THESE

Jean-Marc
d'HERBÈS
ME
NIG DEL
053

Présentée par

Eric DELABRE

Pour obtenir le titre de DOCTEUR
DE L'Université PIERRE et MARIE CURIE - PARIS VI

Spécialité : Ecologie

COORDINATION ROSELT / OSS
I.R.D.
MONTPELLIER
B.P. 34093
Cedex 05
FRANCE

CARACTERISATION ET EVOLUTION D'ECOSYSTEMES ANTHROPISES SAHELIENS : LES MILIEUX POST-CULTURAUX DU SUD-OUEST NIGERIEN.

Thèse soutenue le 22 Décembre 1998 devant le jury composé de :

Président :

M. Robert BARBAULT	Professeur, Université Pierre et Marie Curie, Paris

Rapporteurs :

M. Jean-Claude MENAUT	Directeur de recherche CNRS, Paris
M. James ARONSON	Directeur de recherche CNRS, Montpellier

Examinateurs :

M. Jean-Marc d'HERBES	Chargé de recherche, ORSTOM, Montpellier
M. Henri PUIG	Professeur UPS, Toulouse

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier les personnes suivantes qui m'ont aidé, chacun à leur manière, pour la réalisation de cette thèse :

- Monsieur **Jean-Claude MENAUT**, directeur de thèse, qui a bien voulu accepter de suivre mon travail de recherche ;
- Monsieur **Jean-Marc d'HERBES**, chercheur à l'ORSTOM, qui m'a tout d'abord accueilli à l'ORSTOM Niamey en tant que coopérant du service national. Il m'a initié à l'écologie et m'a permis d'apprécier l'environnement dans lequel j'évoluais d'une manière différente. Depuis 1992, nous avons toujours travaillé en étroite collaboration, que ce soit sur le terrain à Niamey ou pour le traitement des données et la rédaction en France ;
- Madame **Maud LOIREAU DELABRE**, ma partenaire tant dans ce travail que dans la vie. Nous avons souvent travaillé ensemble sur le terrain au Niger et certains de ses résultats ont permis d'avoir une approche plus globale de la jachère dans cet espace sahélien nigérien. De plus, en tant qu'épouse, elle a toujours su être à mes côtés et m'encourager à poursuivre, avec une confiance en moi très rassurante et stimulante ;
- Messieurs **Christian FLORET** et **Roger PONTANNIER**, ORSTOM et responsables du programme "Jachères en Afrique de l'ouest" pour leurs aides et leur participation financières à cette étude ;
- Monsieur **Luc ABBADIE** et toute son équipe de l'Ecole Normale Supérieure de Paris qui m'ont accueilli et aidé pour l'analyse de mes échantillons de sol et le traitement des résultats ;
- Madame **SYLVIE GALLES**, chercheuse à l'ORSTOM, qui m'a fourni une aide précieuse concernant les résultats de l'humidité des sols ;
- Monsieur **Antoine CORNET** et Monsieur **Edouard LE FLOC'H**, tous deux caractérisés par une extrême gentillesse et qui ont bien accepté de corriger les premiers jets de ce travail ;
- Monsieur **Robert BARBAULT**, qui m'a accepté en tant qu'étudiant et qui me permet de présenter ce travail ;
- Monsieur **SANI DAOUDA**, de l'Institut des Radio-Isotopes de Niamey, qui a assuré l'installation des tubes neutroniques et le suivi des mesures ;
- Monsieur **Alain GERBE** et toute l'équipe de l'IARE qui m'ont accueilli très chaleureusement à mon retour du Niger
- L'ensemble des **techniciens nigériens** avec lesquels j'ai travaillé pendant 3 années sur le terrain. Une confiance réciproque s'était installée et dans l'ensemble, ils ont tous effectué des relevés de terrain pédestres et difficiles, avec efficacité et bonne humeur. Merci à vous HANGO, SOUMANA, IDE, BOUBAKAR, ABDOU, DAMIEN..
- L'**ensemble des villageois** de la zone d'étude, qui ont bien voulu m'accepter et qui me permettent aujourd'hui d'avoir mes meilleurs souvenirs du Niger auprès d'eux. Je voudrais particulièrement remercier le chef de village de Banizoumbou.

De manière moins personnalisée, je voudrais remercier également l'ensemble de l'équipe **ORSTOM** de Niamey, pour leur soutien logistique et moral.

MOTS CLEFS

SAHEL, JACHERE, PERTURBATION, RESILIENCE, REHABILITATION

KEY WORDS

SAHEL, FALLOW LANDS, DISTURBANCE, RESILIENCE, REHABILITATION

RESUME

Dans le sud ouest sahélien nigérien, caractérisé par de très fortes contraintes environnementales et socio-économiques, la jachère est une source importante en ressources naturelles renouvelables. C'est une zone de pâturage, d'approvisionnement en bois énergie, mais c'est aussi une technique de gestion de la fertilité des terres agricoles. Les agriculteurs comptent sur les processus écologiques de régénération des écosystèmes, mis en jeu lors de l'abandon cultural, pour restaurer la fertilité.

Les jachères de la zone d'étude sont structurellement très homogènes puisque la végétation de ces milieux est dominée par la Combrétacée *Guiera senegalensis* et un cortège d'herbacées annuelles. Une étude synchronique régionale ne montre pas clairement de dynamique de régénération le long de la phase post-culturale. Une étude typologique fait apparaître cependant deux groupes de jachères marqués par la présence ou l'absence de dynamique. Le premier groupe est constitué de milieux, situés principalement sur des dunes et des bas-fonds, qui présentent une dynamique sur le plan structurel et fonctionnel. Il semble en effet qu'il y ait une accumulation de biomasse et de matière organique, accompagné d'une certaine succession. La strate herbacée est progressivement dominée par des Poacées. Au bout de cinq ans de jachère, au moment où ces milieux sont remis en culture, une grande partie des risques de dégradation sont levés. Par contre, le deuxième groupe, est constitué de friches anciennes (supérieures à dix ans), très dégradées. Ces milieux sont couverts d'une faible végétation, dominée toujours par *Guiera senegalensis* et par la petite légumineuse *Zornia glochidiata.*

Une expérimentation de trois ans de l'étude de l'impact des activités anthropiques (coupes des ligneux) sur des jachères clôturées, donc contrôlées, montrent que l'espèce *Guiera senegalensis*, est non seulement bien adaptée aux contraintes édapho-climatiques de la zone d'étude, mais également aux formes de perturbations et de contraintes exercées par l'agriculture. Cette résistance, par rapport aux autres espèces présentes qui sont rapidement éliminées, explique sa dominance dans les milieux post-culturaux. L'absence de toute pression dans des conditions de mise en défens totale, montre quelque soit l'état de dégradation du milieu une reprise de la dynamique de régénération. L'activité anthropique freine, voire bloque dans le pire des cas, la capacité de restauration naturelle de ces écosystèmes sahéliens.

Sur ces mêmes sites expérimentaux, des essais de réhabilitation, utilisant des techniques de "mulching", montrent qu'il est possible d'augmenter artificiellement la vitesse de régénération de ces écosystèmes. Le paillage, déposé au sol, attire les termites qui déstructurent les croûtes superficielles du sol et créent une macroporosité sous-jacentes. Les conditions d'infiltration sont alors nettement augmentées. La disponibilité hydrique pour les végétaux est plus précoce et plus importante que sur les autres essais. La production végétale augmente et il peut y avoir une accumulation de matière organique dans les sols, les rendant ainsi moins sensibles aux phénomènes d'érosion. Un simple travail du sol ne semble pas avoir un rôle à jouer dans le cadre d'une réhabilitation.

ABSTRACT

In South-West Sahelian Niger where environnemental and socio-economic constraints are very strong, the fallow lands are an important natural resource. They supply grazing for cattme and fuelwoood, and they help maintain land fertility. Nigerian farmers use ecological processes of regeneration, induced by interrupted land cultivation, in order to restore land fertility.

In this area, the fallows present a very homogeneous structure which is dominated by the Combretaceous tree *Guiera senegalensis* and an annual herbaceous layer. A regional synchronic survey does not show a single dynamic pattern of restructuration during the fallow period. Instead, statistical classification reveals the existance of two groups characterized by the presence or absence of e regeneration dynamic. The fallow lands which make up the first group are located mainly on dunes or in stream beds. They present a dynamic pattern of both structural and fonctionnal attributes. Thus, in addition to the reconstitution of phytomass and organic matter, is joined a secondary succession. The herbaceous layer is progressively dominated by Poaceae. After five years,whichis apparently the maximum fallowin period allowed by local farmers, land degradation risks are weak. The second group consists of very degraded old fields. They support a very poor vegetation layer consistently dominated by *Guiera senegalensis* and the herbaceous legume *Zornia glochidiata*.

During three years, the impact of anthropic uses (shrub clearing) was studied in fenced fields. This study showed that *Guiera senegalensis* has a competitive advantage over other species in the face of environemental constraints and clearings. Theother shrub species are quickly eliminated. The suppression of anthropic use induced a regeneration dynamic, whatever the initial degradation state. The human activity slows down, and even stops in the worst cases, the resilience of ecosystems.

On the same experimental fields, rehabilitation techniques based on straw mulching, improved the regeneration capacity of native vegetation. The litter which makes the mulch attracts termites who break up soil crusts and contribute to porosity. This induces an increase of water infiltration and earlier and higher water suplly for vegetation. The phytomass increases on mulched plots and the risks of erosion and related land degradation decrease. Soil tillage is not an efficient technique for rehabilitation.

Sommaire

INTRODUCTION 1
1. Problématique 2
2. La Jachère Sahélienne : expression de processus écologiques utilisés pour restaurer des conditions agronomiques 8
2.1. Les formations végétales sahéliennes : les savanes. 8
2.1.1. Une typologie des savanes. 8
2.1.2. Les éléments déterminants des savanes. 9
2.1.3. Réponses des savanes aux contraintes et aux perturbations. 13
2.2. L'utilisation des terres de savanes. 20
2.2.1. Définition et fonctions attendues de la jachère. 20
2.2.1.1. Définition. 20
2.2.1.2. Fonctions agronomiques. 21
2.2.1.2.1. Matière organique. 22
2.2.1.2.2. Les éléments nutritifs. 23
2.2.1.2.3. Lutte contre l'érosion. 23
2.2.1.2.4. Lutte contre les adventices. 24
2.2.1.3. Fonctions socio-culturelles. 24
2.2.1.4. Fonctions économiques. 25
2.2.2. Milieux post-culturaux, systèmes agraires et paysages. 25
2.2.3. Dynamique post culturale, processus de régénération des facteurs de production. 27
2ème PARTIE 29
2ème PARTIE. Contextes bio-physiques et humains des milieux post-culturaux du sud-ouest nigérien 30
1. Contraintes générales pour la production végétale 31
1.1. Une incertitude climatique : la pluviométrie. 31
1.2. Autres paramètres climatiques. 35
1.3. Le sol, support de la production. 38
1.3.1. Description générale des sols de la zone d'étude. 38
1.3.2. Les états d'encroûtement de la surface du sol. 42
1.4. La végétation de la zone d'étude. 43
2. Les sociétés de la zone d'étude et les systèmes de production. 46
2.1. Les sociétés. 46
2.1.1. Les ethnies de la zone. 47
2.1.2. Pression démographique. 48
2.2. Evolution des systèmes agraires dans la région du Zarmaganda. 49
2.2.1. Paysages originels et origine de l'agriculture. 49
2.2.2. Période pré coloniale : installation d'une agriculture de subsistance. 49
2.2.3. Période coloniale : conquête de l'espace et prémices de la crise actuelle. 50
2.2.4. Période post-coloniale à nos jours. 52
2.3. La jachère sur le site de Banizoumbou. 54
2.4. L'Agriculture du degré carré de Niamey. 59

2.4.1. Une typologie des systèmes agro-pastoraux du degré carré de Niamey..... 59
2.4.2. Les itinéraires techniques traditionnels des cultures pluviales..... 63
3. Conclusion..... 65
3ème Partie..... 67
3ème Partie. Dynamique des milieux post-culturaux dans le sud-ouest nigérien..... 68
- Quelles sont les trajectoires possibles de ces écosystèmes ?..... 68
1. Méthodes..... 69
1..... 69
1.2. Descripteurs de la structure et du fonctionnement des milieux post-culturaux..... 70
1.2.1. Description générale de la station échantillonnée..... 70
1.2.2. Description de la strate herbacée..... 70
1.2.3. Description de la strate ligneuse..... 72
1.2.4. Description des états de surface du sol..... 72
1.2.5. Descriptions des sols..... 73
1.2.5.1. Texture des sols..... 73
1.2.5.2. Carbone organique et Azote organique..... 74
1.2.5.3. Activité respiratoire des sols..... 74
1.2.5.4. Mesures de l'azote minéral accumulé..... 75
1.3. Traitements statistiques..... 76
2. Résultats : dynamique post-culturale des états de surface..... 76
2.1. Gestion des milieux post-culturaux en fonction de la topographie..... 76
2.2. La dynamique de la strate ligneuse..... 77
2.2.1. Pauvreté spécifique dans ces milieux post-culturaux..... 77
2.2.2. Dynamique post-culturale..... 78
2.3.Dynamique de la strate herbacée..... 82
2.3.1. Evolution de la richesse floristique..... 82
2.3.2. Dynamique successionnelle de la strate herbacée..... 82
2.3.3. Evolution de la phytomasse épigée de la strate herbacée..... 86
2.4. Les états de surface du sol..... 86
2.5. Dynamique post-culturale des conditions édaphiques stationnelles..... 88
2.5.1. Description générale des sols post-culturaux échantillonnés..... 88
2.5.2. Dynamique des sols le long de la phase post-culturale..... 91
3. Classification des milieux post-culturaux..... 93
4. Discussion..... 105
Simulation de différents modes d'utilisation des terres : conséquences sur la régénération des milieux post-culturaux..... 109
4ème Partie..... 109
4ème partie : Simulation de différents modes d'utilisation des terres : conséquences sur la régénération des milieux post-culturaux..... 110
1. Protocole d'étude des processus de régénération ou de dégradation..... 114
1.1. Situation des sept stations par rapport à la dynamique post-culturale..... 114
1.2. Méthodes..... 116
1.2.1. Les traitements..... 116
1.2.2. Les variables suivies..... 117
1.2.2.1. La strate ligneuse..... 118

1.2.2.2. La strate herbacée..... 118
1.2.2.3. Les états de surface du sol..... 118
1.2.2.4. La pluviométrie..... 119
1.2.2.5. Le Potentiel hydrique foliaire..... 119
1.2.2.6. L'humidité des sols..... 124
1.2.3 Méthodes d'analyse..... 125
2. Contexte général de l'étude expérimentale des systèmes post-culturaux sur le site de Banizoumbou..... 125
2.1. Pluviométrie et bilan climatique des trois années d'expérience..... 125
2.1. Situation des sept stations expérimentales par rapport à la typologie régionale..... 126
3. L'impact de la suppression de toute contrainte sur la structure des écosystèmes post-culturaux..... 127
3.1. La strate ligneuse..... 127
3.1.1. La population..... 127
3.1.2. La Croissance des arbustes..... 129
3.2. Evolution de la strate herbacée..... 133
3.2.1. Evolution du recouvrement de la strate herbacée..... 134
3.2.2. Evolution de la phytomasse épigée herbacée..... 135
3.2.3. Evolution du nombre d'espèces herbacées et de la diversité floristique..... 136
3.2.4. Evolution de la composition floristique de la strate herbacée..... 137
3.3. Les états de surface du sol..... 140
3.4. Conclusion de l'effet de la mise en défens..... 143
44. Explication de la dominance de *Guiera senegalensis* dans les systèmes post-culturaux du sud-ouest nigérien..... 145
4.1. Répartition des deux espèces dans un bas-fond (station BF)..... 146
4.2. Réponses de *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis* face aux coupes et à la mise en défens sur la station BF..... 147
4.2.1. Croissance des rejets des arbustes..... 147
4.2.2. Population arbustive..... 150
4.3. Evolution des caractères physiologiques des deux espèces..... 151
5. conséquences des usages sur la régénération des systèmes post-culturaux..... 158
5ème Partie..... 163

5ème Partie : Réhabilitation des milieux post-culturaux du sud-ouest nigérien..... 164

1. Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés..... 166

2. Méthodes..... 170

2.1. Les techniques de réhabilitation..... 170

2.2. Le protocole expérimental..... 172

2.2.1. Sites expérimentaux et systèmes d'analyses..... 172

2.2.2. Les paramètres suivis..... 172

3. Résultats : les effets des techniques de réhabilitation..... 174

3.1. L'évolution des états de surface du sol..... 174

3.2. La densité apparente. 177
3.3. L'évolution de l'humidité des sols. 177
3.4. La productivité des ligneux. 182
3.5. L'évolution de la strate herbacée. 183
3.5.1. Evolution de la biomasse herbacée. 183
3.5.2. Evolution de la diversité et de la composition floristique. 185
3.5. Evolution des conditions édaphiques. 188
3.5.1. Taux de carbone et d'azote. 188
3.5.2. Sensibilité des sols à la dégradation physique. 189
4. Synthèse et discussions. 189
Références bibliographiques 216

Liste des figures 233

Liste des tableaux 239
Annexes 242
Annexe 1 : Liste floristique des espèces citées dans ce mémoire 243
Annexe 2 : Description des six principales sous-régions géographiques du degré carré (d'Herbès et valentin, 1997). 246
Annexe 3 : Evolution des états de surface du sol durant la phase post-culturale pour chaque situation géomorphologique. 247
Annexe 4 : Evolution des conditions édaphiques par horizon des classes issues de la typologie régionale des milieux post-culturaux. 248
Annexe 5 : Plans d'expérimentation des stations jachères du site de Banizoumbou. 250
Annexe 6 : Evolution de la composition floristique de 1993 à 1995 sur les stations G1 (glacis dégradé) et J (jupe sableuse) suivant les traitements de réhabiltation. 252
Annexe 7 : Effets des modes de défrichement sur la régénération des arbustes. 254
Annexe 8 : Conséquences d'un pâturage intensif sur la végétation et les états de surface du sol. 263

Caractérisation et évolutions d'écosystèmes anthropisés sahéliens : Les milieux post-culturaux du sud-ouest nigérien.

INTRODUCTION

1. Problématique

Environnement et Population au Sahel.

Les écosystèmes sahéliens, qui appartiennent au domaine des savanes, sont considérés comme des systèmes non équilibrés, maintenus par la permanence de contraintes et de perturbations d'origine édapho-climatiques et anthropiques (Young et Solbrig, 1993). Claude *et al.* (1991) notent qu'en *l'absence de contraintes et de perturbations*, ces écosystèmes présentent de réelles capacités de régénération dues aux caractères physiologiques des espèces et à la structure de la végétation adaptés à la sécheresse et à la variabilité des conditions édapho-climatiques : dominance de thérophytes, d'espèces aridopassives, caractères physiologiques liés aux propriétés germinatives des semences, forte proportion de plantes en C4, structure en mosaïque de la végétation,... Walker et Noy-Meir (1982) suggèrent que de tels écosystèmes se sont adaptés à survivre face aux grandes variations temporelles des conditions climatiques.

Cependant, les conditions auxquelles sont soumis ces écosystèmes changent considérablement depuis quelques décennies. Les taux de croissance démographiques au Sahel sont très importants (supérieurs à 3 %) et se traduisent par une très forte augmentation des superficies sous l'emprise des cultures, sans qu'il y ait des changements fondamentaux des techniques agricoles. Haywood (1981) cite, par exemple, une augmentation des superficies cultivées de 2 à 3 % par an au Mali central entre 1952 et 1975. La pression anthropique est de plus en plus forte sur l'environnement, et en particulier sur les milieux post-culturaux (Floret *et al*, 1993). Les temps de jachères ont globalement fortement diminué, alors qu'en même temps, les prélèvements sous forme de coupes de bois et de pâturage ont augmenté sur ces mêmes milieux. Parallèlement, une diminution des rendements agricoles est observée. Souvent, cela aboutit à des situations de pénurie alimentaire qui s'explique par la combinaison des contraintes socio-économiques et environnementales. Les périodes de sécheresse accentuent ce phénomène de crise (Matlon, 1987).

Gestion de la fertilité et la jachère.

Devant les images de famine diffusées dans les années 70, répondre aux besoins alimentaires des populations du Sahel devenait une priorité. Sous l'impulsion d'organismes internationaux comme la F.A.O., la recherche de solutions s'est portée préférentiellement sur l'amélioration des rendements agricoles. Les sols sahéliens sont surtout des sols ferrugineux tropicaux caractérisés globalement par une faiblesse des principaux indices de fertilité : un taux de matière organique inférieur à 1.5 %, une capacité d'échange cationique inférieure à 10 meq/100 g et une très faible fertilité minérale, en particulier en phosphore (Boulier et Jouve, 1990). Tous les essais d'amélioration des itinéraires techniques, que ce soit à travers l'optimisation de l'efficience du travail cultural par rapport aux événements pluvieux (Hoogmoed et Klaij, 1991), de l'utilisation d'engrais azotés (Christianson et Vlek, 1991) ou phosphorés (Bationo et Mokwunye, 1991), ont été positifs, mais leurs utilisations par les paysans sahéliens restent très délicates. A ces contraintes techniques importantes, s'ajoute une conjoncture socio-économique au Sahel ne permettant pas une diffusion de ces techniques à l'ensemble du territoire. Alors la jachère, comme moyen traditionnel de restauration des conditions culturales, conserve alors tout son rôle au Sahel. Cependant, les conditions actuelles d'utilisation des ressources, agricoles, pastorales ou énergétiques, ne permettent pas à la régénération naturelle des jachères de remplir pleinement ce rôle (Floret *et al.*, 1993). La poursuite des formes d'usages des savanes combinée à l'augmentation de la population aboutit dans de nombreux cas à la dégradation (Solbrig *et al.*, 1996). Les écosystèmes adoptent alors de nouveaux équilibres de moins en moins productifs et de plus en plus simplifiés.Cette évolution correspond au processus de désertification défini comme *la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines* (CCD, 1995).

L'expression "dégradation des terres" (CCD, 1995) désigne *la diminution ou la disparition, dans les zones citées ci-dessus, de la productivité biologique ou économique et de la complexité des terres cultivées non irriguées, des terres cultivées irriguées, des*

parcours, des pâturages, des forêts ou des surfaces boisées du fait de l'utilisation des terres ou d'un ou de plusieurs phénomènes, notamment de phénomènes dus à l'activité de l'homme et à ses modes de peuplement, tels que l'érosion des sols causée par le vent et/ou l'eau, la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques ou économiques des sols, et la disparition à long terme de la végétation naturelle.

Ce processus constitue une menace grave au maintien de l'utilisation des ressources renouvelables (Cornet, 1996). Les populations sahéliennes restent encore très dépendantes de ces ressources renouvelables, au point que la survie et la reproduction de ces sociétés dépendent de la capacité de régénération et de la diversité des ressources biologiques (Barrière et Barrière, 1996). La gestion de la fertilité des terres agricoles et des ressources devient alors le nouveau défi que se fixent les acteurs du développement. La jachère, à travers les processus de dynamique successionnelle et l'évolution des conditions édaphiques engendrés lors de cette phase, reste à moyen terme un des principaux outils de gestion de la capacité de production des terres. Les agriculteurs laissent agir des processus écologiques pour restaurer les facteurs de production dégradées pendant la phase culturale. Cependant, cette phase post-culturale, pour être efficace, nécessite un certain temps (Guillemin, 1956) que Piéri (1989) estime à 10 ans au moins en zone de savane sèche et sur des sols très sableux. La saturation de l'espace agricole face aux besoins croissants des populations, limite fortement le recours à de longues jachères. Le temps de jachère a globalement fortement diminué et sur certains terroirs, revenir à cette technique n'est plus possible. **Dans ces conditions, la jachère raccourcie a -t- elle encore un rôle à jouer ? Le temps accordé à la régénération naturelle est il suffisant pour restaurer des conditions culturales susceptibles d'assurer la pérennité des systèmes agraires ? La pression actuelle sur ces milieux post-culturaux conduit-elle effectivement à des processus de dégradation ? Si oui, sont ils réversibles ?**

Cette étude se propose de caractériser les milieux post-culturaux de la région de Niamey (Niger) et d'analyser leur fonctionnement en vue d'améliorer leur gestion dans le cadre du développement d'une agriculture durable, en répondant aux questions énoncées ci - dessus par :

*** une approche phytoécologique régionale :**

- Quelles sont les structures et les fonctionnements de ces écosystèmes dans les conditions actuelles du sud-ouest sahélien nigérien ?

- Quelles sont les capacités de régénération de ces écosystèmes face aux perturbations et aux contraintes exercées? Existent-ils des stades de blocages au niveau de la dynamique de régénération?

*** une approche expérimentale :**

- Quel est l'effet de la suppression de toute forme de pression sur la dynamique de régénération de ces écosystèmes ?

- Quelle est l'évolution possible de ces écosystèmes soumis à une intensification des pratiques anthropiques actuelles ? Existent-ils des seuils au delà desquels, la régénération n'est pas possible ?

- Quel est l'impact d'une gestion active de ces écosystèmes sur leur dynamique de régénération, en particulier par le recours à des techniques de réhabilitation comme le paillage ou le travail du sol ?

La démarche globale de l'étude proposée ici est schématisée dans la figure 1. Dans la partie première du présent mémoire, est proposée une synthèse bibliographique portant sur les écosystèmes savanes, les formations végétales du Sahel répondant globalement à cette définition. Cette synthèse présentera les déterminants de ces savanes et les réponses possibles de ces écosystèmes à un changement majeur d'un ou plusieurs déterminants.

Dans une deuxième partie, le contexte général de la zone d'étude sera défini. Les contraintes environnementales très fortes à la production végétale sont analysées (déterminants physiques), puis confrontées à l'évolution des sociétés (déterminants socio-

économiques) présentes afin d'aboutir à une typologie régionale des systèmes agro-pastoraux, qui caractérisent les usages majeurs et déterminent en grande partie les propriétés des écosystèmes de la zone d'étude.

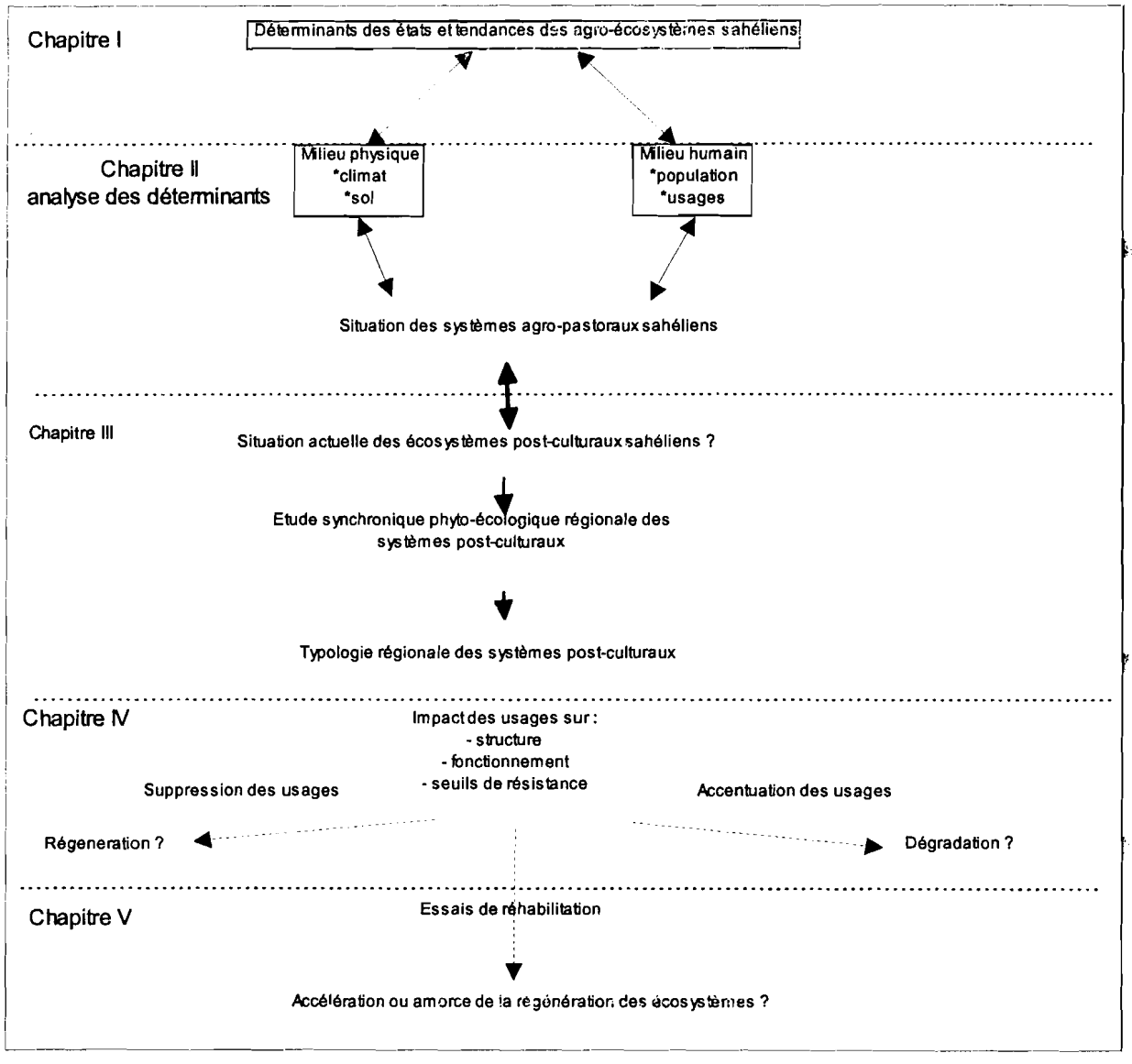


Figure 1 : Organisation schématique de l'étude des réponses des écosystèmes à l'abandon cultural au Sahel nigérien.

Après avoir déterminé les usages dans la partie précédente, les écosystèmes post-culturaux sont caractérisés dans la troisième partie à partir d'une étude en mode synchronique à l'échelle régionale. L'analyse est menée, dans un premier temps,

principalement en fonction des conditions géomorphologiques stationnelles et de la durée de jachère; ces deux facteurs étant hypothétiquement supposés être les déterminants majeurs de l'état de la jachère. La dynamique post-culturale est analysée à partir de l'évolution de la succession végétale, de la production végétale et des conditions édaphiques. Elle aboutit à une typologie régionale des milieux post-culturaux en fonction de leur capacité de régénération et de leur sensibilité.

Afin d'affiner la compréhension de la dynamique de ces milieux post-culturaux, une phase expérimentale a été menée pendant trois ans sur le terroir de Banizoumbou, site expérimental de l'ORSTOM. L'évolution de la végétation et des états de surface du sol ont été suivis sur sept stations clôturées, d'âges et de situations topographiques différentes (quatrième partie). La mise en défens de ces stations a permis d'apporter des éléments d'informations sur le fonctionnement des milieux post-culturaux, libérés de toute pression anthropique. Parallèlement, une simulation de l'augmentation de l'intensité de certaines pressions exercées sur ces milieux (coupes et pâturages), a été menée sur ces mêmes stations. L'impact de ces nouvelles formes de perturbations sur la régénération est évalué, et permet de déterminer des seuils de résistance, en particulier celui des arbustes face aux défrichements.

La cinquième partie traite d'essais de réhabilitation réalisés sur les mêmes stations. Ces essais visent à réactiver ou à accélérer les processus de régénération. L'eau est le principal facteur limitant du développement de la végétation sahélienne, les processus d'infiltration des eaux de pluie dans ces sols de zone semi-aride sont principalement conditionnés par les états de surface du sol au sens de Casenave et Valentin (1989). Les techniques de réhabilitation utilisées ici modifient ces états de surface du sol afin d'améliorer les conditions d'infiltrations et le développement de la végétation (productivité et dynamique successionnelle). Ces techniques sont le paillage et le travail du sol (scarification manuelle).

La dernière partie propose une synthèse des informations obtenues dans ce travail. La résilience d'un écosystème est peut être le meilleur indicateur de son état de santé et de son intégrité (Aronson *et al.*, 1995). Ces mêmes auteurs définissent, à partir des travaux d'Odum (1969), dix huit d'attributs vitaux (*cf* 5ème partie, chapitre 1) permettant de comparer la structure et le fonctionnement des écosystèmes post-culturaux. La résilience et ces attributs vitaux sont utilisés ici pour comparer l'impact des différentes formes, pratiquées ou possibles, de gestion des jachères et leurs conséquences agro-écologiques. La pertinence du recours à la réhabilitation est discutée en terme de résultats techniques, mais aussi dans le cadre d'une politique de gestion de l'ensemble de l'espace concerné.

2. La Jachère Sahélienne : expression de processus écologiques utilisés pour restaurer des conditions agronomiques.

2.1. Les formations végétales sahéliennes : les savanes.

Au Sahel, caractérisé par l'alternance annuelle d'une période sèche et d'une période humide, s'est développée une végétation de savane définie comme un assemblage de formations tropicales herbacées, à dominance graminéenne (*grassland*), avec des arbres et arbustes dispersés (Bourlière et Hadley, 1983). Selon cette définition, les savanes représentent alors l'unité paysagère la plus commune dans le milieu tropical. Une définition plus précise du terme savane est donnée par Sarmiento (1984), reprise par Frost *et al.* (1986) :

An ecosystem of the warm (lowland) tropics dominated by an herbaceous cover consisting mostly of bunch grasses and sedges that are more than 30 cm in height at the time of maximum activity, and show clear seasonality in their development, with a period of low activity related to water stress. The savanna may include woody species (shrubs, trees, palm trees), but they never form a continuous cover that parallels the grassy one.

2.1.1. Une typologie des savanes.

L'influence du caractère saisonnier des pluies est très forte sur la structure et sur le fonctionnement des savanes. Sarmiento (1984, 1992) propose une classification des savanes

basée sur le climat, la densité et la structure de la strate ligneuse. Young et Solbrig (1993) ont défini, en fonction des conditions climatiques et des conditions d'humidité des sols, différents types de savane :

- les savanes saisonnières (seasonal savannas) touchées par deux saisons distinctes, saison sèche / saison des pluies dont l'alternance se reflète sur les conditions d'humidité des sols et la croissance de la végétation. C'est le type de savane le plus répandu dans le milieu intertropical et qui concerne, entre autres, les formations végétales de l'Afrique de l'ouest. Pendant la saison sèche, le feu est un événement courant en région soudanienne, et parfois au Sahel, quant la strate herbacée est suffisamment dense pour laisser courir le feu. La grande variabilité des conditions édaphiques et des conditions climatiques, avec des moyennes pluviométriques allant de 300 mm à 1500 mm, se traduisent par une grande diversité des types de végétation, ainsi que de leurs usages;

- savanes "semi-saisonnières" (*semi-seasonal savannas*) caractérisées par des conditions de stress hydriques peu importantes, par une végétation adaptée aux feux et présentant un niveau bas de dormance des plantes;

- savanes "hyper-saisonnières" (*hyperseasonal savannas)* touchées par une période sèche très marquée entraînant de fortes conditions de stress hydrique pour la végétation, qui s'oppose à une période de submersion durant la saison des pluies créant alors une autre forme de stress;

2.1.2. Les éléments déterminants des savanes.

Les synthèses sur l'écologie des savanes (Frost *et al.*, 1986 ; Young et Solbrig, 1993 ; Solbrig *et al.*, 1996) ont révélé quatre principaux déterminants de la structure et du fonctionnement de ces écosystèmes : l'humidité des sols, le contenu en nutriments dans le sol, l'herbivorie et le feu. La disponibilité hydrique dans les sols et le bilan des nutriments sont les facteurs clés, expliquant la distribution des différents types de savanes (Frost *et al.*, 1986). Un cinquième élément déterminant la structure des savanes, déjà partiellement

implicitement impliqué dans le feu et l'herbivorie, doit être ajouté aux précédents, c'est l'homme et ses pratiques. A l'échelle du paysage, Belsky (1995) considère que ce sont la géomorphologie et les conditions édaphiques qui déterminent principalement les différents faciès de savane. Le feu et l'herbivorie sont, pour cet auteur, des déterminants secondaires en milieu "naturel", qui prennent par contre toute leur importance en milieu plus anthropisé.

La disponibilité hydrique dans les sols dépend du régime pluviométrique, de la part infiltrée des pluies, de la capacité de rétention des sols qui dépend de la texture et de la profondeur des sols, de l'évapotranspiration et de la redistribution horizontale des eaux de ruissellement. L'évapotranspiration totale (ET) est globalement supérieure au cumul pluviométrique sur l'année, mais pendant la saison des pluies, les précipitations couvrent les demandes climatiques (ET). Cela se traduit par un développement rythmique de la végétation : une phase de repos végétatif durant la saison sèche, suivie d'une phase intense et diversifiée de croissance de la végétation. Cette saisonnalité du développement de la végétation se traduit par une saisonnalité du faciès et du fonctionnement des écosystèmes savanes au cours de l'année (Silva, 1987).

La dynamique des nutriments est la résultante d'interactions entre le climat, la géologie, la géomorphologie et la biocénose. La diversité des propriétés des sols de savanes est fortement liée aux roches mères sur lesquelles ces sols se sont développés et leur degré d'altération et d'érosion. Ces propriétés sont également modifiées par les interactions entre le sol, le climat et la géomorphologie affectant le microclimat au niveau du sol, les cycles biogéochimiques, l'érosion, le lessivage et la redéposition du sol et des nutriments.

Le feu et l'herbivorie sont des événements intervenant principalement pedant la saison sèche pour le feu, mais de façon plus ou moins continue pour l'herbivorie. Ils affectent la densité, la structure et la dynamique des communautés végétales. L'impact de l'herbivorie et du feu, en particulier, est tel que la physionomie herbes/arbres des savanes

est en fait une résultante de l'action de ces deux facteurs, actuellement engendrés dans la plupart des cas par l'homme.

Bien que non défini comme principal déterminant, l'homme, par les usages qu'il pratique sur les écosystèmes et les paysages, a un poids très fort sur leur structure et leur fonctionnement, comme le montrent Frost *et al.* (1986) et le modèle de Young et Solbrig (figure 2 ; 1993).

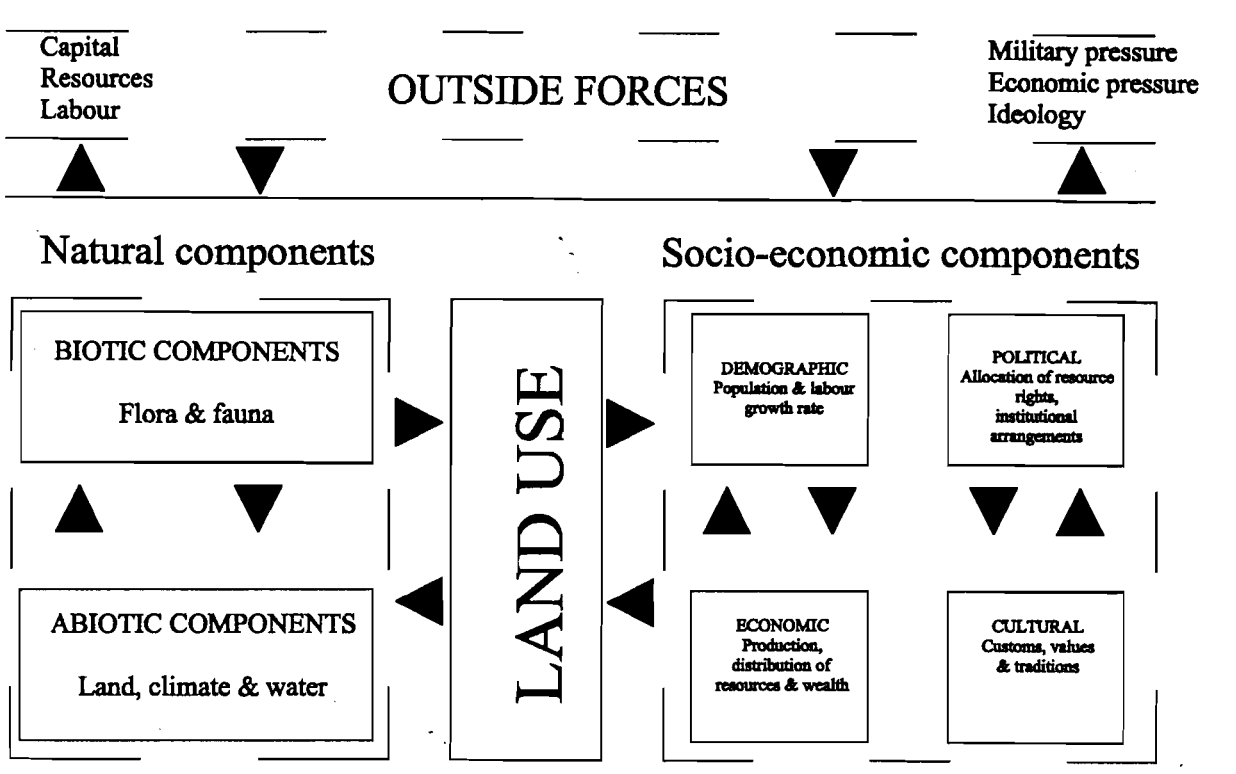


Figure 2 : Déterminants de l'utilisation des terres de savanes (d'après Young et Solbrig, 1993).

D'un côté, ce modèle fait apparaître les facteurs naturels (climat, géologie, flore, faune et leur interrelations) et de l'autre, les facteurs socio-économiques (démographie, économie, culture et politique). L'utilisation des terres (*Land use*) est la résultante observable à un instant donné des interactions entre les systèmes biophysiques et les systèmes socio-économiques. L'homme tire de son environnement les ressources qui lui permettent de survivre et de croître. Pour ce faire, il investit des efforts (travail, argent, etc.) et utilise la technologie et le savoir-faire dont il dispose.

Tout investissement réalisé par l'homme, va modifier les composantes naturelles de l'écosystème et risque de modifier l'écosystème lui-même (structure et fonctionnement), et finalement les ressources (quantité et nature) que l'homme peut récolter. Young et Solbrig (1993) considèrent que leur modèle est dynamique et donc, en principe, tout changement intervenant dans les relations homme-terre, est réversible. Cela signifie que toute baisse de production du milieu devrait engendrer une modification des technologies utilisées par les hommes afin d'y faire face. L'homme doit donc disposer de l'organisation, du savoir-faire, des ressources et des conditions institutionnelles suffisants afin de répondre à toute baisse de la productivité du milieu.

Les principales influences de ces déterminants confrontées aux caractères physiologiques des deux composantes des savanes, le tapis herbacé et les arbres ont été abordées par Solbrig *et al.* (1996) et synthétisées par Lüttge (1997).

La confrontation des conditions hydriques des sols et de la composition du tapis herbacé explique la forte proportion de plantes en C_4 dans les savanes, qui sont principalement des graminées. Ces espèces, par leurs caractères physiologiques, ont des avantages compétitifs sur les plantes en C_3 pour exploiter les ressources limitées des sols de savanes. Leur photosynthèse est plus efficace et possible malgré la fermeture partielle des stomates. Elles ont un coefficient d'efficience d'utilisation des ressources hydriques et minérales supérieur aux Plantes en C_3. Elles ont développé une stratégie d'évitement des contraintes de stress hydrique (*Water spenders*) en bouclant leur cycle phénologique au cours de la saison des pluies. Cependant, Lüttge (1997) note qu'en conditions de faibles teneurs en azote et en phosphore, ces plantes en C_4 perdent leur avantage compétitif comme il explicite dans l'exemple suivant. En effet, certaines légumineuses qui développent une association symbiotique avec des bactéries du genre Rhizobium, fixatrices d'azote atmosphérique, peuvent devenir plus compétitives que les plantes en C_4 sur des sols particulièrement pauvres en azote.

Les ligneux ont des exigences hydriques différentes de celles des herbacées, quant au total pluviométrique de l'année, de la distribution des pluies et de la disponibilité hydrique dans les sols (Walter et Breckle, 1984). Les ligneux disposent de systèmes racinaires profonds et / ou de systèmes superficiels très étendus pour exploiter un plus gros volume de sol, voire des nappes d'eau haut perchées. Certains présentent des structures xéromorphiques au niveau des feuilles, voire au niveau des troncs ; ils développent différentes stratégies quant à l'utilisation de l'eau (*Water savers* ou *Water spenders*) ; et ils ont une photosynthèse plus efficace que les autres plantes en C_3.

Lüttge (1997) insiste également sur quelques interactions entre différents éléments des écosystèmes savanes, tels que le rôle des croûtes microphytiques comme élément fonctionnel des savanes pour la fixation de l'azote atmosphérique (Isichei, 1980 ; West, 1990), l'action des termites sur les propriétés physico-chimiques des sols, etc.... Il évoque également le rôle des ligneux dans la création d'îlot de fertilité. Ces arbres, par l'intermédiaire de la litière issue de leur canopée, enrichissent les horizons superficiels de leur environnement immédiat en matière organique, améliorant ainsi les autres paramètres du sol (Mordelet *et al.*, 1993). Ces arbres créent alors des conditions favorables à l'installation d'autres espèces végétales, surtout si ils ont pu servir de perchoir pour des oiseaux qui ont pu transporté des semences. A ces transferts verticaux d'éléments, s'ajoutent des transferts horizontaux comme l'ont montré les travaux de Tongway & Hindley (1995) sur les pâturages australiens, ainsi que ceux de d'Herbès *et al.* (1997) sur la brousse tigrée. Ces auteurs mettent en exergue le rôle de la répartition spatiale des divers éléments structuraux sur le fonctionnement des écosystèmes, et en particulier la distribution des ressources en eau et des nutriments. Il existe en effet des transferts d'eau et d'éléments organiques et minéraux d'une zone source vers une zone de capture. Dans le cas de la brousse tigrée, la zone nue (source) constitue un impluvium alimentant en eau la zone boisée (zone de capture).

2.1.3. Réponses des savanes aux contraintes et aux perturbations.

La savane est probablement l'écosystème le plus anciennement utilisé par l'homme, soumis à des contraintes et à des perturbations (Frost *et al.*, 1986). Les contraintes environnementales s'exercent sur la productivité et l'efficience de l'écosystème sans affecter le fonctionnement global de l'écosystème. Les contraintes entraînent en fait une déviation marquée des éléments du système par rapport à leurs valeurs normales. Les perturbations se traduisent par des changements de la structure qui affectent le fonctionnement de l'écosystème. Elles correspondent à des événements exceptionnels tels qu'une inondation, des sécheresses prolongées ou des pratiques comme le défrichement et la culture. Une contrainte plus sévère ou une combinaison de contraintes peuvent conduire à une perturbation. De plus en plus, les perturbations dans les savanes trouvent leur origine dans l'activité anthropique (Frost *et al.*, 1986).

Après la perturbation, suit une phase de reconstitution du couvert végétal à travers une succession végétale secondaire [Lepart et Escarré, 1983]. Cette colonisation du biotope s'accompagnent de changements floristiques et faunistiques dans le temps, ainsi que de changements annuels et interannuels dans les cycles biogéochimiques (Odum, 1969). La succession secondaire se réfère globalement à tous les changements survenus dans une communauté écologique après perturbation (Connell et Slatyer, 1977).

La première phase suivant la perturbation est marquée par la colonisation du milieu par des espèces opportunistes, caractérisées par un grand pouvoir de dispersion et une croissance rapide. Cette règle régissant la phase de colonisation est générale aux mécanismes successionnels proposés. Ce sont les modes ultérieurs d'installation des nouvelles espèces qui sont surtout critiqués et qui conduisent à l'élaboration de différents modèles successionnels. Clements (1916, 1936) définit la succession comme le développement de formations végétales qui se succèdent depuis le sol nu jusqu'à un climax ; la réaction du milieu est alors plus favorable aux espèces présentes qu'à toute autre espèce (Lepart et Escarré, 1983). Dans ce modèle, seules quelques espèces pionnières sont capables de coloniser le milieu. Elles doivent créer des conditions favorables à l'installation

de nouvelles espèces qui les remplaceront graduellement et les élimineront. Whittaker (1975) décrit cette dynamique comme suit : "une espèce dominante modifie le sol et le microclimat de façon à rendre possible l'introduction de nouvelles espèces qui deviennent à leur tour dominantes et modifient le milieu supprimant ainsi les premières et favorisant l'arrivée de troisièmes dominantes qui à leur tour modifient leur environnement". Cette succession de phases continue ainsi de suite jusqu'à un climax. Les mécanismes de succession autogénique (White, 1979), où les premières espèces facilitent l'installation des espèces ultérieures qui élimineront par compétition les précédentes, sont conformes aux travaux de Clements. Ces modèles font référence plutôt à des formes de succession primaire où la dynamique d'occupation se fait sur un substrat nu au départ.

Egler (1954) propose un modèle de la composition floristique initiale où la reconstitution de la végétation se fait à partir de la banque de graines du sol et des souches des pérennes, non touchées par la perturbation et pouvant alors émettre des rejets. Ce stock initial détermine ainsi les pionnières. La succession, se développant à partir de cet stock initial, serait en partie une illusion due aux différentes vitesses de croissance des végétaux. Ce modèle correspond assez bien aux successions secondaires qui se déroulent sur des sols déjà formés après des perturbations comme les feux (Trabaud, 1980), les coupes et l'agriculture (Guyot *et al.*, 1960).

Margalef (1974) et Odum (1969) modifient la théorie de Clements en la dégageant de son "fardeau organismique" (Lepart et Escarré, 1983). La succession est alors considérée comme le processus d'auto-organisation, résultant des interactions entre les organismes eux-mêmes et avec le milieu physique. Ce dernier intervient principalement pour déterminer la vitesse et le développement de la succession. Margalef (1974) et Odum (1969) retiennent la compétition entre les plantes et les interactions entre les végétaux et le milieu comme mécanismes expliquant le remplacement des espèces. Malgré de nombreuses critiques de cette théorie, Connell et Slatyer (1977) reprennent le concept de la compétition pour analyser les changements de la composition floristique au cours de la succession. Lepart et Escarré (1983), puis Floret et Pontanier (1993) présentent une synthèse des modèles susceptibles régissant la succession :

* le modèle de "**facilitation**" considère que l'installation d'espèces transitoires est permis seulement si il y a eu une modification de l'environnement par les espèces pionnières. Il reprend en grande partie le concept de Clements (1916), tout en tenant compte de celui des "relais floristiques" d'Egler (1954);

* dans le deuxième modèle, de "**tolérance**", les espèces transitoires s'installent indépendamment de l'influence sur le milieu des espèces pionnières car elles sont plus efficaces que les colonisatrices pour exploiter les ressources du milieu. Les ressources ne sont limitantes ni pour les adventices de cultures, ni pour les ligneux qui rejettent de souche. Le couvert reste faible et laisse des sites disponibles pour l'installation d'autres espèces.

