	6.91	6.07	6.4 ±1.0	15.1

Tableau 7.2 : Résultats comparés du ruissellement et des pertes en fine entre les parcelles protégée et témoin (1992)

Date	Pluie 1m	Pluie sol	I15mn	Rusa	Défens	Témoin	Défens	Témoin	Défens	Témoin
	mm	mm	mm/h		Lr mm	Lr mm	MES mg/l	MES mg/l	kg/ha	kg/ha
30/05/1992	71.3	81.5			9.2	17			-	-
07/06/1992	35.5	39			2.2	11.6			-	-
27/06/1992	18	19			0.4	4.4			-	-
29/06/1992	28.7	29.9	62.4	16.8	6.2	16			-	-
10/07/1992	5.4	5.8	11.6	0.49	0	0				
11/07/1992	1.3	1.4			0	0				
14/07/1992	8.2	9.9	23.6	1.77	0	1.6				
15/07/1992	8.2	9.9	32	1.9	0	1.6				
16/07/1992	50.6	53.4	33	3.32	7	19.6				
17/07/1992	4.7	5.3	46.8	8.21	0	1.2				-
23/07/1992	3.9	4.3			0	0				
26/07/1992	0.7	0.8			0	0				
28/07/1992	0.9	1.3			0	0				
29/07/1992	46	46.9	51.6	17.7	3.2	14.2			-	-
01/08/1992	0.9	1.6			0	0				
02/08/1992	42.5	44.8	37.6	7.4	7.8	16	1769	2393	138.0	382.9
11/08/1992	22.8	24	50.8	7.88	2	8.8	637	1726	12.7	151.9
14/08/1992	15.2	16.5	27.2	3.12	0.2	2.4	128	575	0.3	13.8
15/08/1992	0.2	0.6			0	0				
17/08/1992	2.1	2.2			0	0				
18/08/1992	3.1	3.9	10	0.24	0	0				
25/08/1992	8.2	9.8	10	0.57	0	0				
26/08/1992	0.8	1.2			0	0				
29/08/1992	9.4	9.6	32.8	2.23	0	1		768		7.7
30/08/1992	8.8	10.6	28	2.03	0	0.6		500		3.0
31/08/1992	15.1	16.3	26	2.37	0.6	3	426	780	2.6	23.4
01/09/1992	19.5	20.5	24.4	2.95	0.6	3.2	731	1362	4.4	43.6
02/09/1992	4.1	4.9	9.2	0.24	0	0				
05/09/1992	0	0.2			0	0				
08/09/1992	13.9	15.2	26	2.73	0	1.2		334		4.0
13/09/1992	5.7	6.3	12	0.49	0	0				
17/09/1992	59.4	65	58.4	30.7	5.6	20	54	40	3.0	8.0
18/09/1992	7.7	8.4	16	0.15	0	0.4				-
21/09/1992	0.4	0.4			0	0				
23/09/1992	9.5	10.6	24	2.02	0	0.22		2031		4.5
25/09/1992	2.7	3.2	10	0.18	0	0				
01/10/1992	18.7	20.6	36.8	5.43	0	2.6		1094		28.4
03/10/1992	24.2	25.5	14	0.32	1.2	2.8	200	442	2.4	12.4
07/10/1992	9.6	11	16	2.9	0	0.4		367		1.5
Somme	588	641			46.2	149.82	somme partielle		163.34	685

ANNEXE 7

Trois années de mesure de ruissellement et de particules fines en suspension sous pluies naturelles dans des parcelles de 50 m² de superficie en défens et témoin sur le plateau cuirassé de Thyssé Kaymor (1991 à 1993)

Tableau annexe 7.1 : Résultats comparés du ruissellement et des pertes en fine entre les parcelles protégée et témoin (1991)