* le modèle "**d'inhibition**" implique que certaines espèces empêchent l'installation d'autres espèces (compétition pour les ressources, phénomènes d'allopathie). Le développement des ligneux rejetant de souches, ou celui des espèces pérennes, peut devenir suffisant pour limiter l'installation des espèces suivantes. Ces dernières doivent être très tolérantes puisqu'elles doivent survivre jusqu'à la disparition des espèces pionnières à la suite de perturbations ou de leur sénescence. Elles pourront alors enfin se développer suite à l'augmentation des disponibilités en ressources. Ce modèle conduit au remplacement d'espèces à durée de vie courte par des espèces à durée de vie plus longue.

Ce dernier modèle peut se traduire par des blocages à des stades juvéniles, comme ils ont été observés par Telahigue *et al.* (1987) en Tunisie en zone aride méditerranéenne ou en zone forestière humide après une culture sur brûlis (Khan, 1982; Mitja et Puig, 1993). Le développement des arbustes rejetant de souches ou des graminées pérennes peut devenir suffisamment dense pour empêcher l'installation d'autres individus de la même espèce ou des semis de grands arbres permettant le passage à des stades successionnels plus avancés. Pour Connel et Slatyer (1977), *after a severe disturbance or during a short respite from normally heavy and continuous grazing or predation, there is usually a burst of*

regeneration that, once established, suppresses later regeneration. Thus a single age-class emerges that may dominate the scene for long periods. L'installation des espèces ultérieures n'est alors possible que si une perturbation ou un autre phénomène intervient pour provoquer la disparition des espèces présentes inhibitrices. De tels systèmes bloqués peuvent être perçus par un observateur comme ayant atteint un certain équilibre, une certaine stabilité. Mais il est possible que l'absence ultérieure de perturbations permettent à ces systèmes d'atteindre des états plus matures (Connell et Slatyer, 1977). Pour appréhender l'équilibre ou la stabilité, il faut tenir compte de l'échelle spatio-temporelle de l'observation (Frost *et al.*, 1986) et de l'intensité de la perturbation (Connell et Slatyer, 1977).

Walker et Noy-Meir (1982) définissent un **système stable** comme *a system which changes very little over time, and responds slowly and little to outside pressure.* Si une perturbation a lieu, il retourne rapidement à son état initial (Frost *et al.*, 1986). Les paramètres influençant la dynamique de ce système ne changent pas avec la perturbation. Un **système résilient** est généralement stable (Walker, 1980) ; la **résilience** est la capacité d'un système à répondre à une perturbation (*cf* conclusion générale).

La plupart des communautés naturelles ont plus d'un point équilibre auquel on associe un domaine d'attraction. Le domaine d'attraction d'un écosystème est fixé par des limites similaires à des seuils d'élasticité comme l'on peut rencontrer dans des modèles physiques. L'état vers lequel tendront ces communautés à la suite d'une perturbation, dépendra de l'état de ces systèmes par rapport au domaine d'attraction (Walker et Noy-Meir, 1982 ; Solbrig *et al.*, 1996). La résilience présente donc une "limite d'élasticité" qui une fois dépassée peut conduire le système vers un nouvel état d'équilibre "métastable" (Godron, 1984 ; Friedel, 1991 ; Laycock, 1991 ; Aronson *et al.*, 1993 et 1995), dérivé de l'écosystème original.

Les perturbations peuvent néanmoins parfois être génératrices de nouveaux équilibres en aboutissant à des écosystèmes capables de faire face plus efficacement à des perturbations du même type en améliorant les mécanismes de régénération (Holling, 1978). Trabaud

(1987) note en région méditerranéenne que des écosystèmes fortement altérés par des feux fréquents se caractérisent par l'absence d'une réelle succession (stade de blocage) et un développement de processus (rejet de souches en particulier) qui maintiennent les écosystèmes à ces formes altérées. Les perturbations récurrentes conduisent à une diminution de la diversité floristique par sélection et invasion de l'espace par des espèces adaptées à ces formes de perturbations.

Les savanes sont alors considérés comme des systèmes non équilibrés (Holling, 1973; Noy-Meir, 1975; Wiens, 1977, 1984; De Angelis et Waterhouse, 1987; Westoby *et al.*, 1989) qui dérivent d'événements historiques différents, pouvant présenter plusieurs facettes, plusieurs états. Ceci implique que la dynamique des savanes peut être décrite par une succession de stades atteints et par des gammes de transitions discrètes entre ces différents états.

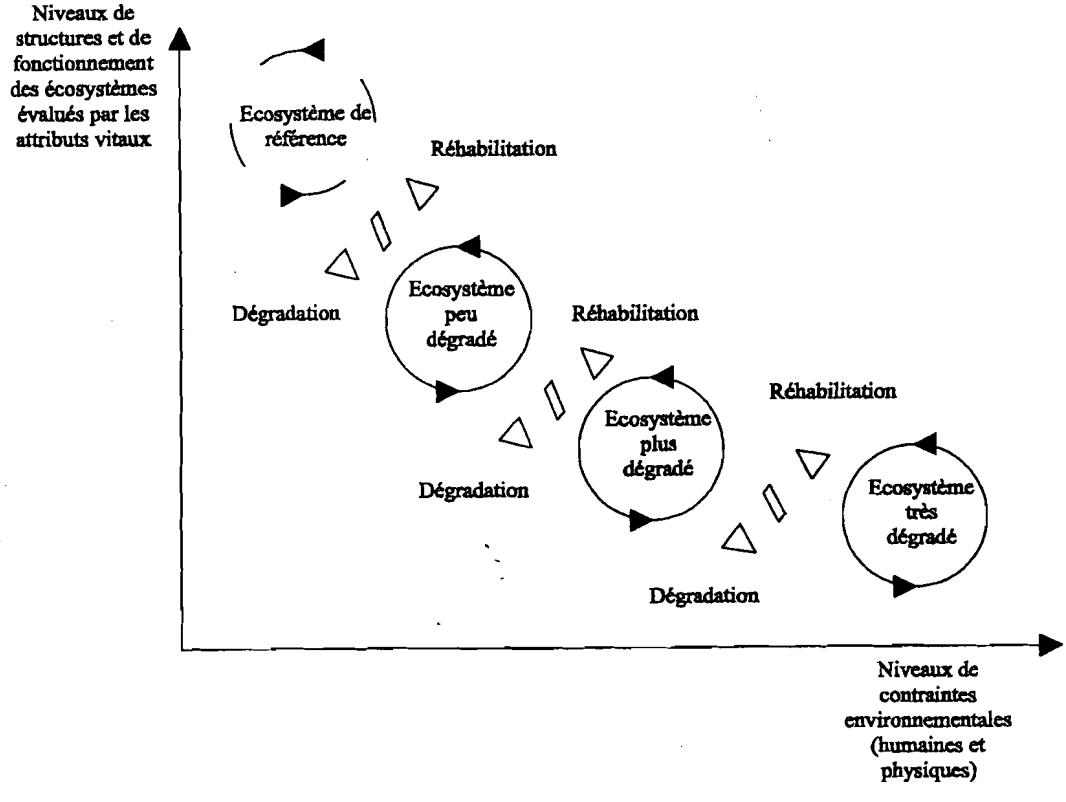


Figure 3 : Présentation schématique de l'évolution d'un écosystème le long d'un gradient d'états d'équilibre, partant de l'écosystème préexistant à un écosystème très dégradé. La structure et le fonctionnement de l'écosystème sont évalués à partir de la liste d'attributs vitaux définis par Aronson et *al* (1995). La résilience est symbolisée par des flèches pleines ; la réhabilitation ou la dégradation par passage d'un seul est symbolisé par un slash.

Ces différents états d'un même écosystème et les transitions entre eux sont schématisés dans la figure 3. L'état d'un écosystème est caractérisé par une structure et un fonctionnement qui dépendent des contraintes environnementales auxquelles il est soumis.
L'écosystème peut se maintenir à son stade actuel si les contraintes exercées (stress et perturbations) ne sortent pas de leur norme habituelle, permettant leur résilience de s'exprimer. Dans ce cas, chaque état de l'écosystème, même à un stade très dégradé, est stable. Par contre un changement majeur des contraintes environnementales, positif ou négatif, peut conduire au franchissement du seuil de tolérance de l'écosystème et adopter un nouvel équilibre, avec une structure, un fonctionnement et un seuil de tolérance différents. Maintenir ces écosystèmes dans un état voulu, alors que les pressions environnementales sont de plus en plus fortes, doit entraîner des investissements supplémentaires et des changements dans les itinéraires techniques d'utilisation de ces écosystèmes (Young et Solbrig, 1993).

Les travaux concernant la dynamique de la végétation en zone de savane sont nombreux : Poupon (1980), Gaston (1981), Walker (1981), Walker et Noy-Meir (1982), Huntley et Walker (1982), Bourlière (1983), Frost *et al.* (1986), Young (1989), Menaut et Podaire (1990) et Skarpe (1992). Cependant, les travaux plus spécifiques sur la dynamique de la végétation post-culturale étaient dans un passé encore récent assez rares. Ils étaient plus nombreux en zone humide qu'en zone sèche. Cette dynamique post-culturale a été décrite : au Nigeria par Hall et Okali (1979), Aweto (1981) ; en Côte d'Ivoire par Peltre-Wurtz et Steck (1979), Alexandre (1989), Mitja (1990), de Rouw (1991, 1993), César et Coulibaly (1993). En zone plus sèche, les travaux sont plus rares : au Sénégal Miège *et al.* (1966), Merlier (1967) ; au Cameroun Donfack (1993) et au Mali Yossi et Floret (1991), Yossi et Dembele (1993). Avec le projet "Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'ouest" (Floret *et al.*, 1993) qui s'est donné comme objectif, entre autres, d'apporter des éléments d'informations concernant la dynamique de la végétation post-culturale, de nombreux travaux affluent, y compris le présent mémoire.

2.2. L'utilisation des terres de savanes.

Globalement, en Afrique sahélienne jusqu'au début du siècle, la grande disponibilité en terre liée à une faible densité de population permettait une agriculture basée sur un système de culture itinérante, très productif vis à vis du travail qui était le principal facteur de production (Serpantié, 1993). Une longue période d'abandon cultural suivait la phase de culture. Cet abandon démarrait dès que l'agriculteur notait une baisse des rendements agricoles, un envahissement de sa parcelle par des adventices, lui montrant en fait une diminution de la productivité de son travail. Par l'abandon cultural, appelé communément la jachère, l'agriculteur sahélien cherchait à régénérer tous les facteurs de productions qu'il ne pouvait plus contrôler (Ruthenberg, 1980). L'emprise des terres agricoles sur l'espace sahélien était alors faible. Avant 1950, à titre d'exemple, la brousse libre (supposée jamais ou très peu défrichée) représentait plus de 88 % de l'espace potentiellement cultivable sur le site ORSTOM de Banizoumbou au Niger (Leduc et Loireau, 1997). Ces dernières décennies, par contre, cette emprise agricole s'est considérablement accrue sur l'espace sahélien. Sur le site de Banizoumbou en 1992, la brousse libre couvrait seulement 35 % de la zone, dont 20 % correspondait aux plateaux latéritiques considérés jusqu'ici comme impropres à la culture avec les moyens techniques traditionnels. Le paysage de savane d'autrefois cède à présent la place à un paysage agricole, dominé par les champs et les jachères. La jachère constitue donc un élément essentiel des paysages au Sahel. Les jachères retracent la réponse des écosystèmes aux perturbations, mais elles sont aussi la résultante d'une pratique culturale. Elles sont le reflet des sociétés concernées et des rapports qu'elles entretiennent avec leur environnement.

2.2.1. Définition et fonctions attendues de la jachère.

2.2.1.1. Définition.

Le recours à la jachère caractérise donc les systèmes agraires traditionnels de l'Afrique de l'ouest sahélienne. La jachère est définie comme :

l'état de la terre d'une parcelle entre la récolte d'une culture et le moment de la mise en place de la culture suivante. La jachère se caractérise, entre autres, par sa durée, par les techniques culturales qui sont appliquées à la terre, par les rôles qu'elle remplit (Sebillote, 1985).

La parcelle en jachère représente un état, résultant des interactions du microclimat, du sol, des cultures et des techniques culturales qui se sont succèdées sur cette parcelle (Sebillote, 1985). La jachère est également une pratique culturale indissociable du contexte où évolue la société la pratiquant comme il sera démontré ultérieurement.

En se référant à la définition de Sebillote, la jachère implique la mise en place d'une culture à terme. Elle appartient donc à une rotation culturale. Dans le développement ultérieur de ce travail, le terme jachère sera donc utilisé dans les cas où les parcelles sont cultivées à court ou moyen terme (période inférieure à une génération humaine). Dans le cas où l'on ne peut envisager une culture dans ces échéances, car par exemple l'état de dégradation de la parcelle est trop avancé, le terme friche, terrain non cultivé et abandonné, sera alors utilisé.

2.2.1.2. Fonctions agronomiques.

Les fonctions attendues de la jachère dans un système de culture itinérante ont été résumées par Nye et Greenland (1960). Les jachères et les processus écologiques qu'elles engendrent, doivent normalement régénérer les facteurs et les conditions culturales, en particulier :

- restaurer le niveau de matière organique,
- restaurer le niveau des éléments nutritifs,
- lutter contre l'érosion,
- lutter contre les adventices.

2.2.1.2.1. Matière organique.

Lors de la phase culturale, dans les systèmes à faibles intrants, les sols subissent généralement une dégradation physico-chimique par une baisse du taux de matière organique, une diminution de la stabilité structurale et une perte des éléments nutritifs (Hoefsloot *et al.*, 1993).

Le taux de matière organique dans le sol est l'indicateur le plus sensible de l'évolution des terres cultivées en Afrique tropicale (Young, 1976 ; Piéri, 1989), par ses relations très étroites avec les autres propriétés édaphiques (Feller *et al.*, 1993). Selon Piéri (1989), les rôles fondamentaux de la matière organique se situent à quatre niveaux :

- elle est la base de l'activité biologique des sols, qui stimule le développement racinaire et, par conséquent, l'amélioration de l'alimentation des plantes,
- elle assume la fonction liante des colloïdes organiques dans les associations organo-minérales qui renforce le squelette minéral et stabilise la structure du sol,
- la minéralisation de la matière organique contribue directement à la nutrition des plantes,
- la matière organique conditionnent directement les propriétés physico-chimiques (capacité d'échange cationique, pH).

Lors de la phase post-culturale, on assiste à une remontée significative des teneurs en matière organique à partir de cinq ans de repos continu dans diverses situations en Afrique de l'ouest (Feller *et al.*, 1993). En zone de savane humide (Peltre-Wurtz et Steck, 1979), l'enrichissement en matière organique devient significatif avec l'installation d'une végétation pérenne au bout de quinze ans. En zone de savane sèche et sur des sols très sableux, Piéri (1989) estime qu'une période d'au moins dix ans est nécessaire pour qu'une remontée suffisante des teneurs en matière organique assure la pérennité des systèmes de culture itinérante. Cette remontée dépend des conditions environnementales et en particulier des types de formes biologiques développés durant cette phase post-culturale. Charreau et Nicou (1971) ont montré qu'une jachère de courte durée à base de graminées annuelles avait la même incidence négative qu'une culture céréalière sur le bilan organique et les

propriétés physiques des sols. Elle exploite plus les ressources qu'elle n'en restitue. La restauration de la fertilité accompagne l'installation de plantes pérennes. Les caractères des graminées pérennes permettent en effet de mieux assumer les fonctions amélioratrices que les graminées annuelles (Hoefsloot *et al.*, 1993). Nye et Greenland (1960) ont remarqué de plus que la constitution d'un couvert ligneux est plus efficace en terme de restitution de la fertilité qu'un couvert uniquement composé de graminées pérennes, car les ligneux ont la capacité de rassembler autour d'eux un grand nombre d'éléments nutritifs et de les maintenir en circulation (CABO, 1991). Par conséquent, le développement des ligneux diminue les pertes en éléments nutritifs dans un premier temps et permet l'accumulation dans un second temps.

Dans tous les cas de figure, Nye et Greenland (1960) rapportent que la teneur en matière organique ne peut revenir au niveau antérieur à la perturbation, même après une longue phase d'abandon cultural.

2.2.1.2.2. Les éléments nutritifs.

Pour des sols cultivés, le bilan annuel en éléments nutritifs est négatif car les pertes par érosion et exportation par les cultures sont plus importantes que les gains par dépôts atmosphériques, fixation d'azote et altération du substrat (Van der Pol, 1992). La jachère courte ralentit le processus d'appauvrissement chimique (Charreau et Nicou, 1971). L'accumulation d'éléments nutritifs n'est possible que, si les processus d'érosion sont très fortement diminués, si une végétation pérenne s'est développée (Piéri, 1989), et enfin, si la végétation et la litière produites sont maintenues sur place. Toutes ces condition nécessitent un certain temps de jachère et un usage modéré de ces milieux.

2.2.1.2.3. Lutte contre l'érosion.

L'amélioration du bilan organique des sols induit pendant la phase post-culturale une augmentation de la stabilité structurale des sols en surface et donc une diminution de la sensibilité à l'encroûtement du sol. De plus, la dynamique post-culturale développe une végétation qui protège la surface du sol (diminution de l'énergie cinétique des gouttes de

pluie), améliore les conditions d'infiltrations à la base des plantes, freine les eaux de ruissellement et piège des éléments de matière organique et de sol (Roose, 1991; Tongway et Hindley, 1995).

2.2.1.2.4. Lutte contre les adventices.

La végétation des premières années après l'abandon cultural est caractérisée par une explosion des espèces adventices liées aux cultures (Miège *et al.*, 1966, Mitja, 1990, De Rouw, 1991). Par les mécanismes successionnels, ces adventices sont éliminées et remplacées au fur et à mesure par des herbacées et des microphanérophytes, puis par des mésophanérophytes et des mégaphanérophytes en zone humide (Aweto, 1981). Ces remplacements d'espèces rappellent le modèle de faciliation (*cf* 2.1.3. de cette partie). En zone sèche, Miége *et al.* (1966) ont observé l'installation progressive d'andropogonées à partir de la cinquième année d'abandon cultural.

2.2.1.3. Fonctions socio-culturelles.

Les systèmes fonciers font partie des caractéristiques de la reproduction des sociétés agraires, permettant à la fois l'accès à la terre pour l'individu et son contrôle par le groupe (Serpantié, 1993). La notion de propriété privée foncière, au sens occidental du terme, n'existe pas dans les sociétés africaines traditionnelles. Elles refusent d'instituer le lien à la terre comme un rapport de pouvoir (Madjarian, 1991). Mais elles créent des liens plus forts que la simple propriété, un véritable attachement procurant un droit d'usage, obligatoirement accompagné de devoirs envers la terre, devoirs qui se superposent à des responsabilités vis à vis du groupe. L'appartenance du sol au groupe n'exclut pas la possession individuelle. La gestion d'un espace défini peut être confiée à un individu, qui va bien au delà du seul droit d'user. Cette possession ne comporte alors pas de monopole puisqu'il y a superposition hiérarchisée de droits fonciers allant de paire avec des responsabilités sociales :

- droits saisonniers attribués aux femmes et aux cadets ;

- droits de culture permanents ou par prêt temporaire attribués à un chef de ménage, impliquant le devoir de cet individu de fournir des terres défrichées aux femmes et aux cadets ;
- droits sur le sous-sol, les arbres, attribués au chef de famille élargie, dont les devoirs sont de répartir des droits d'usage et de régler les conflits éventuels ;
- droits de caractère religieux ou "maîtrise de la terre", au niveau villageois ou régional, détenu par le chef de lignage. Ce dernier a plus d'obligations que de droits. Il est chargé de faire les sacrifices lors du premier défrichement, de pratiquer l'exorcisme, de surveiller le droit d'usage et de régler les conflits les plus graves.

La défriche de la brousse et la mise en jachère rapide joue alors un rôle important dans l'acquisition d'un patrimoine foncier. Ce patrimoine ne fournira pas directement une rente foncière, mais une véritable rente sociale en terme de reconnaissance par le groupe à travers les prêts de terre. Cette course à la terre est en fait la base de la hiérarchie sociale (Jean, 1975).

2.2.1.4. Fonctions économiques.

La végétation des milieux pos-culturaux est une source indispensable de pâturage (César et Coulibaly, 1993) et constitue un élément essentiel de l'articulation élevage/culture céréalière dans les systèmes agro-pastoraux de la zone sahélienne (Roussel, 1994). Elle fournit également du bois énergie (Louppe, 1991; Achard *et al*, 1996, Loireau, in prep.), du bois d'oeuvre, des produits alimentaires (Roussel, 1994 ; Floret, 1997) et sert à la fabrication de produits secondaires comme les nattes et les sékos (canisses confectionnées à partir de grandes tiges de graminées annuelles ou pérennes).

2.2.2. Milieux post-culturaux, systèmes agraires et paysages.

Dans le souci de rendre compte du rôle fondamental de la jachère pour le maintien de la fertilité et la rentabilité du travail dans les systèmes agraires développés en Afrique sahélienne, Ruthenberg (1980) a proposé une classification des systèmes agricoles basée sur

le rapport, noté R, entre la durée de la phase culturale et la durée du cycle culture/jachère, ramené à 100 pour une culture continue à une seule récolte annuelle. Il distingue les systèmes de culture permanente ou à jachères occasionnelles ($R > 66$) ; les systèmes de culture itinérante ($R<33$) et les systèmes à jachères courtes ($33<R<66$). Cette classification repose en fait sur l'utilisation des terres cultivables et Ruthenberg considère alors la pression démographique comme le moteur principal de l'évolution agraire. Mais, l'évolution des systèmes agricoles ne peut pas être expliquée uniquement par la pression démographique. Elle doit tenir compte de l'interdépendance entre les différentes fonctions des activités agricoles, des qualités intrinsèques du milieu et des faits socio-économiques.

Au sein d'un même terroir, les trois types de système proposés par Ruthenberg peuvent coexister. Face à la grande variabilité des conditions édapho-climatiques et de la disponibilité en main d'oeuvre familiale ou salariée, l'agriculteur peut adopter différentes stratégies. Sur les milieux qu'il juge les plus prometteurs, il mise le maximum d'investissement en termes de travail et de fumure, aboutissant à une certaine permanence des cultures (Serpantié, 1993 ; Roussel, 1994). Les risques pris sur ces parcelles continuellement cultivées sont généralement compensés par d'autres parcelles moins prioritaires où des jachères courtes ou longues sont pratiquées. Le paysan valorise alors sur ces dernières parcelles la disponibilité de travail résiduel. L'adoption de différentes stratégies par l'agriculteur et l'organisation de la société villageoise conduit, en Afrique sahélienne, à une structuration du terroir en auréoles : des cultures permanentes au voisinage des habitations et une mosaïque de champs et de jachères en périphérie (Baumer, 1987 ; Ada et Rockström, 1993 ; Loireau, in prep.).

Au niveau de l'exploitation, le recours à l'abandon cultural répond à différentes exigences. Il peut être occasionnel et éphémère (jachère d'ajustement). Il correspond à une adaptation conjoncturelle face à la déficience de certains facteurs de production. A moyen terme, l'abandon cultural sert à la régulation du salissement de la parcelle par les adventices et les parasites, à la production de matière organique, susceptible de s'accumuler dans le

sol, et participe au système pastoral. Les jachères de longue durée sont imposées par la nécessité de régénérer les sols épuisés ou dégradés par la longue période d'exploitation.

2.2.3. Dynamique post culturale, processus de régénération des facteurs de production.

Il a déjà été souligné que la remontée significative des taux de matière organique dans les sols, lors de la phase post-culturale, nécessite une période minimale, qui dépend des conditions environnementales et des formes biologiques développées durant cette phase. Les relations entre la longueur de la phase jachère et la productivité des sols en système de culture itinérante (figure 4) ont été analysées par Guillemin (1956).

La productivité des sols diminuant durant la phase culturale, est suivie d'une amélioration lors de l'abandon cultural. Lorsque le rapport de Ruthenberg R est inférieur à 33 et l'espace potentiellement cultivable abondant, la phase post-culturale doit respecter une période minimale afin de revenir au stade avant culture et peut être suivie d'une période qui n'apporte rien cependant de plus au taux de productivité des sols (fig 4a). La figure 4b présente l'évolution du système lorsque R est supérieur à 33. L'espace cultivable disponible se rétrécit et oblige les agriculteurs à revenir plus rapidement sur la même parcelle. Plus la pression augmente sur ces milieux, plus le temps de retour au stade initial est long. La figure 4c montre la diminution globale de la fertilité suite à des temps de jachères trop courts.

La phase post-culturale doit être suffisamment longue pour permettre la reconstitution d'une végétation qui induit une augmentation des stocks de matière organique, en particulier, de façon à assurer la reproductibilité des systèmes agricoles. La régénération de ces systèmes post-culturaux après perturbations (défrichement et mise en culture) et des facteurs de production requiert un temps minimum qui dépend des antécédents culturaux, des capacités de régénération et de l'environnement (physique et humain) auxquels appartiennent les systèmes concernés (Mitja, 1990).

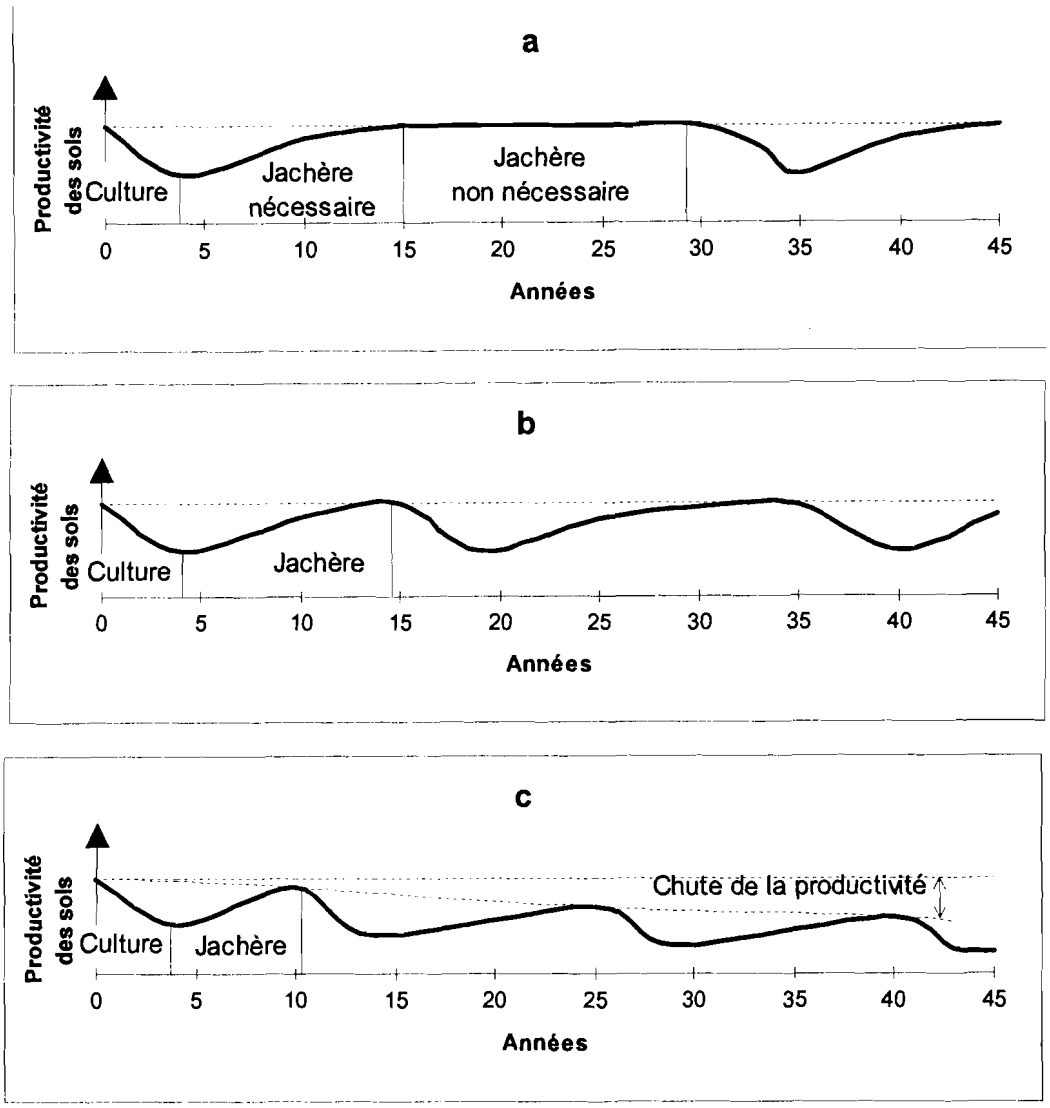


Figure 4 : Relations entre la longueur de la phase de jachère et la productivité des sols en culture itinérante (d'après Guillemin, 1956).

Contextes physiques et humains des milieux post-culturaux du sud-ouest nigérien

2ème PARTIE

2ème PARTIE. Contextes bio-physiques et humains des milieux post-culturaux du sud-ouest nigérien

La connaissance du contexte environnemental (bio-physique et humain) des milieux post-culturaux est un préalable indispensable à leur étude. Les conditions édapho-climatiques déterminent la base de la structure et du fonctionnement de ces milieux, modifiée par les contraintes et les perturbations qui s'y exercent. Les groupes humains du Sahel ont développé au cours du temps différentes stratégies d'occupation et d'utilisation de l'espace, guidées par l'évolution du contexte environnemental.

Ce travail a été réalisé dans la zone agro-pastorale du Sahel ouest nigérien ; il s'est limité au "degré carré de Niamey", c'est à dire à l'aire comprise entre les latitudes 13° et 14 ° N et les longitudes 2° et 3° E (figure 5).

Le "degré carré de Niamey", considéré comme maille élémentaire pour la modélisation des échanges entre l'atmosphère et la surface continentale dans le cadre du programme HAPEX - Sahel (Hydrological Atmospheric Pilot Experiment, Goutorbe *et al.*, 1994), sert également de zone de référence pour de nombreux autres programmes de recherches : SALT (Savanes à Long Terme ; Menaut *et al.*, 1993 ; Menaut *et al.*, 1995), "Amélioration et Gestion de la Jachère en Afrique de l'ouest" (Floret et *al*, 1991) et ROSELT (Réseau d'Observatoires de Suivi Ecologique à Long Terme). Pour ce travail sur les milieux post-culturaux, le "degré carré de Niamey" constitue l'aire d'une étude phyto-écologique régionale pour déterminer les structures actuelles et les premiers éléments fonctionnels de ces systèmes. Une approche expérimentale a été conduite ensuite sur le site de Banizoumbou afin d'apporter des éléments supplémentaires sur le fonctionnement des systèmes post-culturaux et déterminer l'effet de différents modes de gestion sur leur régénération. Le site de Banizoumbou est situé à 65 km à l'est de la capitale Niamey (figure 5) et s'étend sur une superficie de 400 km², soit un carré de 20 km * 20 km. Le village de Banizoumbou a donné son nom à ce site.

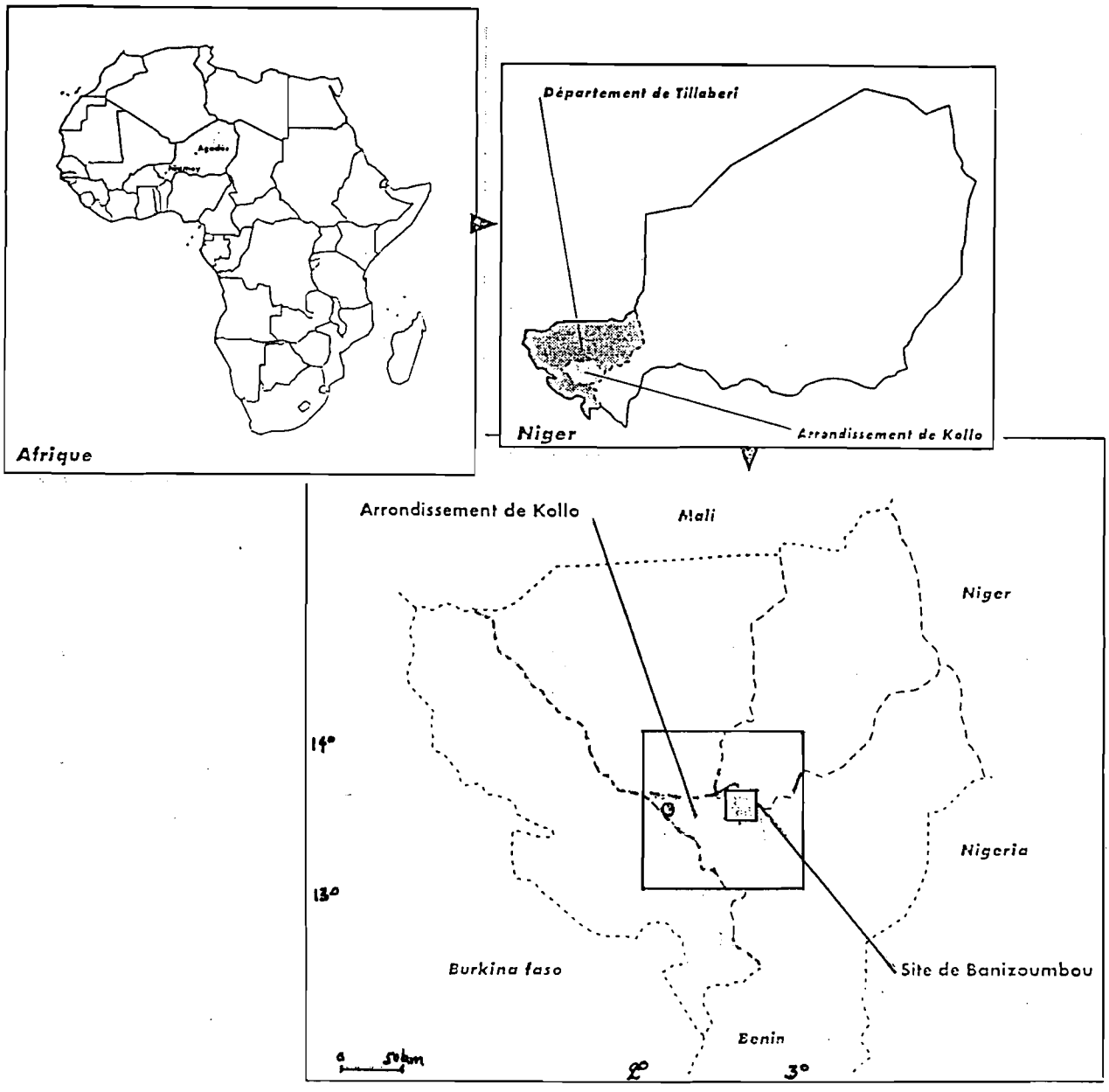


Figure 5 : Situation géographique du site expérimental de Banizoumbou au Niger.

1. Contraintes générales pour la production végétale

1.1. Une incertitude climatique : la pluviométrie.

La région occidentale du Niger est soumis à un climat de type sahélien (Leroux, 1983). Le Sahel est défini par les climatologues comme l'espace compris entre les isohyètes 200 mm et 700 mm (Courel, 1984), et par les agro-écologistes, comme l'espace à vocation

principalement agro-pastorale (Piéri, 1989). Le climat est marqué par le balancement nord-sud de la zone intertropicale de convergence (ZITC). Ce balancement entraîne l'alternance d'une saison sèche et d'une saison des pluies (figure 6) qui conditionne tous les variables météorologiques, et donc la période d'activité de la végétation.

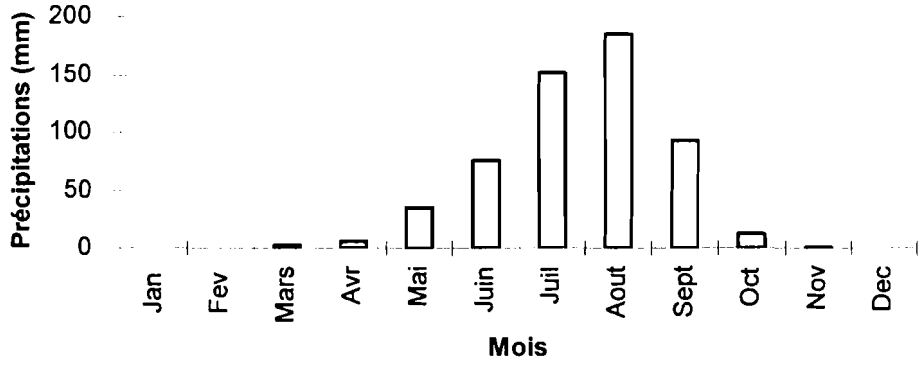


Figure 6 : Moyenne des pluviométries mensuelles de 1943 à 1995 à Niamey, Niger (D.M.N, 1992 et EPSAT, 1995).

La période de végétation correspond en effet à la saison des pluies, au moment où la demande climatique (évapotranspiration) est couverte par les pluies. La remontée plus ou moins rapide vers le nord de la ZITC à partir du mois de mars et la position finale qu'elle atteint (très variable d'une année sur l'autre) conditionnent la durée de la saison et l'abondance des pluies. Cette remontée est loin d'être régulière. Elle induit une grande variabilité des précipitations durant la première moitié de la saison des pluies et des gradients latitudinaux très marqués. La variabilité interannuelle des précipitations est telle que la position des isohyètes fluctue sur des distances de 200 à 300 km selon les périodes de référence, rendant certaines régions, situées au nord de la zone d'étude, impropres à la culture pluviale. Le régime pluviométrique annuel à Niamey entre 1905 et 1995 (figure 7) est caractérisé par une moyenne de 561 mm et un écart type de 133 mm (coefficient de variation de 24 %). La moyenne mobile sur cinq ans (figure 7) met en exergue les trois grandes sécheresses de ce siècle, celles de 1910, de 1973 et de 1984. Radji (1991) a mis en évidence une différence significative entre les moyennes de la

période de 1950 - 1967 (moyenne : 613 mm, écart type 109.6 mm) et de la période 1968 - 1989 (moyenne : 508.5 mm, écart type : 104.4 mm).

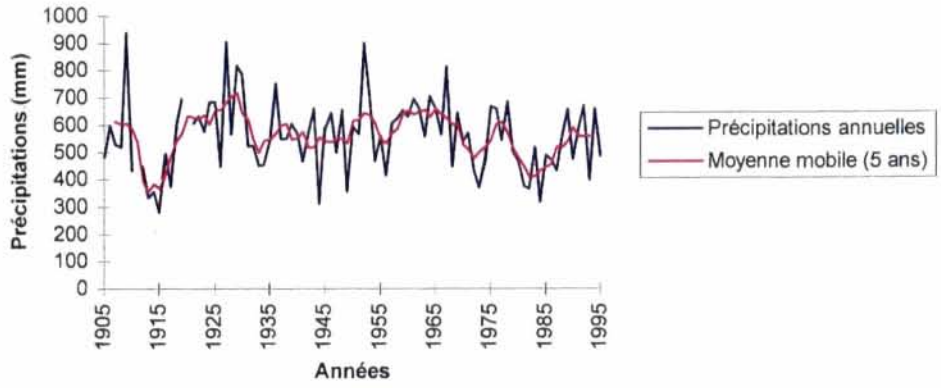


Figure 7 : Régime pluviométrique annuel de 1905 à 1995 à Niamey, Niger (D.M.N, 1992 et EPSAT, 1995).

Une des caractéristiques essentielles du régime pluviométrique au Sahel est donc sa grande variabilité spatiale et temporelle (Schneider, 1991). Cette variabilité se répercute sur la production agricole et sur la végétation spontanée. La composition de la strate herbacée dépend en partie des conditions pluviométriques de l'année et en particulier, de la structure du régime pluviométrique en début de saison des pluies (Hiernaux, 1984; Seghieri, 1996). De plus, l'allongement de la saison des pluies se traduit par de nouvelles vagues de germination de certains végétaux et l'allongement de la durée du cycle de certaines espèces ligneuses et herbacées, comme il a pu être observé pendant la récolte de données sur le terrain et par Grouzis (1988).

Les systèmes précipitants sahéliens sont tous d'origine convective, mises à part des pluies exceptionnelles de saison sèche, appelées localement "pluies des mangues". Ces convections peuvent se confiner à une échelle locale, ou peuvent se développer sur plusieurs centaines de kilomètres et s'organiser en ligne de grains. Ces lignes de grains sont constituées d'un front de cellules convectives alignées suivant une direction N.NE-S.SO, suivi par une zone de pluie stratiforme pouvant s'étendre sur plusieurs centaines de kilomètres de profondeur. L'ensemble se déplace d'est en ouest à des vitesses comprises entre 50 et 60 km/h (Roux, 1987). En moyenne, lors d'un passage d'une ligne de grains, les deux tiers de la pluie

précipitée sont associées au front convectif et le reste à la zone stratiforme. Le hyétogramme d'une telle pluie peut se schématiser de la façon suivante : une très courte période d'intensité faible (10 à 30 mm/h), une période de 5 à 20 mn constituant le corps du système convectif avec des intensités moyennes de 40 à 100 mm/h, pouvant atteindre des intensités de 150 - 200 mm/h suivie enfin d'une longue traîne à faible intensité de 1 à 30 mm/h (Ambouta, 1994). De telles intensités, tombant sur des sols dont la structure superficielle a été très fragilisée par une forte dessiccation durant la saison sèche, se traduisent par une réorganisation des particules de surface des sols et la création de croûtes, limitant les capacités d'infiltration des sols (Casenave et Valentin, 1989). L'organisation des éléments structuraux des horizons superficiels des sols détermine en grande partie les processus d'hydrologie de surface (infiltration des eaux de pluies versus ruissellement).

A partir d'un réseau régulier de 110 pluviographes répartis sur le degré carré de Niamey, l'expérience EPSAT (Taupin *et al.*, 1993) a montré une très forte variabilité spatiale des pluies à une échelle locale et cela malgré la pérennité de la structure convective des régimes précipitants. Des différences supérieures à 100 mm ont été enregistrées en terme de cumul saisonnier, entre deux points distants de quelques kilomètres : 150 mm sur 6 km en 1990 sur le site de Banizoumbou, 320 mm sur 27 km en 1991. D'une façon générale, la variabilité spatiale pour une année donnée est du même ordre de grandeur que la variabilité inter annuelle en un point (115 mm sur la série de Niamey 1950- 1989). Hoepffner *et al.* (1996) ont montré lors de l'expérience EPSAT un gradient pluviométrique nord-sud mais n'ont pas observé des motifs répétitifs quant à la distribution spatiale des cumuls saisonniers sur le "degré carré".

La diversité et le niveau de la production de la végétation spontané fluctuent en fonction de la répartition des précipitations. Sur le plan agricole, il a été observé en 1992 que l'extrême variabilité temporelle, en particulier en début de saison des pluies, a obligé les agriculteurs à semer parfois jusqu'à huit fois de suite sans que la production finale soit garantie. Certains agriculteurs intègrent cette variabilité spatiale des pluies en cultivant, lorsqu'ils en ont la possibilité, des parcelles éloignées les unes des autres, éventuellement sur des sols présentant des réponses différentes à l'abondance et à la répartition des précipitations

(Loireau, 1997). L'eau est le principal facteur limitant le développement de la végétation sur la zone d'étude (Breman et de Ridder, 1991).

1.2. Autres paramètres climatiques.

L'ensemble des autres paramètres climatiques est présenté sur la figure 8. La moyenne annuelle d'ensoleillement est de 8.7 heures par jour (figure 8a) et la moyenne annuelle du rayonnement solaire est de 20,5 MJ/m^2 (figure 8b). Cela se traduit par des températures élevées tout le long de l'année (figure 8c). La moyenne annuelle à Niamey des températures maximales est de 36 °C et celle des températures minimales est de 22,1 °C. D'avril à mai, des températures quotidiennes maximales supérieures à 45 °C sont régulièrement enregistrées. L'ensoleillement et les températures ne sont donc jamais directement limitants pour le développement de la végétation. Les cultures de contre saison sont alors possibles si l'irrigation est utilisée.

La vitesse moyenne du vent est de 5 $m.s^{-1}$ sur l'année (figure 8d). La moyenne mensuelle de la vitesse du vent est plus forte pendant la saison des pluies. Durant cette période, les systèmes de précipitations sont en effet accompagnés de vents violents, pouvant dépasser les 70 km/h. Cette violence accentue l'effet "Splash" des gouttes de pluies sur la surface des sols. En saison sèche, l'Harmattan domine et souffle moins fort en moyenne (4 $m.s^{-1}$).

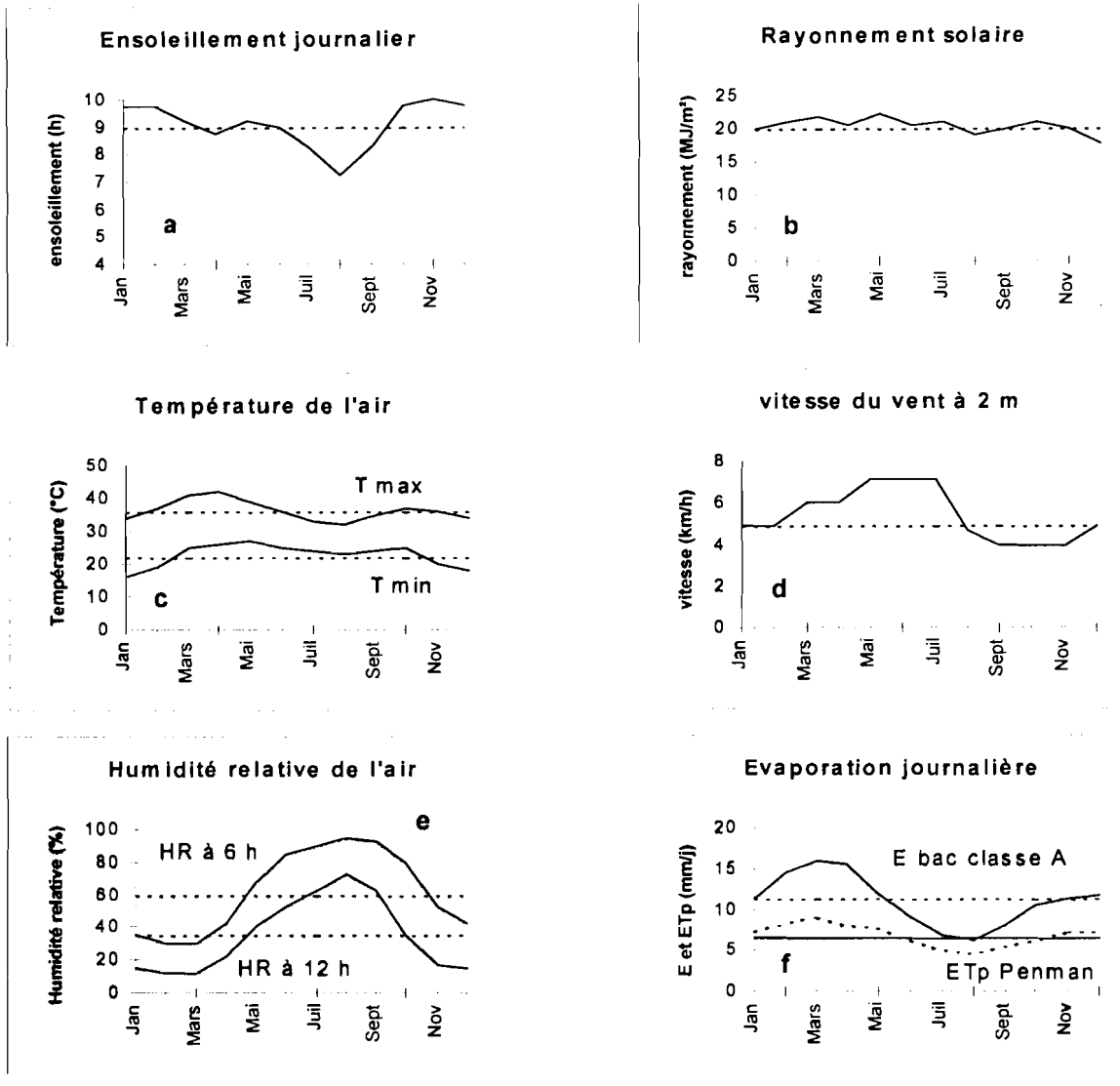


Figure 8 : Principaux paramètres climatiques enregistrés à la station de Niamey, Niger (D.M.N., 1992). En trait plein, ce sont les moyennes mensuelles, et en trait pointillé, ce sont les moyennes annuelles.

Ce vent très sec accentue le pouvoir de dessiccation de l'air, en particulier sur les horizons superficiels des sols. Il transporte des poussières en suspension arrachées au sol (cf Courel, 1984).

L'humidité relative de l'air est conditionnée par le balancement de la ZITC et présente donc elle aussi une variation saisonnière marquée (figure 8e). Elle augmente progressivement de 12 % (valeur moyenne des minimum) en février à 91 % en août (valeur moyenne des maximum). Elle baisse ensuite à partir de septembre. La variabilité interannuelle de l'humidité relative est faible par rapport à celle des précipitations (Courel, 1984).

Les paramètres précédents conditionnent l'évaporation et l'évapotranspiration (figure 8f). A Niamey, pour la période 1991-1993, la lame moyenne annuelle mesurée à partir d'un bac à évaporation de classe A est de 4 000 mm. Les variations saisonnières sont très marquées et s'accordent avec le cycle période sèche / période humide. L'évaporation est maximale (16 mm/j) pour les mois de mars et d'avril. Elle atteint un minimum de 5 mm/j au mois d'août. L'évapotranspiration potentielle de Penman (bilan radiatif) est de 2 485 mm à la station de Niamey (Griffith, 1972) avec un maximum en mars et un minimum en Août. Cependant, l'évapotranspiration réelle est maximale pendant la saison des pluies correspondant à la période de végétation. Les conditions d'humidité (sols et atmosphère) sont favorables au développement de la végétation lorsque le rapport entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle est supérieur à 0.8 (figure 9). Ce bilan est donc positif seulement pour les mois de juillet à septembre en moyenne, mais varie suivant la pluviométrie de l'année. L'évapotranspiration potentielle est assez constante d'une année sur l'autre. Le rapport déterminant la période de végétation est donc bien conditionnée par les précipitations, principal facteur limitant le développement de la végétation dans les régions arides et semi-arides (Noy-Meir, 1973). Le caractère monomodal du régime des précipitations limite donc la période de végétation à quelques mois (Juillet - Septembre), durant une saison de croissance rapide appelée "hivernage".