Date	Pluie 1m	Pluie sol	Imax	Rusa	Défens		Témoin		Défens
07/07/1991	0.6								Lr
09/09/1991	0.6								
10/07/1991	0.7	0.8							
10/07/1991	32.9	36	62.5	16.97	90	0	290	0	1.8
12/07/1991	34	35.1	92	35.17	660	0	790	0	13.2
19/07/1991	2	2.4							0
22/07/1991	38.9	39.1	45.7	18.18	310	0	800	10	6.2
22/07/1991	9.5	8.7	28	1.45	150	0	250	0	3
26/07/1991	7.6	8			6	0	20	0	0.12
28/07/1991	0.8	1							0
01/08/1991	3	3.6	1.6	0.04					0
01/08/1991	5.5	7.1	5.2	0.25					0
07/08/1991	2.4	3.2							0
10/08/1991	3.5	4.4		0.09					0
13/08/1991	3.5	4	4.4	0.15					0
13/08/1991	37	37.5	44	22.14	90	0	800	10	1.8
16/08/1991	15	16.9	54.8	7.2	200	0	450	0	4
22/08/1991	19	25	48	10.72	210	0	66	0	4.2
22/08/1991	3	4		0.28					0
25/08/1991	21.5	22	62.7	14.66	350	0	780	0	7
25/08/1991	5.5	5.5	20	0.84					0
01/09/1991	45.5	45.6	32	13.53	200	0	800	10	4
05/09/1991	4	4.9	14.1	0.4	0	0	10	0	0
08/09/1991	3	3.2	11.8	0.24	0	0	0	0	0
09/09/1991	38.2	39.1	73	22.76	330	0	800	10	6.6
14/09/1991	3.5	4							0
19/09/1991	16.5	16.6	42	8.29	20	0	350	0	0.4
27/09/1991	29	30	48	12.68	10		340	0	0.2
07/10/1991	8	8.9	6.9	0.35	0	0	0	0	0
09/10/1991	15	16.4	13.2	1.73	0	0	30	0	0
10/10/1991	48	50	78	29.79	280	0	800	200	5.6
19/10/1991	3	3.5	5.6	0.09	0	0	0	0	0

Tableau 7.3 : Résultats comparés du ruissellement et des pertes en fine entre les parcelles protégée et témoin (1993)

Date	Pluie 1m	Pluie sol	I15mn	Rusa	Défens	Témoin	Défens	Témoin	Défens	Témoin
	mm	mm	mm/h		Lr mm	Lr mm	MES mg/l	MES mg/l	kg/ha	kg/ha
06/06/1993	2.5									
27/06/1993	0.5									
29/06/1993	43.2	45.9			2.6	16.2	1409	1641	36.6	265.8
30/06/1993	17.6	19.9			0.6	8	951	1977	5.7	158.2
07/07/1993	8.9	11			0	2		4035	0.0	80.7
09/07/1993	48.4	53.4			7	17	1419	6893	99.3	1171.8
10/07/1993	0				0	0			0.0	0.0
13/07/1993	8.5	9.9			0	2		1419	0.0	28.4
17/07/1993	29.9	32			0.6	11.4	743	887	4.5	101.1
21/07/1993	44.3	46.5			4	16	655	1138	26.2	182.1
24/07/1993	3.3	3.6			0	0			0.0	0.0
25/07/1993	51.6	57.2			8.4	16.4	426	587	35.8	96.3
27/07/1993	14.5	17			0	3.8	0	140	0.0	5.3
28/07/1993	2.6	3.3			0	0			0.0	0.0
30/07/1993	2.6	3.3			0	0			0.0	0.0
31/07/1993	13.4	15.5			3.6	6			0.0	0.0
04/08/1993	77.3	80			15.2	22	510	874	77.5	192.3
05/08/1993	62.4	68			12	20	275	1544	33.0	308.8
08/08/1993	0.2	0.8			0	0			0.0	0.0
11/08/1993	15.4	17.2			1.6	3			*	*
12/08/1993	62	63.2			9.8	19.8	437	1451	42.8	287.3
16/08/1993	0	0			0	0			0.0	0.0
16/08/1993	6.5	7.3			0	0			0.0	0.0
17/08/1993	8.8	11			0	1.2	0	370	0.0	4.4
20/08/1993	50.4	54.1			2	20	455	640	9.1	128.0
26/08/1993	1.1	1.6			0	0			0.0	0.0
28/08/1993	0	0			0	0			0.0	0.0
29/08/1993	0	0.2			0	0			0.0	0.0
31/08/1993	20.4	23.3			0	3	0	841	0.0	25.2
02/09/1993	3.7	5.3			0	0			0.0	0.0
03/09/1993	0.5	1.1			0	0			0.0	0.0
05/09/1993	7	7.8			0	1.26	0	209	0.0	2.6
07/09/1993	0	0.2			0	0			0.0	0.0
09/09/1993	7.6	8.6			0	3.6	0	277	0.0	10.0
10/09/1993	27.9	30.8			0	11.4	0	7934	0.0	904.5
15/09/1993	11	11.9			0	0			0.0	0.0
21/09/1993	2	2.5			0	0			0.0	0.0
22/09/1993	1.5	2.6			0	0			0.0	0.0
24/09/1993	13	14			0	0			0.0	0.0
03/10/1993	3.3	4.3			0	0			0.0	0.0
04/10/1993	4.3	6.7			0	0			0.0	0.0
12/10/1993	3.3	4.3			0	0			0.0	0.0
26/10/1993	31.7	34.9			0	9.8	0	1373	0.0	134.6
27/10/1993	15.3	16.2			0	6.4			0.0	*
Somme	728	796			67.4	220.26	Somme partielle		370.6	4087.4