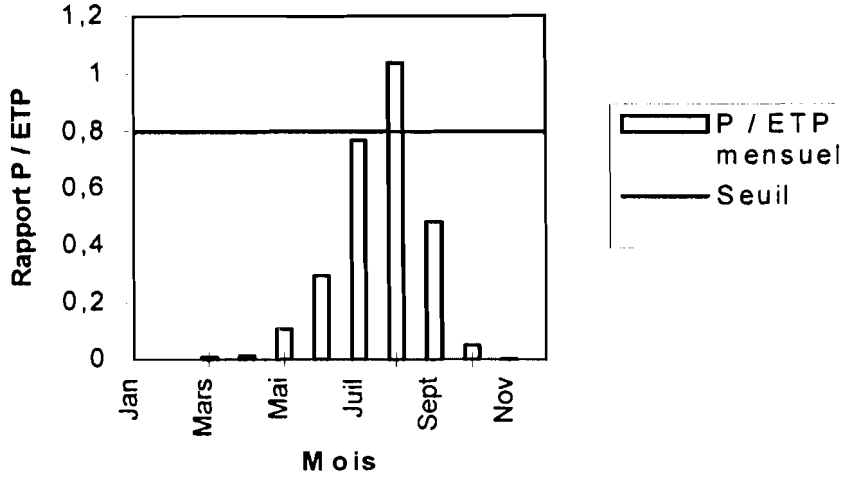


Figure 9 : Evolution mensuel du rapport P/ETP à Niamey, Niger.

1.3. Le sol, support de la production.

1.3.1. Description générale des sols de la zone d'étude.

Les plantes ne possédant pas de réserves hydriques importantes, le sol constitue donc le réservoir permanent qui leur permet de faire face aux apports intermittents des précipitations, alors que la demande climatique (évapotranspiration) est quasi permanente. De plus, le sol contient le stock d'éléments nutritifs sur lequel les végétaux puisent pour leur développement. Les conditions physiques et chimiques des sols représentent le deuxième facteur de régulation des processus biologiques.

Les formations pédologiques dépendent en grande partie des substrats géologiques et des ensembles géomorphologiques sur lesquels ils reposent. Le Niger occidental est à cheval sur deux ensembles géologiques, le socle précambrien qui affleure dans le Liptako Gourma (ouest du fleuve Niger) et les formations sédimentaires du bassin des Iullemeden (à l'est) constituant le grand bassin sédimentaire du Continental Terminal (figure 10).

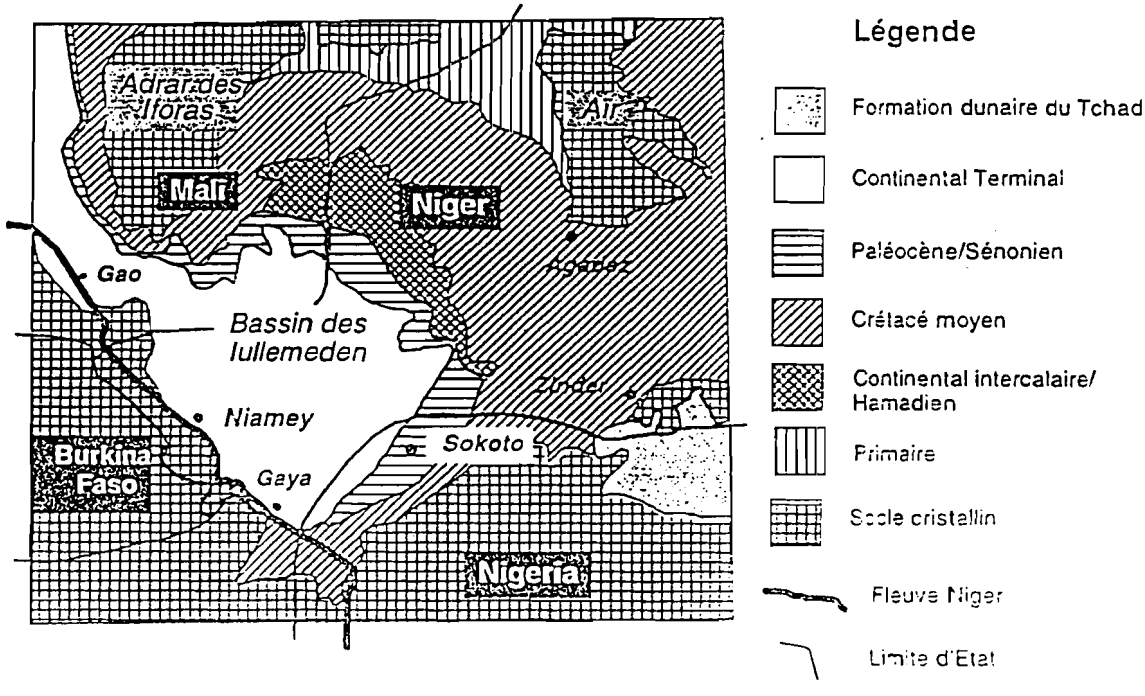


Figure 10 : Carte géologique du Niger occidental (d'après, PNUD, 1986).

Mis en place au début de l'ère tertiaire (Paléocène : 65 à 25 millions d'années BP), cet ensemble sédimentaire est composé de grès argileux et se présente, au Néocène supérieur (entre 5 et 2 millions d'années BP), sous la forme d'une immense cuvette à pente faible (0,6 ‰) orientée au sud, recouverte d'une cuirasse ferrugineuse (Greigert, 1966). La vallée du fleuve Niger draine le Continental Terminal dans la partie ouest, alors que le Dallol Bosso traverse la partie est de cette zone. L'origine du Dallol Bosso est controversée. On la considère soit comme une vallée fossile, soit comme le résultat d'une faille dans la base précambrienne.

Quatre éléments géomorphologiques majeurs (figure 11) ont été identifiés par Wilding et Daniels (1989) à partir des relations sol-gémorphologie : les plateaux, les systèmes de vallée sèche, les systèmes de terrasse et le Dallol.

Relique de la surface originelle, le relief tabulaire ferrugineux (**les plateaux**) domine le paysage actuel. Il résulte de l'entaillement du Continental Terminal par les cours d'eau durant la période humide quaternaire. Les sols développés sont des lithosols souvent très rubéfiés (d'épaisseur généralement inférieure à 1 m), acides (pH < 5,0) et reposent directement sur une cuirasse ferrugineuse. De structure polyédrique à massive, ils présentent en général une texture argilo-sableuse associée à une forte charge de cailloux.

Les niveaux inférieurs à ces plateaux, ainsi que parfois les plateaux eux mêmes, ont été envahis à plusieurs reprises (Erg ancien 50.000 BP et Erg récent : 20.000 et 15.000 BP) par des sables éoliens. Ces dépôts composent l'actuelle couverture sableuse des larges **vallées sèches**. Ces formations de vallées sèches représentent environ 62 % de la superficie totale de la zone et sont les plus cultivées dans la zone d'étude. Ces dépôts éoliens peuvent également former des dunes, orientées ENE - OSO, en particulier dans les parties nord et nord-ouest de la zone d'étude (cordons dunaires).

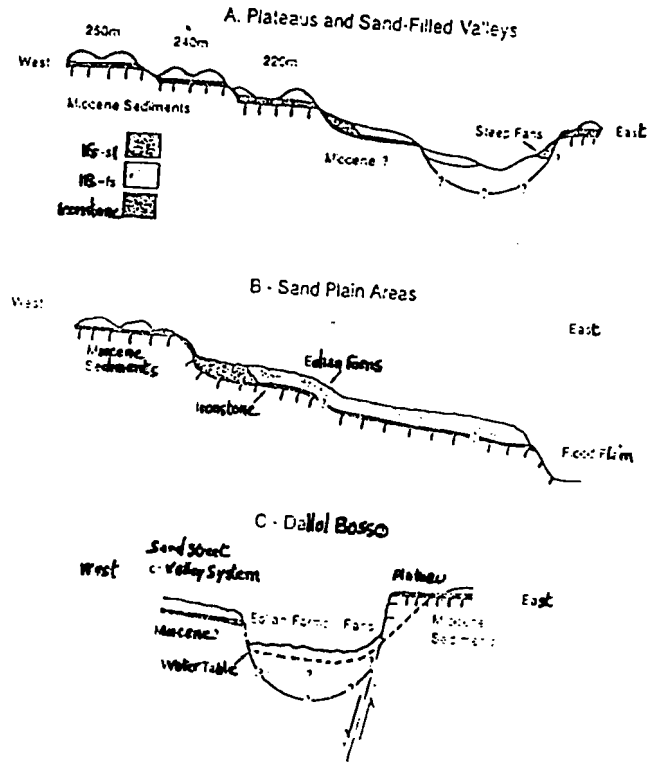


Figure 11 : Profils stratigraphiques et géomorphologiques de l'ouest nigérien (d'après Wilding et Daniels, 1989), correspondant aux plateaux et aux vallées sèches (figure 11A), aux systèmes de terrassses (figure 11B) et au Dallol (figure 11C). lfs = limono-sableux fin, sl = sablo-limoneux, fs =sableux fin.

Le système des vallées sèches commence à partir du talus (zone de forte pente d'environ 35 % constituée de blocs et de graviers) qui délimite généralement les plateaux. Il présente des pentes douces, comprises entre 0,3 et 0,8 %. Parfois, dans la partie sud de la zone d'étude, les recouvrements sableux relient directement les plateaux aux vallées sèches. Sur la zone adjacente au talus, les sols sont peu profonds et contiennent des graviers ferrugineux. Cependant, ces sols s'épaississent en aval pour atteindre des profondeurs supérieures à 9 m (Lamotte, 1992). Ces dépôts sableux adjacents aux plateaux sont désignés sous le terme de "jupe sableuse" (Boulet, 1968). L'épaisseur de ces sols diminuent ensuite vers l'aval, si bien que parfois un second niveau cuirassé affleure, voire un troisième niveau. Un segment de pente convexe constitue généralement le lien terminal avec le bas-fond (d'Herbès et Valentin, 1997).

Les sols développés dans ces vallées sèches sont de type ferrugineux peu lessivés. Ils présentent des variations de teintes de l'horizon d'accumulation B, de l'amont vers le bas-fond, allant du rouge à l'ocre (de 2,5 YR à 7,5 YR), mettant en évidence des conditions d'humidité croissante. Peu structurés, ils présentent des textures sableuses ayant souvent plus de 90 % de

sables, diminuant sensiblement vers la base des profils au contact des grès argileux du Continental Terminal. Les principaux traits physico-chimiques de ces sols sont surtout liés à leur grande pauvreté en colloïdes organo-minéraux. Les taux de matière organique sont très faibles (voisin de 3 % sous végétation et moins de 0,5 % sous sols cultivés). Le cortège minéral est essentiellement dominé par la kaolinite, les sesquioxydes de fer et d'aluminium, et le quartz. Les caractères physico-chimiques associés aux conditions climatiques et de végétation confèrent à ces sols les propriétés suivantes (Ambouta, 1994) :

- très forte susceptibilité à l'acidification,
- très forte sensibilité au ruissellement et à l'érosion,
- nette tendance à la cimentation réversible ou prise en masse lors de l'assèchement, se traduisant par une baisse des conditions d'infiltration et un gêne possible pour les germinations,
- rapide effondrement de la structure, suivi de la redistribution et de la réorganisation des divers constituants en croûtes structurales, dès leur mise en culture (Casenave et Valentin, 1989),
- prédisposition au tassement sous l'impact des gouttes de pluies et augmentation de la densité apparente de la couche superficielle,
- fertilité très faible avec des carences en azote et en phosphate.

Le point bas des systèmes de vallées sèches correspond au bas-fond où les sols présentent des sables blancs lessivés, de couleur 10 YR d'origine alluviale, et un horizon temporairement hydromorphe : les sols gris à raies.

Le long du fleuve Niger, des **systèmes de terrasses** se sont développés et sont constitués de plusieurs niveaux de dépôts sableux, chacun reposant sur une cuirasse (d'Herbès et Valentin, 1997). Ce sont également des sols ferrugineux profonds, de 2 à 8 m (Hoogmoed et Kalij, 1990).

Le quatrième principal élément géomorphopédologique correspond au **Dallol Bosso**, couvert en grande partie par des systèmes dunaires (80 % de la superficie) et sillonné par d'anciens lits de rivière (Bui *et al.*, 1989). Les sols présentent des caractères hydromorphes car la nappe y est peu profonde.

1.3.2. Les états d'encroûtement de la surface du sol.

L'étude sous pluies simulées des facteurs conditionnels de l'infiltration et du ruissellement des sols sahéliens, a montré le rôle prépondérant des caractéristiques de surface, en particulier le couvert végétal, l'activité faunique, le micro-relief et les croûtes développées sur ces sols. L'infiltration est expliquée à 84 % par ces croûtes qui conditionnent en grande partie la quantité d'eau disponible dans le sol pour les plantes (Casenave et Valentin, 1989 ; 1992).

Une croûte est le résultat de la réorganisation des particules de la surface du sol, sous l'effet du vent et de la pluie. De nombreux auteurs se sont intéressés aux processus de formation et à la caractérisation morphologique des croûtes dans les zones arides (Chen *et al*, 1980; Valentin, 1981; Moss, 1991; Heil, 1992; Goyal *et al.*, 1979; West *et al.*, 1992; Ambouta, 1995 ...).

La formation des croûtes obéit à différents processus, qui peuvent se produire simultanément ou non. Sous l'action de la pluie ou du vent, la structure de l'horizon superficiel du sol se modifie. Les gouttes de pluie, par leur énergie cinétique, provoquent le fractionnement des agrégats et la dispersion de la phase argileuse. Les particules détachées peuvent ensuite être déplacées par projection et rejaillissement de fines gouttelettes (effet "splash"). L'humectation seule peut provoquer la destructuration des particules due à l'éclatement des agrégats sous l'effet de l'augmentation de la pression de l'air contenu à l'intérieur et à la fissuration d'agrégats d'argileux. Dans une moindre mesure, les eaux de ruissellement participent également à la réorganisation de la surface des sols, par arrachement et transport des particules, dont une partie se dépose au sein du liquide en mouvement. Après la pluie, les particules fines en suspension dans l'eau, sédimentent lentement dans les micro-dépressions topographiques, créant ainsi des croûtes. Le vent, lui, a une action d'arrachement (déflation) et de transport de particules qui s'observe principalement dans des conditions sèches.

Ambouta (1995) montre que le développement des croûtes semble être fortement lié à la teneur en éléments fins (argiles + limons fins), à l'acidité (pH-eau) et à la teneur en matière organique des horizons superficiels. Valentin (1994) met en avant la diminution des apports de matière organique au sol pour expliquer le développement de l'encroûtement en zone sahélienne. Cette diminution de la matière organique est, pour lui, principalement due aux sécheresses de ces dernières décennies, à la dégradation de la végétation (causes naturelles et anthropiques) et à l'exportation de la végétation prélevée. L'encroûtement superficiel trouve en fait son origine dans la faible stabilité structurale des horizons superficiels. Piéri (1992) établit une relation expliquant la stabilité structurale des sols (St) en tenant compte des teneurs en matière organique (M.O) et en éléments fins (argiles + limons fins) :

$$St\ (\%) = ((\%\ M.O. * 100) / (\%\ Argiles + Limons\ fins))$$

Ce dernier auteur propose des seuils de matière organiques en fonction de la richesse en éléments fins pour le maintien de la stabilité structurale (figure 12). Ces seuils seront abondamment utilisés ultérieurement dans ce travail pour définir l'état de dégradation des milieux post-culturaux.

En fonction du mécanisme de réorganisation dominant, et de la structure des organisations superficielles, Casenave et Valentin (1989, 1992) ont alors établi une typologie des croûtes superficielles des sols sahéliens, en précisant pour chaque type ses capacités d'infiltration. Lors de la présentation des méthodes utilisées pour l'étude régionale des milieux post-culturaux (troisième partie), les caractéristiques des principales croûtes, appelées communément états de surface du sol, seront présentées.

1.4. La végétation de la zone d'étude.

Les flores et les catalogues utilisés dans le cadre de ce travail pour la détermination des espèces sont celle de Berhaut (1967) et celui de von Maydell (1983). Une liste des espècesprésentes dans la zone d'étude est proposée en annexe 1.

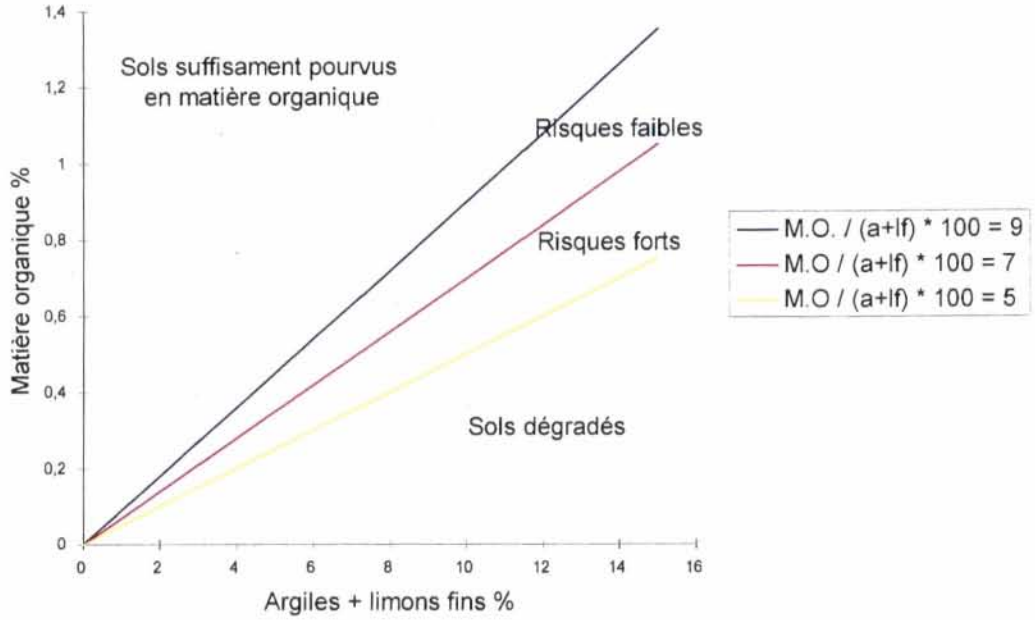


Figure 12 : Seuils des teneurs en matière organique pour le maintien de la stabilité structurale (d'après Piéri, 1992).

Le couvert végétal sahélien se caractérise par des formations ouvertes dans lesquelles les espèces herbacées et ligneuses s'associent en proportions variables suivant les conditions climatiques (degré d'aridité), topographiques, édaphiques et l'importance des activités humaines (Yamba, 1993). Ambouta (1995) définit globalement la végétation naturelle de la zone d'étude comme une savane arbustive dominée par les Combrétacées, appartenant globalement aux savanes saisonnères. Cependant, trois grandes formations végétales peuvent être distinguées.

La végétation des plateaux cuirassés est une formation végétale de type complexe Ligneuse Haute - Ligneuse Basse à Combrétacées (*Combretum micranthum*, *C. nigricans*, *Guiera senegalensis*). Cette formation est contractée, c'est à dire qu'elle comporte deux phases : la première totalement dénudée servant d'impluvium pour alimenter en eau la seconde portant une végétation dense. Le recouvrement moyen de la végétation sur ces plateaux se situe entre 30 et 50 %. La structure de l'ensemble dépend de la pente du plateau, comprise entre 0,2 et 0,8 %, ainsi que des états de surface du sol ; la végétation étant d'autant plus diffuse que la surface est sableuse (Ambouta, 1984; Delbaere, 1994; d'Herbès *et al.*, 1997). Les différentes structures obtenues reçoivent une dénomination évoquant leur aspect vue du

ciel : brousses "tigrées" (alternance de bandes végétalisées et de bandes nues organisées suivant les courbes de niveau) ; "tachetées" ou "ponctuées" (de simples zones nues de formes rondes ou ovales trouant la végétation, le flux hydrique ne s'organise pas dans une seule direction) ; "persillées" (organisations intermédiaires") ; etc.

L'utilisation de ces formations est de type sylvo-pastoral. L'intensité de leur usage par la population locale est fonction de la distance aux villages et de leur importance sur le terroir (Loireau, en prep.). Par contre, ces formations constituent de plus en plus des zones de bûcheronnage sauvage pour l'approvisionnement en bois énergie de la capitale Niamey. Leur utilisation est également pastorale, en particulier pendant la saison des pluies. Au cours de cette saison des mares temporaires se créent sur lesquelles les éleveurs sont obligés de se rabattre, ayant difficilement accès aux points d'eau situées au coeur de l'espace agricole, momentanément interdit aux animaux pour ne pas causer de dégâts sur les cultures. L'idée de défricher et l'utiliser les bandes de végétation à des fins agricoles est en train de se développer suite à la saturation de l'espace potentiellement cultivable (Loireau, comm. personnelle).

La végétation des friches et des jachères, sur substrats sableux, est une végétation de type savane arbustive. Le tapis herbacé est composé essentiellement de thérophytes, dont des graminées (*Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis*, *Digitaria gayana*, *Ctenium elegans*, *Eragrostis tremula*) et des Fabaceae (*Zornia glochidiata*). La strate ligneuse est dominée par des espèces de la famille des Combretacées telles que *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* et surtout *Guiera senegalensis*. Aubreville (1938), von Maydell (1983), Louppe (1991) et d'Herbès (1991) soulignent l'importance de *Guiera senegalensis* dans les milieux post-culturaux. D'autres familles sont représentées comme les Mimosacées (*Acacia* spp, *Prosopis africana*), les Caesalpiniaceae (*Piliostigma reticulatum*) et les Annonaceae (*Annona senegalensis*).

Ces jachères constituent l'essentiel de l'espace pastoral, et font également l'objet d'un prélèvement de bois ignoré dans les inventaires forestiers, mais représentant plus de 80 % de l'approvisionnement des populations rurales (Loireau, en prep.).

Les formations ligneuses des pourtours villageois, semi-artificielles ("savane parc") à base de *Faidherbia albida* (recouvrement < 10 %). Elles forment un système agro-forestier avec la culture permanente du mil (Baumer, 1987).

2. Les sociétés de la zone d'étude et les systèmes de production.

2.1. Les sociétés.

Le peuplement tel qu'il apparaît aujourd'hui est le résultat d'une longue histoire caractérisée par deux faits majeurs, d'une part le regroupement des populations devant les dangers ou les contraintes et d'autre part, la dispersion si le territoire est sécurisé, ou par mode vie ou par adaptation aux contraintes environnementales (Projet Energie II, 1991). De l'histoire du peuplement, se dégagent quatre périodes clés (Sidikou, 1974).

La mise en place des différents groupes de population était conditionnée jusqu'au XVIIIe siècle par la qualité des terres, la disponibilité des ressources en eau, en particulier, la proximité de la nappe phréatique pour faciliter le forage des puits et enfin le caractère défensif du site choisi (Ada et Rockström, 1993). Les plus fortes densités de population étaient alors rencontrées préférentiellement dans la vallée du fleuve Niger et les Dallols. Les plateaux étaient quasiment déserts et étaient surtout fréquentés pour la chasse. Les divers groupes sociaux s'installant auraient développé des stratégies collectives d'appropriation de l'espace.

Les guerres, qui se sont déroulées de la fin du XVIIIe siècle et tout le XIXe siècle entre les Touaregs et les Zarma (ou Djerma) pour la recherche d'esclaves par les premiers, ont entraîné un regroupement des villages en grosses unités de plusieurs centaines de personnes, accrochées au flanc des plateaux facilement défendables. Les zones de Dallol, déjà habitées par des groupes djermas, du fait des leurs potentialités naturelles (terres relativement fertiles, nappe peu profonde) pouvaient supporter des charges humaines assez importantes. La concentration des populations finit par provoquer une saturation foncière.

L'occupation française mit fin à ces guerres à la fin du 19ème siècle, au caractère esclavagiste de la société et apporta une solution aux problèmes de saturation foncière en permettant aux populations de s'installer en dehors des Dallols. Ils partirent donc à la

recherche de nouvelles terres en direction des vallées secondaires, mais également ils fuyaient les colonisateurs, la famine, etc...

A partir des années 1940, les populations commencèrent à se fixer car la forte occupation des vallées secondaires ne permettaient plus une grande mobilité. Plus de la moitié des villages se sont installés au XXème siècle.

A partir de la période d'indépendance (1960), les facteurs agro-climatiques sont les principaux moteurs de la mobilité de l'habitat. Les migrations des jeunes vers Niamey, les pays côtiers (Côte d'Ivoire, Togo, Ghana, etc,..) ou l'Europe sont une réponse à la sécheresse et constituent une source de revenus indispensables à l'unité familiale et à l'économie villageoise (Projet Energie II, 1991). Ce phénomène a été également observé dans l'Aribinda au Burkina Faso par Dupré et Guillaud (1988) , phénomène qu'ils appellent "agriculture détournée".

2.1.1. Les ethnies de la zone.

Les Djerma (ou Zarma) est le groupe dominant sur le site d'étude. Ils seraient issus de la migration d'une population originaire du Delta Central du fleuve Niger (Mali) menée par le grand Mali Bero (Gado,1980). La cohésion sociale est très forte et l'habitat est réuni en gros villages. Ce sont des agriculteurs sédentaires qui ont une nette préférence pour les sols légers. Les périodes intensives des travaux agricoles correspondent au défrichement manuel à la hache et aux sarclages des champs à l'iler.

Les Sonray sont très proches des Zarma au niveau culturel et linguistique. Les autres ethnies les considèrent comme un peuple unique. Ils dominent dans le nord-ouest du degré carré de Niamey.

Les Foulbe (peulh), deuxième en nombre, sont disséminés sur l'ensemble de la zone mais forment un peuplement assez dense dans le Dallol Bosso et dans le sud-ouest de la Zone. C'est un peuple d'agro-pasteurs dont découle deux formes d'occupation de l'espace et deux modes de vie. Au moment de la transhumance, qui correspond aussi à celui du travail agricole intensif (saison des pluies), la famille se scinde en deux. Une partie accompagne les troupeaux dans leur déplacement hors des zones cultivées et une seconde travaille les champs. Leur

habitat est dispersé et est situé généralement au centre de l'espace cultivé par la famille. Le lieu d'habitation suit le déplacement des terres cultivées, qui a lieu tous les trois à cinq ans.

Les Kel Tamajaq (Touareg), berbères islamisés venus du Sahara, ont été longtemps une menace pour les autres ethnies. Ils sont disséminés surtout sur le nord-est de la Zone. C'est également un peuple d'agro-pasteurs.

Les Haoussa viennent des régions orientales du Niger. Ils sont présents presque dans tous les villages grâce à leur mobilité et leur dynamisme commercial.

Les Gourmantche sont les plus anciennement installés dans la partie ouest de la zone d'étude. Conquis par les différents groupes, ils ont soit abandonné leur espace, soit accepté la souveraineté des conquérants. L'habitat est disséminé sur l'ensemble de l'espace villageois avec une distance avoisinant parfois 200 m entre concessions. Contrairement aux autres ethnies, la préférence des Gourmantche pour la mise en culture portait sur les terres lourdes des bas-fonds (utilisation de la daba, houe à manche court). Ainsi, l'implantation humaine s'effectuait le long des axes de drainage (Yamba, 1993).

2.1.2. Pression démographique.

La population nigérienne compte un peu plus de six millions d'habitants dont le dixième peuple la capitale Niamey (recensement de 1988). Le taux de croissance annuel est de 3.5 % au Niger. Sur le degré carré de Niamey, le taux de croissance est supérieur à la moyenne nationale (4.8 %).

La population, exceptée celle de Niamey, est inégalement répartie sur la zone. La densité de population est d'environ de 29 hab/km² sur le degré carré de Niamey (Projet Energie II, 1991), 22 sur le site de Banizoumbou (Loireau, in prep). Les plus fortes concentrations se rencontrent le long du fleuve et du Dallol (supérieures à 50 hab/km², voire 75 hab/km²), le reste de la zone se situe entre 5 et 30 hab/km².

L'augmentation des besoins, due à la croissance démographique, a entraîné une augmentation de la surface cultivée et l'évolution des modes de gestion des terres, sans que l'agriculture ait connu d'évolutions technologiques majeures dans la zone. L'impact de la croissance démographique sur l'évolutions des milieux est important (cf chapitres 2.2 et 2.3).

2.2. Evolution des systèmes agraires dans la région du Zarmaganda.

L'évolution des systèmes agraires dans le Zarmaganda, situé au nord de la zone d'étude, a été très bien étudiée par Ada et Rockström (1993). Un résumé de leur étude est présenté ici.

2.2.1. Paysages originels et origine de l'agriculture.

Les investigations sur l'histoire de la végétation montrent que, pendant l'Holocène moyen, la limite de la savane se situait entre le 20 et le 22° N au Niger et qu'une savane était présente au 19° N vers 7.000 BP (Schultz, 1991). Lors du développement de l'agriculture (3.000 BP), la végétation du Zarmaganda était vraisemblablement constituée de formations ouvertes à graminées et arbustes divers. Ce paysage était favorable à la chasse et à la cueillette des graminées, en particulier, pour lesquelles on arrivait à obtenir des récoltes de grains 70 - 100 kg/ha (Schultz, 1991). La population était donc formée par des agriculteurs éleveurs et chasseurs cueilleurs. Ils ont domestiqué le sorgho (*Sorghum bicolor*), le mil (*Pennisetum americanum*), le fonio (*Digitaria exilis*), les tubercules tels que l'Igname (*Dioscorea spp*), les plantes oléagineuses comme le palmier à huile (*Elais guineensis*), le riz africain (*Oryza glaberrima*) et les plantes stimulantes comme la cola (*Cola nitida*) (UNESCO, 1986).

2.2.2. Période pré coloniale : installation d'une agriculture de subsistance.

L'organisation socio-politique reposait, avant la colonisation, sur un système de chefferie dans lequel on distingue la chefferie paysanne et la chefferie aristocratique, basées elles-mêmes sur une société lignagère. La chefferie paysanne est une organisation de type lignagé dominant un territoire, constitué sur la base d'un village et de quelques hameaux. La chefferie aristocratique agit sur des étendues plus vastes comprenant un gros bourg considéré comme un chef lieu et de plusieurs villages. Le chef de lignage dominait les rapports aînés-cadets, dominants-dominés, hommes-femmes et décidait de la rotation des terres, de

l'organisation de la production et de la répartition des produits. Le lignage constituait l'unité de production et permettait donc un contrôle strict des moyens de production.

Le paysage agraire était structuré en trois éléments : le village, l'espace agricole et le territoire de chasse adjacent. L'espace agricole était constitué de plusieurs compartiments : les champs cultivés qui connaissaient régulièrement des longues périodes de repos de 15 à 25 ans, les aires de pâturage au pied des plateaux et au niveau des friches et les cultures de case autour des concessions.

Les besoins alimentaires étaient couverts par la chasse, la cueillette et la culture du mil tardif, du sorgho, de l'oseille, du souchet (*Cyperus esculentus*), le dah (*Hibiscus cannabinus*) et le calebassier. L'outillage agricole était très rudimentaire et se composait essentiellement de la hache pour l'abattis, de la daba (houe légère à long manche) pour le semis, de l'hilaire pour le sarclage. L'élevage s'est développé seulement vers la fin du 18ème siècle avec l'arrivée des Foulbe.

D'après Sidikou (1974,1987), la gestion de la fertilité était assuré exclusivement par la jachère de longue durée, avec une rotation dominante de 25 ans de repos et 5 ans de culture avec des rendements espérés de 350 kg/ha. Cette rotation était possible car la densité humaine était faible et l'espace abondant. Sidikou (1974, 1987) estime au début du XIXème siècle pour les cantons de Oualllam et de Simiri, une densité humaine de 0,14 hab/km², soit une disponibilité en terre de 127 ha/hab. Ada et Rockström (1993) ont calculé une surface agricole utile (SAU) de 1 ha/ UTH (Unité Travail Humain) pour couvrir les besoins céréaliers de la population.

2.2.3. Période coloniale : conquête de l'espace et prémices de la crise actuelle.

La sécurité retrouvée avec les colons français (1897-1922) a permis aux populations de sortir des Dallols et de coloniser l'espace. Contrairement à la précédente phase d'occupation, qui était le fait de groupes organisés, la dispersion de la population s'est effectuée de façon anarchique par des familles restreintes, composées dans la plupart des cas de membres d'une même famille. Les "Wangari", chefs aristocratiques, changent de statut et sont érigés en chefs

de canton par l'administration coloniale. Les lignages se scindent en plusieurs concessions autonomes entre lesquelles il n'existe pas de rapports étroits. La dispersion géographique des concessions et la tendance générale à l'éparpillement rendent difficile une quelconque cohésion. Chaque entité ainsi créée devient le noyau d'un nouveau lignage. On assiste alors à l'émergence d'une catégorie de grands producteurs céréaliers, les " Sarkin Noma", qui atteignent des productions de 1000 à 2000 bottes par exploitation (une botte de mil correspond à peu près à 10 kg de grains ; Seybou, 1993) ; à l'émergence d'agriculteurs éleveurs ; à la systématisation du prélèvement de 10 % de la récolte sous forme de dîme ("Zakkat") ; à l'instauration de travaux forcés, puis de l'impôt de capitation par l'administration coloniale. L'organisation sociale villageoise se caractérise alors par son éclatement et sa faible hiérarchisation. Un tel contexte ne favorise pas la création d'un cadre social approprié pour une gestion concertée et efficace des ressources naturelles. La multiplication des villages s'est accompagnée de nombreux défrichements de nouvelles terres. La population s'est accrue avec des taux de croissance avoisinant parfois les 5 %. Parallèlement, le cheptel a augmenté. L'aire d'emprise agricole a augmenté autour des villages, avec une structuration en auréole plus poussée basée sur une différenciation entre les champs fumés par le bétail et les autres.

Les systèmes de production ont été marqués durant cette période par :

- le raccourcissement des durées de jachère de 25 à 15 ans (vers 1945), puis de 15 ans à 5 ans (à partir de 1955),
- la diversification des cultures avec l'introduction des cultures de rentes telles l'arachide et le coton, et le développement de cultures d'appoint comme le manioc, le gombo (*Hibiscus esculentus*) et le voandzou (*Voandzeia subterranea*),
- la constitution d'un cheptel secondaire,
- la disparition de la chasse,
- l'absence d'évolutions techniques majeures.

La disponibilité en terre passe d'environ 45 ha/hab au début de cette période à 4,5 ha/hab vers 1945. Cette baisse de la disponibilité en terres induit une diminution des temps de jachère et une rotation de 5 ans de repos, suivi de 3 ans de culture avec des rendements espérés de 200 kg/ha. Pour couvrir les besoins alimentaires, la SAU passe alors à 2 ha/UTH.

Néanmoins, l'effet du raccourcissement du temps de jachère sur la fertilité a pu être contrebalancé par le développement des techniques de parcage des animaux et des contrats de fumure entre les agriculteurs et les éleveurs. Il y avait ainsi un transfert de fertilité des aires de pâturage vers les champs.

L'extension des surfaces cultivées, couplées à des années pluviométriques favorables, ont permis à certaines familles de dégager des surplus agricoles et d'acquérir du bétail dans les années quarante. Sidikou (1974) estime qu'à cette époque, le cheptel a crû de 170 % pour les bovins et de 30 % pour les petits ruminants.

2.2.4. Période post-coloniale à nos jours.

L'extension de l'aire agricole s'est poursuivie en entraînant une diminution des durées de jachères. Pour Ada et Rockström (1993), la combinaison du raccourcissement des jachères et des différentes sécheresses de ces dernières décennies, a conduit à une baisse de la fertilité, les rendements agricoles chutant en moyenne à 150 kg/ha. La surface disponible en terre est passé à 2 ha/hab, alors que la SAU/UTH, nécessaire pour assurer les besoins alimentaires, est supérieur à 2 ha. La crise alimentaire engendrée par le déséquilibre entre les ressources et les besoins a provoqué une exode de la population rurale vers les grands centres urbains et une émigration temporaire d'une partie de la main d'oeuvre vers les pays côtiers.

La dynamique des systèmes agraires dans le Zarmaganda présentée dans les chapitres précédents, est résumé dans la figure 13 (Ada et Rockström, 1993). Cette figure 13 présente les évolutions, depuis le XIXème siècle jusqu'à nos jours, de la population, de la disponibilité en terres (ha/hab), de la durée des jachères et des rendements agricoles.

Pour synthétiser tout ce qui précéde, l'augmentation de la population se traduit par une forte diminution de la disponibilité en terres, de 127 ha/hab avant 1900 jusqu'à 2 ha/hab en 1993. Sur la même période, les rendements moyens agricoles ont baissé de 350 kg/ha avant 1900 à 150 kg/ha à présent. Cette diminution des rendement moyens à l'hectare entraîne un doublement de la surface agricole utile sur cette période qui atteint maintenant 2 ha/UTH.

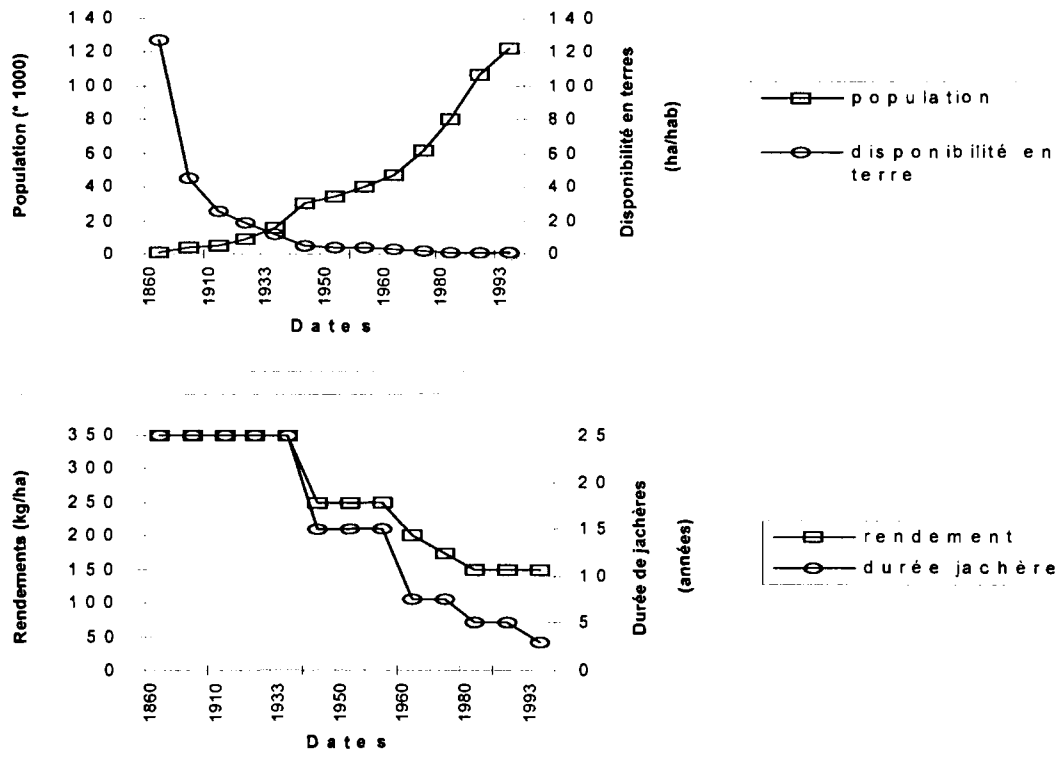


Figure 13 : Evolution depuis le 19ème siècle dans le Zarmaganda de la population, de la disponibilité en terres, des rendements en mil (kg de grains / ha) et de la durée de la jachère (d'après Ada et Rockström, 1993).

L'espace agricole dans le Zarma Ganda est saturé. Cette saturation de l'espace a pour conséquence une forte diminution de la durée des jachères. Cependant, les chiffres avancés par Ada et Rockström (1993) ne semblent pas suffisamment tenir compte de la structure auréolaire du système traditionel décrit par Sidikou (1974, 1987) et Baumer (1987). Ces derniers auteurs ont mis en évidence que la sole principale chez les Zarma était basée sur deux auréoles. La première située au plus près des villages, appelée "*Hali*", était constituée de jardins intensément fumés, sous couvert ligneux tels que l'*Acacia Albida*. La deuxième auréole sur laquelle se développaient des *Acacia albida*, "*Koiraté*", comprenait des champs cultivés durant 6 à 7 ans, mélés à des jachères maintenues seulement 2 à 3 ans. Le système sur cette auréole était du type agro-sylvo-pastoralisme. Elle bénéficiait également des apports de fumure par le bétail, améliorant ainsi la reproduction de la fertilité. Il existait une troisième auréole de champs éloignés, "*Zighi*", considérée comme marginale pour l'agriculture. L'utilisation dominante était effectivement sylvo-pastoraliste. Le système strict de culture itinérante avec de longues jachères devait exister seulement sur cette auréole. L'augmentation

des superficies agricoles ces quarante dernières années sous la pression démographique a principalement touchée cette troisième auréole et la forêt. Loireau (in prep.) a étudié par enquête l'évolution des quarante dernières années de l'emprise des terres agricoles et de la durée des jachères sur le site de Banizoumbou (cf chapitre 2.3).

2.3. La jachère sur le site de Banizoumbou.

Le site de Banizoumbou, d'une superficie de 400 km², supporte une population de 8800 personnes, soit une densité humaine de 22 hab/km². Par rapport à la typologie régionale des systèmes agraires, le site appartient à la zone 2 sud. Il comprend 15 terroirs et 22 villages (figure 14, Loireau, 1997). Sur ces 22 villages, 7 sont relativement anciens (18- 19ème siècle), 8 datent du début du siècle et sept ont moins de cinquante ans. Les superficies des terroirs sont très variables, de 14 km² (Komakoukou) à 77 km² (Tondi Kiboro).

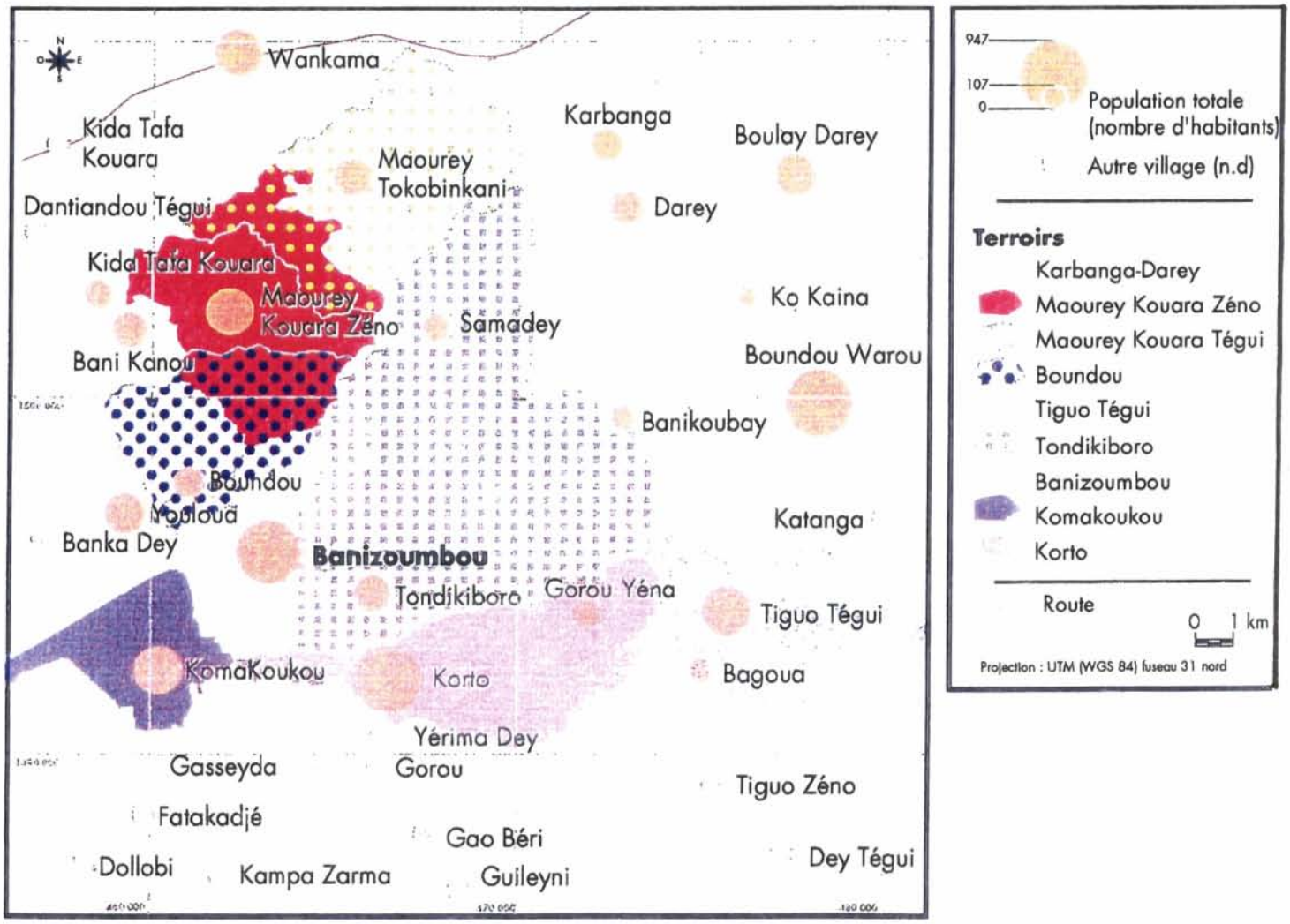


Figure 14 : carte des terroirs sur le site de Banizoumbou (Loireau, 1997).

La superficie des terroirs, enregistrée maintenant, est fortement liée à la population des villages (Loireau, in prep). Cette relation, ne reconnaissant pas ou très peu le droit coutumier, entraîne un certain nombre de conflits entre terroirs, concernant la revendication des terres. En effet, le village de Banizoumbou revendique un terroir (25 km² environ) dont les limites ne sont pas reconnues par les chefs des villages voisins (Tondi Kiboro et Boundou ; Loireau, 1998).

Leduc et Loireau (1997) ont quantifié l'évolution de la superficie des terres sous l'emprise agricole (cultures et jachères plus ou moins longues) par comparaison des photographies aériennes de 1950, 1975 et 1992 (figure 15). En 1950, cette emprise se limitait à 12 % de la surface totale du site de Banizoumbou. Elle est passée à 35,3 % en 1975 et à 70,5 % en 1992. La proportion des plateaux, considérés comme impropres à la culture avec les moyens technologiques actuels à la disposition des paysans, est de 15,7 % sur le site.

Si on ramène alors les chiffres de l'évolution de l'emprise agricole à l'espace potentiellement cultivable (zones sableuses), ils sont de 14 % en 1950, 42 % en 1975 et 84 % en 1992. Il reste peu de zones libres, composées en partie de terres marginales, trop dégradées pour être mises en culture.

Loireau (op. cit) a effectué une enquête sur l'historique de la gestion des terres à partir d'un échantillonnage de 348 parcelles. Elle a classé dans un premier temps ces parcelles (tableau 1 et figure 16) suivant la distinction entre cultures, jachères et brousse libre (apparemment jamais défrichée). En 1950, la proportion de champs / champs + jachères était de 88,8 % sur Banizoumbou, indiquant suivant la classification de Ruthenberg un système effectivement de cultures permanentes, ce qui correspond aux résultats de Sidikou (1974, 1987) et Baumer (1987). L'évolution des superficies sous l'emprise des cultures s'est faite au détriment des brousses libres qui représentaient 73 % de l'échantillonnage en 1950, plus que 3 % en 1995. Parallèlement, le nombre de jachères a augmenté (de 3 à 32 % sur les mêmes dates). La proportion de champs / champs + jachères diminue progressivement, il est de 67 % en 1995. Cela indique donc le passage à un système de culture avec jachères courtes suivant la classification de Ruthenberg.

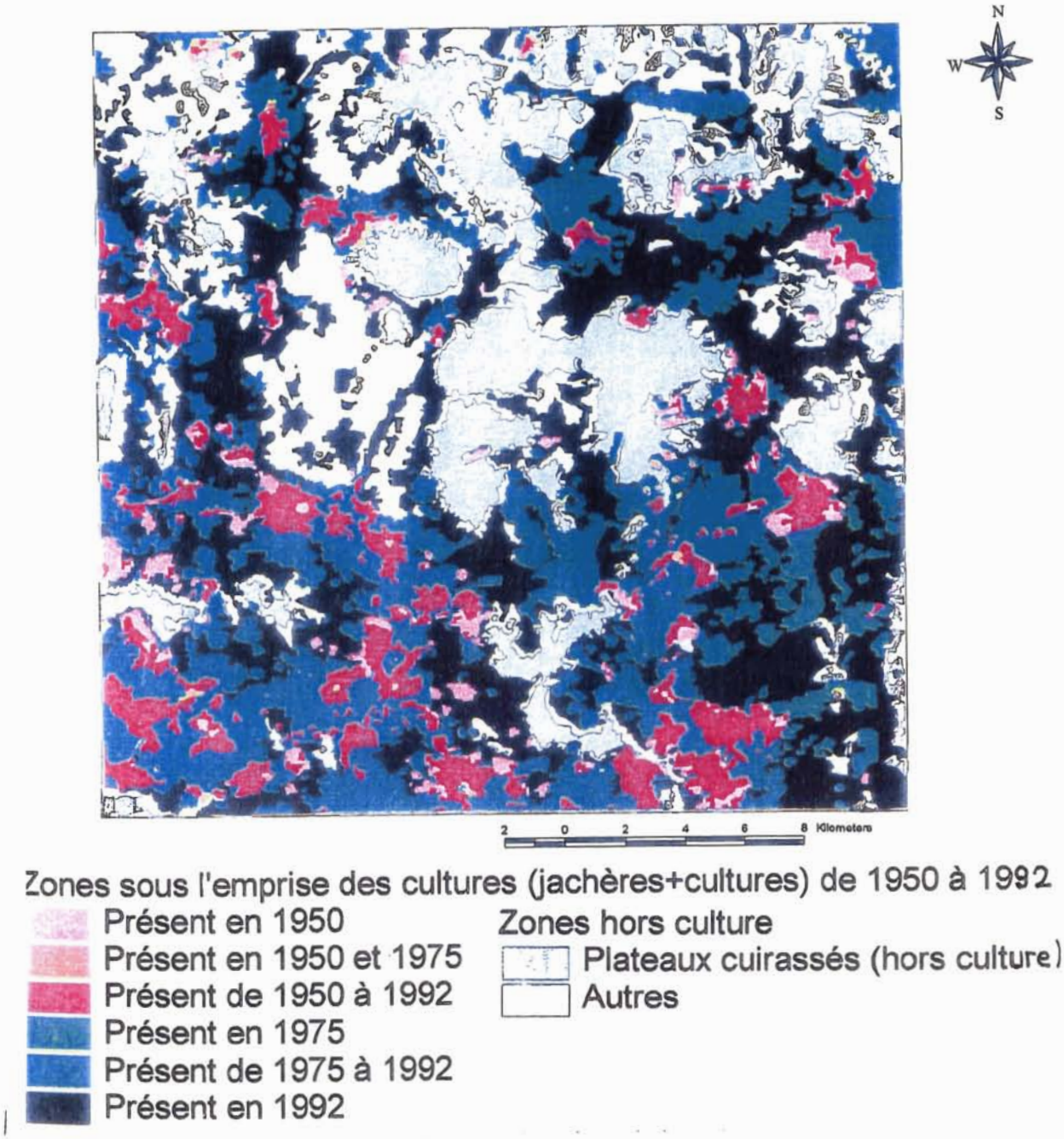


Figure 15 : Evolution des superficies sous l'emprise agricole sur le site de Banizoumbou (Leduc et Loireau, 1997).

Tableau 1 : Evolution de la proportion brousse, jachères et champs de 1950 à 1995 sur le site de Banizoumbou (d'après Loireau, 1998).

Dates	Brousse libre	Jachères	Champs
1950	73	3	24
1975	33	13	54
1995	3	32	65

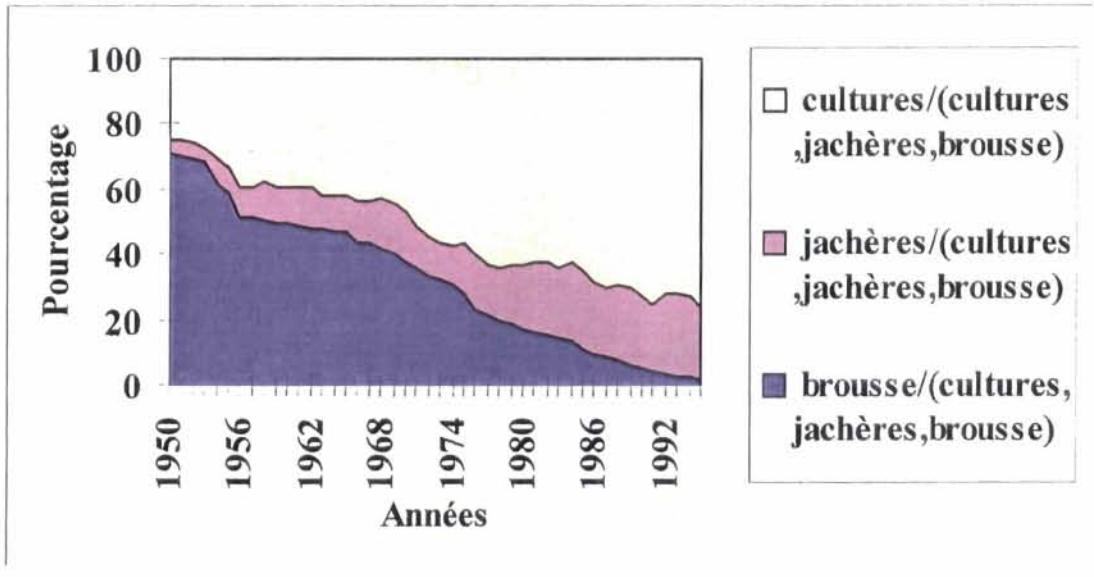


Figure 16 : Evolution de l'affectation (brousses, jachères et cultures) à partir d'un échantillonnage de 348 parcelles enquêtés sur le site de Banizoumbou (Loireau, 1998).

L'évolution de la durée de la jachère pratiquée sur le site de Banizoumbou sur les quarante dernières années (figure 17 et tableau 3) montrent qu'en 1950, une grande majorité des jachères ne dépassaient pas cinq ans. La jachère longue (> 10 ans) n'existait apparemment pas. Elle est par contre apparue dans les années 60, en même que les populations défrichaient de nouvelles terres. Les jachères supérieures à dix ans représentaient 50 % des jachères totales en 1967. A partir des années 70, la pression anthropique a continué de s'exercer sur les terres classées en brousse libre, mais aussi sur les jachères supérieures à 5 ans. La proportion de jachères courtes (< 5 ans) passe alors de 40 % en 1967 à 81 % 1995.

Tableau 2 : Evolution de la proportion de jachères en fonction de leur durée sur le site de Banizoumbou (d'après Loireau, 1998).

Dates	0 - 5 ans	5 - 10 ans	> 10 ans
1950	86.4	13.6	0
1967	40	10	50
1975	59	17	24
1995	81	12	7

L'augmentation de l'emprise agricole sur le site de banizoumbou s'est faite dans un premier temps au détriment des terres classées en brousse libre, et dans un second temps au détriment des jachères les plus longues (> 5 ans). Contrairement à ce qu'il a pu être observé dans d'autres régions du Sahel Par Floret et Pontannier (1993), La croissance de l'emprise agriucole s'est accompagnée du passage d'un système principalement à cultures permanentes à un système globalement à jachères courtes (Loireau, 1998). Ce dernier auteur distingue en fait plusieurs formes de gestion des terres sur le terroir de Banizoumbou : les cultures permanentes, les zones à jachères courtes et les zones jachères longues.

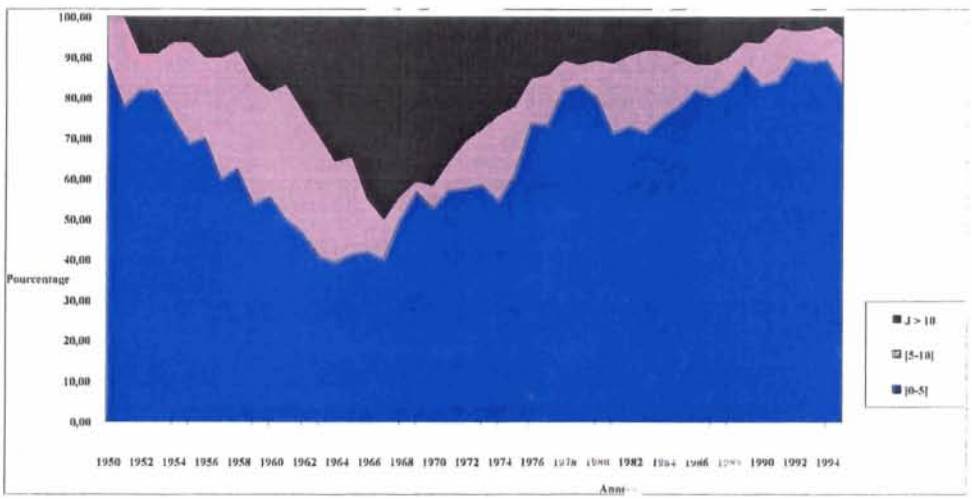


Figure 17 : Evolution des classes d'âge de jachère (Loireau, 1998). En bleu, ce sont les jachères de 0 à 5 ans, en bordeaux, les jachères de 5 à 10 ans et en noir, les jachères supérieures à 10 ans.

Pour la deuxième catégorie, Loireau (1998) distingue les zones où le paysan décide volontairement de mettre en jachère au bout d'un certain nombre d'années de cultures et les zones où le paysan attend effectivement une baisse de la productivité de son travail au bout

jachères longues, cet auteur différencie les friches qui correspondent à des stations très dégradées, les zones où les sols sont de moins bonnes qualité et qui nécessitent des temps de régénération plus longs et les zones qui constituent des réserves foncières, exploitées de temps en temps par des migrants ou par des locaux qui disposent d'un surcroît de main d'oeuvre.
Le maximum d'investissements en termes de travail, de qualité du travail, de fumures et parfois d'engrais est réalisé en priorité sur les systèmes de culture permanente, puis sur les systèmes à jachères courtes. Les systèmes à jachères longues ne profitent pas de tous ces investissements. Ils sont au contraire une des sources du fourrage pour les animaux et donc de la possibilité de transfert de fertilité des aires de pâturage vers les champs comme l'ont observé Jouve et David (1985) dans la région de Maradi au Niger. Comme l'augmentation de l'emprise agricole touche avant tout ces systèmes à jachères longues, les possibilités de transfert de fertilité par baisse des ressources diminuent, entraîne un risque concernant la reproduction de la fertilité. Jouve et David (1985) ont constaté ce phénomène à Maradi. Le chapitre suivant présente la situation de la reproduction de la fertilité sur l'ensemble de la zone d'étude.

2.4. L'Agriculture du degré carré de Niamey.

2.4.1. Une typologie des systèmes agro-pastoraux du degré carré de Niamey.

Dans le cadre de ce travail, une typologie régionale des systèmes agro-pastoraux a été réalisée (figure 18 ; tableau 3). Cette typologie est issue de la combinaison de la carte des principales unités géographiques du degré carré de Niamey (annexe 2 ; d'Herbès et Valentin, 1997) et de la carte des systèmes agro-pastoraux réalisée par le projet Energie II (1991).
Les objectifs de cette typologie sont de montrer que la situation des systèmes agro-pastoraux, concernant en particulier le bilan de la fertilité, dépend des conditions édapho-climatiques et du mode de gestion des terres.

Trois grands groupes dans cette typologie se distinguent. Les deux premiers sont situés respectivement le long du fleuve Niger et du Dallol Bosso où les risques climatiques sont minimisés par la présence du fleuve Niger ou d'une nappe haut perchée. Les risques agricoles

liés aux conditions pluviométriques sont ici définis par la probabilité supérieure à 80 % qu'il tombe au moins 350 mm de pluie dans l'année, seuil au delà duquel la culture pluviale n'est pas possible. Le troisième groupe, le plus vaste est beaucoup plus dépendant des conditions climatiques.

Le premier groupe : La zone 6 et la communauté urbaine de Niamey se distinguent du reste de la région par la diversification et l'intensification des modes d'exploitation (maraîchage, riziculture) qui ont conduit à l'appropriation individuelle des terres, dans le sens occidental du terme. La technologie (engrais, irrigation) et la qualité des terres permettent la reproductibilité des systèmes intensifs développés et d'obtenir des bons rendements (500 à 600 kg/ha).

Le deuxième groupe : Le Dallol Bosso est la zone la plus anciennement occupée par la communauté Zarma. La position haute de la nappe permet une diminution des risques climatiques pour l'agriculture. Le Dallol Bosso présente une très forte densité humaine, supérieure à 40 hab/km². L'espace agricole est complètement saturé et de nombreux conflits fonciers sont enregistrés. Les jachères n'existent pratiquement plus. C'est un système de culture permanente dont le bilan de fertilité est à la limite du déficit malgré la très forte intégration agriculture-élevage.

Le troisième groupe représente des zones moins densément peuplées que les précédentes et où la jachère est encore, dans la majorité des cas, une composante des systèmes agraires. Cependant, la durée de la phase jachère est en moyenne de trois ans maximum, mais il existe des différences suivant les modes de gestion comme l'a fait apparaître Loireau (in prep). La gestion des terres est toujours traditionnelle. Les éléments qui distinguent les différentes classes de ce groupe sont dans un premier temps, les risques climatiques, et dans un second temps, la saturation de l'espace.

Classes	Niamey	6	5	1	2 nord	2 sud	4	3
couleur	blanc	bordeaux	mauve	ocre	vert clair	vert foncé	bleu foncé	bleu clair
Occupation des sols		terrasses, mil et riz irrigué	Dallol Bosso, très cultivé	densité faible de plateaux	plateaux disséqués, versants sableux cultivés	plateaux disséqués, versants sableux cultivés	plateaux sans talus, vallées sableuses étroites	Gros plateau, végétation dense.
Sols	sols ferrugineux peu lessivés	Sols ferrugineux lessivés	Sols à caractère hydromorphe	sols ferrugineux peu lessivés	sols ferrugineux peu lessivés	sols ferrugineux peu lessivés	Sols ferrugineux lessivés	Sols ferrugineux lessivés
Taille d'exploitation (ha)	appropriation individuelle	appropriation individuelle, < 4 ha	< 5 ha	> 7 ha	> 7 ha	< 5 ha	< 5 ha	forte disponibilité
Rendements agricoles (kg/ha)	500 - 600	500 - 600	150 - 300	150 - 300	150 - 300	150 - 300	150 - 300	élevés
Jachères	non	< 2 ans si pratiquées	non	< 3 ans	< 3 ans	< 3 ans si pratiquées	< 3 ans si pratiquées	< 2 ans si pratiquées
risques climatiques	faibles	faibles	faibles, nappe peu profonde	forts	forts	forts	faibles	faibles
Peuplement	18 ème siecle	17 ème siècle	17 ème siècle	17 ème siècle	17 ème siècle	fin 18 ème	fin 18 ème	17 ème siècle
Situation foncière	appropriation individuelle	appropriation individuelle	conflits	pas de conflits, zone d'émigration	pas de conflits, zone d'émigration	conflits	conflits	zone d'immigration, défrichements importants
Intégration agriculture - élevage	forte		forte	élevage en régression	élevage en régression	forte	forte	forte
Bilan de fertilité	"positif"	"positif"	"équilibré"	"négatif"	"négatif"	"équilibré"	"équilibré"	"positif"

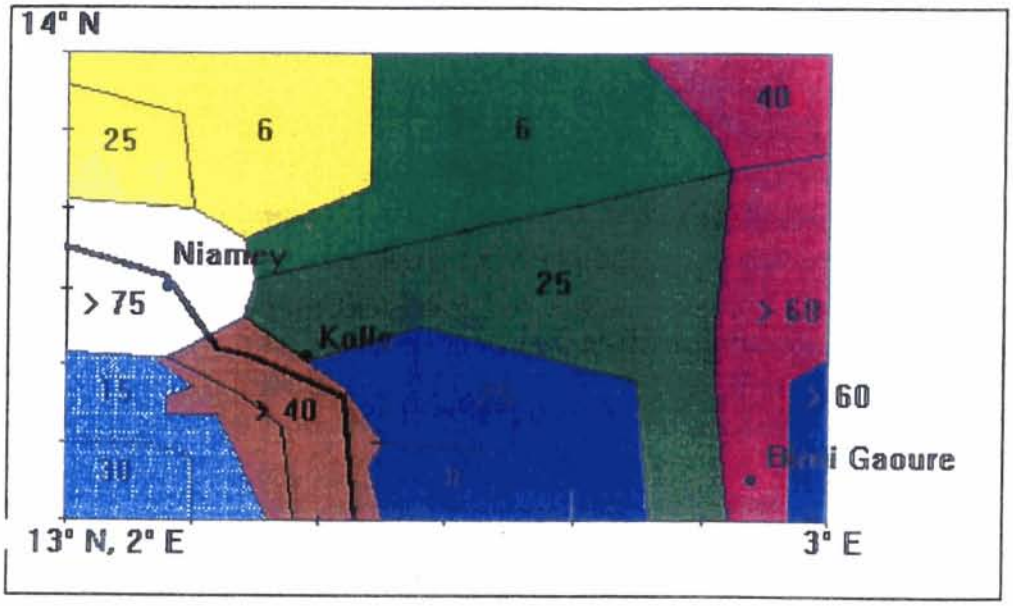


Figure 18 : Typologie des relations des systèmes agro-pastoraux et des principales unités géographiques sur le degré carré de Niamey.

Tableau 3 : Légende de la typologie des systèmes agro-pastoraux du degré carré de Niamey.

VOIR PAGE CI-CONTRE

La zone nord du troisième groupe (classes 1 et 2 nord) présente des risques climatiques forts pour l'agriculture. Cette zone correspond au Zarmaganda et sa situation a été décrite dans le chapitre précédent. La combinaison de la dégradation des terres (fertilité non reproduite) et des risques climatiques ne permet plus d'assurer une production suffisante pour maintenir les populations sur place. Celles-ci sont alors contraintes de quitter cette zone pour migrer vers le sud. De plus, ces dernières années, le conflit entre le gouvernement et la rébellion des Touaregs a accentué le phénomène d'émigration.

Les risques climatiques sont plus faibles dans la zone sud. L'occupation de l'espace et les possibilités de gestion offertes, interviennent alors comme facteurs discriminants de deux sous-classes.

La première (classes 2 sud et 4) sont des zones de plateaux et de vallées sèches intensément cultivées. Le site de Banizoumbou appartient à cette sous-classe. L'espace est globalement saturé, ce qui entraîne de nombreux conflits fonciers, une pression anthropique de plus en plus forte sur les écosystèmes, une diminution de l'espace jachère et de leur durée. Bien que l'intégration agriculture/élevage soit forte, la capacité de reproduction de la fertilité n'est alors pas suffisante pour assurer de bons rendements et la la durabilité des systèmes agricoles.

La deuxième correspond à la zone du Liptako-Gourma (classe 3). Elle est caractérisée par la présence d'un vaste plateau à la végétation dense et par la dominance des Peuls, traditionnellement éleveurs-agriculteurs. Malgré des temps de jachère inférieurs à deux ans, le bilan de fertilité est positif. La présence du plateau non cultivé fournit un espace pastoral important, ce qui a non seulement rendu possible le développement de la partie élevage des systèmes agraires locaux, mais qui a de plus attiré de nombreux transhumants qui ne trouvait plus de pâturages assez grands dans les régions limitrophes (Yamba, 1993). L'intégration agriculture-élevage, en tant que moyen de transfert de fertilité des pâturages vers les champs par les contrats de fumure, joue pleinement son rôle dans cette dernière zone. Le rapport espace cultivé / espace pastoral permet à un système agro-pastoral à jachères courtes, voire de cultures permanentes, qu'il puisse se reproduire et assurer l'essentiel de la production agricole, comme cela devait être le cas pour le système traditionnel Zarma décrit par Sidikou (1974, 1987) et Baumer (1987). Cependant, l'arrivée massive de migrants sur certains terroirs montrent certains signes évocateurs d'une future crise comme la diminution de la disponibilité en terres et l'apparition de conflits fonciers. Au cours d'une réunion avec les responsables d'un projet de développement et des chefs de village de cette zone, ces derniers commencent à parler de dégradation de terres, comme le confirme Yamba (1993). Dans la zone du Liptako-Gourma, une situation de crise apparaît suite à la dégradation des régions limitrophes.

L'intégration agriculture-élevage est assez forte sur l'ensemble de la zone d'étude. Cependant, la capacité des systèmes agro-pastoraux à subvenir au besoins des populations locales et à assurer le renouvellement des ressources, en particulier la capacité de production,

est dépendante des conditions climatiques, des acquis technologiques, du mode d'occupation de l'espace. Elle semble être très dépendante des possibilités de transfert de la fertilité des aires de pâturage vers les champs via les animaux. Ces possibilités ont été très fortement réduites par saturation de l'espace à des fins agricoles. Le projet Energie II conclue globalement sur la région à une crise de la fertilité.

2.4.2. Les itinéraires techniques traditionnels des cultures pluviales.

La préparation d'une parcelle pour la mise en culture commence par le défrichement qui consiste à déssoucher les pieds de mil de la culture précédente et à couper les arbustes au ras de la souche durant la saison sèche (de Janvier à Mai). Tous les résidus du défrichement sont mis en tas, puis brûlés dans la parcelle pour bénéficier d'une partie des éléments minéraux. Pour les jachères défrichées, lorsque la strate herbacée est suffisamment continue, le feu peut alors se propager à l'ensemble de la parcelle, voire s'étendre malheureusement aux parcelles adjacentes. Le défrichement laisse alors le sol sans protection, favorisant ainsi l'action érosive du vent et des premières pluies. Parallèlement, il diminue les ressources fourragères. Certains paysans préfèrent différer la coupe des arbustes afin de protéger les jeunes plants de mil des vents violents accompagnant généralement les premiers événements pluvieux. Il est très rare que les arbustes soient déssouchés.

La deuxième phase correspond au semis. Hoogmoed et Klaij (1990) ont montré sur la zone d'étude que la période optimale pour un bon semis, est courte. Cela implique une intervention rapide de l'agriculteur. Il a donc adopté des techniques allant dans ce sens. L'outil utilisé est une daba à manche long. Une personne creuse un trou d'un seul coup de daba. Une autre personne la suit, dépose les graines dans le trou et recouvre les semis d'un geste du pied. La réussite du semis va influencer la stratégie ultérieure du paysan concernant le travail qu'il investira sur la parcelle. L'extrême variabilité des pluies en début de saison comme il a été observé en 1992, sur le site de Banizoumbou, peut obliger les agriculteurs à ressemer, les premiers essais ayant avorté. Seybou (1993) a distingué trois types de semis. Le semis à sec

est effectué en fin de saison sèche (fin mai, début juin), à l'approche des premières pluies, sur des sols relativement meubles mais sur des petites surfaces. Le semis est lui effectué dès que le paysan juge une pluie "utile" quand la profondeur de sol humide est de 15 à 20 cm environ. L'INRAN (Institut National de la Recherche Agronomique Nigérienne) estime cette pluie à partir de 10 mm. Le mil est planté en ligne et par poquets avec une densité variable de 4000 à 9000 poquets par hectare. Cette variabilité est fonction de la densité des ligneux présents sur la parcelle car les agriculteurs augmentent la densité des poquets autour des ligneux afin de bénéficier de l'amélioration de la fertilité qu'ils apportent (Seybou, 1993 ; Brouwer et Bouma, 1997). Quand le niébé est associé au mil, sa densité varie de 1000 à 5100 poquets par hectare alors qu'elle est proche de celle du mil en culture pure. Le mil est toujours la première culture semée. Le nombre des ressemis dépend de la réussite des semis précédents. Les agriculteurs remplacent généralement les poquets jugés non satisfaisants. Les variétés de mil utilisées sont le *Haïnikirey* (cycle de 90 jours) sur tout type de sol, le *Somno* (cycle de 120-130 jours) sur les sols durs et l'*Ankoutes* (variété améliorée par l'INRAN) qui présente un cycle de80 à 90jours sur tout type de sol.

Les autres interventions culturales sont les sarclages, le démariage et une éventuelle deuxième coupe des arbustes qui s'effectue au moment du deuxième sarclage. Le premier sarclage s'effectue généralement deux semaines après les semis à l'aide d'une iler en suivant les lignes de poquets. Cette opération correspond au semis des cultures associées (niébé, voandzou, ...). C'est la période la plus mobilisatrice de main d'oeuvre, qu'elle soit familiale ou salariée. Le sarclage s'effectue suivant un gradient de priorité que s'est fixé l'agriculetur. Il va sarcler en premier les parcelles sur lesquelles il a investi le plus (fumure) et où la levée a le mieux réussi. Le sarclage a pour objectif d'améliorer les conditions d'infiltration en cassant les éventuelles croûtes superficielles de sols et d'éliminer les mauvaises herbes. Cependant, l'effet du sarclage sur les croûtes est très éphémère. Cet effet est atténué au bout de 100 mm de pluie cumulée, et disparaît totalement au bout de 200 mm de pluie cumulée (Lamachère, 1994). Le démariage (facultatif) est réalisé au même moment : il ne reste plus qu'un à huit pieds de mil par poquets. Le deuxième sarclage est réalisé dans la continuité du premier.

Les résidus de récolte sont rarement déposés à terre. Ils peuvent être mangés sur place par les animaux, ou récoltés pour apporter un complément aux animaux de case. En aucun cas, il n'y a incorporation de litière dans le sol.

Le tableau 4 présente le calendrier cultural sur le site de Banizoumbou en 1992 enregistré par Seybou (1993).

Tableau 4 : Calendrier cultural de la campagne hivernale 1992 (Seybou, 1993).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Défrichement	■	■	■	■	■							■
Semis + resemis						■	■					
Premier sarclage							■	■				
Coupe des arbustes							■	■				
Deuxième sarclage								■	■	■		
Récolte + stockage										■	■	

3. Conclusion.

Bien que les contraintes du milieu physique soient très fortes, les systèmes agraires permettaient, au début du siècle, de subvenir aux besoins des populations. L'évolution démographique, accompagnée d'une surconsommation de l'espace à des fins agricoles sans qu'aucun changement dans les itinéraires techniques intervienne, a conduit plus ou moins rapidement à une situation de crise selon les zones concernées. Le maintien de la fertilité dans les zones cultivées est fortement compromis, ceci d'autant plus que les possibilités de transfert de fertilité grâce à la complémentarité agriculture/élevage ont régressé. Jouve et David (1985) ont observé le même impact de la régression de cette complémentarité dans la région de Maradi (Niger). Au nord, les zones les plus anciennement peuplées et présentant les risques climatiques les plus forts, ont été les premières à être touchées. Cette crise s'est progressivement étendue à l'ensemble du degré carré de Niamey. Seule la zone du Liptako semble encore présenter une situation équilibrée, par la présence d'une grande aire de pâturage et d'une bonne intégration agriculture-élevage permettant le maintien de la fertilité dans les zones agricoles. Mais cet équilibre est menacé par l'arrivée des migrants venus du nord.

L'évolution de cette situation de crise comparée à celle de la durée des jachères pratiquées sur le site de Banizoumbou, montre que l'agriculture, avant 1950, reposait probablement principalement sur un système à jachères courtes (0-5 ans) et d'une bonne intégration agriculture-élevage. Le système se maintenait tant qu'une certaine proportion champs/aire de pâturage existait. L'augmentation démographique, l'éparpillement des populations et l'éclatement de la société lignagère a entraîné un vague de défrichements au détriment des pâturages. La grande disponibilité en terres a permis l'introduction d'un système à jachères longues, très rentables vis à vis du travail, pour subvenir aux besoins croissants. Ce n'est qu'à partir de la fin des années soixante, que l'agriculture revient à un système à jachères courtes. Mais cette fois, ce retour est accompagné par une forte diminution des possibilités de transfert de fertilité par l'intermédiaire du bétail car, non seulement les aires de pâturage ont diminué, mais de plus, la période de sécheresse qui commence à la même période, a eu pour conséquence une baisse du cheptel (mortalité importante) et une dégradation des parcours. Les possibilités qu'avaient les populations rurales nigériennes de gérer leur espace et en particulier, les interactions entre le domaine cultivé et le reste ont fortement diminué, voire disparu.

L'évolution du contexte social et économique sans véritable révolution agricole, a entraîné une intensification de l'utilisation des terres et une profonde modification du paysage avec la disparition progressive des aires de pâturages hors plateaux. Le paysage est devenu agricole constitué, de champs et de jachères, modifiant ainsi les ressources offertes à l'homme sans que ce dernier adopte de nouvelles technologies. Selon le modèle de Young et Solbrig (1993), cette extensification et intensification de l'agriculture, qui reste de type minier, a pour conséquence de modifier la structure et le fonctionnement originels des écosystèmes post-culturaux qui pourraient alors adopter de nouveaux états d'équilibre. Dans les chapitres suivants, l'étude établira un "état des lieux" actuel de ces milieux en caractérisant la dynamique post-culturale et elle cherchera à déterminer l'évolution potentielle de ces écosystèmes sous différents modes de gestion.

Dynamique des milieux post-culturaux dans le sud-ouest nigérien

3ème Partie.

3ème Partie. Dynamique des milieux post-culturaux dans le sud-ouest nigérien

A l'exception de la vallée du fleuve Niger, l'agriculture sur le degré carré de Niamey est dominée par la culture pluviale du mil. L'itinéraire technique reste dans l'ensemble rudimentaire; l'agriculture garde son caractère minier. Parallèlement, les besoins croissants de la population, la diminution des rendements, l'éclatement de la société et la multiplication des exploitations ont entraîné une très forte augmentation de la superficie des terres agricoles. Cet accroissement s'est fait au détriment des aires de brousses libres dans un premier temps, au détriment des aires en jachères dans un second temps par diminution de la phase post-culturale. Pour de faibles densités humaines et une faible occupation de l'espace, l'association jachère courte / élevage suffisait à reproduire la fertilité comme il a été vu précédemment dans le Liptako et probablement, sur le site de Banizoumbou avant 1950. Maintenant, il semble que les processus écologiques mis en jeu durant ces courtes phases post-culturales ne soient pas suffisants pour restaurer les conditions culturales et maintenir un bilan positif de la fertilité.

Le modèle de l'utilisation des terres de savanes de Young et Solbrig (1993 ; cf. première partie) montre que l'absence de changements technologiques et de modes de gestion pour répondre aux diminutions des ressources, doit entraîner une modification de la structure et du fonctionnement de ces écosystèmes. Il existe peu d'informations précises sur la structure et le fonctionnement de ces écosystèmes dans la zone d'étude ; il est alors difficile de rendre compte des éventuelles modifications. La présente étude des milieux post-culturaux commence alors par une analyse structurale et fonctionnelle des milieux actuels, en choisissant une approche synchronique (Lepart et Escarré, 1983). Cette analyse se propose de répondre aux questions suivantes :

- **Quelles sont les structures et les fonctionnements de ces écosystèmes dans les conditions actuelles ?**
- **Quelles sont les capacités de régénération de ces écosystèmes face aux perturbations et aux contraintes ?**
- Quelles sont les trajectoires possibles de ces écosystèmes ?

1. Méthodes

1.1. Echantillonnage.

Pour tenir compte de la lenteur des modifications de la végétation en milieu aride, une approche synchronique a donc été choisie. Cette typologie régionale se base sur un échantillonnage (figure 19) constitué de deux niveaux. Le premier niveau, construit sur l'ensemble du degré carré de Niamey, est constitué de 32 points. Il est opportuniste et systématique car les stations échantillonnées sont situées au plus près de la grille de l'échantillonnage systématique du réseau EPSAT (100 pluviographes ; Taupin *et al.*, 1993). Le deuxième comprend 40 points d'échantillonnage stratifié en fonction des variables jugées actives ; âge de la jachère et conditions géomorphologiques (recherche de différentes situations) localisés sur le site de Banizoumbou.

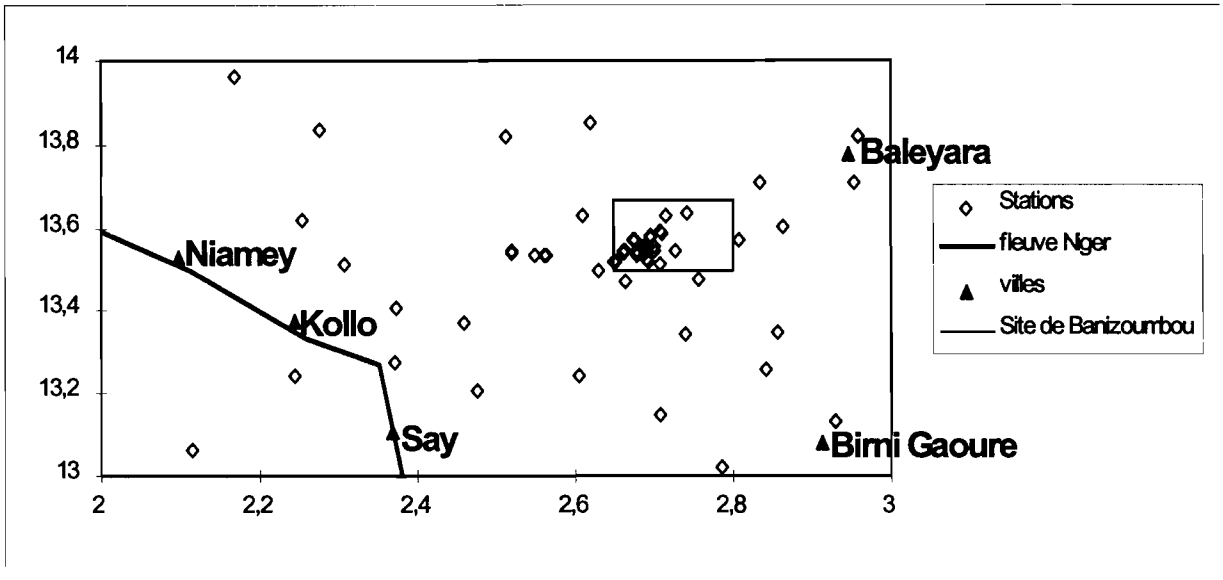


Figure 19 : Echantillonnage réalisé pour la construction d'une typologie régionale des milieux post-culturaux sur le degré carré de Niamey (72 relevés). Les unités des axes sont exprimés en degré décimal.

La campagne des récoltes de données a été effectuée en 1992 au moment du pic de végétation (fin de la saison des pluies : septembre-octobre).

1.2. Descripteurs de la structure et du fonctionnement des milieux post-culturaux.

1.2.1. Description générale de la station échantillonnée

Chaque station échantillonnée a été localisée géographiquement par G.P.S. (Global Positioning System). Le contexte géomorphologique des stations a été décrit en distinguant les plateaux, les jupes sableuses, les glacis, les bas-fonds et les cordons dunaires ("dunes"). Ces cinq éléments géomorphologiques ont été retenus par Ambouta (1994) après une simplification des travaux de Courault *et al.* (1991) et ceux de Wilding et Daniels (1990). Le terme glacis a été choisi pour décrire la zone de raccordement entre la jupe sableuse et le bas-fond, caractérisée généralement par une faible pente sableuse et de nombreuses loupes d'érosion. Cette classification géomorphologie a d'ailleurs été reprise par Loireau (1998). Par enquête auprès du détenteur du droit d'usage de la station, on détermine son historique et la date de la dernière culture (caractérisée par un semis, un ou des sarclages et une récolte) ou du dernier défrichement (qui peut se limiter à une préparation du terrain non suivie de semis).

1.2.2. Description de la strate herbacée

La composition et le recouvrement de la couverture herbacée sont quantifiés grâce à une adaptation de la méthode de points quadrats présentée en particulier par Daget et Poissonet (1971). Deux lignes de points quadrats, de 10 m de longueur chacune, ont été mesurées sur chaque station. Les points quadrats sont relevés tous les dix centimètres, ce qui représente alors 100 points quadrats par ligne. L'intervalle entre deux points quadrats correspond à un segment. La méthode consiste à recenser les présences des espèces à la verticale de ces points quadrats (matérialisés par une aiguille perpendiculaire au décamètre) et à l'intérieur de chaque segment. La prise en compte de la présence d'une espèce à l'intérieur des segments permet d'avoir une idée plus précise de la richesse floristique ; certaines espèces pourraient ne pas apparaître si seuls les points quadrats étaient pris en compte, suite aux très faibles recouvrements de la strate herbacée sur certaines stations.

Les différents paramètres obtenus par cette méthode de relevés sont :

- la fréquence segment d'une espèce (FS) correspond au nombre de fois où cette espèce a été observée sur l'ensemble des segments. Par convention, chaque espèce n'est recensée qu'une fois par segment. Le nombre d'espèces recensées sur les segments est égal à la richesse floristique ;

- la contribution spécifique segment (CSS) est égale au rapport (en %) de la fréquence segment d'une espèce sur la somme totale des fréquences segments ; la contribution spécifique segment (CSS) est égale au rapport (en %) de la fréquence segment d'une espèce sur la somme totale des fréquences segments. La CSS d'une espèce représente sa contribution à la richesse floristique. La diversité est appréhendée par le calcul de la réciproque de l'indice de Simpson (IS) avec $IS = 1 / \Sigma CSS^2$;

- la fréquence présence (FP) correspond à la présence d'une espèce à la verticale d'un point quadrat. Par convention, chaque espèce n'est recensée qu'une fois par point quadrat. La somme des points quadrats où des présences ont été notées, par rapport au nombre total de points quadrats, constitue le recouvrement de la végétation (RV exprimé en %) ;

- la contribution spécifique présence (CSP) est égale au rapport (en %) de la fréquence d'une espèce sur la somme totale des fréquences présences. La CSP d'une espèce est la contribution de cette espèce au recouvrement global de la strate herbacée ;

- la fréquence contact (FC) correspond au nombre d'invidus d'une espèce recensé à la verticale d'un point quadrat. La somme des fréquences contacts et la phytomasse épigée herbacée sont liées (Rabiou, 1992) ;

- la contribution spécifique contact (CSC) est égale au rapport (en %) de la fréquence d'une espèce sur la somme totale des fréquences contact. La CSC représente la contribution d'une espèce à la phytomasse épigée herbacée ;

De plus, à la verticale de chaque point quadrat, la nature du recouvrement du sol, sol nu (SN en %) ou litière (Lit en %), a été notée.

La phytomasse épigée du tapis herbacé a été mesurée sur des carrés de 1 m^2 coupé à ras. Trois répétitions étaient réalisées le long de chaque ligne points quadrats. Les échantillons prélevés sont pesés vert, séchés à l'étuve (80 °C pendant 48 heures), puis pesés

secs. Les résultats de phytomasse herbacée épigée sont exprimés en kilogramme de matière sèche par hectare (kg.M.S.ha^{-1}).

1.2.3. Description de la strate ligneuse.

La couverture ligneuse est estimée à partir de l'échantillonnage d'un 1/16 hectare (cercle d'un rayon de 14,1 m). Les différents paramètres mesurés sur tous les arbustes de l'aire échantillonnée, sont la densité arbustive par espèces, la hauteur des individus, la surface du houppier, le nombre de tiges par individu et par classe de diamètres. Ces classes de diamètre ont été établies selon la façon suivante : < 1 cm, 1< <2 cm, 2< <4 cm et > 4 cm. Le phytovolume aérien apparent (PV) de l'arbuste, correspondant à l'enveloppe de l'arbuste, est utilisé comme indice intégrateur de la plupart des paramètres mesurés. Il est calculé à partir d'une représentation de l'arbuste sous la forme de deux cônes opposés.

$$\mathbf{PV\ (m3) = (Hmax * Dmax * Dmin * \Pi)\ /12}$$

Hmax = Hauteur maximum de l'arbuste (m).

Dmax = longueur du grand axe du houppier (m).

Dmin = longueur du petit axe du houppier (m).

1.2.4. Description des états de surface du sol.

La nature et le recouvrement des états de surface du sol (E.S.S) sont estimés à partir d'un grille de 32 points (4 * 8 m, avec un point tous les mètres). Les capacités d'infiltration des principaux types états de surface du sol sont présentés dans le tableau 5 (d'après Casenave et Valentin, 1992).

En plus de la classification proposée par Casenave et Valentin (1992), des croûtes cryptogamiques, ou croûtes microphytiques, ont été également identifiées. Elles se caractérisent par le développement de végétaux cryptogames au sein de la pellicule argileuse (algues terrestres). Le réseau de filaments ainsi constitué semble accroître la résistance mécanique de l'ensemble. De plus, il semble qu'un certain type de ces croûtes peut fixer de l'azote comme l'a montré Isichei au Nigéria (1980). Les agriculteurs nigériens les considèrent comme un bon critère de remise en culture. Cependant, une synthèse des travaux qui ont pu être faits sur ce type de croûte (West, 1990), montre qu'on ne peut faire

de généralités sur leur propriétés physiques et chimiques. Cela dépend, en particulier, des organismes constituant ces croûtes. Peugeot (1995), travaillant dans la même zone d'étude, a décidé de les assimiler au type ERO pour leur comportement hydrodynamique.

Tableau 5 : Taux d'infiltration moyen (Ki) des différents états de surface du sol utilisées dans cette étude selon Casenave et Valentin (1989). ERO : croûte d'érosion (micro-horizon mince, dur et argileux); ST1 : croûtes de désagrégation à un seul micro-horizon; ST2 : croûtes structurales à deux micro-horizons, ST3 : croûtes structurales à trois micro-horizons, DEC : croûtes de décantation et TW : termites et vers de terre.

type de surface	Ki %
ERO	20-30
ST1	60-75
ST2	40-55
ST3	15-25
DEC	20-35
TW	85-100

1.2.5. Descriptions des sols.

Trois fosses pédologiques (50 x 50 cm) caractérisant les cinquante premiers centimètres ont été succinctement décrites sur chacune des stations. Pour prendre en compte l'hétérogénéité stationnelle induite par les différents éléments de surface (végétation et croûtes), elles ont été creusées sous strate herbacée, sous ligneux et sous sol nu. Les descriptions se limitent à la distinction éventuelle, par les changements de couleur et/ou de texture principalement, des différents horizons. Pour chaque horizon décrit, des prélèvements de sols ont été effectués. Les échantillons de chacune des fosses ont été par la suite mélangés par horizon et ont subi différentes analyses menées au laboratoire d'écologie de l'Ecole Normale Supérieure de Paris.

1.2.5.1. Texture des sols.

La première opération des analyses granulométriques est la destruction de la matière organique par l'eau oxygénée H_2O_2. A 20 g de sol déshydraté, 200 ml d'eau oxygénée sont ajoutés. L'échantillon est ensuite maintenu à 20 °C pendant six heures, puis à 60 °C pendant 16 heures. La dispersion des particules est obtenue par mise en suspension dans

l'eau (300 ml d'eau), additionnée de 25 ml d'hexamétaphosphate à 40 g/l. La suspension est ensuite agitée pendant 16 heures à 150 roulements par minute. Les fractions les plus grosses sont séparées par tamisages successifs (250 µm, 100 µm et 50 µm). Le reliquat, contenant les particules de taille inférieure à 50 µm, est soumis aux ultrasons pendant 10 minutes. Par tamisage, on sépare les particules supérieures à 20 µm (limon grossier). Par centrifugation, on sépare les limons fins (2-20 µm) des argiles (0-2 µm) selon les méthodes de Feller *et al* (1991) et de Tanner et Jackson (1947).

1.2.5.2. Carbone organique et Azote organique.

La teneur en carbone organique total a été mesuré par un appareil de type CHN. Le carbone organique est converti en CO_2 par pyrolyse ; le CO_2 dégagé est dosé par chromatographie en phase gazeuse. Les résultats sont exprimés en pourcentage du poids sec de sol. L'azote organique est dosé selon la méthode Kjedhal. Les résultats sont exprimés en pour mille du poids sec de sol.

1.2.5.3. Activité respiratoire des sols.

* incubation des échantillons

20 g de sol sont enfermés dans des flacons hermétiques de 125 ml, après avoir été humectés à 80 % de leur humidité équivalente, et sont placés dans l'obscurité à 28 °C à un temps $t_0 = 0$ jour.

L'humidité équivalente (HE) des différents échantillons a été déterminée grâce à la formule empirique établie par Gras (1957) qui prend en compte les teneurs en argiles (A) et en limons fins (LF) des sols :

$$HE = 0.51\ A + 0.14\ LF + 7.35$$

Le volume d'eau (V) nécessaire pour mettre l'échantillon à l'humidité équivalente est obtenu par la formule :

$$V\ (ml) = HE * 80/100 * \text{Masse échantillon (g)}/100.$$

* Mesure de l'activité respiratoire.

Elle est appréhendée par la mesure du CO_2 dégagé par l'activité de la microflore des sols. L'analyse du micro-volume de l'air contenu dans les flacons mis en incubation permet de suivre l'évolution de la concentration en CO_2. Les mesures sont effectués au temps t_0, t_2 (deux jours), t_6 (six jours) et t_{12} (douze jours) à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse. Les résultats son exprimés en µg de $C.CO_2$ / g de sol.

1.2.5.4. Mesures de l'azote minéral accumulé.

Les sols sont soumis à agitation à 200-225 t/mn avec 60 ml de KCL (2M) pendant 30 mn. Des alicots de filtrat recueilli contenant l'azote minéral font l'objet de dosages colorimétriques sur un appareil de type SKALAR.

* Dosage de l'ammoniac.

Le dosage est basé sur le principe de la réaction de Berthelot. L'ammoniac en présence d'un agent chlorant donne principalement une monochloramine. Cette dernière réagit avec le salicylate pour donner du 5-aminosalicylate. Après oxydation celui-ci réagit avec l'acide salicylique (le nitroprussiate jouant le rôle de pseudo-catalyseur) pour former un complexe dont l'intensité de coloration (mesurée à 660 nm) est proportionnelle à la concentration en NH_4^+ (coloration bleue). La sensibilité de mesure se situe entre 1 ppm et 10 ppm. Les résultats sont exprimés en mg / g de sol.

* Dosage des nitrates et des nitrites.

La détermination des nitrates et des nitrites est basée sur le principe suivant : les nitrates sont réduits à l'état de nitrites par le passage de l'échantillon dans une colonne de Cadmium traité au sulfate de cuivre. Les nitrites déjà présent au départ et ceux provenant de la réduction des nitrates, sont dosés en formant un complexe diazo avec du sulphanilamide et du naphtyl-éthylénediamine dihydrochloride. Le complexe ainsi formé présente une coloration dont l'intensité (mesurée à 540 nm) est proportionnelle à la concentration en nitrites (couleur rose). La sensibilité de mesure se situe entre 1 ppm et 5 ppm. Les résultats sont exprimés en mg / g de sol.

1.3. Traitements statistiques.

Chaque site inventorié est classé dans un premier temps en fonction de son âge et de sa position dans la toposéquence, facteurs de l'échantillonnage supposés influencer le plus la dynamique de la végétation des milieux post-culturaux, pour des conditions climatiques données. Dans un second temps, une typologie des milieux post-culturaux a été obtenue à partir du croisement d'une analyse en composantes principales (Bouroche et Saporta, 1978) et d'une classification ascendante hiérarchique (Bouroche et Saporta, 1978) grâce à l'utilisation du logiciel ADDAD. Cette typologie permet d'appréhender la capacité de régénération de ces différentes classes à travers l'évolution de leurs paramètres structuraux, en fonction des conditions stationnelles.

2. Résultats : dynamique post-culturale des états de surface.

2.1. Gestion des milieux post-culturaux en fonction de la topographie

Le tableau 6 présente le résultat de l'échantillonnage en fonction de la classe géomorphologique et de l'âge d'abandon. L'âge est présenté sous forme de classes en accord avec les travaux de Loireau (1998) : 1 an, deux ans, trois ans, quatre ans, cinq ans, 6-10 ans et supérieur à 10 ans. Les situations géomorphologiques retenues correspondent à une simplification des classes proposées par Courault *et al.* (1991) et d'Herbès et Valentin (1997). La représentation de ces résultats en pourcentage cumulé (figure 20) montre différentes formes de gestion des milieux post-culturaux en fonction de la géomorphologie.

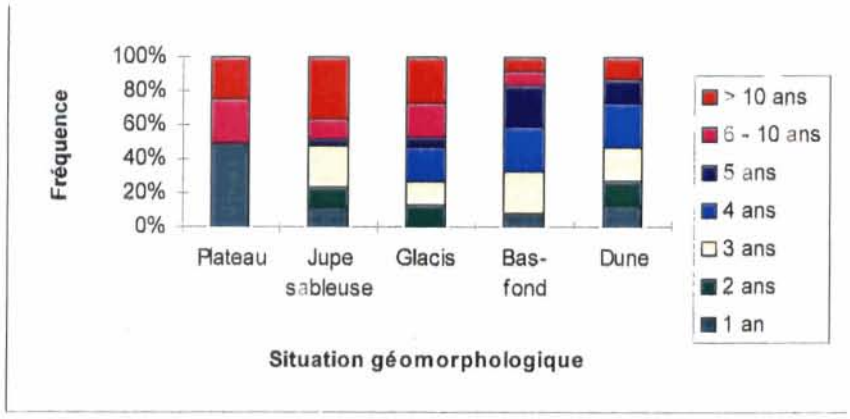


Figure 20 : Distribution des classes d'âge de jachères en fonction de la topographie.

Dans les bas-fonds et sur les dunes, ce sont les jachères de 1 à 5 ans qui dominent. Sur le cordon dunaire du terroir de Fandou Beri, proche de Banizoumbou, il est impossible de trouver des jachères supérieures à 5 ans. Ce sont, apparemment, deux milieux intensément cultivés. Sur les jupes et les glacis, l'évolution est plus progressive et des jachères de tout âge sont alors rencontrées. Par contre sur les plateaux, il a été échantillonné soit des jachères d'un an, soit de vieilles jachères. L'évolution de l'âge moyen des jachères en fonction de la géomorphologie (tableau 6) montre que sur les positions hautes de la toposéquence (plateau, jupe sableuse et glacis), la durée est supérieure à 5 ans, alors qu'elle est de 4 ans dans les bas-fonds et sur les dunes. Deux systèmes de gestion des milieux post-culturaux semblent donc apparaître : un système strictement à jachère courte, qui se localise dans les bas-fonds et sur les dunes ; un système à jachères plus longues qui apparaît sur les autres situations géomorphologiques. La suite de ce chapitre apporte des éléments permettant d'interpréter les différentes stratégies adoptées par les agriculteurs nigériens en fonction de la qualité des terres.

Tableau 6 : Résultats de l'échantillonnage en fonction de l'âge d'abandon cultural et de la géomorphologie.

	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans	6-10 ans	> 10 ans	Total	Age moyen
Plateau	2	0	0	0	0	1	2	5	> 5 ans
Jupe sableuse	3	3	6	0	1	3	9	25	> 5 ans
Glacis	0	2	2	3	1	3	4	15	> 5 ans
Bas-fond	1	0	3	3	3	1	1	12	< 5 ans
dune	2	2	3	4	2	0	2	15	4 ans
total	8	7	14	10	7	8	18	72	

2.2. La dynamique de la strate ligneuse.

2.2.1. Pauvreté spécifique dans ces milieux post-culturaux.

L'arbuste *Guiera senegalensis* domine les milieux post-culturaux de la zone d'étude. Il est mono dominant dans 80 % des sites échantillonnés. Dans seulement 8 % des cas, il

est largement dominé par d'autres espèces et il est absent dans 12 % des cas. Sur les stations humides, il est remplacé par d'autres espèces telles que *Piliostigma reticulatum*, *Combretum glutinosum* ou *Annona senegalensis* et *Hyphaene thebaica* sur les sol très sableux, proches de la nappe phréatique.

De nombreux auteurs ont déjà souligné l'importance de *Guiera senegalensis* dans les milieux post-culturaux au Sahel (Aubreville, 1938 ; Bille, 1976 ; Poupon, 1980 ; Grouzis, 1988 ; Louppe, 1991). *Guiera senegalensis*, qualifié d'espèce pionnière agressive par von Maydell (1983), rejette très bien de souches ; la reproduction par voie végétative comme le marcottage est souvent observée, voire même le bouturage. Des arbres adultes comme *Prosopis africana*, *Acacia* spp., *Sclerocarya birrea* sont également présents sur ces milieux, mais de façon beaucoup plus sporadique. De plus, il semble qu'il y ait un problème de régénération de la population de ces dernières espèces puisque dans certains secteurs, peu de jeunes individus de ces espèces peuvent être observés. Sur une jachère mise en défens durant huit ans près de Niamey, Renard *et al.* (1991) ont observé cette pauvreté floristique. La strate ligneuse est basée uniquement sur les combrétacées et principalement sur *Guiera senegalensis*. Cette stricte dominance a conduit l'étude à s'intéresser tout particulièrement aux jachères à *Guiera senegalensis* (88 % des sites échantillonnés).

2.2.2. Dynamique post-culturale.

Durant les cinq premières années d'abandon cultural, une croissance effective des ligneux présents au début de la phase est observée, passant d'une hauteur moyenne de 1 m (année 1) à plus de 2 m au bout de cinq ans (figure 21). Il y a peu de recrutements durant cette phase, les ligneux présents lors de la mise en jachère rejettent de souches les deux premières années. Au delà de cinq ans d'abandon cultural, la hauteur moyenne chute et la population présente une répartition régulière centrée sur des classes de hauteur moyenne [50 cm - 150 cm]. Les autres paramètres de la production, phytovolume (figure 22) et diamètre des tiges, (figure 23) suivent cette tendance : vieillissement des individus jusqu'à cinq ans se traduisant par une croissance, puis diminution des paramètres de production.