Tableau 7.4 : Lame ruissellée mesurée en 1990 dans les pièges à ruissellement implantés sur les principales unités géomorphologiques du bassin versant de Keur Dianko (S2)

Date	Pluie mm	IK mm	S2 mm	S3 mm
20/06/1990	11.7	0.0	0.0	0.0
27/06/1990	0.8	0.4	0.0	0.0
30/06/1990	10.2	0.3	0.0	0.0
05/07/1990	12.7	0.9	0.0	0.0
13/07/1990	7.1	0.2	0.0	0.0
15/07/1990	16.8	2.7	1.3	0.2
17/07/1990	52.0	7.2	16.6	3.8
20/07/1990	48.0	13.2	16.1	3.9
21/07/1990	0.4	37.1	0.0	0.0
22/07/1990	0.4	22.8	0.0	0.0
30/07/1990	10.6	0.4	0.0	0.0
06/08/1990	1.3	0.3	0.0	0.0
07/08/1990	0.6	1.0	0.0	0.0
08/08/1990	45.8	1.0	12.9	2.6
14/08/1990	25.5	2.3	4.8	1.0
15/08/1990	2.2	16.9	0.0	0.0
17/08/1990	44.0	7.0	13.2	2.9
21/08/1990	3.9	6.9	0.0	0.0
23/08/1990	4.5	4.0	0.0	0.0
24/08/1990	21.3	5.1	3.4	0.6
29/08/1990	9.0	2.2	0.0	0.0
30/08/1990	1.3	6.8	0.0	0.0
01/09/1990	1.5	3.0	0.0	0.0
04/09/1990	15.5	1.0	0.6	0.1
06/09/1990	2.5	6.1	0.0	0.0
10/09/1990	6.8	1.2	0.0	0.0
11/09/1990	0.9	4.8	0.0	0.0
13/09/1990	3.9	2.1	0.0	0.0
17/09/1990	30.0	0.8	6.5	1.3
02/10/1990	8.5	0.0	0.0	0.0
04/10/1990	3.6	3.1	0.0	0.0
06/10/1990	17.7	2.5	1.7	0.3
17/10/1990	9.0	0.1	0.0	0.0
18/10/1990	10.5	5.5	0.0	0.0
21/10/1990	1.5	3.6	0.0	0.0
25/10/1990	0.5	0.7	0.0	0.0