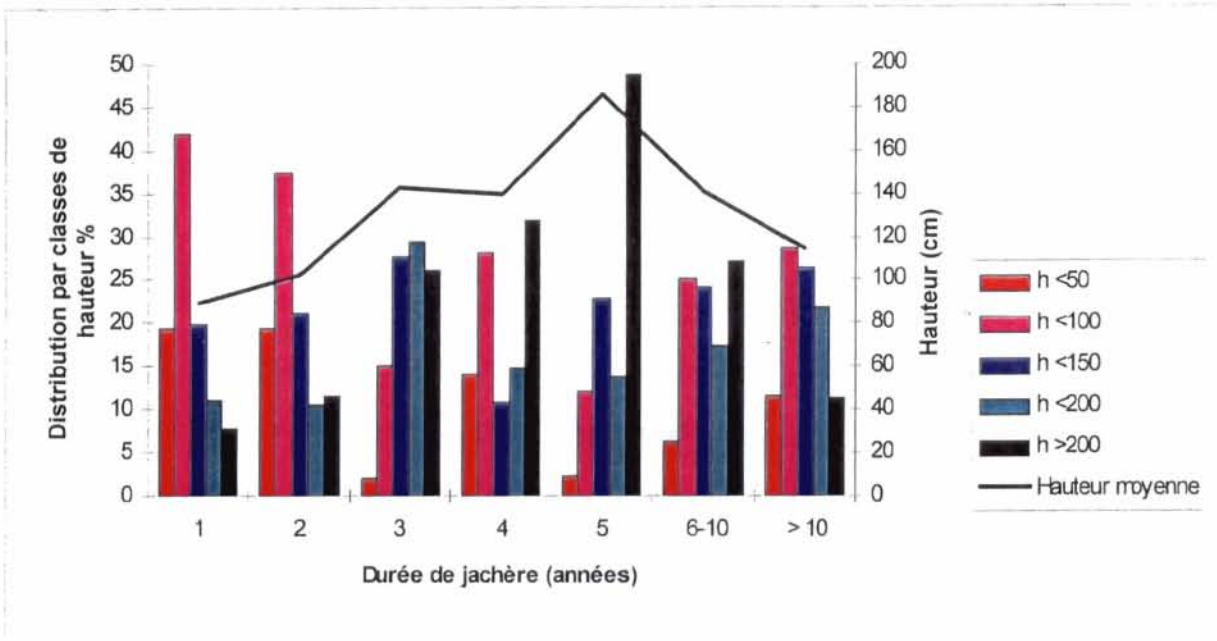


Figure 21 : Evolution de la hauteur moyenne des arbustes et de la population ligneuse distribuée par classes de hauteur au cours de la phase post-culturale.

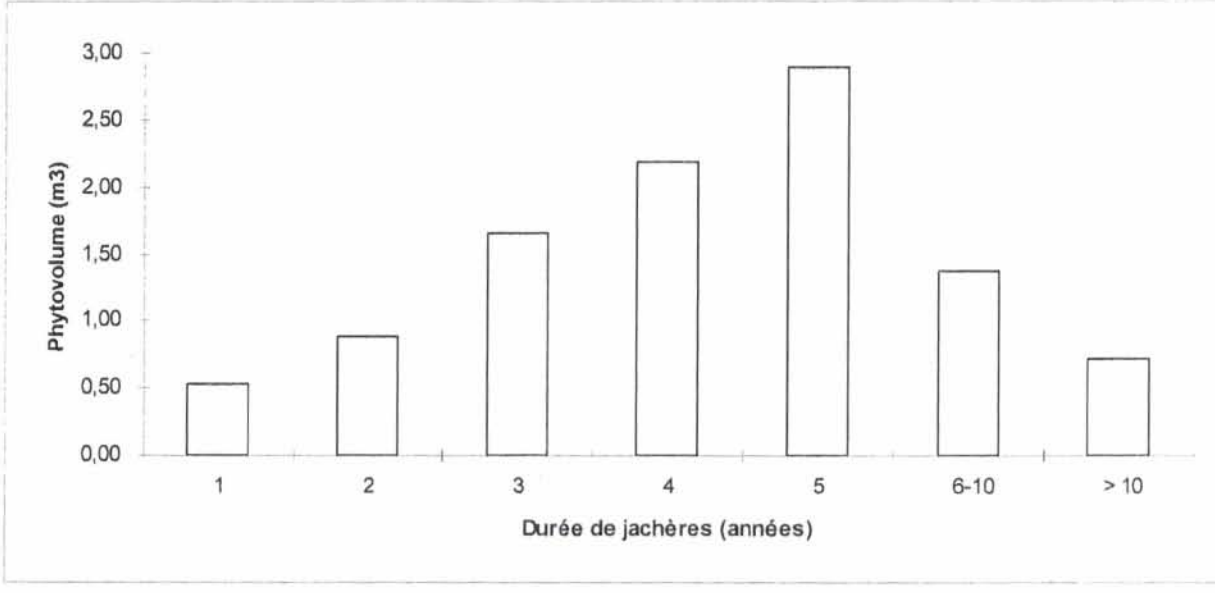


Figure 22 : Evolution du phytovolume apparent de l'arbuste moyen au cours de la phase post-culturale.

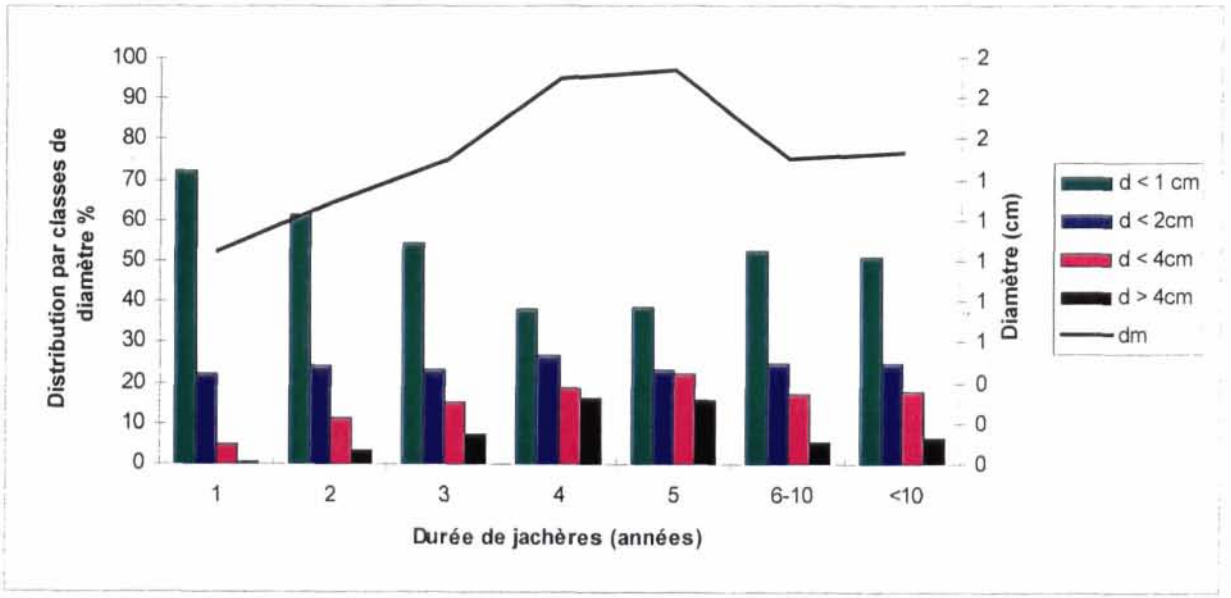


Figure 23 : Evolution du diamètre moyen des tiges et de la population de tiges distribuée par classes de diamètre au cours de la phase post-culturale.

Les mêmes paramètres que précédemment sont présentés en fonction de la géomorphologie (figure 24). Les positions hautes de la toposéquence (plateau, jupe sableuse et glacis), malgré des périodes de jachère supérieure à cinq ans, présentent une productivité moindre que les stations situées sur les dunes et les bas-fonds.

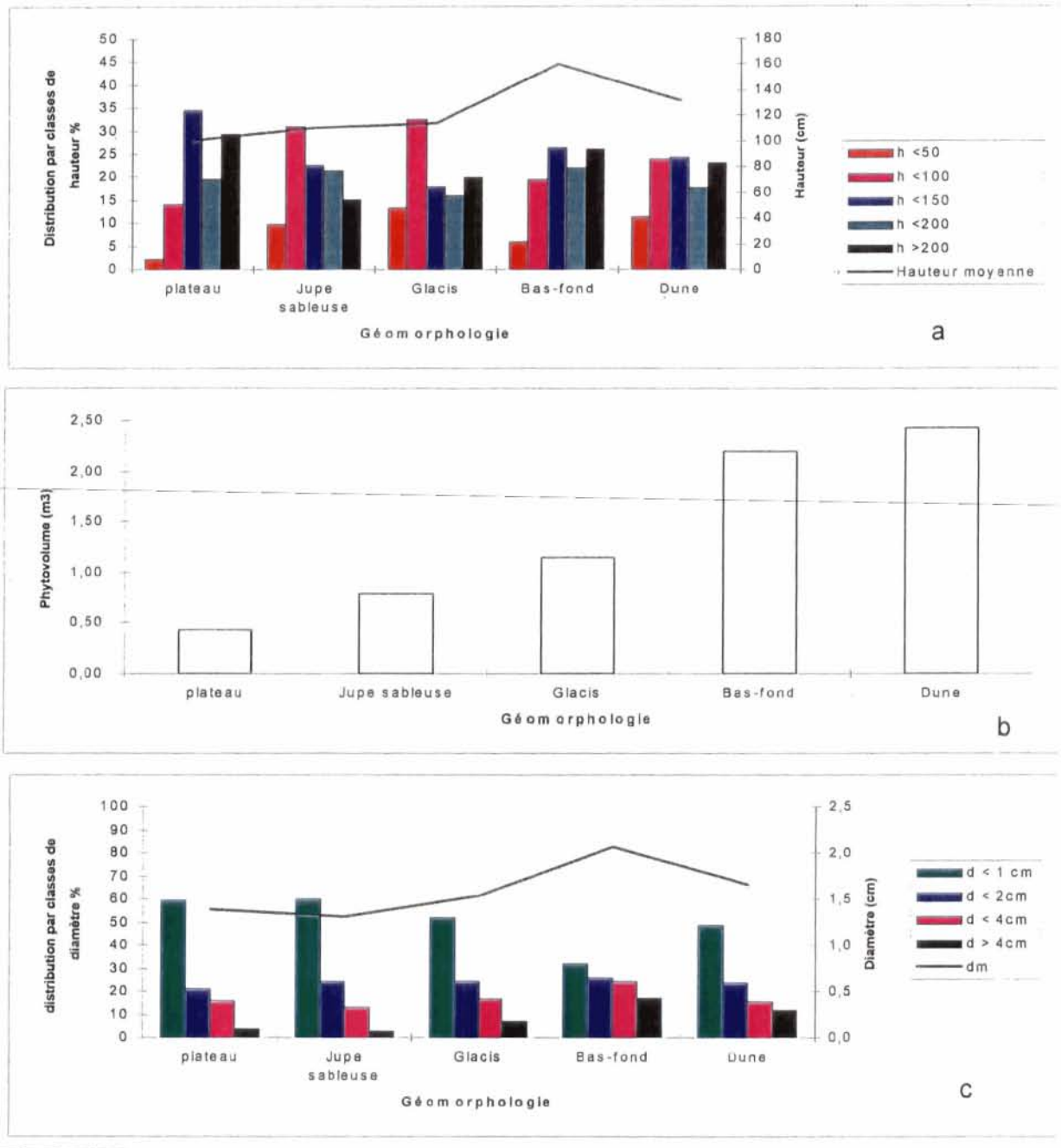


Figure 24 : Evolution de la hauteur (h) des arbustes (figure 24a), du phytovolume apparent de l'arbuste moyen (figure 24b) et du diamètre des tiges (figure 24c) en fonction de la topographie (dm = diamètre de la tige moyenne).

Ces premiers résultats confirment l'existence d'une dichotomie pour le système post-cultural : d'une part, un système de jachères courtes montrant une réelle dynamique de croissance du peuplement de *Guiera senegalensis* et d'autre part, un système de jachères longues sur lequel la capacité de régénération semble beaucoup plus faible. Le second semble être plutôt localisé sur les positions hautes de la toposéquence, alors que le premier est situé

est situé principalement sur les dunes et les bas-fonds, bien qu'également présent sur les positions hautes.

2.3.Dynamique de la strate herbacée.

2.3.1. Evolution de la richesse floristique.

A la pauvreté spécifique des ligneux, s'ajoute celle de la strate herbacée (figure 25). Un nombre maximum de 25 espèces a été enregistré sur une ligne. La moyenne enregistrée est de 12 à 13 espèces dans les jachères de 1 à 5 ans d'âge, puis elle diminue à 9 espèces pour les stations d'âge supérieur à 10 ans. La diversité, calculée par la réciproque de l'indice de Simpson, suit la même tendance. Elle se maintient aux alentours de la valeur 4 les dix premières années, puis est inférieure à 2.5 au delà de 10 ans. Cette forte diminution est due généralement à la très forte dominance de *Zornia glochidiata* DC (57.1 % de la contribution présence totale, tableau 7, p 94).

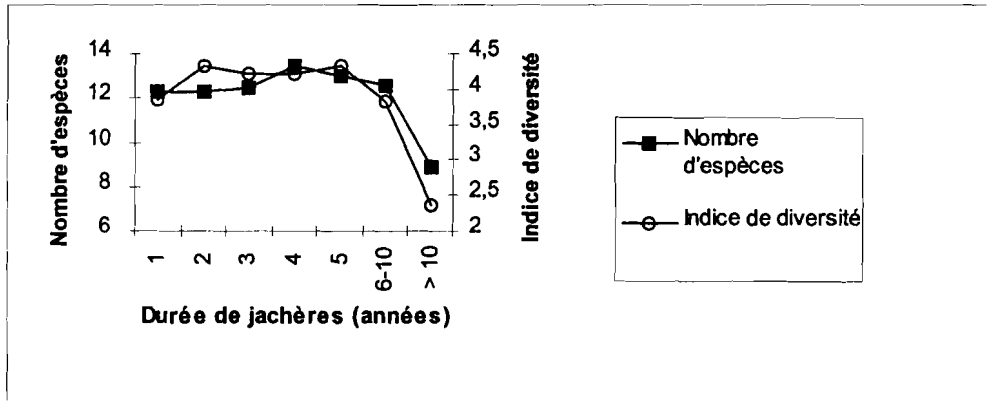


Figure 25: Evolution du nombre d'espèces herbacées et de l'indice de diversité en fonction de la durée de la jachère.

2.3.2. Dynamique successionnelle de la strate herbacée.

La phase post-culturale s'accompagne d'une relative constance de la composition floristique (tableau 7). A partir des données présentées dans ce tableau 7, le barycentre pour chaque distribution d'espèce a été calculé. Cela permet de préciser la présence préférentielle (en grisé dans le tableau) de telle espèce le long de phase post-culturale. La composition

floristique est basée sur la dominance d'un groupe d'espèces annuelles ubiquistes (*Eragrostis tremula*, *Mitracarpus scaber*, *Zornia glochidiata*, *Merremia pinnata* et *Ceratotheca sesamoides*). Pour les stades jeunes, un plus grand nombre de familles est représenté (Poaceae, Fabaceae, Cyperaceae et Convolvulaceae) ce qui traduit le développement des espèces rudérales et messicoles lors de l'arrêt de la phase culturale. Ce phénomène a déjà été observé par Fournier (1990) ou de Rouw (1991) en Afrique de l'ouest. La succession se traduit par l'installation progressive de la dominance des Poaceae vers 4-5 ans de jachère (49 % du cortège floristique) et en particulier par l'apparition de grandes graminées, annuelles et pérennes, des genres *Aristida*, *Ctenium* et *Andropogon*. *Jacquemontia tamnifolia* (Convolvulaceae), considérée par les agriculteurs comme indicatrice de sols dégradés, disparaît progressivement, ce qui n'est pas le cas de *Mitracarpus scaber* (Rubiaceae), plante liée au sarclage et à la pauvreté des sols. Par contre, sur les stations les plus âgées, l'analyse globale montre la dominance de la légumineuse *Zornia glochidiata*, alors qu'on attendrait plutôt la confirmation de la dominance des grandes graminées, voire celle des graminées pérennes, comme le genre *Andropogon*. Les graminées pérennes sont très peu représentées et constituent une très faible part de la composition floristique, moins de 5 % après huit ans de jachère mise en défens à Sadoré (Renard *et al*, 1991). Les plantes en C4, plus compétitives que celles en C3, dominent progressivement jusqu'à 4 ans (58 % du cortège floristique), puis sont de plus en plus dominées par les C3 avec le vieillissement des jachères. Les plantes en C3 représentent 74 % du cortège floristique au delà de dix ans de jachère.

Cependant, les mesures effectuées en fin de saison des pluies ne tiennent pas compte de l'évolution saisonnière caractérisée par des phases successives de développement et de disparition d'espèces. Une jachère de 7 ans sur le site de Banizoumbou a été suivie durant la saison des pluies de 1992 (figure 26 ; Rabiou, 1992). Cet auteur a mis en évidence trois groupes d'espèces en fonction de la précocité de leur germination par rapport à la distribution des pluies et de la durée de leur cycle de vie. Il a distingué un premier groupe caractérisé par une germination rapide et un cycle long auquel appartiennent *Aristida adscensionis*, *Ipomea vagans* et *Cassia mimosoides*. Un deuxième groupe présente un cycle

court (2 à 3 décades) et une germination plus ou moins rapide. Il n'apparaît pas sur la figure 26. *Dactyloctenium aegyptium* et *Ceratotheca sesamoides* appartiennent à ce deuxième groupe. Ces dernières espèces, sèches en fin de saison des pluies, ne sont pas prises en compte dans les relevés effectués à la même période. Le troisième groupe est constitué d'espèces à germination tardive par rapport aux pluies. La plupart d'entre elles sont des Poacées, comme *Ctenium elegans*. Elles s'installent en 1992 au mois d'août, considéré comme mois réellement humide où le facteur eau n'est pas limitant.

Ce suivi diachronique a montré qu'à la fin de la saison des pluies, la phytomasse nette mesurée (1218 kg.ha^{-1} de matière sèche) ne représentait que 60 % de la phytomasse effectivement produite (2030 kg M.S.ha^{-1}) et seulement deux tiers des espèces qui se sont développées sur ce site (Rabiou, 1992).

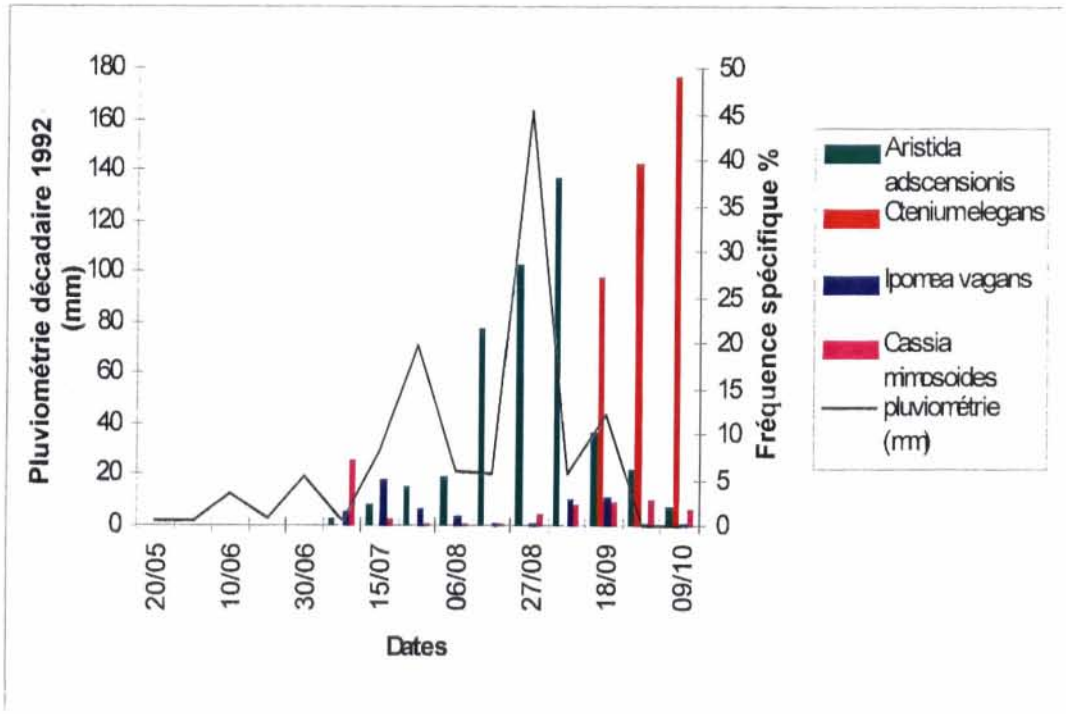


Figure 26 : Dynamique saisonnière de la strate herbacée d'une jachère de 7 ans (Rabiou, 1992).

Tableau 7 : Evolution de la composition floristique (CSP_i) en fonction de la durée de la jachère. Les cellules grisées indiquent les stades où sont préférentiellement observées les espèces concernées.

			Durée de la jachère (années)						
Familles	Espèces	Photosynthèse	1	2	3	4	5	6-10	>10
Fabaceae	*Alysicarpus ovalifolius*	C3				5	2	7	2
Caesalpiniaceae	*Cassia mimosoides*	C3				8	3	7	5
Commelinaceae	*Commelina forskalaei*	C3				0	0	2	0
Convolvulaceae	*Jacquemontia tamnifolia*	?				1	1	1	0
Fabaceae	*Indigofera spp*	C3				5	3	2	1
Fabaceae	*Ipomea vagans*	C3				1	1	1	0
Poaceae	*Cenchrus biflorus*	C4				4	3	4	2
Poaceae	*Dactyloctenium aegyptium*	C4				1	1	2	2
Poaceae	*Digitaria gayana*	C4				4	2	4	3
Rubiaceae	*Borreria stachydea*	C3				5	4	3	1
Sterculiaceae	*Waltheria indica*	?				0	0	1	1
Convolvulaceae	*Merremia pinnata*	?							
Fabaceae	*Zornia glochidiata*	C3							
Pedaliaceae	*Ceratotheca sesamoides*	C4							
Poaceae	*Eragrostis tremula*	C4							
Rubiaceae	*Mitracarpus scaber*	C3							
Caryophyllaceae	*Polycarpea spp*	C4	0	0					
Cyperaceae	*Cyperus amabilis*	C4	1	1					
Cyperaceae	*Fimbristillis hispidula*	C4	7	3					
Malvaceae	*Sida ovata*	?	0	0					
Poaceae	*Aristida mutabilis*	C4	3	4					
Poaceae	*Aristida longiflora* **(al)**	C4	0	1					
Poaceae	*Andropogon gayanus* **(an)**	C4	0	0					
Poaceae	*Brachiaria distichophylla*	C4	0	0					
Poaceae	*Ctenium elegans* **(ce)**	C4	2	4					
Poaceae	*Digitaria horizontalis*	C4	0	0					
Poaceae	*Diheteropogon hagerupii*	C4	1	0					
Poaceae	*Schoenefeldia gracilis*	C4	0	0					
Poaceae	*Sporobolus spp*	C4	1	0					
Poaceae	*Brachiaria ramosa*	C4	1	1					

Poaceae %	28	36	39	49	34	37	21
Fabaceae %	25	18	26	6	23	33	58
al+ce+an	2	5	13	20	10	3	6
Zornia glochidiata	17	13	21	0	19	30	57
Mitracarpus scaber	18	10	9	14	18	4	8
Jacquemontia tamnifolia	4	6	2	1	1	1	0
C4 %	36	40	46	58	46	42	25
C3 %	57	51	46	37	49	56	74

2.3.3. Evolution de la phytomasse épigée de la strate herbacée.

La première année de jachère connaît un développement des espèces messicoles et rudérales en particulier, suite à l'arrêt du sarclage. Cela se traduit par une forte phytomasse épigée, 1880 kg M.S .ha^{-1}, qui diminue par la suite jusqu'à 4 ans, 1120 kg M.S .ha^{-1} (figure 27). A cinq ans de jachère, on assiste à une remontée (1630 kg M.S .ha^{-1}), puis de nouveau une baisse (1160 kg M.S .ha^{-1}). L'opposition des évolutions de la strate herbacée et de la strate ligneuse les quatre premières années est remarquable (figure 27). A partir de quatre ans, les deux strates connaissent une évolution globale similaire. Au delà de cinq ans, apparaissent les friches marquées par de très faibles productions.

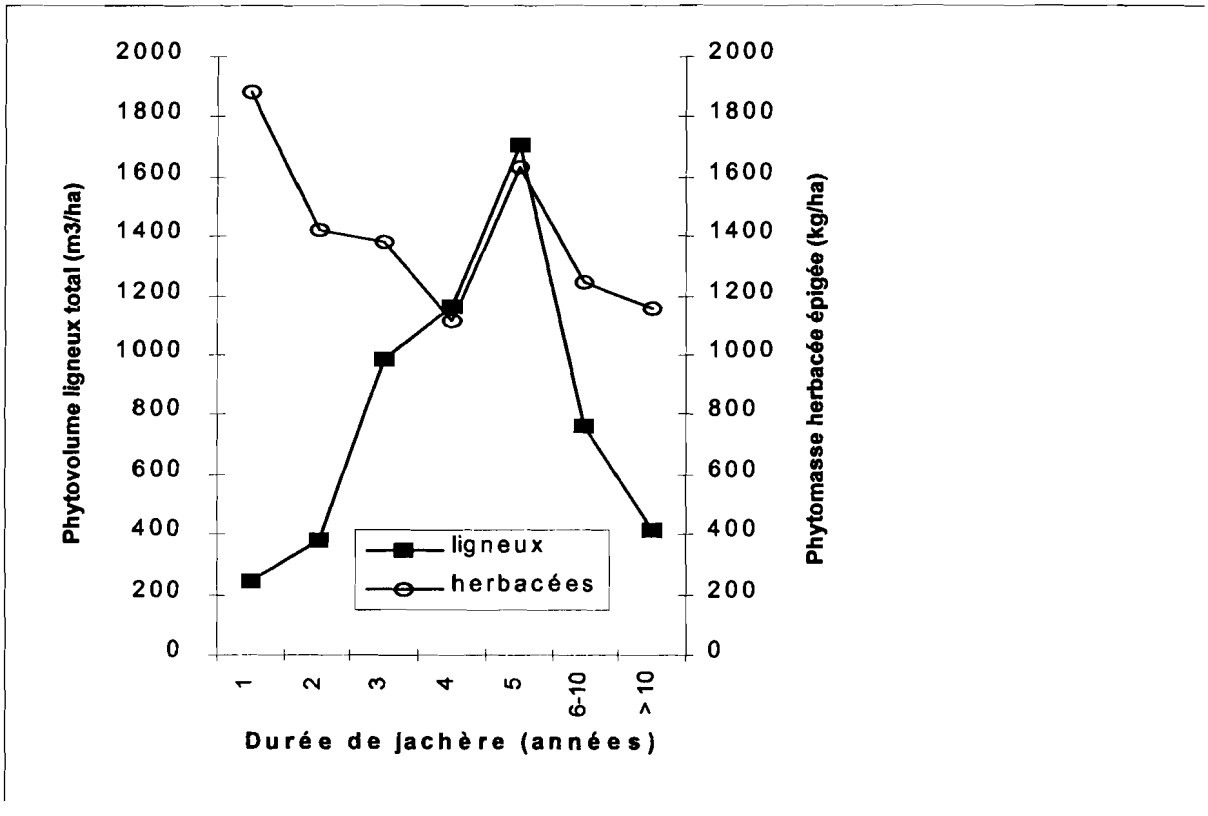


Figure 27 : Evolution de la phytomasse herbacée épigée et du phytovolume arbustif total en fonction de la durée de la jachère.

2.4. Les états de surface du sol.

Comme il a été vu dans la première partie de ce travail, la phase post-culturale devrait normalement s'accompagner d'une amélioration des conditions édaphiques,

dégradées pendant la période culturale. Les teneurs en matière organiques devraient augmenter, améliorant la stabilité structurale des sols et réduisant ainsi la sensibilité ainsi à la dégradation physique et à l'encroûtement. Or, l'abandon cultural ne se traduit pas par une nette dynamique des états de surface du sol (tableau 8). Les croûtes d'érosion et de type ST3, caractérisant une faible capacité d'infiltration (cf. dans ce chapitre, paragraphe 1.2.4), ont une évolution en dent de scie. Elles représentent un tiers des états de surface en année 1 de la phase post-culturale et toujours un tiers sur les plus vieilles jachères. Seule l'évolution des croûtes microphytiques est assez nette les cinq premières années de jachère. Le recouvrement des croûtes microphytiques augmente en effet jusqu'à cinq ans (de 0 % à 9 %), puis chute à 2 % au delà de dix ans de jachère. Cette évolution est similaire à celles des autres paramètres biologiques. La présence des termites est très faible tout au long de la phase post-culturale. Globalement, la phase post-culturale ne se traduit donc pas par une amélioration des conditions d'infiltration, ce qui est normalement une de ses fonctions.

Tableau 8 : Evolution des états de surface du sol en fonction de la durée de la jachère.

Ans	ERO	ST3	ST1	ST2	DES	Algues	Termites
1	20	11	7	58	0	2	0
2	8	5	8	74	2	3	0
3	25	10	8	45	1	4	0
4	1	5	19	69	0	6	0
5	27	5	7	38	1	9	0
6 - 10	6	3	14	68	1	6	1
> 10	17	14	11	52	3	2	1

Ces mêmes états de surface analysés en fonction de la géomorphologie (tableau 9) montrent que les croûtes d'érosion représentent près de 25 % du recouvrement total des états de surface du sol sur les plateaux et les jupes sableuses, et moins de 15 % sur les autres situations. Les croûtes structurales à trois micro horizons ST3 diminuent progressivement le long de la toposéquence. Il semble que les conditions d'infiltration soient meilleures sur les positions basses (glacis et bas-fond) et sur les dunes.

L'évolution des états de surface durant phase post-culturale pour chaque position géomorphologique (cf. annexe 4) ne montre pas globalement d'évolution nette, à

l'exception des dunes qui présentent une diminution du recouvrement des croûtes d'érosion et de type ST3 les quatre premières années de jachère. Sur ces dunes, il semble que les conditions d'infiltration s'améliorent avec la jachère.

Tableau 9 : Evolution des états de surface du sol en fonction de la topographie.

	ERO	ST3	ST1	ST2	DES	Algues	Termites
plateau	24	9	4	55	3	4	0
jupe	23	13	9	44	3	3	0
glacis	13	8	17	56	0	4	1
bas-fond	15	6	14	48	0	8	1
dune	9	4	7	75	1	3	0

2.5. Dynamique post-culturale des conditions édaphiques stationnelles.

2.5.1. Description générale des sols post-culturaux échantillonnés.

Les sols de la zone d'étude sont de type ferrugineux peu lessivé (Gavaud, 1968). La plupart des fosses décrites ici (50 premiers centimètres) présentent l'organisation suivante, à partir de la surface : un micro-horizon qui correspond aux états de surface du sol (**S**) définis par Casenave et Valentin (1989) se développant sur un horizon **A** d'une vingtaine de centimètres de profondeur. La transition est généralement très progressive (15 cm environ) avec l'horizon **B**. Cette transition a été considérée comme un horizon (**T**). Cependant, la transition entre l'horizon A et le B est parfois nette, auquel cas l'horizon T est absent.

La texture est très grossière en surface (figure 28) : les particules fines représentent 9 %, dont 5 % d'argile et 4 % de limons. Les horizons sous-jacents s'enrichissent progressivement en argiles. Dans l'horizon B, les particules fines atteignent une proportion de 19 %, dont 12 % d'argiles.

Les taux de matière organique (carbone et azote) sont très faibles et diminuent avec la profondeur (figure 29). Les taux de carbone totaux sont en moyenne de 0.32 % en S et atteignent seulement 0.23 % en B. Quant aux taux d'azote, ils sont également très bas, 0.023 % en S et 0.015 % en B. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Grouzis

(1988) à la mare d'Oursi , région sahélienne au Burkina Faso et ceux de Breman et de Ridder (1991) obtenus dans différents pays sahéliens. Les rapports C/N (figure 30) diminuent avec la profondeur, de 19 en S à 15 en B. Cela indique généralement une matière organique non dégradée. La confrontation de la matière organique et de la texture du sol détermine la sensibilité de ces sols à la dégradation des conditions physiques (Piéri, 1989). D'après l'échantillonnage réalisé (figure 31), 32 % des sols étudiés sont dégradés, 23 % présentent des grands risques, 18 % des risques faibles et seulement 27 % ont des taux de matière organique suffisants pour éviter des risques de dégradation.

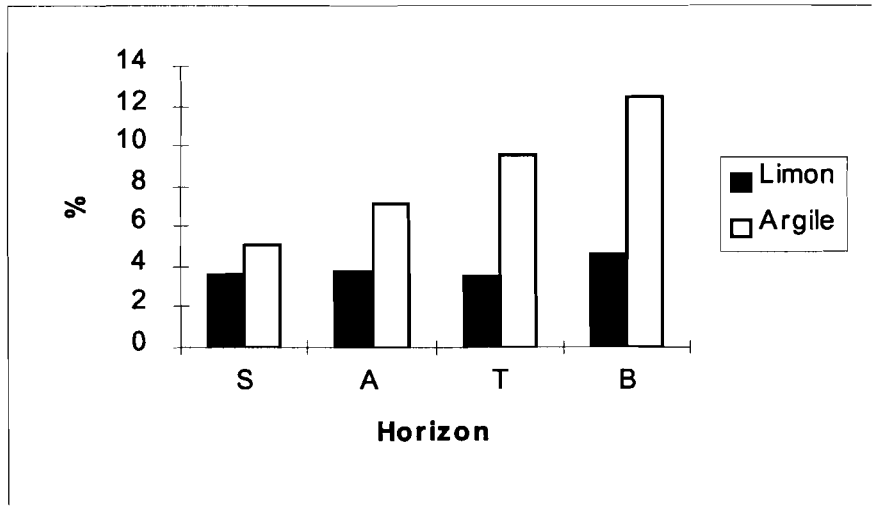


Figure 28 : Evolution de la texture en fonction des horizons.

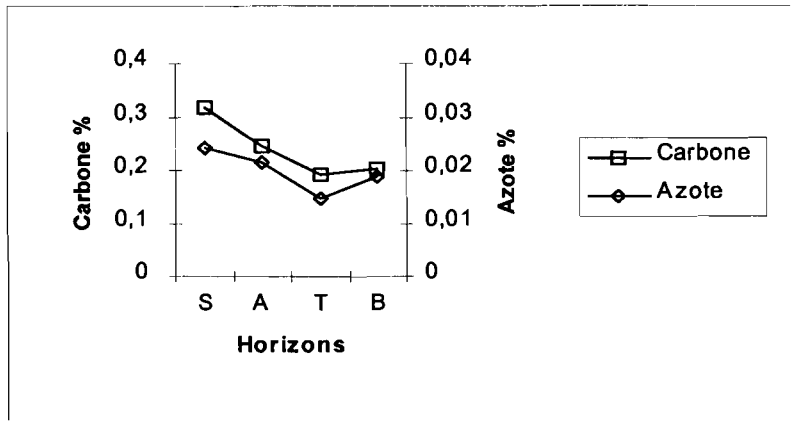


Figure 29 : Evolution des teneurs en carbone et en azote en fonction des horizons.

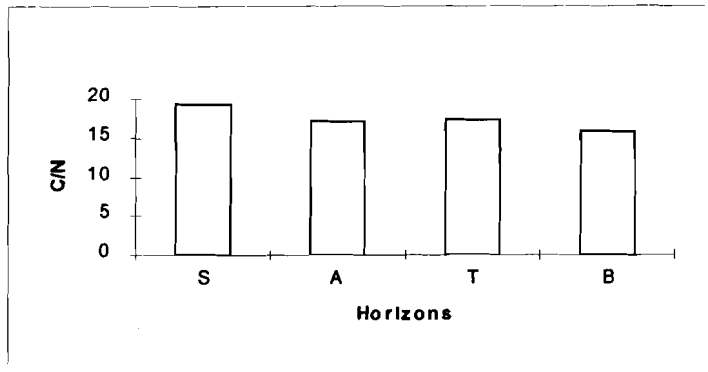


Figure 30 : Evolution du rapport C/N en fonction des horizons.

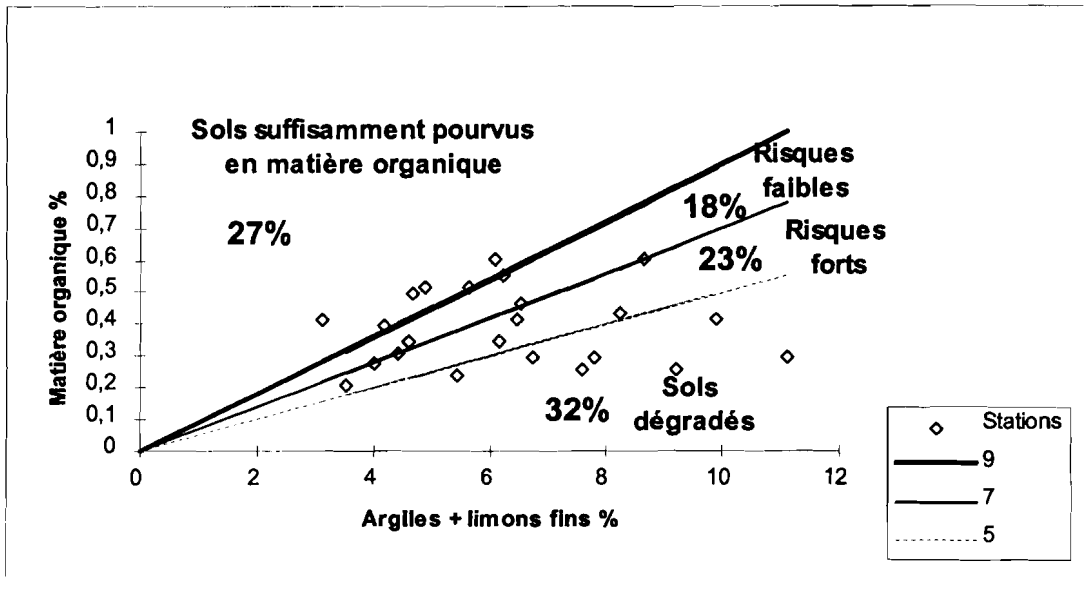


Figure 31 : Situation des stations échantillonnées en fonction de la classification de Piéri (1989). Les courbes 9, 7 et 5 représentent des seuils de sensibilité à la dégradation physique (cf. deuxième partie, paragraphe 1.3.2.)

L'activité biologique de ces sols (figure 32), estimée à partir de l'activité respiratoire (dégagement de CO_2) après 12 jours d'incubation, est proche de 120 µg.g-1 en surface (horizons S et A) mais décline très fortement en profondeur (60 µg.g-1). Ces résultats sont proches de ceux obtenus au Mali par De Bruin *et al.* (1989). L'activité respiratoire permet d'estimer la minéralisation dans ces sols. Le coefficient de minéralisation est calculé à partir de $C.CO_2$ / C total. Les coefficients de minéralisation sont compris en moyenne entre 0.02 % et 0.06 % sur l'ensemble du profil, avec une diminution en profondeur (figure 30). La minéralisation est réduite avec la diminution de la densité microbienne et l'enrichissement

en argile qui protège les substrats organiques dans ses feuillets, limitant l'activité de la microflore.

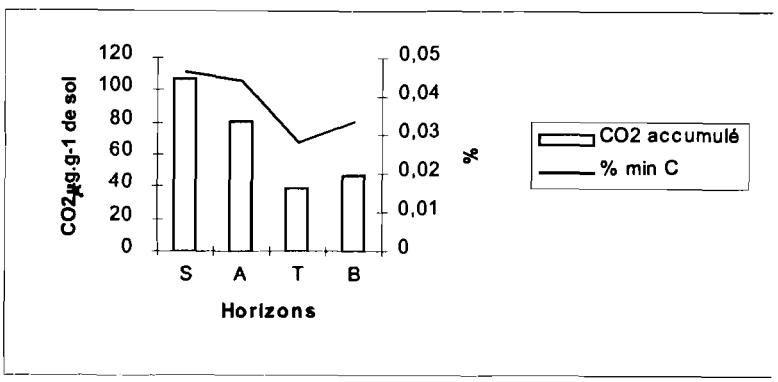


Figure 32 : Evolution de l'activité biologique et du coefficient de minéralisation en fonction des horizons.

L'évolution de l'azote accumulé (figure 33) résulte de celles de la minéralisation de l'azote et de son immobilisation. Deux formes d'azote minéral sont définies. Les nitrates, NO_3^-, sont issus de la nitrification et l'ammonium, NH_4^+, est issu de l'ammonification. En surface (horizons S), la nitrification domine. Dans les horizons sous-jacents (A, T et B), l'ammonification prend le dessus progressivement avec la profondeur. Cela est certainement dû aux conditions anaérobies qui se créent avec l'augmentation des teneurs en éléments fins et la compacité de la structure des horizons. Les micro-organismes responsables de la nitrification se développent strictement en conditions aérobies.

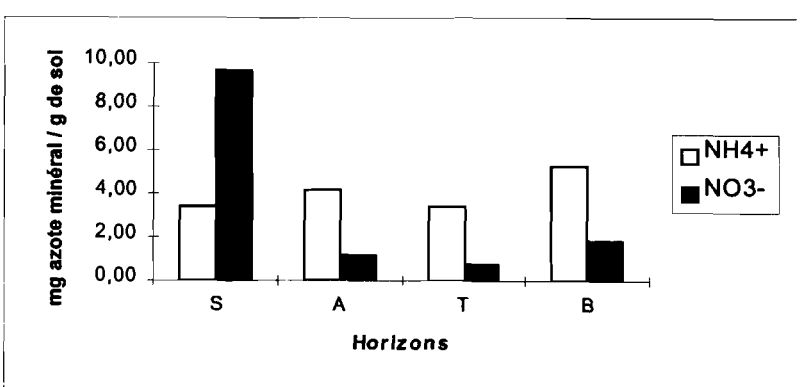


Figure 33 : Nitrate et ammonium accumulé à 12 jours d'incubations en fonction des horizons. Les résultats présentés sont la moyenne de tous les échantillons analysés.

2.5.2. Dynamique des sols le long de la phase post-culturale.

Les différents paramètres édaphiques ne présentent aucune relation avec la durée de la phase post-culturale. A l'absence d'une dynamique de la végétation, s'ajoute donc une absence de dynamique des paramètres édaphiques, analysés globalement. L'analyse de ces paramètres en fonction de la géomorphologie n'apporte pas plus d'éléments de réponses. Charreau et Nicou (1971), Piéri (1989) et Hoesfloot *et al.* (1993) montrent que l'évolution de ces conditions va de pair avec celle de la végétation. Dans le cas présent, les relations avec la végétation restent très faibles et ne permettent pas de dégager des tendances. A titre d'exemple, la meilleure régression obtenue ($r^2 = 0.36$) concerne les teneurs en argiles + limons fins de l'horizon A en fonction du recouvrement de la strate ligneuse. Par contre, il y a une certaine amélioration des relations quand les conditions sols et les conditions d'états de surface du sol sont confrontées, en particulier quand il s'agit des croûtes microphytiques (tableau 10). Ces croûtes, constituées de micro-organismes tels que des cyanophycées, ou des lichens, semblent participer de façon non négligeable à l'activité respiratoire ($r^2 = 0,62$) et donc à la minéralisation du carbone ($r^2 = 0,49$). De plus, elles expliquent un tiers de la variance des teneurs en azote ($r^2 = 0,36$). Certaines de ces croûtes microphytiques sont effectivement fixatrices d'azote (Iseichi, 1980 ; West, 1990).

Tableau 10 : Evolution des relations (coefficient de régression : r^2) entre les paramètres du sol et le recouvrement des croûtes microphytiques.

Paramètres	Horizon S	Horizon A
Argiles	0.06	0.17
Limons fins	0.003	0.07
Argiles + limons fins	0.04	0.19
Carbone	0.22	0.15
Azote	0.36	0.10
C/N	0.08	0.12
CO_2	**0.62**	0.09
Coefficient de minéralisation	**0.49**	0.10
NH_4^+ à t0	0.03	0.04
NH_4^+ à t12	0.02	0.01
NO_3^- à t0	0.05	0.06
NO_3^- à t12	0.08	0.04

3. Classification des milieux post-culturaux.

Lors de la phase post-culturale, il n'y pas de remplacement remarquable de groupes d'espèces qui serait l'empreinte d'une dynamique successionnelle. L'absence de "véritables" jachères longues empêche la succession de s'exprimer. La plupart des vieilles jachères correspondent en effet à des stades dégradés. Les sols ne montrent pas non plus de dynamique claire. Une classification des différents milieux post-culturaux a été néanmoins tentée en croisant une analyse en composantes principales et une classification ascendante hiérarchique. Cet essai aboutit à cinq classes accentuant la discrimination des deux systèmes (tableau 11).

Le premier groupe rassemble trois classes de jeunes jachères (1 à 5 ans) situées sur les conditions de croissance les plus favorables. Ce sont des jachères qui appartiennent réellement à un cycle cultural et à une stratégie de gestion de l'espace agricole. Le deuxième groupe représente les friches sur conditions dégradées à des stades d'âge différents. La dégradation des conditions de production sont trop avancées et ce sont alors des milieux devenus marginaux et qui sortent des cycles culturaux. Une culture rentable n'est pas envisageable à court terme sur ces derniers milieux.

La classe 1 correspond aux jachères les plus jeunes (deux ans en moyenne) situées préférentiellement sur les dunes et les jupes. Le rapport moyen "biomasse arbustive" sur "biomasse herbacée", **Rah** =0.18 (figure 34), indique que ces jachères ont une composante principalement herbacée. La strate ligneuse se reconstitue depuis les souches de *Guiera senegalensis*. Toutes les espèces herbacées messicoles et rudérales se développent. C'est en effet *Mitracarpus scaber*, espèce liée aux pratiques culturales, qui domine sur ces milieux (tableau 12). Les Rubiacées représentent 27 % de la strate herbacée, les Poacées 30.9 % (*Eragrostis tremula*) et les Fabacées 20.3 % (*Alysicarpus ovalifolius* 7.9 % et *Zornia glochidiata* 7.7 %). Les grandes graminées des genres *Aristida*, *Andropogon* et *Ctenium*, indicatrices de passage à un stade successionnel plus mâture, sont peu présentes. Les plantes en C3 dominent ces milieux. Le recouvrement des états de surface ST3 et ERO, caractérisés par une faible capacité d'infiltration, se monte à 25.5 %, suite à la disparition

rapide de l'effet du sarclage. Le sarclage améliore l'infiltration en brisant l'encroûtement superficiel mais détruit alors la structure et la cohésion des horizons superficiels. Peugeot (1995) remarque que son effet est alors très éphémère : des croûtes se développent de nouveau après un cumul de 100 mm de pluie environ.

Tableau 11 : Description des principaux paramètres structurels des classes de la typologie (Position géomorphologique, 1 = plateau, 2 = jupe sableuse, = glacis, 4 = bas-fond et 5 = dune)

	Jachères de gestion			Friches	
Classe	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Age moyen (ans)	2	4	5	6-10	> 10
Position topographique	5 et 2	5 et 4	3 et 4	2	3
Densité arbustive par hectare	328	540	683	527	388
Hauteur moyenne des arbustes (cm)	106	237	162	158	120
Phytovolume de l'arbuste moyen (m3)	0.75	6.88	2.39	1.04	0.81
Diamètre moyen des tiges (cm)	1.3	2.3	1.8	1.7	1.5
Recouvrement de la strate herbacée (%)	70	58	77	70	65
Phytomasse épigée de la strate herbacée (kg M.S. /ha)	1682	1496	1026	1754	1213
Diversité (réciproque de l'indice de Simpson)	4.27	5.04	3.82	4.02	2.28
Recouvrement des croûtes d'érosion (%)	15.4	16.5	5.0	21.6	17.1
Recouvrement des croûtes ST3 (%)	10.1	2.5	7.3	10.8	14.4
Recouvrement des croûtes microphytiques (%)	3.6	2.3	3.4	11.9	2.4

La classe 2 est constituée de jachères de quatre ans en moyenne, situées sur les conditions de production les meilleures (dune et bas-fond, cf. tableau 10). En effet, le rapport moyen Rah (figure 34) est de 6.64 ce qui indique que la biomasse épigée est surtout constituée par les ligneux qui atteignent un hauteur moyenne supérieure à 2.30 m au bout de quatre années de jachère seulement. La strate ligneuse reste cependant basée sur les rejets de *Guiera senegalensis*. La strate herbacée est diversifiée (IS = 5.04), mais dominée par la famille des Poacées (tableau 12). *Eragrostis tremula*, espèce pionnière, représente 23 % de la strate herbacée. Les grandes graminées du genre *Ctenium*, *Aristida* et *Andropogon* représentent près de 20 % de cette même strate, ce qui conduit à une dominance des plantes en C4. Les espèces messicoles comme *Mitracarpus scaber* et les Cyperacéees n'ont pas

encore été éliminées. Dans cette classe, ERO + ST3 ne représentent que 19 % de la couverture totale des états de surface du sol.

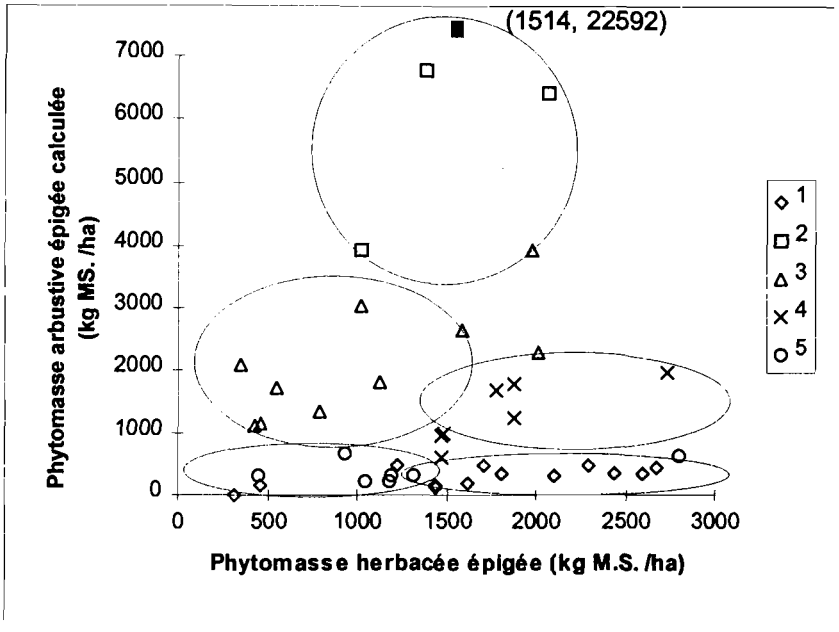


Figure 34 : Phytomasse arbustive en fonction de la phytomasse herbacée selon les classes issues de la typologie. Le point carré noir est un point de la classe deux ; ses coordonnées sont spécifiées entre parenthèse.