Date	Pluie		Talus				Yarane1				Yarane2			Ndiba		
	à 1m	à 0 m	1	2	9	10	3	4	11	12	5	6	13	7	8	14
7.7.91																
9.7.91																
10.7.91	0.7	0.8														
11.7.91	32.9	36	14.16		12.83	11	1.66	1.45	13.14	7.8	15.25	0.96	10.9	5.16	2.21	13.8
12.7.91	34	35.1	14.21	13	12.39	14	15	> 16	> 16	14.57	> 16	15.38	10.25	15.28	15	15
19.7.91	2	2.4														
22.7.91	38.9	39.1	> 16	> 16	> 16	> 16	15	15.69	14	13.64	15.5	15.5	10.95	10.38	2.72	10.58
23.7.91	9.3	8.7	2.22	4.35	12.62	1.29	0.68	6.15	1.14	1.14	1.55	1.43	1.02	1	0.62	1.6
26.7.91	7.6	8	4.16	0.3	0.38	0.2	0.34	1.58	0.38	0.4	0.2	0.35	1.02	0.91	0.12	1.5
28.7.91	0.8	1														
1.8.91	3.3	3.6														
2.8.91	6.5	7.1	1.22	2.23	0.5	0.4	0.38	4.12	2.34	0.4	0.22	6.38	6.8	0.5	0.45	1.02
7.8.91	2.4	3.2	0.12	1.4	0	0	0	1.2	1	0	0	1.3	1.08	0	0	0
10.8.91	3.9	4.4														
13.8.91	3.6	4										1.17	1.09	0.91		2.21
14.8.91	36.7	37.5	> 16	> 16	> 16	15	14.37	15	12.42	14.77	12.7	11.76	10.9	9.13	10.2	12.53
17.8.91	16.9	17.5	12.44	13	12.44	8.36	10.36	12.2	14.2	14.87	12.4	13.7	14	12	10.53	13.25
22.8.91	25.1	25.9	> 16	> 16	11.78	13.12	13.86	> 16	15.2	14.87	> 16	> 16	> 16	10.6	15	13.25
25.8.91	28.1	32.7	> 16	> 16	> 16	> 16	14.68	12.92	12.5	14	15.38	14.37	10.75	11.4	4	13.78
1.9.91	45.6	46.3	15	12.8	12.5	13.61	13.81	10.21	12.7	13	10.38	11.37	10.75	10.4	11	13.3
2.9.91	1.6	1.7														
4.9.91	2.5	3.5														
5.9.91	4.9	5.3	1.3		0.26	0.13	0.4	0.15	0.2	1		0.2	0.24	0.35		0.21
7.9.91																
8.9.91	3.2	3.3					0.15	0.96	0.36	0.6	0.7	0.5	0.9	0.66	0.2	0.14
9.9.91	38.6	39.1	15	11.74	11.42	12.84	14.4	13	12	11.46	10	11	10.88	10	12	11
14.9.91	4	4.1														
19.9.91	16.6	18.2	14.8	14.43	11.43	12	3.49	2.66	7	10.5	1.6	1.6	1.08	1.5	1.51	1.3
20.9.91	0.7	0.9														
27.9.91	29.4	30.4	15	14.67	11.44	14.45	11.65	12	6	10.39	10.54	11.6	10.58	10.16	1.7	2.17
7.10.91	8.9	9.8														
9.10.91	16.4	16.8	12	10	10.1	9.67	1.5	2.92	4.5	1.06	0.3		2.34	0.7	0.15	2.31
10.10.91	48.3	50.8	> 16	> 16	15.9	15.55	14.41	14.84	14	13.15	12.3	11.4	10	10.9	12.16	12.67
19.10.91	3.5	3.9														
20.10.91	1.2	1.6														

Tableau 7.5: Lame ruissellée mesurée en 1991 dans les pièges à ruissellement implantés sur les principales unités géomorphologiques du bassin versant de Keur Dianko (S2)

Date	Pluie mm	P1 	P2 	P3 	P4 	T1 	T2 	T3 	T4 	Y1 	Y2 	Y3 	N1 	N2 	N3
20/06/1990	11.7	1.2	1.4	-	-	-	0.6	-	-	0.0	-	-	0.2	-	-
27/06/1990	0.8	0.0	0.0	-	-	-	0.0	-	-	0.0	-	-	0.0	-	-
30/06/1990	10.2	1.4	0.7	-	-	-	9.3	-	-	0.1	-	-	1.0	-	-
05/07/1990	12.7	3.4	>	-	-	-	0.6	-	-	0.0	-	-	0.9	-	-
13/07/1990	7.1	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	-	0.0	-	-	0.0	-	-
15/07/1990	16.8	13.6	12.0	-	-	0.6	0.5	-	-	0.0	0.1	-	4.2	0.0	-
17/07/1990	52.0	>	>	-	-	>	>	-	-	>	>	-	>	>	-
20/07/1990	48.0	>	>	-	-	11.8	7.6	-	-	11.4	>	-	>	6.8	-
21/07/1990	0.4	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
22/07/1990	0.4	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
30/07/1990	10.6	0.7	3.4	-	-	2.6	0.4	-	-	0.0	0.4	-	0.4	0.0	-
06/08/1990	1.3	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
07/08/1990	0.6	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	-	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
08/08/1990	45.8	13.4	11.5	-	-	15.1	14.0	-	-	4.5	15.5	-	4.5	3.0	-
14/08/1990	25.5	12.0	11.0	-	-	15.0	13.0	-	-	0.0	15.0	-	1.4	0.3	-
15/08/1990	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17/08/1990	44.0	13.1	11.2	14.6	12.9	16.0	13.0	15.6	15.6	13.4	15.3	15.5	13.5	3.2	0.3
21/08/1990	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23/08/1990	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24/08/1990	21.3	13.0	11.4	?	12.7	13.0	3.5	2.2	15.3	0.2	15.0	15.8	0.9	0.4	0.0
29/08/1990	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30/08/1990	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01/09/1990	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
04/09/1990	15.5	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
06/09/1990	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10/09/1990	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11/09/1990	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13/09/1990	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17/09/1990	30.0	>	>	?	>	>	3.6	>	>	0.1	4.5	16.2	1.1	2.1	0.0
02/10/1990	8.5	1.2	4.9	0.0	1.7	1.8	0.2	0.9	1.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
04/10/1990	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
06/10/1990	17.7	>	10.9	>	6.4	7.0	3.8	11.0	>	0.0	1.0	2.0	0.7	0.3	0.0
17/10/1990	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18/10/1990	10.5	0.7	0.0	0.0	0.0	2.3	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
21/10/1990	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
25/10/1990	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(-) Piège non installé