La classe 3 est constituée de jachères de cinq ans en moyenne situées sur les bas de pente et dans les bas-fonds. Le rapport moyen Rah (figure 34) est de 2.1, la biomasse ligneuse constitue les deux tiers de la biomasse épigée. La productivité annuelle ligneuse est inférieure à la classe précédente et la hauteur moyenne est seulement de 160 cm au bout de cinq ans de jachère. La strate herbacée est moins diversifiée que pour les deux classes précédentes (IS = 3.82). Elle est basée sur les Poacées (46.8 %), les Fabacées (17.1 %) et les Rubiacées (14 %). C'est la Poacée *Aristida longiflora* qui domine ces milieux (14.2 % de la strate herbacée totale). Une dominance des plantes en C4 est observée. Si la succession se poursuivait, cette classe devrait marquer le passage à un stade plus mâture, par l'apparition des grandes graminées et la diminution des espèces pionnières comme *Mitracarpus scaber* (9.9 %). Seulement, ce stade correspond généralement à la remise en culture. ERO + ST3 ne représentent plus que 12.3 % de la couverture totale des états de surface.

Tableau 12 : Evolution de la composition floristique en fonction des classes de la typologie.

	Classes de la typologie régionale		1	2	3	4	5
	Recouvrement de la végétation %		70	58	77	70	65
	Litière % (mesure points quadrats)		19	30	17	23	15
	Phytomasse épigée (kg M.S / ha)		1682	1496	1026	1754	1213
Familles	Espèces	Photosynthèse					
Caesalpiniaceae	*Cassia mimosoides*	C3	5,8	0,1	5,6	7,5	8,9
Caryophyllaceae	*Polycarpea spp*	C4	0,4	0,6	1,1	0,3	0,0
Commelinaceae	*Commelina forskalaei*	C3	1,4	1,0	3,1	0,0	2,0
Convolvulaceae	*Jacquemontia tamnifolia*		2,4	5,3	4,4	0,2	0,3
Convolvulaceae	*Merremia pinnata*		3,3	3,6	0,7	0,5	0,2
Cyperaceae	*Cyperus amabilis*	C4	2,4	1,8	1,8	3,3	1,5
Cyperaceae	*Fimbristillis hispidula*	C4	3,9	**11,5**	4,9	1,9	2,2
Fabaceae	*Indigofera spp*	C3	3,2	3,8	2,1	6,8	0,6
Fabaceae	*Ipomea vagans*	C3	1,5	0,0	1,0	1,7	0,8
Fabaceae	*Zornia glochidiata*	C3	7,7	0,1	8,9	**16,3**	**42,0**
Fabaceae	*Alysicarpus ovalifolius*	C3	7,9	2,6	5,1	1,6	6,1
Malvaceae	*Sida ovata*		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Pedaliaceae	*Ceratotheca sesamoides*	C4	0,6	0,5	0,2	0,1	0,3
Poaceae	*Aristida longiflora (al)*	C4	1,6	6,2	**14,2**	2,0	6,0
Poaceae	*Aristida mutabilis*	C4	3,0	3,6	2,2	2,5	0,1
Poaceae	*Andropogon gayanus (an)*	C4	0,6	1,3	0,6	2,4	0,1
Poaceae	*Brachiaria distichophylla*	C4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1
Poaceae	*Brachiaria ramosa*	C4	0,5	0,0	4,4	0,6	4,1
Poaceae	*Cenchrus biflorus*	C4	7,0	1,9	7,3	9,0	2,2
Poaceae	*Ctenium elegans (ce)*	C4	3,1	9,2	3,3	7,8	0,3
Poaceae	*Dactyloctenium aegyptium*	C4	0,3	0,2	0,1	0,6	0,5
Poaceae	*Digitaria gayana*	C4	3,4	2,9	6,6	6,0	1,9
Poaceae	*Digitaria horizontalis*	C4	0,0	0,0	0,8	0,6	0,2
Poaceae	*Diheteropogon hagerupii*	C4	1,0	0,8	0,3	6,5	0,8
Poaceae	*Eragrostis tremula*	C4	8,7	**23,0**	5,9	9,5	3,6
Poaceae	*Schoenefeldia gracilis*	C4	0,7	0,0	0,0	0,1	0,0
Poaceae	*Sporobolus spp*	C4	0,8	0,0	1,1	1,2	0,3
Rubiaceae	*Mitracarpus scaber*	C3	**20,6**	**18,1**	9,9	9,4	**10,8**
Rubiaceae	*Borreria stachydea*	C3	6,4	2,1	4,1	1,3	3,0
Sterculiaceae	*Waltheria indica*		1,5	0,0	0,3	0,6	1,1
Poaceae %			30,9	49,0	46,8	48,7	20,3
Fabaceae %			20,3	6,4	17,1	26,3	49,6
Cyperaceae %			6,3	13,3	6,7	5,2	3,7
al+ce+an			5,2	16,6	18,1	12,2	6,5
Zornia glochidiata			7,7	0,1	8,9	16,3	42,0
Mitracarpus scaber			20,6	18,1	9,9	9,4	10,8
Jacquemontia tamnifolia			2,4	5,3	4,4	0,2	0,3
C4 %			38,3	63,5	54,8	54,2	24,3
C3 %			48,6	27,6	34,2	37,0	65,3

La classe 4 correspond à des jachères plus vieilles que les précédentes, dont l'âge moyen se situe entre 6 et dix ans. Le rapport Rah est inférieur à 1. Ce sont donc des écosystèmes à composante biomasse épigée principalement herbacée, ce qui indique à ce

stade de la succession un dysfonctionnement certain. La productivité ligneuse est très faible, la hauteur moyenne des arbustes est seulement de 158 cm. La strate herbacée est diversifié (IS = 4.02) avec une dominance des plantes en C4, dont les Poacées (48.7 %). Les Fabacées représentent 26.3 % et les Rubiacées 10.7 %. C'est la légumineuse *Zornia glochidiata* qui domine ces milieux (16.3 %), suivie d'*Eragrostis tremula* (9.5 %) et de *Mitracarpus scaber* (9.4 %), toutes les trois considérées par les agriculteurs comme indicatrices de mauvaises conditions de sols. Les croûtes d'érosion et de type ST3 représentent 32,4 % de la couverture totale du sol.

La classe 5 met en évidence les plus vieilles jachères qui échappent au cycle cultural car les conditions de production sont trop dégradées. Le rapport **Rah** est très bas (0.31) indiquant que les deux tiers de la biomasse épigée sont basés sur la strate herbacée. La légumineuse annuelle *Zornia glochidiata* est quasi mono-dominante sur ces milieux (42 % du cortège floristique), qui se traduit par une diversité très faible (IS = 2.28). Les Fabacées représentent donc près de 49.6 % des espèces trouvées sur ces milieux, les Poacées 20.3 % et les Rubiacées 13.8 % (*Mitracarpus scaber* = 10.8 %). Les plantes en C3 dominent largement ces milieux. La productivité ligneuse est très faible, la hauteur moyenne des *Guiera senegalensis* est de 120 cm seulement, malgré les temps de jachères très longs. Les croûtes ERO + ST3 couvrent le tiers de la surface du sol, induisant alors une forte limitation des capacités d'infiltration. La dégradation peut être telle que parfois, l'érosion a mis à nu une partie du système racinaire des *Guiera senegalensis*.

Les résultats de cette classification ont été utilisés pour décrire la capacité de régénération de ces milieux (figure 35). L'évolution du phytovolume de l'arbuste moyen sert de paramètre intégrateur des autres paramètres biologiques et d'indicateur des conditions écologiques pour la régénération. La courbe moyenne de croissance des arbustes (Y = 0,533.X) est le résultat d'une corrélation calculée entre le phytovolume de l'arbuste moyen et la période de jachère sur les cinq premières années. Les deux autres courbes présentent les vitesses les plus rapides (Y = 1,033. X) et les plus lentes (Y = 0,08. X).

Les cinq classes sont bien différenciées sur le graphique. La classe 1, point de départ de toutes les évolutions, se subdivise vers 4-5 ans d'abandon cultural en trois groupes formant les classes suivantes. La classe 2 correspond aux conditions les plus productives, bénéficiant de très fortes capacités de régénération (productivité annuelle supérieure à 1 m^3/an). La classe 3 correspond à un stade intermédiaire, la productivité chute à 0.5 m^3 /an. La classe 4 a une très faible capacité de régénération (en moyenne inférieure à 0.10 m^3 /an). La classe 5 est la continuité de la classe 4, avec aggravation des conditions dégradées de surface. Il semble qu'il y ait un seuil de dégradation à partir duquel les processus d'érosion, entre autres, s'auto-entretiennent.

Comme les conditions édaphiques ne présentaient pas d'évolution nette, les résultats sols ont été alors analysés en fonction des classes de la typologie (tableau 13). Le tableau 13 présente seulement les résultats obtenus pour l'horizon de surface. Les résultats pour les autres horizons sont présentés en annexe 5.

Tableau 13 : Evolution des différents paramètres pour l'horizon de surface en fonction des classes de la typologie.

	1	2	3	4	5
Argiles + limons fins %	5.49	3.89	5.15	7.14	7.51
Carbone %	0.25	0,25	**0.26**	0.20	0.21
Azote ‰	0.19	0.17	**0.19**	0.15	0.16
C/N	13.3	**14.4**	13.5	13.8	13.2
Activité respiratoire (CO_2 $\mu g.g^{-1}$ de sol)	**107.6**	89.8	61.2	104.3	62.9
Coefficient de minéralisation %	0.039	0.034	0.027	**0.044**	0.028
NH_4^+ à t0 ($\mu g.g^{-1}$ de sol)	4.64	3.41	5.9	4.64	**9.07**
NH_4^+ à t12 ($\mu g.g^{-1}$ de sol)	4.72	2.49	4.97	5.04	**11.28**
NO_3^- à t0 ($\mu g.g^{-1}$ de sol)	2.45	0.18	6.23	7.03	**34.23**
NO_3^- à t12 ($\mu g.g^{-1}$ de sol)	5.26	3.54	8.87	**47.15**	39.87

La classe 2, d'un point de vue textural, est la plus pauvre en éléments fins, alors que la classe 5 est la plus riche (tableau 13). Le test de Student montre que les deux premières classes sont significativement différentes des classes 4 et 5 ($p < 0.05\%$). Ces dernières classes qui représentent les friches présentent des sols à texture plus fine que les jachères de gestion.

La matière organique (tableau 13), que ce soit travers sa composante carbone ou à travers sa composante azote, ne montre pas de différences significatives en surface. Par contre, dans l'horizon A, la classe 1 est significativement plus riche en matière organique que les autres classes (cf. annexe).

En confrontant la texture et les teneurs en matière organique suivant la classification de Piéri (1989), les classes montrent des différences de sensibilité à la dégradation physique (figure 36). La classe 2 se situe dans la zone où les sols sont suffisamment pourvus en matière organique pour leur assurer une bonne stabilité structurale. Les classes 1 et 3 présentent des risques faibles. Les risques augmentent fortement avec la classe 4, pour aboutir aux sols dégradés de la classe 5, confirmant un seuil au delà duquel les processus de dégradation s'auto-entretiennent, voire s'accélèrent. Les différences de sensibilité entre les classes (1, 2 et 3) appartenant au groupe "jachères de gestion" sont essentiellement dues à la richesse en éléments fins. Les friches se distinguent du groupe précédent par leur plus grande richesse en éléments fins et leur plus grande pauvreté en matière organique.

Le rapport C/N en surface, qui apporte des éléments d'information sur l'évolution de la dégradation de la matière organique et sur son âge, est élevé pour toutes les classes : > 13 (tableau 12), en particulier pour la classe 2 (> 14). La matière organique est alors mal décomposée. Dans les horizons sous-jacents, des différences significatives apparaissent (cf. annexe). Le C/N reste toujours supérieur à 12 pour les classes 1, 2 et 4 (matière organique mal incorporée), alors qu'il diminue pour les classes 3 et surtout 5. Dans ces deux dernières classes, la matière organique est incorporée, voire minéralisée (C/N proche ou inférieur à

10). Cela indique également que la matière organique concernée est vieille. Par contre, la remontée systématique du C/N dans l'horizon de transition, s'explique dans le cas des classes 3 et 4 par une remontée des teneurs en carbone (racines,..?), par des teneurs en azote très faible pour les classes 1 et 2.

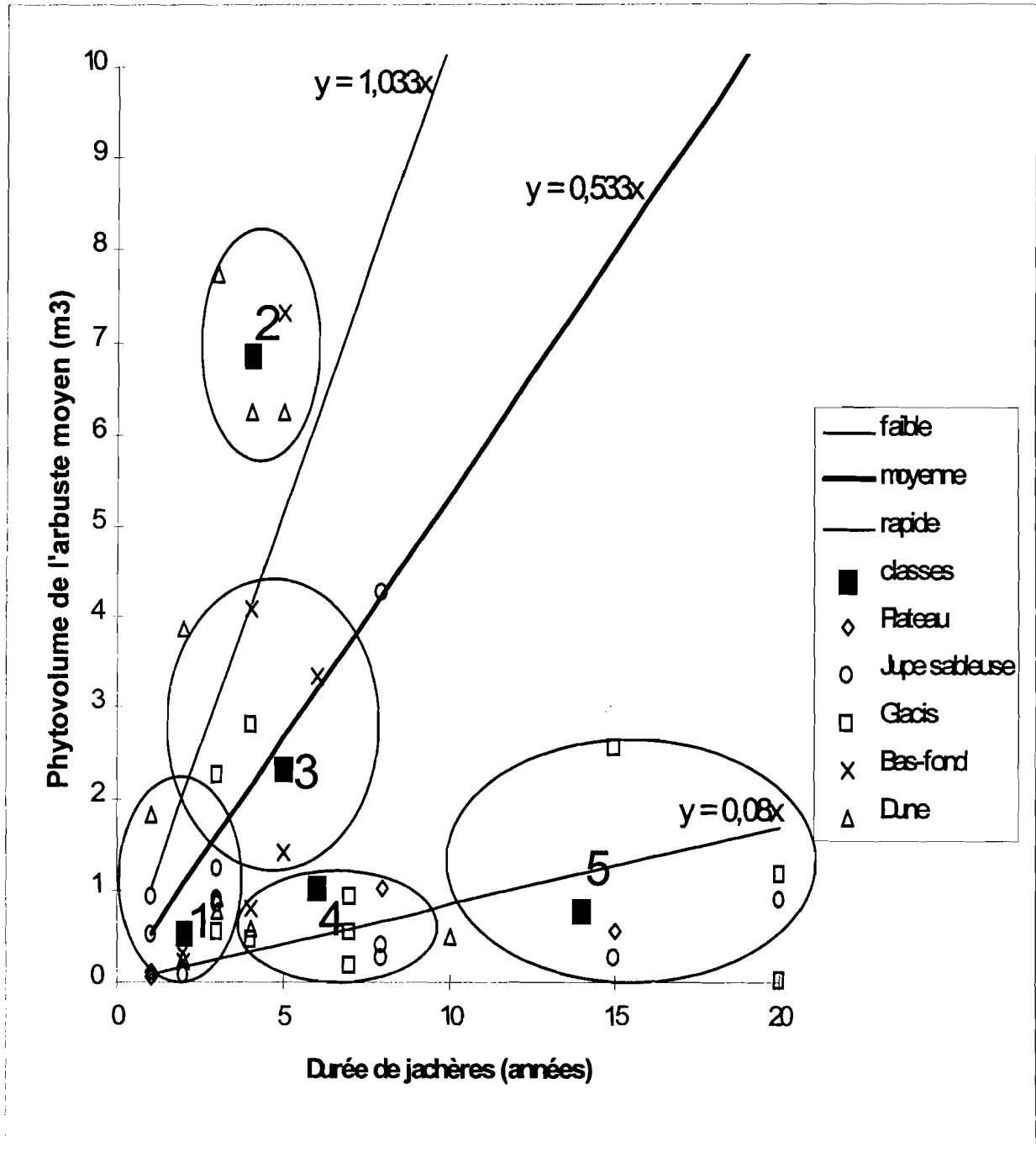


Figure 35 : Présentation des classes de la typologie en fonction de leur capacité de régénération.

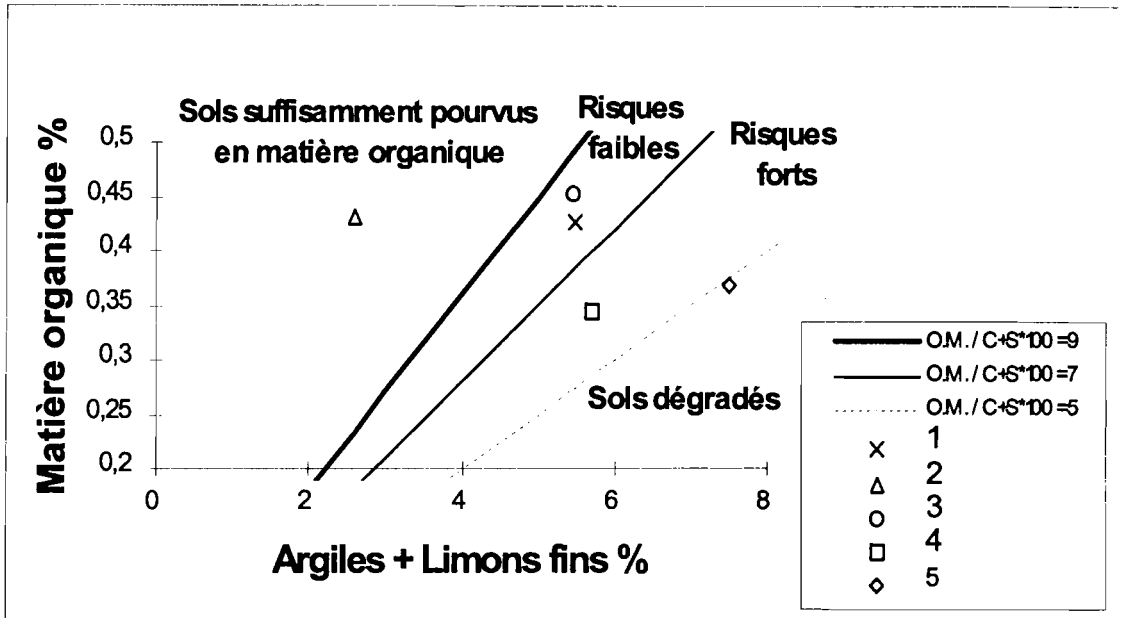


Figure 36 : Présentation des classes de la typologie régionale en fonction de la classification de Piéri.

L'activité respiratoire mesurée sur les classes 1 et 4 est très proche de celles mesurées par de Bruin *et al.* au Mali, (1989) (tableau 12). Elle est plus faible sur les autres classes, et en particulier pour la classe 5. L'activité respiratoire est dépendante de la teneur relative du sol en fractions organiques facilement biodégradables (C/N proche de 15; Feller *et al.*, 1991), des facteurs environnementaux (humidité, température et aération), des facteurs défavorables à l'activité biologique (acidité, alcalinité, présence de substances toxiques et carence en azote), des processus physico-chimiques ou chimiques (adsorption à des colloïdes du sol, polymérisation) tendant à protéger les fractions organiques contre l'attaque microbienne et enzymatique et de la composition de la microflore. La relation entre l'activité respiratoire des sols en surface et le recouvrement des croûtes microphytiques est ici confirmée (figure 37).

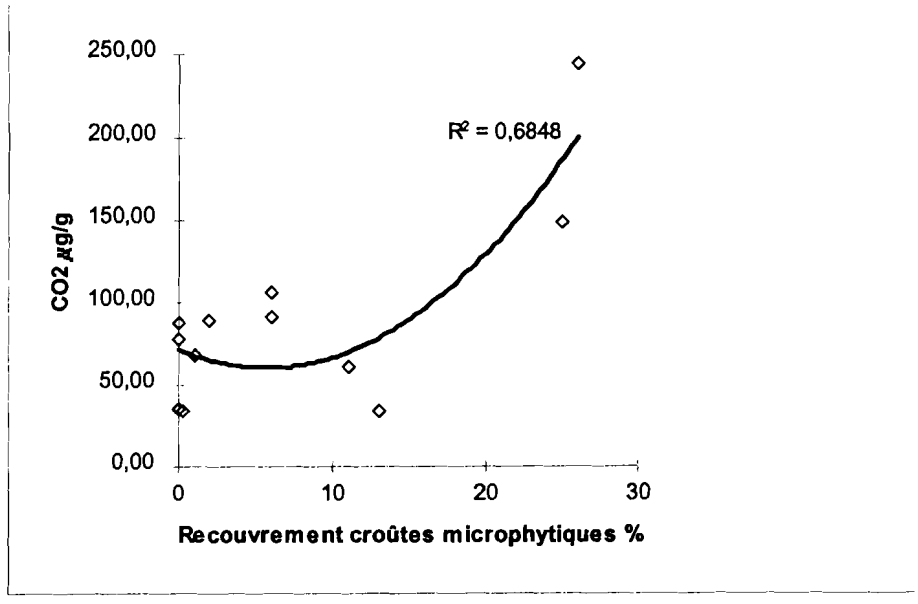


Figure 37 : Relation entre l'activité biologique à la surface des sols et le recouvrement des croûtes microphytiques.

Les processus de minéralisation de l'azote apparaissent dans cette typologie comme discriminants, surtout pour les horizons de surface (figure 38). En profondeur, quelle que soit la classe concernée, c'est l'ammonification qui domine (figure 36 et annexe 5). Par contre en surface, les classes qui correspondent au système de friches (4 et 5), se caractérisent par une accumulation d'azote essentiellement sous formes de nitrates et ceci, dès le départ de l'incubation (t_0). Sur les "systèmes jachères de gestion" (classes 1 à 3), à t_0, le processus de minéralisation dominant est l'ammonification. A t_{12}, la nitrification a pris de l'importance mais un certain équilibre entre les deux processus de minéralisation est mesuré. Bien que la forme nitrate soit la forme la plus facilement assimilable par les plantes, elle entraîne des risques plus importants de pertes en azote car ne pouvant se fixer au complexe argilo-humique. Les pertes d'azote se font par lixiviation ou par dénitrification et volatilisation. Les risques sont plus grands sur les friches que sur les jachères de gestion, et ceci d'autant plus, que les processus d'érosion sont importants sur les premières.

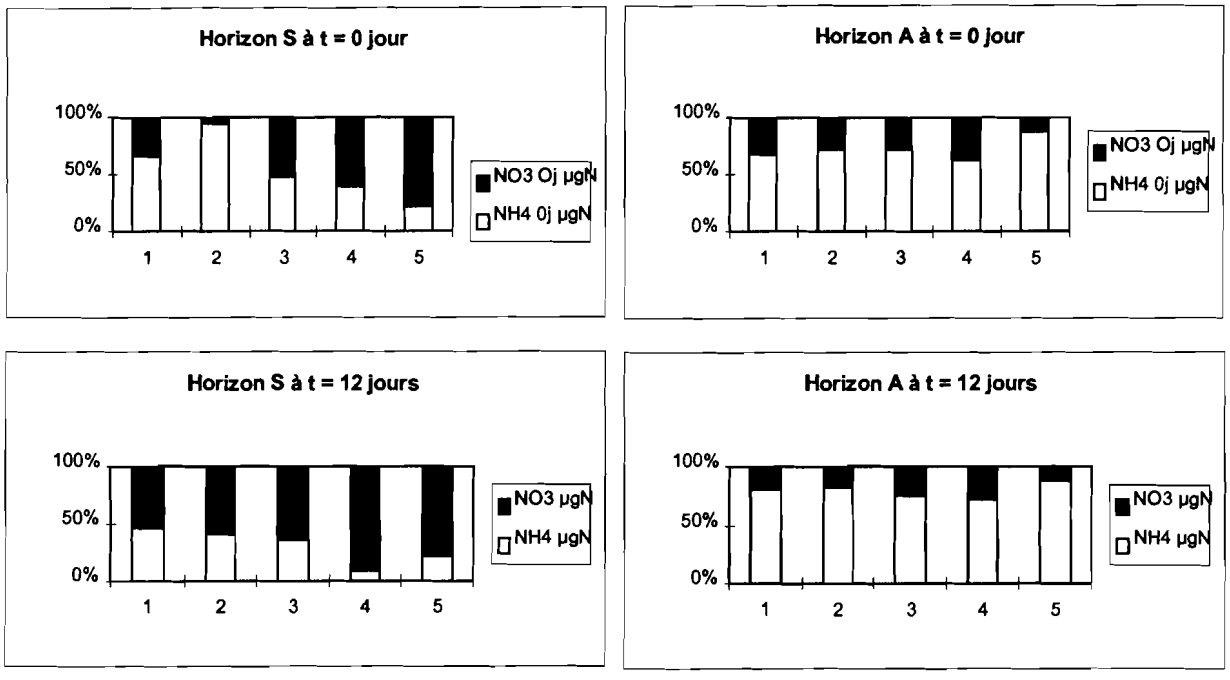


Figure 38 : Proportion de nitrates et d'ammonium par rapport à l'azote total accumulé à 0 et 12 jours d'incubation en fonction des classes de la typologie régionale.

L'analyse de la dynamique post-culturale des conditions édaphiques à l'intérieur de chaque classe présente une nette amélioration des relations entre les paramètres mesurés et l'âge de la jachère (tableau 13), en particulier pour les trois premières classes. La période post-culturale explique pour les classes 1 à 3, plus de 60 % de l'information, contre moins de 50 % pour les classes 4 et 5.

Il existe des relations entre la composition de la strate herbacée et la minéralisation de l'azote (NO_3^- + NH_4^+) mesurée au laboratoire. La relation est positive avec la contribution de la légumineuse *Zornia glochidiata* à la strate herbacée (figure 39), alors qu'elle est négative avec la contribution des graminées (annuelles ou pérennes). L'abondance de la légumineuse *Zornia* et l'importance des flux en azote sur les friches indiqueraient que ces écosystèmes fonctionnent essentiellement en terme de flux, alors que sur les systèmes de gestion, il y aurait un stockage de la matière organique (Luc Abbadie, com. verb.).

Tableau 14 :Liaisons entre les paramètres édaphiques et la durée de la jachère à l'intérieur de chaque classe de la typologie régionale. Le point d'interrogation indique un nombre insuffisant de données pour calculer un coefficient de corrélation.

	Jachères de gestion						Friches			
Paramètres	1		2		3		4		5	
horizon	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A
Argiles + limons fins	0.54	0.53	?	0.99	1	0.03	0.72	0.11	0.44	0.49
Argiles	0.82	0.42	?	0.98	1	0.34	0.39	0.20	0.54	0.47
Limons fins	0.56	0.18	?	0.99	1	0.37	1	1	0.28	0.56
C %	0.58	0.69	1	0.99	0.99	0.57	0.22	0.20	0.71	0.31
N ‰	0.49	0.65	0.99	0.99	0.99	0.62	0.41	0.27	0.91	0.65
C/N	0.26	0.68	0.02	0.45	0.99	0.35	0.13	0.005	0.005	0.92
CO2	0.60	1	?	0.98	?	0.57	0.99	0.72	0.22	0.24
coefficient de minéralisation	0.58	1	?	0.99	1	0.49	0.14	0.61	0.007	0.51
NH4+	0.93	0.82	?	0.91	1	0.66	0.97	0.88	0.99	?
NO3-	1	0.91	?	1	0.50	?	1	0.54	0.80	?
Moyenne des coefficients	0.64	0.69	0.67	0.93	0.94	0.44	0.60	0.45	0.49	0.52

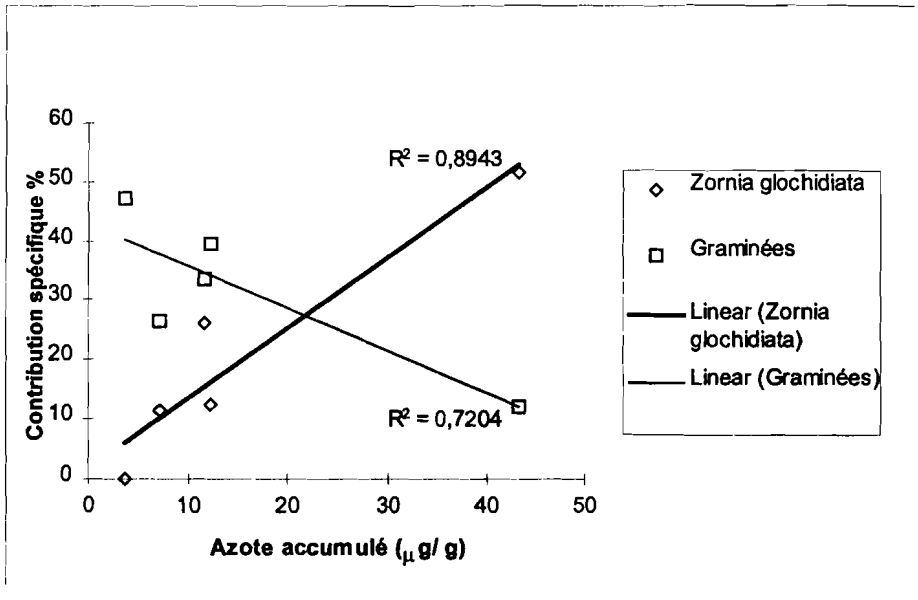


Figure 39 : Relations entre l'azote total accumulé après douze jours d'incubation et la participation à la composition floristique herbacée des graminées et du *Zornia glochidiata*.

En résumé, la typologie régionale des milieux post-culturaux fait apparaître deux systèmes caractérisés par des structures et des fonctionnement différents. Les jachères de gestion présentent des capacités d'infiltration supérieures aux friches; les croûtes d'érosion

et de type ST3, peu perméables, sont effectivement moins développées sur ces premiers systèmes. Ces croûtes représentent en moyenne moins de 25 % des états de surface sur les jachères de gestion, contre 32 % sur les friches. Cela est du à une meilleure stabilité structurale des horizons de surface, plus pauvres en éléments et fins et plus riches en matière organique. De plus, il semble qu'il y ait un stockage d'éléments nutritifs sur ces jachères de gestion, contrairement aux sols des friches qui fonctionnent principalement en terme de flux. La nitrification dominant sur ces derniers milieux, les risques de perte en azote sont alors grands, limitant ainsi de façon très probable la production biologique.

4. Discussion.

Sur la zone d'étude dans les conditions normales d'utilisation de l'espace, la dynamique post-culturale ne s'accompagne pas de changements dans la composition floristique. Une réelle succession secondaire, au sens de Lepart et Escarré (1983) ne s'exprime pas car les passages à des stades plus mâtures sont empêchés par la remise en culture. Les graminées pérennes sont quasi absentes de ces milieux et leur présence semble être liée surtout à la stratégie de l'agriculteur à la recherche de produits secondaires comme la vente de sékos (nattes tressées avec de l'*Andropogon gayanus*). Les pratiques agricoles maintiennent une rotation de cultures céréalières suivies d'une formation végétale simplifiée, basée sur la dominance de thérophytes et la grande capacité de rejets de *Guiera senegalensis*. Renard *et al.* (1991), dans des conditions similaires, n'ont pas enregistré de changements majeurs (formes biologiques) de la composition floristique au bout de dix ans d'abandon cultural. Par contre, ils notent des fluctuations liées a la distribution des pluies qui conditionne la dominance d'une annuelle plutôt qu'une autre (Hiernaux, 1984; Seghieri, 1996).

Cette absence de succession post-culturale, caractérisée par la dominance d'une ou deux espèces ligneuses rejetant de souches sur des longues périodes, est reporté dans d'autres régions aux conditions édapho-climatiques contraignantes. C'est le cas des

systèmes bloqués au stade à *Rhanterium suaveolens* Desf. en Tunisie sous climat méditerranéen à 200 mm de pluies annuelles (Telahigue *et al*, 1987). Au Mali (600 mm), Cissé et *al* (1991) ont observé une dominance de la strate ligneuse par *Guiera senegalensis* et *Combretum glutinosum* sur des périodes de 30 ans. Ces derniers auteurs observent par contre une installation progressive des graminées pérennes, détruites lors des défrichements. Dès que les conditions climatiques s'améliorent, à partir de 700 mm de pluie, une dynamique successionnelle semble avoir lieu (Aweto, 1981; Donfack, 1991; Yossi, 1991). Elle conduit à une succession de formes biologiques et à des écosystèmes plus complexes car il existe une grande diversité initiale qui se maintient malgré les perturbations. Dans la plupart des cas sur la zone d'étude, les espèces susceptibles de passer à des stades successionnels plus mûrs ont disparu des paysages. De plus, il semble que leur installation (germination, croissance) est rendue difficile par les conditions d'encroûtement des sols et la permanence du pâturage. Le point remarquable des milieux post-culturaux de la zone agro-pastorale du sud-ouest nigérien est donc la très faible diversité végétale.

Il existe des seuils climatiques au dessous desquels les processus successionnels sont très lents, voire non observables à l'échelle d'une génération. Ces seuils dépendent , entre autres, des conditions édaphiques, biologiques et socio-économiques auxquelles sont soumis les écosystèmes (Aronson *et al.*, 1993). Lamachère (1996) a remarqué que la végétation influence les conditions de ruissellement à partir d'un recouvrement de 30 %. En dessous de ce seuil, le ruissellement peut affecter les croûtes existantes sur les parties aval de la station, maintenant et accentuant les processus de dégradation. Cela crée ainsi des conditions de plus en plus défavorables pour l'installation d'autres espèces, accentuant ainsi la lenteur des mécanismes successionnels. La régénération est de plus en plus difficile au fur et à mesure que des seuils de dégradation sont franchis, comme il apparaît dans les classes 4 et 5 de la classification des milieux post-culturaux proposées dans ce travail. Les classes 2 et 3 sont moins sensibles au défrichement que les précédentes. La phase post-culturale dans ces deux classes se traduit par une amélioration des conditions physiques du sol, par l'amorce du passage à un stade successionnel plus mature.

L'homogénéité des milieux post-culturaux basée sur la dominance des thérophytes et de *Guiera senegalensis* n'est que superficielle, puisque l'analyse typologique fait apparaître différentes structures, auxquelles sont associés des fonctionnements propres, des capacités de régénération, une proportion de graminées et de légumineuses, un cycle des nutriments et une économie de l'azote,...Ces classes sont alors assimilées à des stades d'équilibre métastables avec différents niveaux de ressources, masqués dans un premier temps par l'omniprésence de *Guiera senegalensis*. Chaque stade "d'équilibre" a développé une forme de résilience qui s'est adaptée au fur et à mesure des perturbations et qui le rend stable dans une certaine gamme de perturbations. Les paysans nigériens utilisent cette résilience dans leur stratégie de production, en portant leurs efforts principalement sur les milieux les moins sensibles et en les gérant de façon active (fumure, soins aux sarclages,..). Le paysan nigérien ne cherche pas en général à éliminer l'arbuste *Guiera senegalensis* qui facilite la régénération des conditions de production (Louppe, 1991). La strate herbacée, même annuelle, joue un rôle important puisque sa composition traduit les conditions de ressource en azote. La dominance de la légumineuse *Zornia glochidiata* s'accompagne d'importants flux d'azote sous forme de nitrates, ce qui entraîne par contre de grandes probabilités de pertes par dénitrification ou lixiviation. Au contraire, la dominance des graminées (classes 2 et 3) traduit une diminution de la capacité de minéralisation de l'azote, en particulier une limitation des processus de nitrification. Ces observations se rapprochent de celles d'Abbadie *et al.* (1996). Ils ont montré que, malgré l'apparente pauvreté des sols de savane humide de Lampto, ces milieux étaient très productifs car, entre autres, les processus de nitrification et les risques de perte en azote étaient fortement réduits. La graminée du genre *Hyparrhenia* diminuent le nombre de bactéries nitrifiantes dans les sols soumis à leur influence, probablement en sécrétant par leurs racines de substances inhibitrices. Il faudrait vérifier si les graminées du genre *Ctenium*, *Aristida* et *Andropogon* ne présentent pas les mêmes caractéristiques que *Hyparrhenia*.

Pour les jachères de gestion, cinq ans d'abandon cultural ne semblent pas suffire dans la plupart des cas pour assurer la durabilité des systèmes agraires. Ces sols présentent au bout de cette période des risques de dégradation faibles, mais présents. La résilience de ces systèmes n'a pas pu s'exprimer totalement. L'intensification prévisible du système agricole actuel, s'accompagnant d'une diminution plus poussée des temps de jachères, devrait entraîner une chute de productivité comme l'a décrite Guillemin (1956, cf. première partie).

Les friches présentent des conditions très dégradées et une très faible capacité de régénération. Le fonctionnement de ces systèmes, caractérisé par une faible capacité d'infiltration et une nitrification dominante en surface, limite la production biologique. Un couvert végétal, suffisamment important pour freiner les processus d'érosion, ne semble pas pouvoir se créer dans les conditions actuelles. Il semble que les processus d'érosion s'auto-entretiennent sur ces milieux.

Simulation de différents modes d'utilisation des terres : conséquences sur la régénération des milieux post-culturaux.

4ème Partie

4ème partie : Simulation de différents modes d'utilisation des terres : conséquences sur la régénération des milieux post-culturaux.

La typologie régionale montre deux systèmes de gestion des milieux post-culturaux, dont leur structure est, dans l'ensemble simplifiée, basée sur la dominance de l'arbuste *Guiera senegalensis* et de thérophytes. Le système de jachère de gestion présente une évolution des éléments structurels, prématurément interrompue par la remise en culture. Les systèmes de friches, fortement dégradés, ne présentent pas ou peu de dynamique des éléments. Il semble que ces derniers milieux ne présentent pas de résilience, contrairement aux milieux précédents.

Les perturbations peuvent conduire à de nouveaux "équilibres", en favorisant les mécanismes les plus performants vis à vis de la réponse à ces formes de perturbation (Holling, 1978), comme l'ont montré les travaux de Trabaud (1987) sur le feu en région méditerranéenne. Cet auteur a observé des blocages successionnels sur de longues périodes, dus à la récurrence des perturbations.

La première hypothèse testée dans cette troisième partie est que l'utilisation des jachères pour des produits secondaires (pâturage, bois,...) inhibe les processus successionnels en constituant des contraintes permanentes, s'ajoutant aux perturbations récurrentes engendrées par les remises en culture. L'absence de perturbation pourrait conduire ces écosystèmes simplifiés à des stades plus mâtures, comme le supposent Connel et Slatyer (1977). Frost *et al* (1985) formulent l'hypothèse qu'un changement de la fréquence et de l'intensité des perturbations conduit à une modification marquée de la structure et du fonctionnement des écosystèmes. **Sur les systèmes de jachère de gestion présentant une certaine dynamique, la suppression de toute forme d'activité**

anthropique, par une mise en défens totale, pourrait elle confirmer les prémices de la succession observée ? Les systèmes de friches possèdent-ils encore une certaine résilience qui pourrait alors s'exprimer dans le cadre d'une mise en défens totale ?

La strate ligneuse des milieux post-culturaux de la zone d'étude (moyenne pluviométrique annuelle 560 mm), est dominée par les Combretaceae, et en particulier par *Guiera senegalensis*. Bille (1976) et Poupon (1980) notent la présence de *Guiera* dans le Ferlo sénégalais (300 mm) principalement dans les bas-fonds. En région plus soudanaise, le *Guiera* est surtout présent sur les stations sèches. Il est alors remplacé dans les jachères, par *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum* qui peuvent former à leur tour des peuplements presque purs. Actuellement, sur la zone d'étude, les stations où *Guiera* n'est pas dominant, sont recensées principalement dans les bas-fonds. Il semble même qu'il soit parfois en compétition avec *Combretum micranthum*, en particulier. Les enquêtes menées auprès des agriculteurs pour la typologie régionale, ont révélé que l'aire d'extension de *Combretum micranthum* était plus vaste. Comme il a été déjà dit précédemment, en favorisant les mécanismes les plus performants en terme de réponse, les perturbations pourraient agir comme sélectionneurs d'espèces les plus résistantes vis à vis d'elles. **La dominance de *Guiera senegalensis*, sur les autres arbustes, pourrait être due à sa résistance aux contraintes édapho-climatiques, en particulier à l'aridité édaphique, et aux perturbations d'origine anthropique**. Une analyse du comportement des arbustes, *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum*, face aux contraintes environnementales et anthropiques est menée : par un suivi de l'évolution de leur potentiel hydrique foliaire face à celle de l'humidité des sols; par un suivi de la capacité de rejet de ces deux espèces après des coupes rases effectuées suivant diverses intensités et à différentes périodes.

La présente partie de ce travail s'attache donc à évaluer plus précisément l'impact des usages sur les processus de régénération, ou de dégradation des milieux post-culturaux par une approche expérimentale, en tenant compte de la typologie régionale (figure 40).

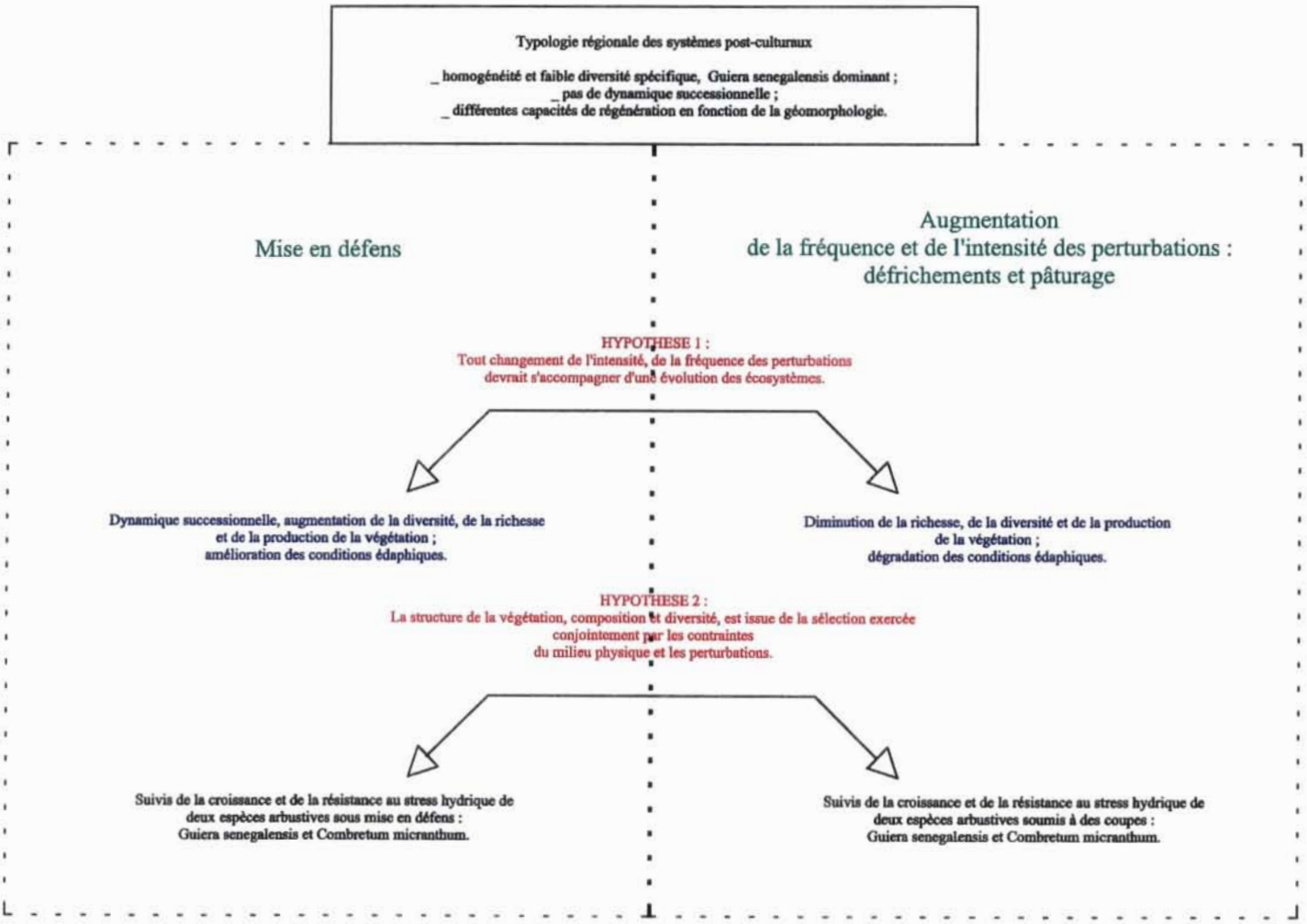


Figure 40 : Présentation schématique de la démarche proposée pour évaluer les impacts de la suppression ou de l'augmentation des perturbations sur les systèmes post-culturaux, et sur leurs composantes arbustives.

Sept stations jachères d'âges, de situations géomorphologiques et d'états de dégradation différents, ont été choisies sur le site de Banizoumbou pour mener cette phase expérimentale (figure 41) et sont présentées dans le chapitres 1.1.

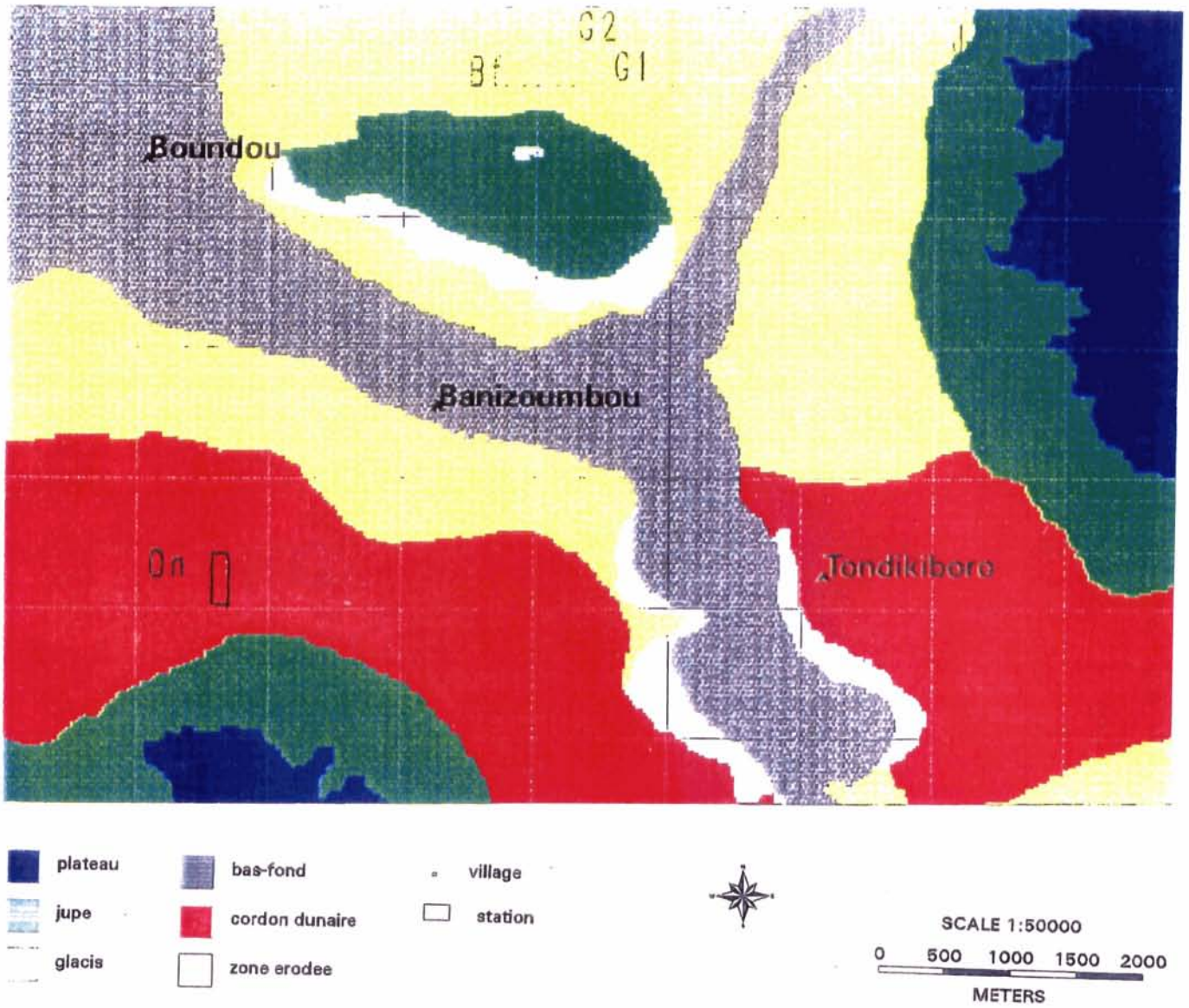


Figure 41 : Localisation géographique des sept stations expérimentales sur la carte géomorphologique du site de Banizoumbou. La station Dn est constituée en fait par trois stations juxtaposées : D1, D2 et D3.

1. Protocole d'étude des processus de régénération ou de dégradation.

1.1. Situation des sept stations par rapport à la dynamique post-culturale.

Les sept stations retenues sur le terroir de Banizoumbou présentent chacune une superficie approximative d'un hectare. Elles ont été clôturées, après accord avec le chef de village de Banizoumbou et les différents détenteurs du droit d'usage sur ces parcelles.

Elles sont situées sur les éléments topographiques les plus couramment utilisés pour l'agriculture (figure 41 ; tableau 15 ; annexe 6). Les trois stations D1 (2 ans de jachère), D2 (2 ans) et D3 (4 ans) se situent sur un cordon dunaire. Cependant, la station D2 est située plus précisément dans un dépression fermée sur dune, alimentée par une ravine. La station J (3 ans) est sur une jupe sableuse. La station BF (1 an) est située dans un thalweg parcourant un glacis. L'échelle de la figure 41 ne permet pas de faire apparaître ce thalweg. Cette station BF est défrichée chaque année mais la dynamique de croissance des arbustes est telle que la mise en culture effective de cette parcelle ne se fait jamais car elle représente une charge de travail (sarclage et coupe des rejets arbustifs) trop importante. L'agriculteur, possesseur de cette station, est seul pour travailler sur ces champs, et bien qu'il ait chaque année l'intention de la mettre en culture, il n'a jamais pu le faire. Ces cinq stations appartiennent au système jachère de gestion avec le parcours technique agricole habituel, comme le montrent les coefficients de Ruthenberg (tableau 15), calculés à partir des précédents cycles culture/jachère de ces stations (annexe 6). Les coefficients de Ruthenberg sont largement supérieurs à 33 %, indiquant des systèmes de jachères courtes. Pendant la phase culturale, la culture du mil est pratiquée sur ces stations avec les itinéraires techniques traditionnels (défrichements annuels et sarclages).

Les deux dernières stations G1 et G2 ont été défrichées en 1970 et sont situées sur des glacis très dégradés. Trois années de culture de mil ont été pratiquées sur G2. G1 n'a jamais été cultivée, mais elle a été retenue puisqu'elle a subi un défrichement avec l'intention de mettre en culture dans les années 70. Ces deux stations appartiennent au

domaine des friches. Les coefficients de Ruthenberg sont largement inférieurs à 33 % (tableau 15).

Tableau 15 : Caractérisation des sept stations et de leur historique.

	Jachères de gestion					Friches	
	D1	**D2**	**D3**	**J**	**BF**	**G1**	**G2**
Age (années)	2	2	4	3	1	23	19
Géomorphologie	dune	dépression sur dune	dune	jupe	bas-fond	glacis	glacis
Coefficient de Ruthenberg %	55	55	44	42	100	0	12
défrichements annuels	2	2	2	2	1	0	0
Feux	oui	oui	oui	oui			
Sarclages	2	2	2	2	0	0	0
Fumure	oui	oui	oui	non	non	non	non
variété de mil	Hainikire	Hainikire	Hainikire	Somno			

1.2. Méthodes.

Chaque station a été subdivisée en n parcelles de 100 m² sur lesquelles a été installé un dispositif d'analyses en blocs complètement randomisés (annexe 7). Chaque traitement a fait l'objet de trois répétitions.

1.2.1. Les traitements.

L'évolution des états de surface (végétation et surface du sol) en absence de toute pression a été suivie sur les parcelles témoins, totalement mises en défens (traitement **C**) en juin 1993.

Dans un second temps, afin d'expliquer la dominance de *Guiera* dans ces systèmes post-culturaux qui est supposée être due à sa résistance aux perturbations et aux contraintes édaphiques, l'usage courant de la coupe rase pour le défrichement est simulé sur ces mêmes stations aux conditions différentes.

Les coupes sont menées de façon traditionnelle. Toutes les tiges sont coupées à la surface du sol à l'aide d'une hache, puis transportées hors de la station. Elles sont effectuées à différentes périodes et avec différentes répétitions au cours de l'année (Tableau 16). Le traitement **CR2** consiste en une première coupe en fin de saison sèche (environ en juin) et

en deuxième coupe juste avant le deuxième sarclage (environ en août). C'est donc la coupe **CR2** qui se rapproche le plus des pratiques agricoles courantes ; la première coupe s'étale de février à juin. Les coupes ont été répétés chaque année durant les trois années d'expérimentation (1993 - 1995).

Tableau 16 : Dates d'application des différents traitements de coupes rases de 1993 à 1995.

	Milieu saison sèche (93 et 94)	Fin saison sèche (93, 94 et 95)	Milieu saison des pluies	Fin saison des pluies (93 et 94)
CR1		*		
CR2		*	*	
CR3		*	*	*
CR4				*
CR5	*			

Le Pâturage est la deuxième forme d'usage la plus importante sur ces milieux post-culturaux (Loireau, 1998). La charge moyenne du bétail sur le site de Banizoumbou a été calculée par Loireau (1998) qui l'a évaluée à environ 0.3 UBT/ha/an. Pour les besoins de l'expérimentation, cette charge a été augmentée. Six chèvres (un total de 1,2 UBT) ont été mises dans des enclos de 400 m² jusqu'à épuisement de la végétation (environ pendant 10 jours). Cette expérience a été menée deux fois pendant la saison des pluies, ce qui amène la charge à 1,6 UBT/ha/an. Les résultats seront seulement mentionnés dans le texte principal et présentés en annexe.

1.2.2. Les variables suivies.

Quelque soit le traitement, les paramètres suivis ont été les mêmes et concernent la strate ligneuse, la strate herbacée et les états de surface du sol.

1.2.2.1. La strate ligneuse.

Au niveau de chaque parcelle, chaque arbuste a été identifié et situé géographiquement dans la parcelle. Puis, pour chaque arbuste, les paramètres suivant ont été mesurés :

- la hauteur maximale,
- la longueur de l'axe maximum du houppier,
- la longueur de l'axe minimum du houppier,
- le nombre total de tiges,
- le nombre de tiges réparties par classe de diamètre mesuré à la base (< 1 cm, 1 < < 2 cm, 2 < < 4 cm). Le diamètre des tiges supérieures à 4 cm a été mesuré.
- le diamètre maximum de la base de l'arbuste qui correspond à la distance maximale au sol entre les tiges de l'arbuste,
- le taux d'occupation spatiale de l'arbuste, estimé et exprimé en pourcentage. Il correspond au pourcentage du volume par rapport au volume enveloppe modèle de l'arbuste effectivement occupé,
- le taux de foliaison (estimé),
- la phénologie appréciée suivant les critères définis par Grouzis et Sicot (1980).

1.2.2.2. La strate herbacée.

La composition, le recouvrement et la phytomasse sont évalués par la méthode des points quadrats déjà exposée dans la troisième partie (paragraphe 1.2.2.).

1.2.2.3. Les états de surface du sol.

Les lignes points quadrats ont été utilisées pour le suivi des états de surface du sol au sens de Casenave et Valentin (1992). A la verticale de chaque point quadrat (tous les dix centimètres), l'état de surface du sol touché par l'aiguille, a été déterminé, ce qui représente 100 points de mesure par parcelle. Cela permet d'avoir une bonne appréciation du recouvrement pourcentuel de chaque état de surface du sol (cf. troisième partie, chapitre 1.2.4.).

1.2.2.4. La pluviométrie.

La pluviométrie a été suivie durant les trois années d'expérience à l'aide du réseau EPSAT (Taupin *et al*, 1993). L'année 1993 a été suivie sur un pluviographe d'EPSAT situé au village de Banizoumbou, à proximité des stations (moins d'un kilomètre de distance à vol d'oiseau). A partir de 1994, des pluviographes (enregistrement instantané des pluies sur bandes magnétiques) ont été installés sur les stations D1, J et G1.

1.2.2.5. Le Potentiel hydrique foliaire.

Ce paragraphe est issu de la synthèse des travaux de Cruziat et Tyree (1990), de Cruziat (1994) et de Castell (1994).

L'eau est indispensable à toute vie et est le constituant pondéralement le plus important des végétaux. Elle est le milieu dans lequel ont lieu la quasi totalité des processus biologiques ; elle joue le rôle de transporteur, de solvant, d'agent de réaction chimique ; elle donne aux plantes leur turgescence ; grâce à la grande chaleur latente de vaporisation de l'eau, la transpiration permet aux plantes de perdre une partie importante de l'énergie qu'elles reçoivent du soleil et de supporter ainsi son rayonnement de façon continue sans pour autant subir un échauffement excessif. Les plantes vasculaires dépérissent rapidement si leur teneur en eau s'écarte de 15 à 30 % environ de sa valeur maximale. L'état hydrique d'une plante et les variations qu'il subit affectent en effet un grand nombre de processus physiologiques qui, de près ou de loin, interviennent dans sa croissance et son développement. Le potentiel hydrique foliaire est une des grandeurs les plus utilisées pour définir l'état hydrique d'une plante.

Les plantes n'ayant pas de réserves hydriques importantes, le sol constitue pour elles le réservoir permanent qui leur permet de faire face à des apports intermittents (les pluies) alors qu'elles subissent des pertes quasi permanentes (la transpiration). Il existe donc des transferts hydriques entre le sol, la plante et l'atmosphère. A travers un tel système , appelé S.P.A.C. (Sol - Plante - Atmosphère Continuum), l'eau circule entre deux points, d'un point de vue thermodynamique, tant que le potentiel chimique n'est pas identique entre ces deux points.

On définit alors ce potentiel hydrique comme :

$$\psi = (\mu - \mu_0)/V_e$$

avec μ = potentiel thermodynamique (ou chimique) de l'eau dans le S.P.A.C. considéré, μ_0 = potentiel thermodynamique de référence correspondant à celui de l'eau pure à la pression atmosphérique et à la température ambiante. Sa valeur est zéro. V_e = volume molaire de l'eau (18 g/mol).

Le potentiel hydrique est selon les utilisateurs appelé tension, hauteur d'eau, déficit de pression de diffusion ou de vapeur, etc. Il est exprimé avec différentes unités de mesures (bar, atmosphère, $J.Kg^{-1}$, mm d'eau...). Les unités exprimées en bar, en pascal ou en atmosphère ont l'avantage d'être utilisable à tout niveau du S.P.A.C. Pour caractériser l'état hydrique du S.P.A.C, il faut alors définir le potentiel hydrique aux différents points de ce système. Le mouvement de l'eau dans le S.P.A.C comprend l'absorption par les racines, le transfert de celles-ci vers les parties aériennes, par le système conducteur (les vaisseaux et trachéides du xylème), la diffusion à travers les espaces intercellulaires et les stomates des feuilles, enfin la sortie de l'eau à l'extérieur après avoir traversé la couche limite aérodynamique entourant la feuille. Etant donné qu'en conditions normales les quantités d'eau transpirées quotidiennement sont très voisines des quantités absorbées par les racines, le flux d'eau à travers un végétal peut être considéré comme conservateur en première approximation : la transpiration est égale à l'absorption.

Le mouvement de l'eau est souvent, par analogie avec les lois électriques, assimilé à un courant électrique parcourant des résistances en série, décrit par des équations du type :

$$\text{Flux} = \Delta\psi/R$$

ou

$$\psi f = \psi_S - TR$$

avec : $\Delta\psi$ = différence de potentiel entre les deux points considérés ; R = résistance correspondante ; ψf = potentiel hydrique moyen des feuilles sur lesquelles la transpiration a été déterminée ; ψ_S = potentiel hydrique dans le sol ; T = transpiration foliaire (ou l'absorption des racines, ou plutôt le débit de sève).

Cela aboutit alors à :

$$\text{Absorption} = (\psi_s-\psi_r)/r_{sr} = (\psi_r-\psi_f)/r_p = (\psi_f-\psi_a)/r_s + r_a$$

avec : r_a = résistance de la couche limite aérodynamique ; r_p = résistance du trajet << racines feuilles>> ; r_s = résistance stomatique ; r_{sr} = résistance du passage sol - racines ; ψ_a = potentiel hydrique de la vapeur d'eau de l'air ; ψ_f = potentiel hydrique foliaire ; ψ_r = potentiel hydrique des racines ; ψ_s = potentiel hydrique du sol.

L'importance de ces chutes de potentiel est de l'ordre de : $\psi s-\psi r$ = 1 à 10 bars; $\psi r-\psi f$ =5 à 30 bars; $\psi f-\psi a$ =500 à 1000 bars (figure 42).

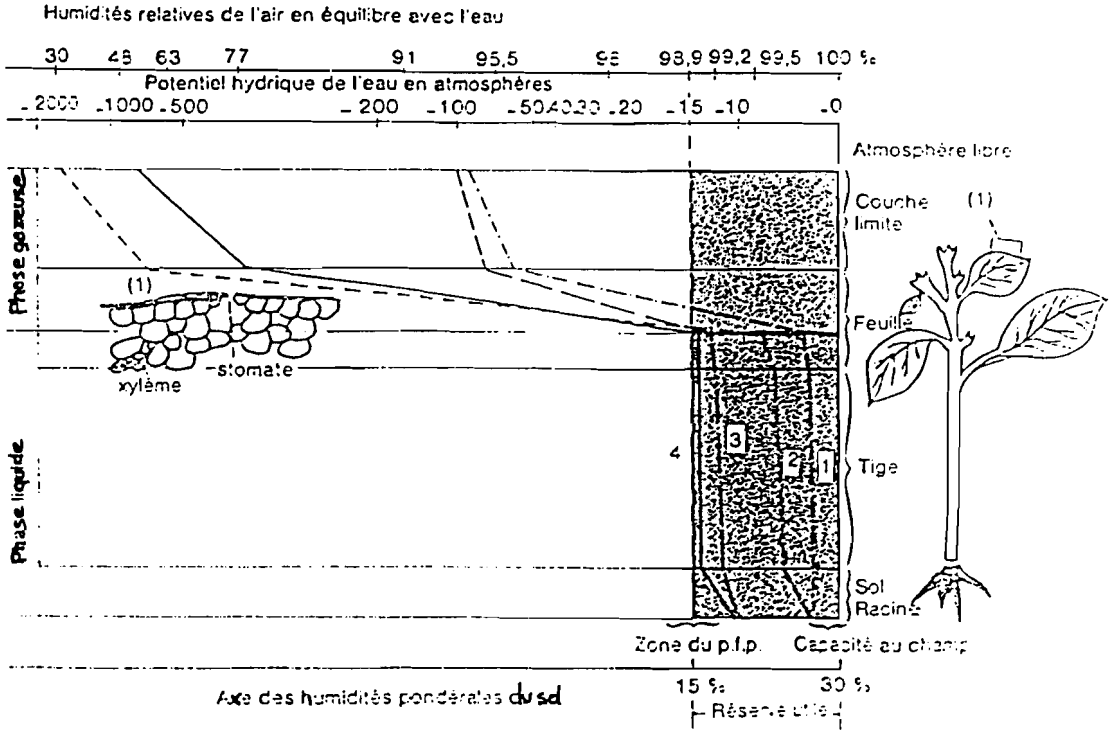


Figure 42 : Valeurs du potentiel hydrique dans les différentes parties du système sol-plante-atmosphère et correspondances approximatives entre ces valeurs et les humidités relatives : courbe 1, sol humide, faible évaporation ; courbe 2, sol humide, forte évaporation ; courbe 3, sol sec, faible évaporation ; courbe 4, sol sec, forte évaporation (Cruiziat, 1980).

Il en résulte que la somme des résistances en phase gazeuse (rs + ra), c'est à dire entre la cavité sous-stomatique et l'atmosphère, est 50 à 100 fois supérieure aux résistances en phase liquide dans la plante. Comme la résistance stomatique est en général égale ou supérieure (quand les stomates se ferment) à r_a, les stomates constituent un robinet de contrôle extrêmement efficace pour la transpiration. La figure 42 montre d'une façon schématique comment s'établit la chute du potentiel hydrique le long du S.P.A.C. La courbe 1 correspond à une valeur forte (proche de zéro) du potentiel hydrique du sol et par conséquent du potentiel à la surface des racines, donc une disponibilité en eau importante. Dans les feuilles, le potentiel hydrique est supérieur aux valeurs entraînant un flétrissement. Les stomates peuvent s'ouvrir pleinement. Dans la situation représentée par la courbe 2, le potentiel du sol est encore élevé (ψs = - 5 bars) mais celui des feuilles est proche des valeurs entraînant la fermeture stomatique. C'est ce qui a également lieu au milieu d'une journée chaude. Il suffit alors d'une légère augmentation de la demande climatique pour que le déficit dans les feuilles s'accroisse, entraînant la fermeture des stomates et une forte réduction de la transpiration.

Les courbes 3 et 4 correspondent à des mauvaise conditions d'alimentation en eau : le sol est sec. En 3 la demande climatique est faible : le potentiel hydrique des feuilles est assez bas, les stomates plutôt fermés, la transpiration est faible mais la plante n'est pas encore flétrie. La courbe 4 correspond à des conditions limites (sol sec et forte demande climatique) entraînant le flétrissement de la plante et la fermeture complète des stomates. Pendant la nuit, la demande évaporatrice est nulle, la plante tend à se mettre en équilibre avec le sol. Le potentiel de la feuille correspond alors au potentiel perçu par la plante au niveau des racines avant le lever du soleil.

La zone d'étude est caractérisée par de très fortes contraintes édapho-climatiques. La végétation des savanes sahéliennes est adaptée à ces contraintes comme l'a montré Lüttge (1997). Ces adaptations correspondent à un ensemble de modifications intervenant à chaque niveau des plantes, de la molécule à l'organe. Ces modifications dépendent de leur potentiel génétique et conduisent à des évolutions morphologiques et physiologiques déterminant une

plus ou moins bonne résistance aux contraintes. Levitt (1980) définit cette résistance comme le rapport de la contrainte sur la réaction de la plante.

Pour le même auteur, trois grandes possibilités s'offrent aux végétaux pour faire face à ces contraintes, en particulier la sécheresse :

- la première stratégie est d'échapper à la sécheresse (*Drought escape*). Elle consiste essentiellement à un ajustement du cycle de développement aux conditions climatiques de l'environnement, qui se traduit par une floraison précoce, au cours de la période climatique favorable ;

- la deuxième stratégie est d'éviter la déshydratation par limitation des pertes en eau (*Water savers*) ou par augmentation de l'absorption (*Water spenders*) ;

- la troisième possibilité est de tolérer la déshydratation.

Le principe de base pour limiter les pertes en eau (*Water savers*) est de maintenir un potentiel hydrique élevé dans les tissus pendant la contrainte. Les principales modalités sont la diminution des surfaces évaporantes, sénescence et abscission précoce des feuilles voire des rameaux, protection des stomates et des cuticules, fermeture stomatique précoce,... Au niveau cellulaire, l'ajustement élastique (réduction du module d'élasticité) permet aux cellules de conserver un potentiel hydrique élevé malgré un dessèchement important. Tous ces phénomènes impliquent une très faible productivité puisque tout est mis en oeuvre pour réduire la transpiration, donc l'absorption de CO_2.

Dans la stratégie de *Water spenders*, c'est surtout le système racinaire qui est mis en jeu. Sa morphologie, sa croissance et sa physiologie peuvent permettre une "consommation de luxe" aux plantes tout en maintenant un potentiel hydrique foliaire. Les principales modifications concernent l'extension verticale et horizontale du système racinaire, la vitesse de croissance et de ramification des racines, l'augmentation des tissus conducteurs et l'amélioration de la conduction hydraulique dans la plante, la diminution du rapport des organes aériens aux organes souterrains. Sous l'angle des relations hydriques cellulaires, l'ajustement osmotique (accumulation de solutés dans la vacuole) permet, pour une même teneur en eau, de diminuer le potentiel hydrique foliaire, de maintenir ainsi un gradient de potentiel important du sol vers la feuille et de conserver une teneur en eau importante dans la cellule, alors que le potentiel

hydrique diminue. La stratégie *Water spenders* présente une meilleure absorption, et donc une meilleure utilisation des réserves du sol. De plus, si la contrainte augmente, ces plantes peuvent développer des mécanismes de type *Water savers*.

La tolérance à la déshydratation implique la préservation de l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus lorsque le potentiel hydrique s'abaisse. L'ajustement osmotique est un exemple d'une telle adaptation puisqu'elle permet de maintenir une turgescence positive pour des teneurs en eau relativement faibles. Les plantes en C4 maintiennent un potentiel photosynthétique élevé par rapport aux pertes transpiratoires (meilleure efficience de l'eau).

Le suivi du potentiel hydrique foliaire peut donc apporter des éléments de réponse quant au développement des différentes stratégies face aux contraintes développées par les deux arbustes concernés dans cette étude.

Les mesures de potentiels hydriques ont été effectués à l'aide d'une presse à membrane. Six arbustes de chaque espèce ont été sélectionnés sur les parcelles témoins, et les parcelles traitements CR1 (coupe au début de la saison des pluies) et CR5 (coupe en saison sèche) des stations BF (bas-fond) et G2 (glacis dégradé), représentant deux situations contrastées au niveau de l'humidité des sols. Une feuille par arbuste est prélevée, soit six feuilles à chaque série de mesures. Les séries de mesures commencent au lever du jour (afin d'avoir une estimation du potentiel hydrique du sol tel qu'il est perçu par la plante), jusqu'au milieu d'après midi.

1.2.2.6. L'humidité des sols.

L'humidité des sols sur les stations a été mesurée par l' I.R.I. de Niamey (Institut des Radio-Isotopes) à l'aide de la méthode neutronique (utilisation d'une sonde neutronique SOLO). Chacune des stations ont été équipées de trois tubes minimum, le long des pentes, afin d'avoir une idée globale de l'humidité stationnelle. Le protocole prévoyait une mesure tous les dix jours en saison humide, ce qui n'a pu être respecté pendant une bonne partie de la saison des pluies de 1995. Les résultats présentés dans cette partie, concernent les stocks d'eau dans les tranches de sol 0-30 cm et 0-100 cm (exprimés en mm) et sont fournis directement par l'IRI.

1.2.3 Méthodes d'analyse.

Le dispositif en blocs complètement randomisés (annexe 6) permet d'utiliser la méthode d'analyse de variances de Fisher-Snedecor (Mémento du Forestier, 1989).

2. Contexte général de l'étude expérimentale des systèmes post-culturaux sur le site de Banizoumbou.

2.1. Pluviométrie et bilan climatique des trois années d'expérience.

Pour 1993, 1994 et 1995, les pluviométries annuelles enregistrées au village de Banizoumbou ont été respectivement 455.3 mm, 648.4 mm et 536.3 mm.

La distribution des pluies est différente sur les trois années (figure 43). Plus de 20 % des pluies annuelles sont tombés avant la mi-juin en 1993. Le même pourcentage est atteint à partir de mi-juillet pour les deux autres années. 60 % des pluies se sont réparties sur 60 jours en 1993, 40 jours en 1994 et sur 30 jours en 1995 (mois d'août).

Sur la même figure 43, l'évolution décadaire de l'évapotranspiration potentielle Penman est présentée. Les contraintes hydriques pour le développement de la végétation sont à leur minimum quand la pluviométrie est supérieure à l'ETP. En 1993, le total décadaire pluviométrique a été supérieur seulement durant trois décades et de façon discontinue, six décades de suite pour 1994 et cinq décades de façon discontinue pour 1995. Les contraintes hydriques pour le développement de la végétation ont alors été les moins fortes en 1994 et en 1995. En 1993, après la période fin mai /début juin où la pluviométrie était supérieure à l'ETP, une période sèche de plus de quinze jours a obligé les agriculteurs de la zone d'étude à semer plusieurs fois, la levée des plants de mil n'ayant pas réussi. De nouvelles pluies efficaces ne sont enregistrées qu'à partir de la première décade de juillet. Par la suite, seule la première quinzaine d'août a été totalement favorable au développement de la végétation.

Pour les années 1994 et 1995, La pluviométrie a été supérieure globalement à l'ETP de mi-juillet à mi-septembre, soit deux mois de période favorable pour la végétation.

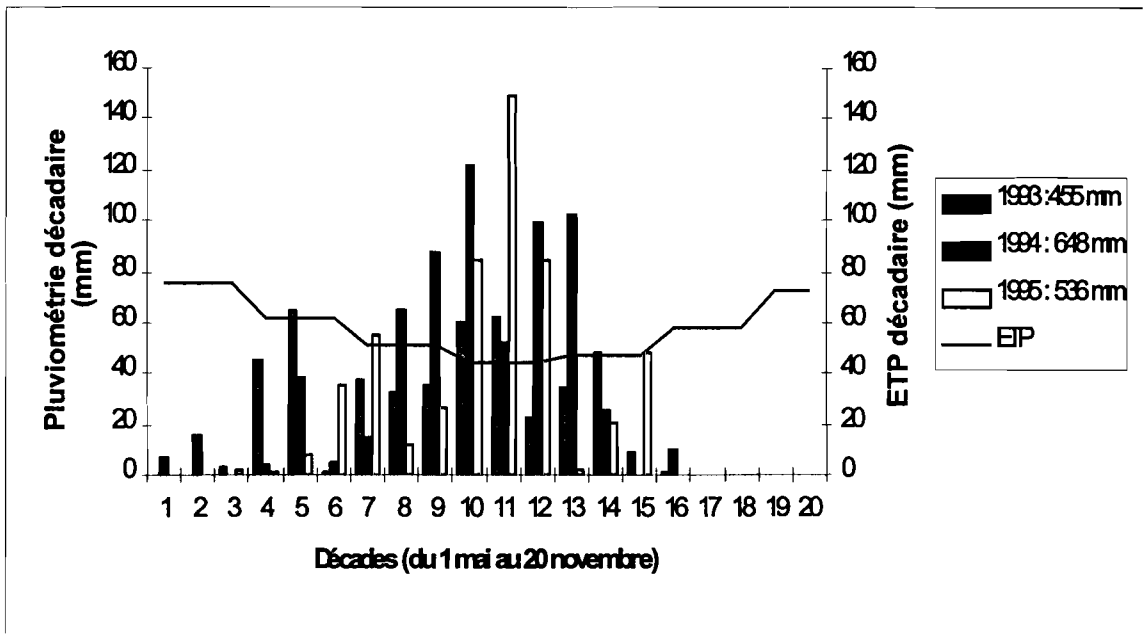


Figure 43 : Pluviométrie décadaire pour les années 1993, 1994 et 1995 sur le site de Banizoumbou et ETP Penman (moyenne décadaire). Le total pluviométrique pour chaque année est donnée dans la légende.

2.1. Situation des sept stations expérimentales par rapport à la typologie régionale.

A partir du calcul du phytovolume de l'arbuste moyen des parcelles témoins, mesurées au début de l'expérimentation (Juin 1993), les stations ont été situées par rapport à la typologie régionale des milieux post-culturaux (figure 44), proposée dans la troisième partie. Il apparaît que les deux stations G1 et G2, des vieilles jachères dégradées, appartiennent effectivement à la classe 5 de la typologie régionale. Ce sont typiquement des friches. La station J est située dans la classe 1 de la typologie, correspondant aux jachères les plus récentes sur milieu indifférencié. Cependant, l'évolution du phytovolume sur cette station est très proche de celles des milieux dégradés. Dans le doute, l'analyse de la croissance des arbustes en conditions de mise en défens sera menée par rapport aux milieux dégradés. La station BF appartient à la classe jeune jachère sur milieu indifférencié, mais la valeur initiale du phytovolume apparent est très proche de la courbe de la régénération rapide. Les stations D1 et D3 sur dune appartiennent aux situations intermédiaires (jachères de 4-5 ans sur milieu

favorable), alors que la station D2 représente la classe jachère d'âge intermédiaire sur milieu très favorable.

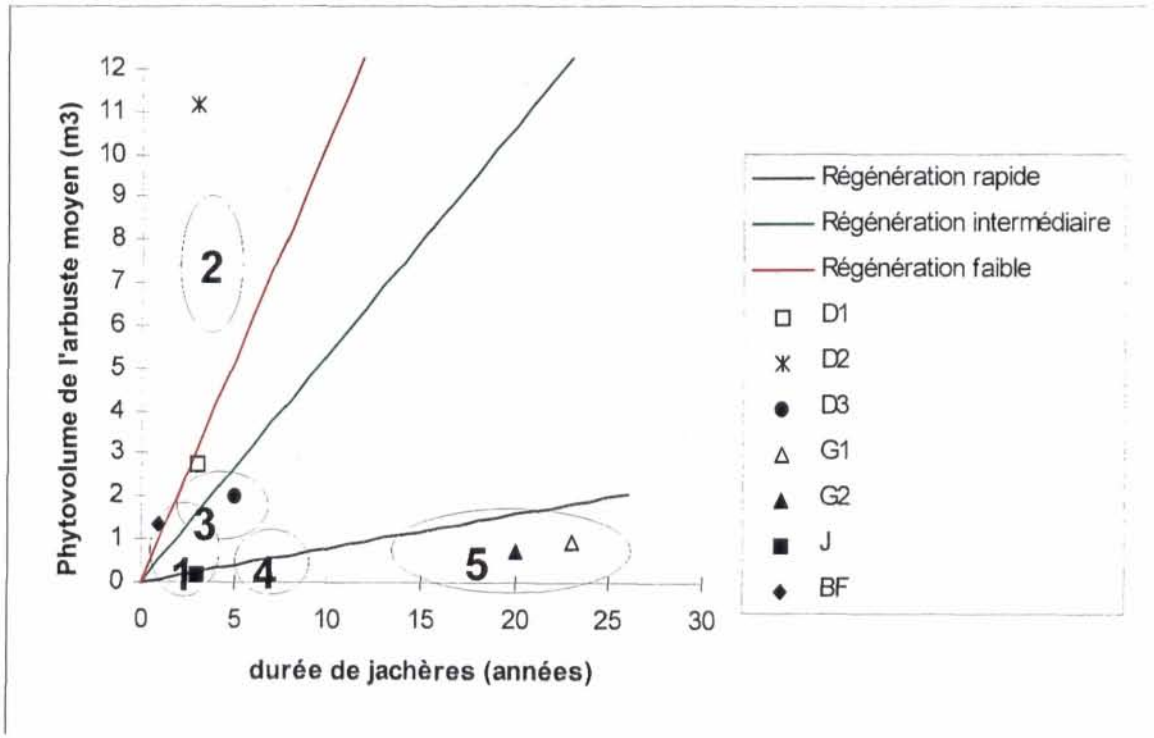


Figure 44 : Situation des stations expérimentales sur la typologie régionale des milieux post-culturaux.

3. L'impact de la suppression de toute contrainte sur la structure des écosystèmes post-culturaux.

3.1. La strate ligneuse.

3.1.1. La population

Sur l'ensemble des stations, un recrutement est enregistré, du uniquement aux grandes variations sur les stations D2 et BF. Le nombre total d'individus par station (Tableau 17) évolue peu excepté sur les stations situées dans les bas-fonds et les dépressions (D2 et BF), dans lesquelles il a été observé que le recrutement se fait essentiellement à partir de marcottages issus du *Guiera senegalensis*. Cependant, un certain nombre de jeunes individus de *Guiera* meurent pendant la saison sèche, entraînant les fluctuations enregistrées sur ces

stations D2 et BF. Pour les autres stations, les arbustes recensés à la fin de l'expérimentation sont ceux déjà présents en juin 1993, lors de la mise en défens.

Tableau 17: Evolution de la densité arbustive par hectare et par espèces.

Station	Espèces	10/93	10/94	10/95	Δ % 1993-95
D1	*Guiera senegalensis*	1003	1003	971	
	Combretum glutinosum	32	32	31	
	Boscia angustifolia	32	32	31	
Total D1	3 espèces	**1067**	**1067**	**1033**	**- 3,2 %**
D2	*Guiera senegalensis*	601	1503	1065	
	Prosopis Africana	32	32	34	
	Combretum micranthum		32	34	
Total D2	3 espèces	**633**	**1567**	**1133**	**+ 78 %**
D3	*Guiera senegalensis*	367	437	432	
	Combretum glutinosum	300	330	301	
Total D3	2 espèces	**667**	**767**	**733**	**+ 9,8 %**
BF	*Guiera senegalensis*	2952	4037	3132	
	Combretum micranthum	412	400	399	
	Cassia occidentalis	34	33	134	
	Grewia bicolor	35	33	27	
	Sclerocarya birrea		33	27	
	Combretum glutinosum		33	0	
	Boscia angustifolia		65	60	
	Boscia senegalensis		66	27	
	Piliostigma reticulatum			27	
Total BF	9 espèces	**3433**	**4700**	**3833**	**+ 11 %**
J	*Guiera senegalensis*	1300	1167	1167	
Total J	1 espèce	**1300**	**1167**	**1167**	**- 10 %**
G1	*Guiera senegalensis*	1133	1132	1000	
	Boscia senegalensis		35		
Total G1	2 espèces	**1133**	**1167**	**1000**	**-12 %**
G2	*Guiera senegalensis*	1696	1875	1728	
	Combretum micranthum	71	58	72	
Total G2	2 espèces	**1767**	**1933**	**1800**	**+1,8 %**

Quelques arbustes du genre *Boscia* se sont installés avec la mise en défens sur les stations BF et G1. La station BF présentait en 1993 deux espèces qui n'appartiennent pas au cortège habituel des Combretaceae des jachères, *Cassia occidentalis* et *Grewia bicolor*. Cette diversité initiale augmente au fur et à mesure de l'expérimentation puisque cinq nouvelles

stations D2 et BF. Pour les autres stations, les arbustes recensés à la fin de l'expérimentation sont ceux déjà présents en juin 1993, lors de la mise en défens.

Tableau 17: Evolution de la densité arbustive par hectare et par espèces.

Station	Espèces	10/93	10/94	10/95	Δ % 1993-95
D1	*Guiera senegalensis*	1003	1003	971	
	Combretum glutinosum	32	32	31	
	Boscia angustifolia	32	32	31	
Total D1	3 espèces	**1067**	**1067**	**1033**	**- 3,2 %**
D2	*Guiera senegalensis*	601	1503	1065	
	Prosopis Africana	32	32	34	
	Combretum micranthum		32	34	
Total D2	3 espèces	**633**	**1567**	**1133**	**+ 78 %**
D3	*Guiera senegalensis*	367	437	432	
	Combretum glutinosum	300	330	301	
Total D3	2 espèces	**667**	**767**	**733**	**+ 9,8 %**
BF	*Guiera senegalensis*	2952	4037	3132	
	Combretum micranthum	412	400	399	
	Cassia occidentalis	34	33	134	
	Grewia bicolor	35	33	27	
	Sclerocarya birrea		33	27	
	Combretum glutinosum		33	0	
	Boscia angustifolia		65	60	
	Boscia senegalensis		66	27	
	Piliostigma reticulatum			27	
Total BF	9 espèces	**3433**	**4700**	**3833**	**+ 11 %**
J	*Guiera senegalensis*	1300	1167	1167	
Total J	1 espèce	**1300**	**1167**	**1167**	**- 10 %**
G1	*Guiera senegalensis*	1133	1132	1000	
	Boscia senegalensis		35		
Total G1	2 espèces	**1133**	**1167**	**1000**	**-12 %**
G2	*Guiera senegalensis*	1696	1875	1728	
	Combretum micranthum	71	58	72	
Total G2	2 espèces	**1767**	**1933**	**1800**	**+1,8 %**

Quelques arbustes du genre *Boscia* se sont installés avec la mise en défens sur les stations BF et G1. La station BF présentait en 1993 deux espèces qui n'appartiennent pas au cortège habituel des Combretaceae des jachères, *Cassia occidentalis* et *Grewia bicolor*. Cette diversité initiale augmente au fur et à mesure de l'expérimentation puisque cinq nouvelles

espèces apparaissent. Néanmoins, dans tous les cas, *Guiera senegalensis* domine toujours les milieux post-culturaux et présentent la plus grande dynamique.

3.1.2. La Croissance des arbustes.

La croissance des arbustes sur les parcelles témoins des sept stations pour les trois années d'expérience est décrite à travers l'évolution du phytovolume (P.V.) de l'arbuste moyen (figure 45).

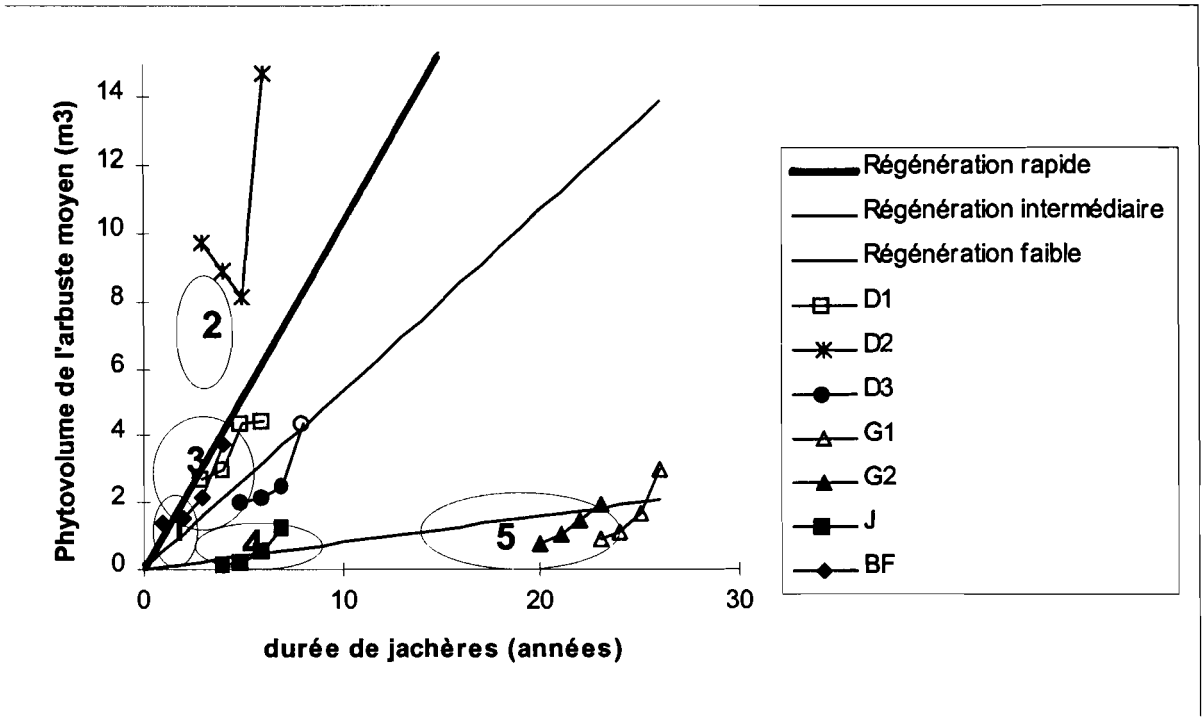


Figure 45 : Evolution comparée du phytovolume de l'arbuste moyen sur les parcelles témoins de 1993 à 1995 rapportée à la typologie régionale des milieux post-culturaux. Les points présentés correspondent au mesure de juin 1993, octobre 1993, octobre 1994 et octobre 1995.

Le phytovolume a régulièrement augmenté sur toutes les stations, excepté sur la station D2. Au début de l'expérimentation sur cette station, la population arbustive était composée essentiellement de vieux individus (hauteur supérieure à 200 cm) comme le montre la figure 46. Au cours de la saison des pluies 1994, il y a eu un important recrutement de *Guiera senegalensis* (hauteur inférieure à 50 cm), principalement sous forme de marcottage. Or, le phytovolume de l'arbuste moyen a été calculé sur l'ensemble des arbustes pour être cohérent

Le tableau 18 présente l'évolution de la croissance annuelle du phytovolume par station. Les chiffres présentés dans la colonne "conditions d'exploitation naturelle" sont issus de la typologie régionale. Pour chacune des stations, il se réfère au système auquel elles correspondent (figure 43).

Tableau 18 : Evolutions comparées des vitesses moyennes de croissance annuelle du phytovolume de l'arbuste moyen (Y) sous conditions naturelles d'exploitation et de mise en défens de 1993-1995. X est en année. Pour D2' et BF', seuls les arbustes présents au début de l'expérimentation sont ici pris en compte pour le calcul de la croissance annuelle du phytovolume.

Systèmes	Stations	Croissance annuelle moyenne en conditions d'exploitation naturelle (m3 / an)	Croissance annuelle moyenne sous mise en défens (m3 / an)
Jachères	D1	0.53	0.53
Jachères	D2	1.03	1.13
	D2'	1.03	4.97
Jachères	D3	0.53	0.74
Jachères	BF	1.03	0.74
	BF'	1.03	1.21
Friches	G1	0.08	0.64
Friches	G2	0.08	0.38
Friches	J	0.08	0.34

L'effet mise en défens est particulièrement spectaculaire sur les stations classées en systèmes "friches" (stations G1), où la croissance annuelle est multiplié par huit par rapport aux

conditions normales d'exploitation. Sur les stations D2 et BF, où les conditions hydriques sont très favorables, la prise en compte des jeunes individus pour le calcul de la croissance du phytovolume crée effectivement un artefact. La croissance réelle des arbustes, symbolisée par * dans le tableau 18, est nettement supérieure à celles des autres stations. Elles sont de 4,97 m3/an sur D2 et 1,21 m3/an sur BF.

L'évolution du recouvrement de la strate ligneuse (en %) est présentée dans la figure 47 : une augmentation générale est notée, en particulier pour la saison des pluies 1994.

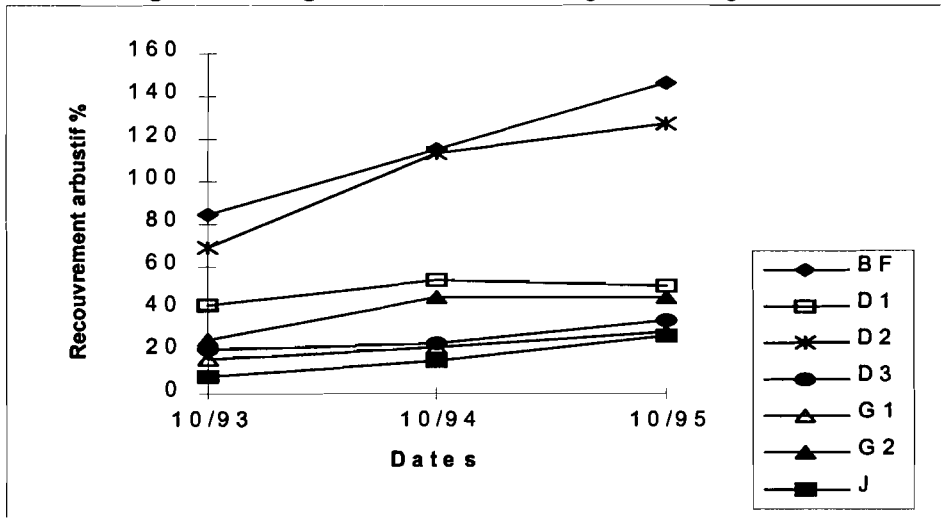


Figure 47 : Evolution du recouvrement ligneux sur les parcelles témoins.

Ce sont les stations situées dans les bas-fonds (BF) ou les dépressions (D2) qui portent les plus forts recouvrements (supérieurs à 100 %). En effet, le recouvrement est ici calculé comme la somme des surfaces des houppiers. Les houppiers se chevauchent, expliquant alors des recouvrements supérieurs à 100 %. Les croissances moyennes annuelles du recouvrement, sur les stations les plus humides, sont de 30 %/an et pour les autres stations, inférieures ou égales à 10 % (Tableau 19).

Tableau 19 : Augmentation moyenne annuelle du recouvrement de la strate ligneuse.

stations	Augmentation moyenne annuelle du recouvrement (%)
D1	4.5
D2	29
D3	6.6
BF	30
G1	6.6
G2	10
J	9.5

3.2. Evolution de la strate herbacée.

Les résultats concernant la strate herbacée correspondent aux relevés des six stations D1, D2, D3, G1, G2 et J aux dates d'octobre 1993, d'octobre 1994 et d'octobre 1995. Le suivi de la strate herbacée n'a pas été fait sur la station BF car c'est un milieu totalement fermé par la strate arbustive comme le montrent les résultats précédents (recouvrement > 80 % au début de l'expérimentation).

3.2.1. Evolution du recouvrement de la strate herbacée.

Le recouvrement de la strate herbacée sur les parcelles témoins fluctue énormément d'une année à l'autre (tableau 20). En 1994, bien que le cumul pluviométrique soit supérieur à celui des deux autres années, le recouvrement a énormément baissé sur l'ensemble des stations à l'exception des stations dégradées G1 et G2 où il s'est maintenu. Parallèlement, le recouvrement arbustif a connu sa plus grosse augmentation la même année. En 1995, globalement, le recouvrement a augmenté par rapport à 1994. Il s'est maintenu à 13 % sur D3 et autour de 28 % sur G1. Par contre, le recouvrement a progressivement baissé sur la station J passant de 44 % en 1993 à 3 % en 1995.

Tableau 20 : Evolution des recouvrements (%) de la strate herbacée sur chacune des stations pour les trois années d'études

Stations	1993	1994	1995
D1	62	9	25
D2	40	14	41
D3	73	12	13
G1	28	31	28
G2	19	19	44
J	44	25	3

Dans l'ensemble, durant les trois années d'expérimentation, le recouvrement herbacé a diminué alors que le recouvrement arbustif a augmenté. Renard *et al.* (1993) ont noté sur une

jachère mise en défens depuis 1981 dans la région de Niamey, une croissance de la strate arbustive au détriment de la strate herbacée. La suppression de toute forme de pression, en dehors des contraintes climatiques, semble conduire à un accroissement de la capacité des ligneux sur les herbacées à exploiter les ressources hydriques, en particulier. Cette augmentation semble s'exprimer d'autant plus que le total pluviométrique est important (figure 48). Ceci pourrait en partie expliquer les très faibles recouvrements herbacées en 1994 où le total pluviométrique a atteint 650 mm à Banizoumbou.

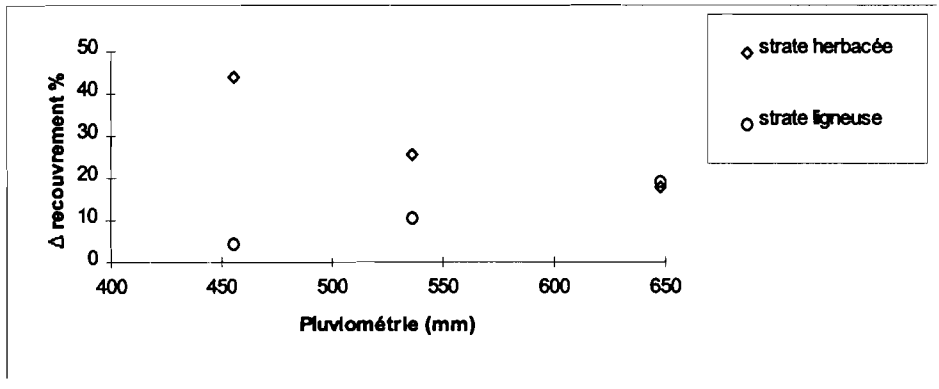


Figure 48 : Relations entre la pluviométrie de l'année et les variations moyennes des recouvrements herbacées et ligneux calculées sur l'ensemble des stations.

3.2.2. Evolution de la phytomasse épigée herbacée.

La phytomasse herbacée épigée diminue globalement sur l'ensemble des trois années, en particulier en 1994 (tableau 21). La production moyenne sur l'ensemble des stations était en 1993 de 1675 kg/ha, en 1994 de 974 kg/ha et en 1995 de 1031 kg/ha. Ces résultats confirment que la strate arbustive se développe au détriment de la strate herbacée durant la mise en défens, et cela malgré l'augmentation des ressources hydriques. Les stations G1 et J se démarquent des autres stations puisqu'elles présentent les plus fortes productions, l'année la plus pluvieuse. Ce sont les stations où les recouvrements arbustifs sont les plus faibles. La disponibilité hydrique est certainement plus accessible à la strate herbacée.

Tableau 21 : Evolution des phytomasses épigées de la strate herbacée sur chacune des stations pour les trois années d'étude (kg de matière sèche par hectare).

Stations	1993	1994	1995
Pluviométrie (mm)	455	648	536
D1	1525	643	639
D2	2441	837	1128
D3	2173	1211	1823
G1	846	937	573
G2	2073	959	1569
J	993	1258	454

3.2.3. Evolution du nombre d'espèces herbacées et de la diversité floristique.

Le nombre d'espèces recensées sur les lignes points quadrats diminuent de façon générale excepté pour les stations G1 et D3 (tableau 22).

Tableau 22 : Evolution du nombre d'espèces recensées par station au cours de l'expérimentation.

Stations	1993	1994	1995
D1	19	14	10
D2	16	12	11
D3	14	14	16
G1	12	14	15
G2	21	14	17
J	14	6	8
moyenne	16	13.3	12.8

Cette diminution du nombre d'espèces, de 16 espèces en moyenne sur l'ensemble des stations en 1993 à 12.8 en 1995, s'accompagne d'une baisse de la diversité (réciproque de l'indice de Simpson ; tableau 23). Cet indice, en moyenne sur l'ensemble des parcelles témoins, passe de 5,3 en 1993, à 4,1 en 1994 et à 3,5 en 1995. Il semble qu'une dominance d'une ou plusieurs espèces s'installe au cours de l'expérimentation sur les parcelles témoins. L'évolution de ces deux paramètres montre que ces stations qui présentaient une relative importante, diversité juste après l'arrêt de la perturbation ou des contraintes, transitent vers un stade plus mâture, caractérisé par un plus faible cortège floristique. Ces observations rappellent celles de Fournier (1990) qui montrent une diminution progressive du cortège floristique après la fin de la perturbation. ceci indique qu'il existe apparemment une dynamique successionnelle.

Tableau 23 : Evolution de la réciproque de la diversité floristique de la strate herbacée sur les trois années (réciproque de l'indice de Simpson).

Stations	1993	1994	1995
D1	6.1	5.1	3.1
D2	5.6	3.0	2.1
D3	6.4	5.4	4.6
G1	3.7	4.1	3.3
G2	7.2	5.4	5.4
J	2.7	1.7	2.3
moyenne	5.3	4.2	3.5

3.2.4. Evolution de la composition floristique de la strate herbacée.

L'évolution de la composition floristique dans les différentes parcelles témoins est présentée en annexe 7. Le Tableau 24 présente la composition floristique des parcelles à la fin de l'expérimentation (octobre 1995), ainsi que la variation de la contribution spécifique présence (Δ CSP) calculée sur les trois ans pour chaque espèce.

Sur la station D1 en 1993, la strate herbacée était dominée par des Poacées *Digitaria horizontalis* (23,8 %), *Eragrostis tremula* (19,4 %), *Ctenium elegans* (14,4 %), *Aristida mutabilis* (12,6 %) et la Cypéracée *Fimbristillis hispidula* (15,8 %). A l'exception de *Ctenium*, ces espèces disparaissent entre 1993 et 1995. En 1995, le groupe dominant se limite à trois Poacées, caractérisant des stades plus mâtures : *Ctenium elegans* (46,6 %), *Schizachyrium exile* (29,9 %) et *Digitaria gayana* (10 %).

La station D2 est dominée en 1993 par la vivace, caractéristique de milieux temporairement submergés, *Sida ovata* (22 %) et un groupe d'espèces lié aux stades jeunes et considéré comme indicateur de mauvaises conditions édaphiques par les agriculteurs : *Jacquemontia tamnifolia* (17,7 %), *Mitracarpus scaber* (13,9 %). En 1995, *Sida ovata* représente 66,6 % de la flore totale. La strate herbacée est alors composée essentiellement de pérennes sur cette station.

D3 est dominée en 1993 par *Eragrostis tremula* (21.8 %), *Cassia mimosoides* (21,3 %) qui indique des stades jeunes, *Schoenefeldia gracilis* (10,2 %) et *Fimbristillis hispidula* (10,1 %). Elles sont remplacées en 1995 par des Poacées indicatrices de stades successionnels plus mâtures : *Ctenium elegans* (38,9 %), *Schizachyrium exile* (10,3 %) et la graminée pérenne *Aristida longiflora* (13,2 %).

La station J, dominée par la Fabacée *Zornia glochidiata* (56,2 %) en 1993 et *Ctenium elegans* (18,7 %), évolue vers une dominance plus marquée de ces deux espèces, avec des contributions respectives de 62,3 % et de 20 %. L'évolution majeure sur J est la disparition d'*Eragrostis tremula* et de *Cassia mimosoides* (stades juvéniles) au cours de l'expérimentation.

La station G1 est dominée par *Zornia glochidiata* (46,7 % en 1993 ; 51,6 % en 1995) et par Schizachyrium exile (16,3 % en 93 et 14,6 % en 1995). Il n'y a pas d'évolutions majeurs sur cette station Il semble qu'*Aristida mutabilis* remplace progressivement *Eragrostis tremula*, ce qui pourrait l'amorce du passage à un stade plus mâture.

Tableau 24 : Composition floristique des parcelles témoins à la fin de l'expérimentation et variations de la contribution spécifique présence de 1993 à 1995 pour chaque espèce.