(?) Relevé non disponible

(>) Seau débordé

P plateau Y Yarane

T talus N Ndiba

ANNEXE 8 : dispositif de mesure du ruissellement.



photo 12 : cuve pour mesurer les lames d'eau ruissellées dans la parcelle expérimentale.

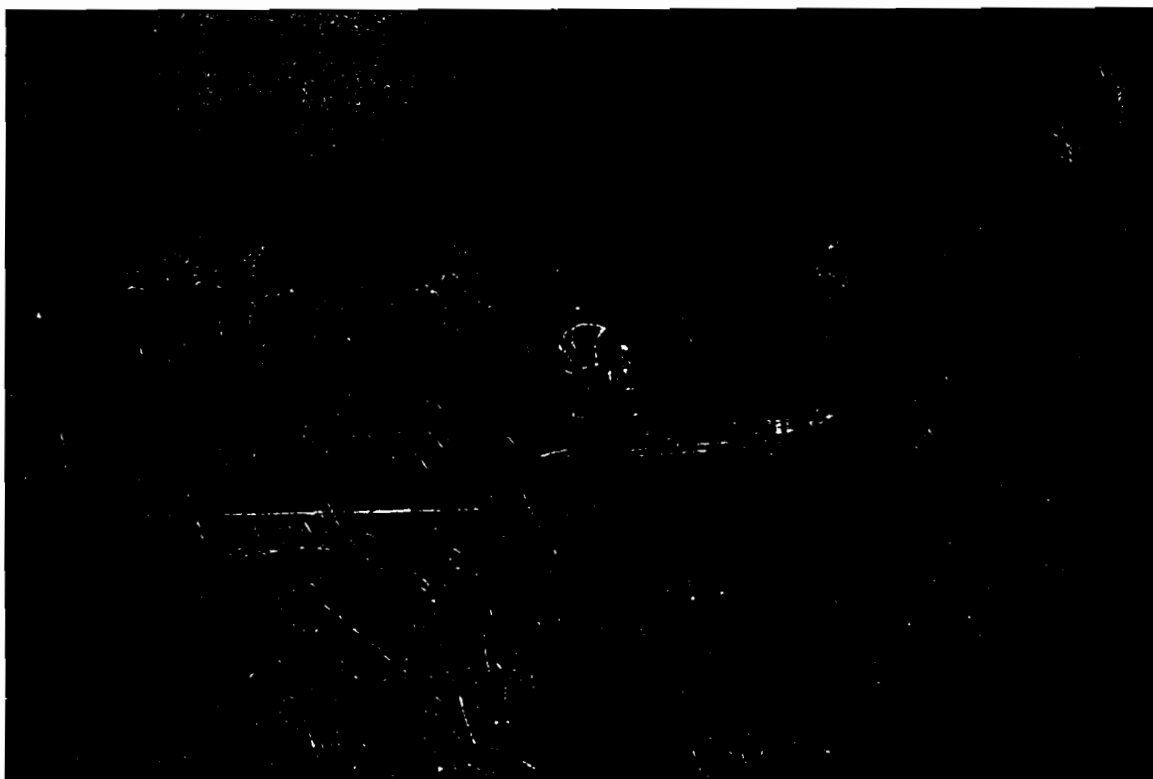


photo 13 : vue d'ensemble de la parcelle expérimentale de mesure de ruissellement sous pluies naturelles