Espèces	Photosynthèse	D1	D2	D3	J	G1	G2	Δ CSP
Eragrostis tremula	C4	2,02		7,56	5,13	1,64	5,86	-8,72
Digitaria horizontalis	C4					0,33		-6,19
Cassia mimosoides	C3					0,33	0,70	-4,68
Dactyloctenium aegyptium	C4			0,36				-3,10
Fimbristillis hispidula	C4	2,89		1,95		2,17	2,78	-3,01
Schoenefeldia gracilis	C4	4,29		2,85		3,36	1,68	-2,56
Jacquemontia tamnifolia			3,37	2,67			0,21	-1,90
Aristida mutabilis	C4	0,29		1,78	2,82	9,38	4,78	-1,34
Crotalaria macrocalyx							0,28	-0,66
Waltheria indica								-0,41
Polycarpea spp	C4						7,33	-0,40
Brachiaria distichophylla	C4				1,11			-0,36
Brachiaria ramosa	C4						0,28	-0,30
Borreria stachydea	C3							-0,15
Striga hermonthica								-0,03
Evolvulus alsinoides	C4							-0,02
Eragrostis pilosa	C4						0,56	0,00
Mitracarpus scaber	C3		2,29	6,58	1,05	1,97	4,73	0,01
Commelina forskalaei	C3			0,18				0,03
Cyperus amabilis	C4					1,64		0,05
Panicum anabaptistum	C4					0,66		0,09
Microchloa indica	C4					1,09		0,18
Aristida longiflora (al)	C4	0,86	0,38					0,21
Cenchrus biflorus	C4			2,31		0,33		0,22
Ceratotheca sesamoïdes	C4	1,71		0,53				0,31
Blepharis linariifolia	C4						2,10	0,35
Digitaria gayana	C4	**10,02**						0,37
Pennisetum pedicellatum	C4		2,43					0,37
Ipomea vagans	C3		4,96	3,02			4,09	0,69
Andropogon gayanus (an)	C4		5,59	0,89				1,00
Aristida longiflora (al)	C4		3,47	**13,21**				1,52
Merremia pinnata		1,43	4,96	6,90	1,67	2,63	7,42	1,90
Zornia glochidiata	C3		5,56		**62,33**	**51,61**	**15,77**	2,35
Schizachyrium exile	C4	**29,88**		**10,31**	5,94	**14,58**	9,20	5,37
Sida ovata			**66,61**					7,43
Ctenium elegans (ce)	C4	**46,62**	0,38	**38,89**	**19,96**	8,26	**32,24**	11,38

Poacées %	93,97	12,26	78,16	34,96	39,63	54,59	-11,11
Fabacées %	0,00	10,52	3,02	62,33	51,61	19,87	18,26
Cypéracées %	2,89	0,00	1,95	0,00	3,82	2,78	-17,78

ce + al + an	47,48	9,82	52,99	19,96	8,26	32,24	14,11
C4 %	98,57	12,26	80,64	34,96	43,45	66,80	-27,46
C3 %	0,00	12,81	9,79	63,38	53,92	25,30	-10,48

D3 est dominée en 1993 par Eragrostis tremula (21.8 %), Cassia mimosoides (21,3 %) qui indique des stades jeunes, Schoenefeldia gracilis (10,2 %) et Fimbristillis hispidula (10,1 %). Elles sont remplacées en 1995 par des Poacées indicatrices de stades successionnels plus mâtures : Ctenium elegans (38,9 %), Schizachyrium exile (10,3 %) et la graminée pérenne Aristida longiflora (13,2 %).

La station J, dominée par la Fabacée Zornia glochidiata (56,2 %) en 1993 et Ctenium elegans (18,7 %), évolue vers une dominance plus marquée de ces deux espèces, avec des contributions respectives de 62,3 % et de 20 %. L'évolution majeure sur J est la disparition d'Eragrostis tremula et de Cassia mimosoides (stades juvéniles) au cours de l'expérimentation.

La station G1 est dominée par Zornia glochidiata (46,7 % en 1993 ; 51,6 % en 1995) et par Schizachyrium exile (16,3 % en 93 et 14,6 % en 1995). Il n'y a pas d'évolutions majeurs sur cette station Il semble qu'Aristida mutabilis remplace progressivement Eragrostis tremula, ce qui pourrait l'amorce du passage à un stade plus mâture.

En 1993, la station G2 est dominée par les Poacées Ctenium elegans (25,3 %), Schizachyrium exile (15,5 %), Eragrostis tremula (12,3 %) et Schoenefeldia gracilis (12,3 %). La contribution de ces trois dernières espèces diminuent fortement entre 1993 et 1995. Elles n'appartiennent plus au groupe dominant qui est alors constitué de Ctenium (32,2 %) et de Zornia glochidiata (15,8 %)

3.3. Les états de surface du sol.

La typologie régionale ne montrait pas de dynamique claire des états de surface, à l'exception de l'augmentation des croûtes microphytiques pour les systèmes "jachères". La mise en défens, quelque soit la station, se traduit par une diminution du recouvrement des croûtes d'érosion (de 5 à 25 % en 1993 à 0 à 7 % en 1995) et un développement des croûtes microphytiques et de la couverture de la litière (figures 49 et 50).
Les croûtes microphytiques ont un comportement hydrodynamique mal défini, comme il a déjà été souligné. Cependant, ces croûtes jouent un rôle important sur l'activité organique des sols (cf. troisième partie), et certaines d'entre elles fixent de l'azote atmosphérique (West, 1990). Les agriculteurs nigériens les considèrent comme de bons indicateurs pour la remise en culture.

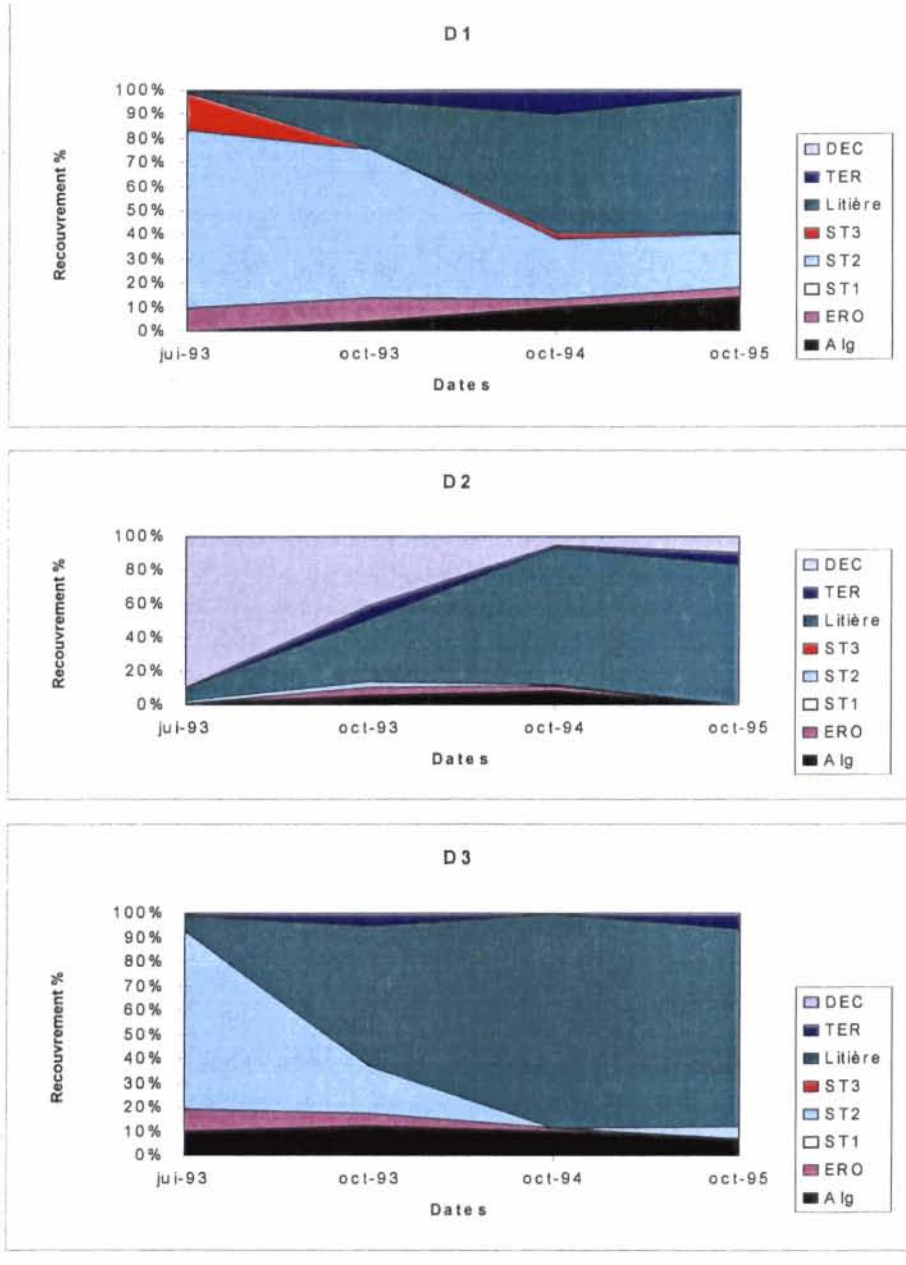


Figure 49 : Evolution des états de surface du sol sur les parcelles témoins des stations D1, D2 et D3.

Les croûtes microphytiques ont un comportement hydrodynamique mal défini, comme il a déjà été souligné. Cependant, ces croûtes jouent un rôle important sur l'activité organique des sols (cf. troisième partie), et certaines d'entre elles fixent de l'azote atmosphérique (West, 1990). Les agriculteurs nigériens les considèrent comme de bons indicateurs pour la remise en culture.

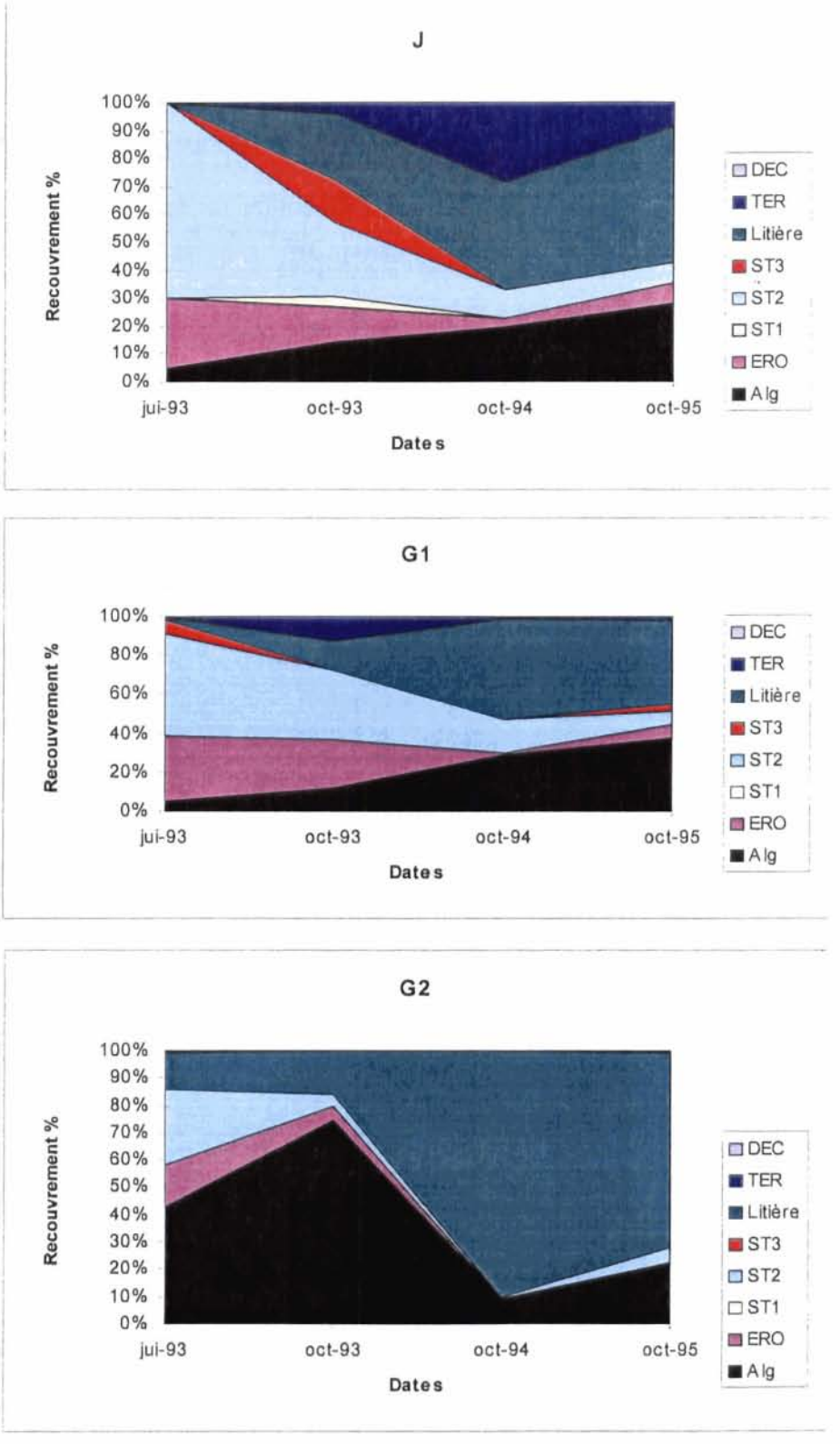


Figure 50 : Evolution des états de surface du sol sur les parcelles témoins des stations J, G1 et G2.

La mise en défens se traduit par un développement immédiat de ces croûtes, de façon particulièrement spectaculaire sur les friches. Elles représentent plus de 70 % de la couverture totale des états de surface en octobre 1993 sur la station G2.La litière favorise l'activité des termites, qui perforent les croûtes de surface et créent une macro-porosité sous-jacente, améliorant ainsi les capacités d'infiltration des sols (Léonard et Rajot, 1997). Les placages de termites, absents dans les résultats de la typologie régionale, représentent près de 30 % de la couverture totale des états de surface sur la station J en octobre 1994.

Contrairement aux résultats de la typologie régionale, dans les conditions de mise en défens, la phase post-culturale s'accompagne donc d'une amélioration des états de surface, qui doit aboutir à une augmentation de la capacité d'infiltration des sols.

3.4. Conclusion de l'effet de la mise en défens.

*** Augmentation de la croissance ligneuse**

La mise en défens favorise la croissance des arbustes issus des rejets des individus présents avant et pendant la perturbation (mise en culture). Par contre, elle ne s'accompagne pas d'un réel recrutement d'arbustes, à l'exception des stations humides (D2 et BF). Sur ces derniers milieux, la densité des arbustes fluctue fortement d'une année à l'autre. De nombreux individus, issus de marcottage, sont apparus pendant la saison des pluies 1994 et un certain nombre d'entre eux sont morts pendant la saison sèche 1994-1995. Ces fluctuations concernent la population de *Guiera senegalensis*. Il y a peu d'installations de nouvelles espèces ligneuses lors de cette mise en défens.

La comparaison des résultats obtenus pour la typologie régionale et ceux de l'expérimentation montre que la mise en défens augmente la vitesse de croissance des arbustes. La suppression de toute activité (coupes, pâturage et autres prélèvements) a permis d'une part de maintenir la litière produite sur place, améliorant ainsi les conditions d'encroûtement des surfaces du sol et d'infiltration (donc l'humidité des sols), d'autre part de supprimer l'effet du pâturage sur les ligneux qui intervient, principalement, à une période critique de leur cycle végétatif : le débourrage. Cette phase d'initiation de l'activité photosynthétique des ligneux commence avant les pluies, avant l'émergence de germinations d'herbacées. Poupon (1979) estime que ce débourrage pourrait être lié à l'augmentation de

l'humidité atmosphérique. Tant que la germination des herbacées n'a pas lieu, la pression du bétail se maintient sur les ligneux (cf. Loireau, in prep.), ralentissant ainsi les processus photosynthétiques et donc la production des arbustes. L'absence de pâturage pendant cette phase de débourrage induit un gain de production.

*** Compétition herbes - arbres ?**

Si la mise en défens favorise les arbustes, elle ne se traduit pas une augmentation de la production épigée herbacée (recouvrement, phytomasse). La même observation a été notée par Renard et *al* (1993) sur une jachère de 8 ans au centre de l'ICRISAT, situé à 50 km au sud de Niamey. En zone humide, Mordelet (1993) a enregistré une baisse de la production totale herbacée d'un tiers sous bosquet d'arbres (un quart de la production épigée) par rapport à la production hors bosquet. Des observations similaires en zones de savane montrent la diminution de la production herbacée avec la densité du couvert ligneux (Kennard et Walker, 1973 ; Belksy et Amundson, 1992). Cette relation n'est pas toujours confirmée et certains résultats ont montré le contraire dans d'autres situations. La faible production herbacée atteinte en 1994, qui est pourtant la plus pluvieuse sur les trois ans d'expérimentation, pourrait être inversement liée à la production ligneuse, qui est justement la plus forte des trois années en 1994.

La teneur en eau des sols est généralement considérée comme le déterminant principal de la structure et du fonctionnement des écosystèmes et comme le principal facteur limitant la production primaire herbacée (Frost *et al.,* 1986*;* Glodstein et Sarmiento, 1987). Le cycle phénologique de la plupart des espèces ligneuses des milieux post-culturaux de notre zone d'étude, du débourrage à la fructification, commence avant la saison des pluies et se termine bien après la fin de cette même saison ; des *Guiera* en fleur et en fructification sont observés au mois de février. Le développement de la strate herbacée est lui centré sur la saison des pluies (Seghieri, 1990). Les modèles de fonctionnement des écosystèmes savanes développés par Walker et Noy-Meir (1982), Knoop et Walker (1985), en particulier l'exploitation de l'eau contenue dans les sols par la végétation, repose sur la fragmentation des couches de sol exploitées par les deux composantes, ligneuses et herbacées, de l'écosystème. Dans la zone d'étude, la strate herbacée est principalement, voire uniquement, annuelle et doit

donc créer chaque année des appareils racinaires et aériens, alors que la strate ligneuse dispose elle de racines permanentes. La pérennité du système racinaire permet donc aux ligneux de débourrer avant même que la saison des pluies soit effective, soit en utilisant les réserves d'eau qui pourraient être contenues dans les racines, soit en utilisant leur pivots qui pourraient puiser dans les nappes perchées, soit enfin en ayant la capacité d'extraire le peu d'humidité contenue dans les sols. Peugeot (1995) a mesuré en effet environ 5 % d'humidité volumique entre 70 et 300 cm de profondeur pendant la saison sèche sur une jupe sableuse (terroir de Banizoumbou). Il a remarqué par ailleurs qu'il n'y avait pas de stockage d'eau d'une année à l'autre. Malheureusement, peu de données existent sur les systèmes racinaires du *Guiera senegalensis*. Sur le site de Banizoumbou, les travaux de Kok (1993) sur une analyse de l'architecture de *Guiera senegalensis* montrent effectivement des grosses racines ou des pivots qui descendent en profondeur, mais aussi un certaine nombre de grosses racines traçantes sur les 30 premiers centimètres. Poupon (1980) a observé dans le Ferlo sénégalais sur *Guiera senegalensis* un pivot court (1 m de profondeur) mais un système superficiel, étendu, de racines latérales comprenant de très nombreuses racines. Cette caractéristique permet aux arbustes d'exploiter de façon maximale les eaux de pluie infiltrées (Poupon, 1980). Les différents profils effectués sur les sites expérimentaux montrent une concentration des racines des herbacées sur les quinze - vingt premiers centimètres. Les 30 premiers centimètres du sol sont donc exploitées par les deux composantes, les ligneux bénéficiant de plus des horizons sous-jacents. Peugeot (1995) a mesuré en 1992 sur une parcelle en jachère que la position maximale du front d'humectation se situait entre 1 et 2 m de profondeur suivant la position topographique et que, le front d'humectation fin août atteignait seulement 70 cm de profondeur.

La vitesse de descente du front d'humectation est lente. Dans des conditions de faible alimentation hydrique, Seghieri (1990) a montré que les modèles dynamiques basés sur la compartimentation des volumes exploités par les différentes composantes ne s'appliquaient pas dans des conditions hydriques défavorables et qu'il y a donc une compétition vis à vis de la disponibilité hydrique entre les ligneux et les herbacées. La suppression de toute forme de pression sur les ligneux leur permet de disposer d'un

appareil photosynthétique plus important, et donc de plus d'énergie pour extraire l'eau. Il dispose d'un avantage sur les herbacées annuelles en début de saison de pluie où les ressources hydriques sont faibles, ils ont déjà un système racinaire en place. Ce n'est qu'une hypothèse à vérifier et qui pourrait être une des raisons du développement de la strate ligneuse au détriment de la strate herbacée en conditions de mise en défens.

*** Dynamique successionnelle au niveau de la strate herbacée.**

Sur l'ensemble des stations, l'espèce ubiquiste *Eragrostis tremula*, et les espèces apparemment liées plutôt aux stades jeunes, *Jacquemontia tamnifolia* et *Cassia mimosoïdes*, *Dactyloctenium aegyptium*, disparaissent. Les Poaceae *Aristida mutabilis* et *Digitaria horizontalis* indiquant des stades plus mâtures (à partir de quatre à cinq de jachères), disparaissent également. Des graminées plus hautes comme *Ctenium elegans* et *Schizachyrium exile* s'installent et parfois dominent la strate herbacée .Des pérennes comme *Andropogon gayanus* et A*ristida longiflora* s'installent progressivement sur les stations situées sur des cordons dunaires. *Sida ovata*, espèce pérenne se dévellopant sur les milieux très humides, domine de plus en plus sur la station D2. Sur les stations J et G1, la strate herbacéee est toujours largement dominée par Zornia glochidiata. Cependant, la présence de plus en plus marquée d'*Aristida mutabilis* et *Ctenium elegans* montre le passage à un stade successionnel supérieur. Sur la station G2, *Ctenium* devient même la principale espèce. La suppression de toute forme de pression sur les milieux post-culturaux se traduit par une dynamique successionnelle réelle et accélérée sur toutes les parcelles témoins. Cela indique deux choses : la remise en culture précoce de ces milieux empêchent effectivement d'atteindre des stades successionnels plus mâtures ; le maintien d'une contrainte permanente comme le pâturage limite, voire inhibe la dynamique successionnelle.

*** Amélioration des conditions d'états de surface du sol.**

La mise en défens, empêchant toute forme d'exportation de matière végétale, entraîne une accumulation de litière sur le sol. Une partie de cette litière est consommée par les termites, qui n'apparaissaient pratiquement pas dans la typologie régionale. Ces termites, Macrotermitinae hypogées, appartenant aux genres *Microtermes* et surtout, *Odontermesi* (Lepage, 1992), agissent sur les états de surfaces du sol en les perforant et créent un macro-porosité sous-jacente, améliorant les capacités d'infiltration des sols. De plus, la litière a pour effet de diminuer fortement l'énergie cinétique des pluies, limitant les risques d'encroûtement.

A cette accumulation de litière s'oppose une disparition progressive des croûtes d'érosion et ST3, caractérisant des mauvaises conditions d'infiltration. Cependant, le fort développement des croûtes cryptogamiques, considérées comme un bon indicateur biologique par les agriculteurs, laisse une question en suspens, ne connaissant pas son comportement hydrodynamique.

En conclusion, la mise en défens accélère sur les milieux peu dégradés, amorce sur les milieux les plus dégradés, une dynamique de régénération.

4. Explication de la dominance de *Guiera senegalensis* dans les systèmes post-culturaux du sud-ouest nigérien.

Les stations G2 (glacis dégradé) et surtout BF (bas-fond) sont les seules stations où cohabitent les deux Combrétacées *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum*. L'inventaire régional des milieux post-culturaux (3ème partie) montrent que *Combretum* est actuellement surtout présent dans les bas-fonds. Cependant, les enquêtes menées auprès des agriculteurs des stations G1 et G2, font apparaître que ces parcelles étaient couvertes de *Combretum* avant les années 70, début des grandes périodes de sécheresse. C'est à ce même moment que ces agriculteurs ont défriché ces stations G1 et G2. Il semble alors possible que la combinaison des conditions édapho-climatiques et du défrichement ait fortement diminué la population de *Combretum*. Il a donc été choisi de comparer l'évolution des réponses de ces deux arbustes face aux différentes coupes, décrites dans les

paragraphes précédents sur la station BF, disposant du matériel végétal nécessaire. Dans un second temps, un suivi du potentiel hydrique foliaire a été mené sur les deux espèces arbustives. Le potentiel hydrique foliaire permet d'avoir des indications sur l'état hydrique de ces deux plantes et d'émettre alors des hypothèses sur leur comportement vis à vis de l'évolution des conditions d'humidité des sols. Les stations BF et G2, très proches géographiquement, reposent sur des sols aux comportements hydrodynamiques différents, la station G2 étant plus sèche que BF.

4.1. Répartition des deux espèces dans un bas-fond (station BF).

La station BF est située dans un thalweg supportant de très forts recouvrements arbustifs (70 % en moyenne). Les ligneux sont dominés par les deux espèces *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis*. La figure 51 représente un plan de la station sur lequel figurent les proportions respectives de *Guiera senegalensis* et de *Combretum micranthum*.

	1	2	3	4	5	6
A						
B			82 / **18**			
C	88 / **12**				83 / **17**	
D	96 / **4**	38 / **62**	10 / **90**	21 / **79**	89 / **11**	
E	67 / **33**	17 / **83**	8 / **92**		38 / **62**	
F	9 / **91**	17 / **83**	22 / **78**	44 / **56**	53 / **47**	

Figure 51: Proportions de *Guiera senegalensis* et de *Combretum micranthum* (en gras) au niveau de chaque parcelle expérimentale mesurée sur la station BF (bas-fond). La pente est orientée de A vers F. Les parcelles ombrées sont équipées de tubes neutroniques pour le suivi de l'humidité volumique du sol.

L'interprétation des photographies aériennes de cette station montre qu'elle se situe dans la partie amont d'un thalweg. La pente est orientée de la ligne A vers la ligne F. La population de *Guiera* diminue vers l'aval au bénéfice de *Combretum*, de 84 % de contribution moyenne sur les lignes B et C à 29 % sur la ligne F. Les données d'humidité du sol qui ont pu être récoltés durant la saison des pluies 1996 (figure 52) montrent qu'il existe un gradient d'humidité sur cette station le long de la pente. La partie aval est plus humide que la partie amont. Il semble que la dominance de *Combretum micranthum* soit liée à de meilleures conditions stationnelles d'humidité des sols.

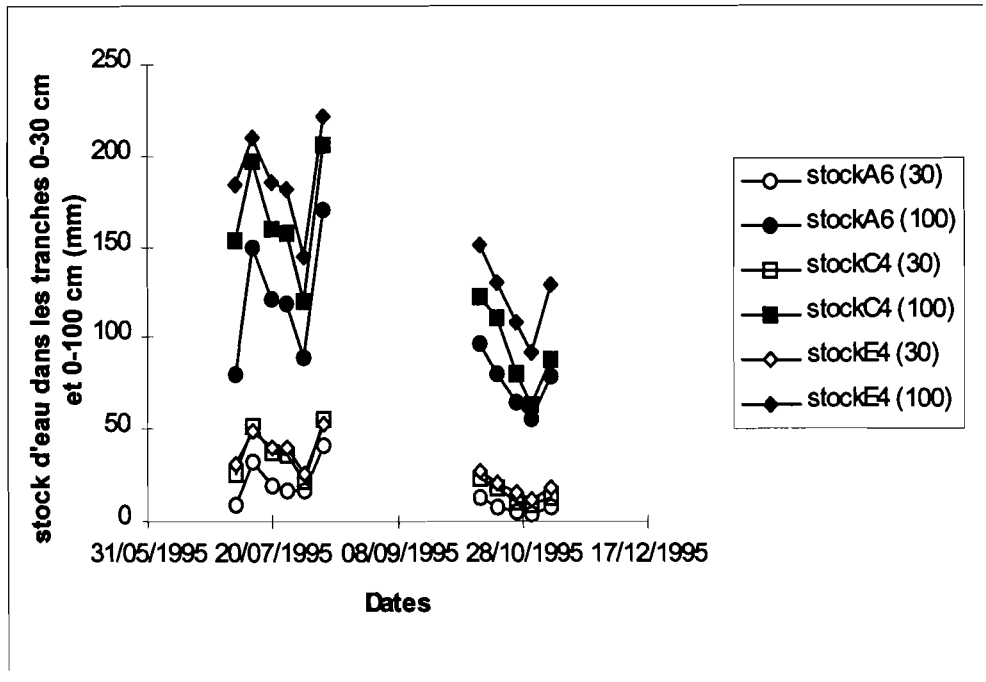


Figure 52 : Evolution de l'humidité volumique sur les tranches 0-30 cm et 0-100 cm au cours de la saison des pluies 1995 sur la station BF. Chaque courbe se réfère à une parcelle de la station (voir figure 51).

4.2. Réponses de *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis* face aux coupes et à la mise en défens sur la station BF.

4.2.1. Croissance des rejets des arbustes.

Les figures 53 et 54 présentent les réponses de ces deux espèces face aux coupes CR1 à CR5 qui ont été pratiquées.

*** une coupe annuelle.**

Le traitement **CR1** (coupe annuelle au début de la saison des pluies) ne détruit pas sur cette station la strate ligneuse (figure 53) comme il a pu être également observé sur les autres stations (annexe). Les souches émettent des rejets durant la saison des pluies. Après les coupes CR1, la réponse en croissance de *Combretum* est significativement plus importante que celle de *Guiera* durant les deux saisons des pluies 1993 et 1994. Cependant cette différence disparaît durant la saison sèche ; *Combretum* ralentit sa croissance plus fortement que *Guiera*. Globalement, la coupe CR1 a peu d'impact sur ces deux arbustes qui se régénèrent après chaque coupe annuelle. Cependant, il existe apparemment un avantage compétitif pour *Combretum* qui semble exploiter mieux les ressources hydriques disponibles durant la saison des pluies que *Guiera*.

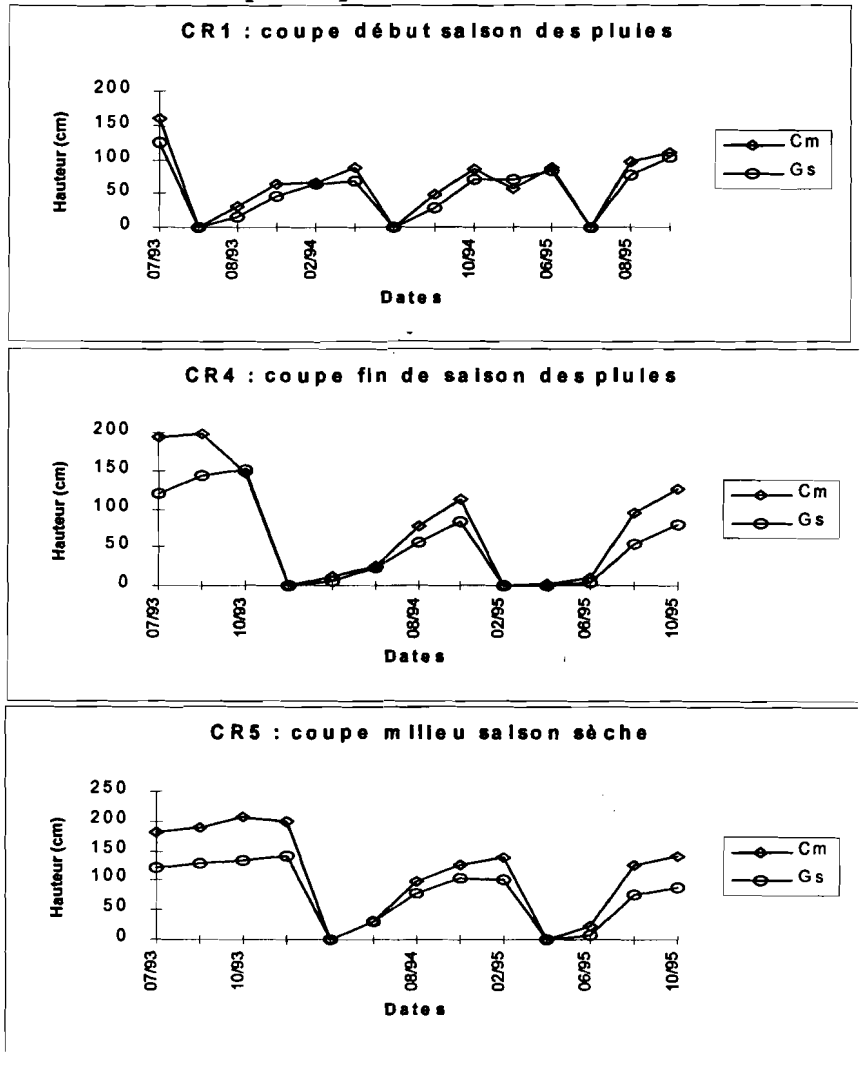


Figure 53 : Evolution des réponses en croissance de Combretum micranthum (Cm) et de Guiera senegalensis (Gs) face à une coupes annuelle (traitements CR1, CR4 et CR5).

Les deux traitements **CR4** et **CR5** (figure 53), concernant respectivement une coupe annuelle en fin de saison des pluies et une au milieu de la saison sèche, ont des résultats similaires à celui de CR1. *Combretum* a des réponses significativement supérieures à celles de *Guiera.*

*** Plusieurs coupes annuelles.**

Le traitement **CR2** (coupes pratiquées au début et au milieu de la saison des pluies) montre que *Combretum* a une réponse plus importante face à la première coupe mais qu'il est plus sensible que *Guiera* face à la deuxième coupe effectuée au milieu de la saison des pluies (figure 54). La réponse de *Guiera* à la deuxième coupe est significativement supérieure, cette différence s'accroît au cours de la saison sèche. *Guiera* supporte mieux des coupes répétées au cours de la même saison.

Le traitement **CR3**, constitué de trois coupes annuelles, montre dans un premier temps une tendance similaire à la réponse obtenue pour CR2. Cependant la troisième coupe, en fin de saison des pluies, est rapidement fatale pour les deux espèces. Cela indique alors sur cette station que ce traitement CR3 constitue un seuil de résistance aux coupes de *Guiera* et *Combretum.* Sur les autres stations, aux conditions plus sèches et marquées par la dominance monospécifique de *Guiera*, ce seuil de résistance est obtenu dès le traitement **CR2** (cf annexe 8).

Durant la même période, sur les parcelles témoins (figure 55), il n'existe pas différences significatives de croissance entre les deux espèces, si les seuls arbustes présents au début de l'expérimentation sont pris en compte. Cependant, la population de *Guiera*, en nombre d'individus, varie beaucoup, alors que la population de *Combretum* est stable.

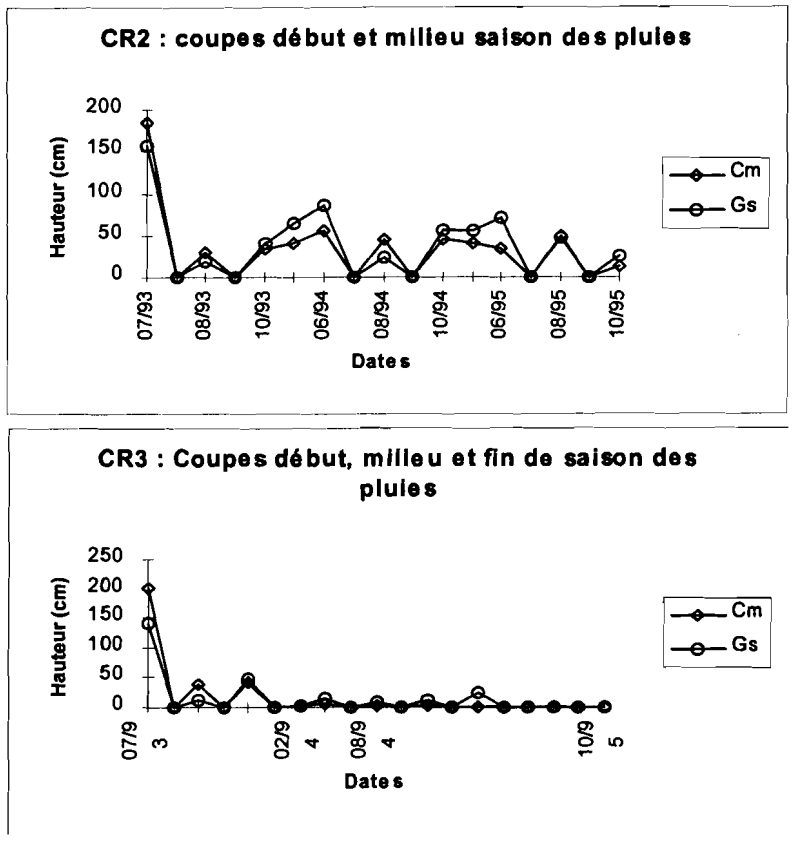


Figure 54 : Evolution des réponses en croissance de *Combretum micranthum* et de *Guiera senegalensis.*

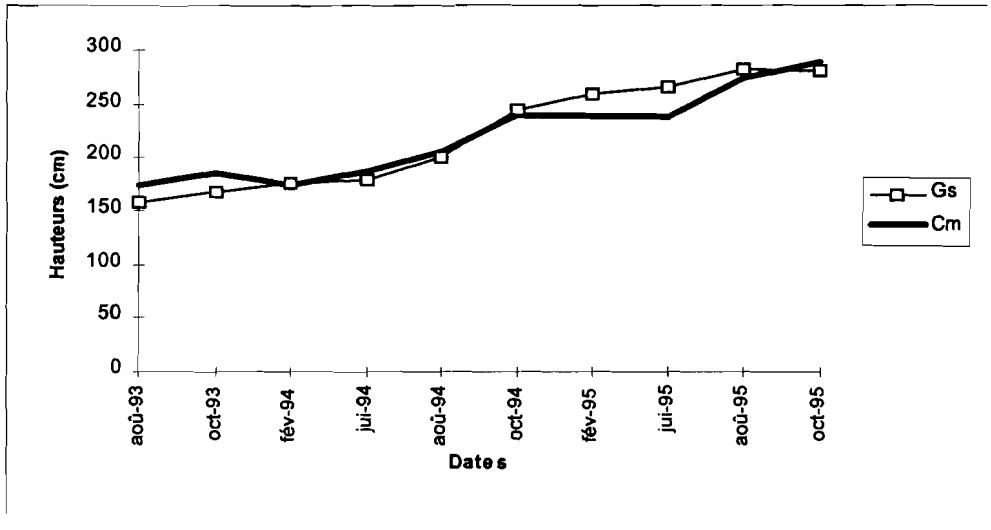


Figure 55 : Evolution de la croissance en hauteur de *Combretum* et de *Guiera senegalensis* sur les parcelles témoins (cm).

4.2.2. Population arbustive.

A l'exception du traitement de trois coupes annuelles (CR3) où les arbustes sont rapidement éliminés, la population de *Guiera senegalensis* ne semble pas être affectée par

les autres traitements (figure 56). Les coupes annuelles ou répétées deux fois dans la même saison n'entraîne pas de diminution du nombre d'individus *Guiera*. Par contre, une diminution sensible de 44 % de la population initiale de *Combretum* est notée pour le traitement CR2 (deux coupes au début et au milieu de la saison des pluies). Ce résultat confirme alors la plus grande sensibilité de *Combretum* à des coupes répétées.

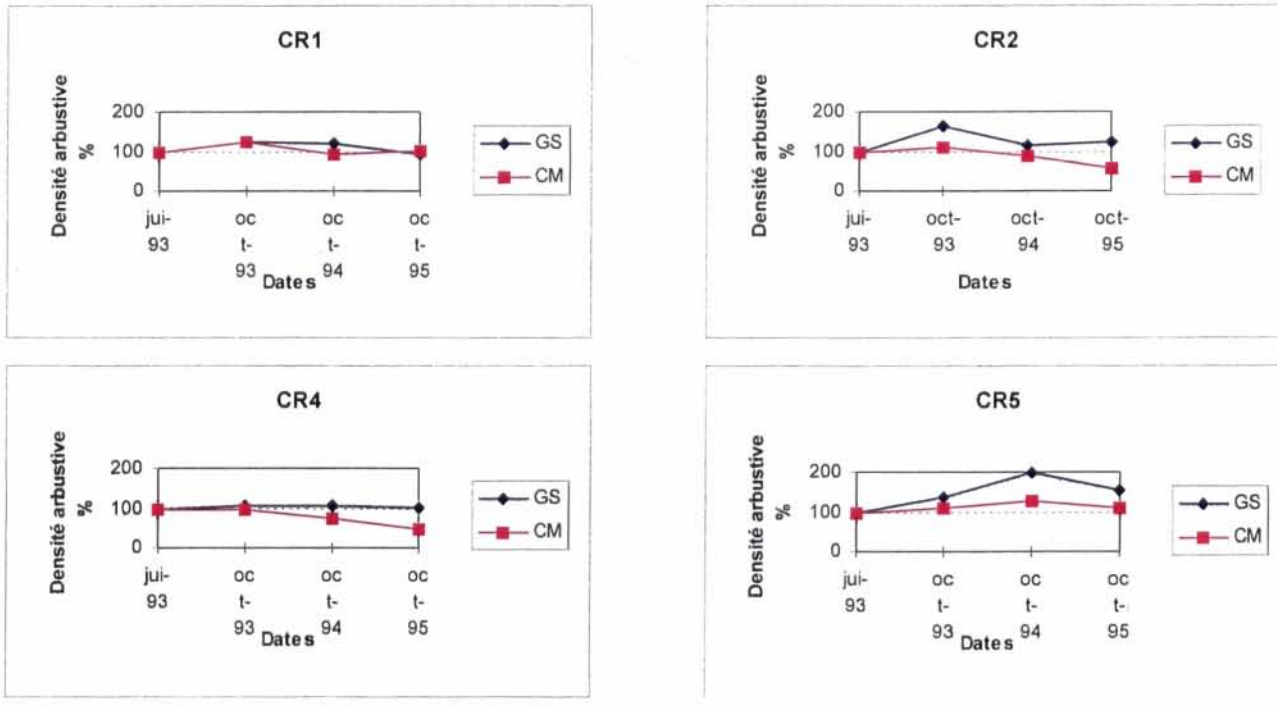


Figure 56 : Evolution des populations Combretum micranthum et Guiera senegalensis de juillet 1993 à octobre 1995 sous l'effet des traitements CR1, CR2, CR4 et CR5.

4.3. Evolution des caractères physiologiques des deux espèces.

Les courbes d'évolution du potentiel hydrique foliaire de *Combretum micranthum* et *de Guiera senegalensis* présentent un pic (potentiel minimum) situé entre 10 h et 11 h GMT, comme le montre l'exemple des arbustes des parcelles témoins (figures 57 et 58). Cela est vrai également pour les autres traitements (annexe). Ce minimum correspond en fait à la fermeture partielle des stomates causée par l'augmentation des différences d'humidité entre l'atmosphère et les feuilles, crées par l'augmentation de la température ambiante. Pour *Guiera senegalensis*, Verhoef (1995) a estimé au cours de la saison des pluies de 1992 que ce pic se situait entre 8 h et 11 GMT, soit entre 9 h et midi heure locale au Niger.

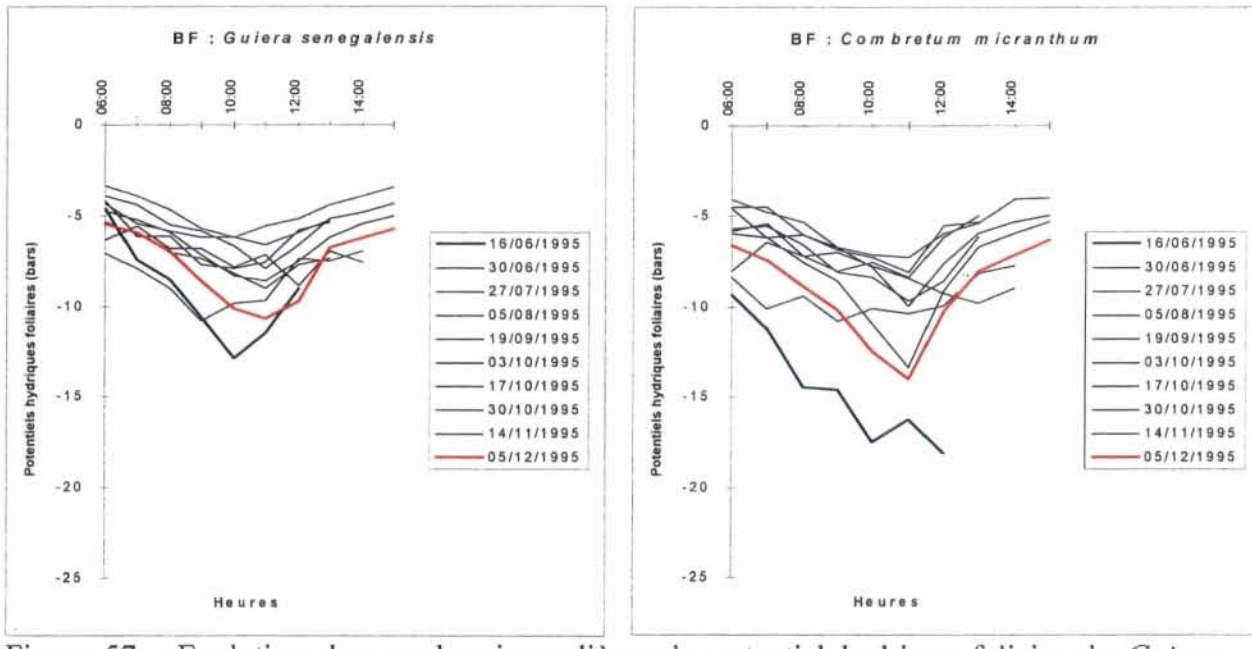


Figure 57 : Evolution des courbes journalières du potentiel hydrique foliaire de *Guiera senegalensis* et de *Combretum micranthum* au cours de la saison des pluies 1995 sur la station BF (bars).

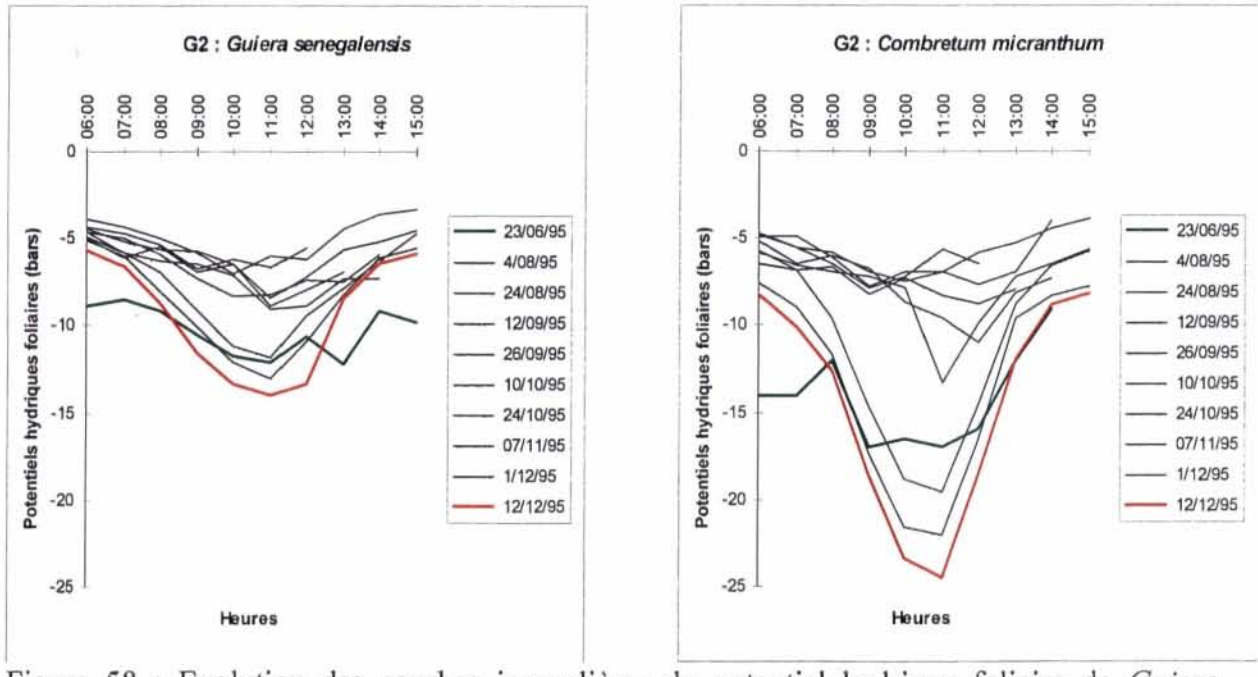


Figure 58 : Evolution des courbes journalières du potentiel hydrique foliaire de *Guiera senegalensis* et de *Combretum micranthum* au cours de la saison des pluies 1995 sur la station G2 (bars).

Les figures 57 et 58 montrent que les courbes journalières de potentiel hydrique évoluent au cours de la saison, en particulier la valeur du potentiel hydrique minimum. Par rapport aux résultats présentés, le point le plus bas sur les parcelles témoins de la station BF se situe en début de saison des pluies. Il est supérieur à - 15 bars pour *Guiera* et inférieur à -

aux résultats présentés, le point le plus bas sur les parcelles témoins de la station BF se situe en début de saison des pluies. Il est supérieur à - 15 bars pour *Guiera* et inférieur à - 15 bars pour *Combretum*. Sur la station G2, le point le plus bas est en fin de saison des pluies. Il est supérieur à - 15 bars pour *Guiera* et il est proche de -25 bars pour *Combretum*. Les potentiels hydriques minimum de *Combretum* sont systématiquement supérieurs à ceux de *Guiera*, quelque soit le traitement. L'évolution du potentiel hydrique des deux espèces pour les autres traitements est similaire à celle des arbustes des parcelles au sein de chaque station (figures 57 et 58). Les résultats obtenus entre les différents traitements ne sont pas significativement différents au sein de chaque traitement.

Du point de vue du potentiel hydrique foliaire minimum, les différences significatives entre les deux espèces apparaissent seulement au début et à la fin de la saison des pluies au sein de chaque station (tableau 25).

Tableau 25 : Evolution des différences significatives entre les potentiels hydriques minimum mesurés pour *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum* suivant les traitements CR1 (coupe au début de la saison des pluies), CR5 (coupe au milieu de la saison sèche) et les témoins, au cours de la saison des pluies 1995 sur les stations BF et G2 (1 = différent, 0 = égal).

Station	BF			G2		
Dates	Témoin	CR1	CR5	Témoin	CR1	CR5
13/06	1	1	1	1	1	0
30/06	0	0	1	0	0	1
27/07	0	0	0	1	0	0
5/08	0	0	0	0	0	0
19/09	0	0	0	0	0	0
3/10	1	0	1	0	0	0
17/10	1	1	1	1	1	0
31/10	1	1	1	1	1	1
14/11	1	0	0	1	1	1
5/12	1	0	0	1	1	1

Les différences entre les deux espèces se situent avant l'arrivée des premières pluies vraiment efficaces (figures 59 et 60), moment où le stock d'humidité dans le sol est encore très faible et à la fin de la saison des pluies lors de la phase dessèchement des sols.

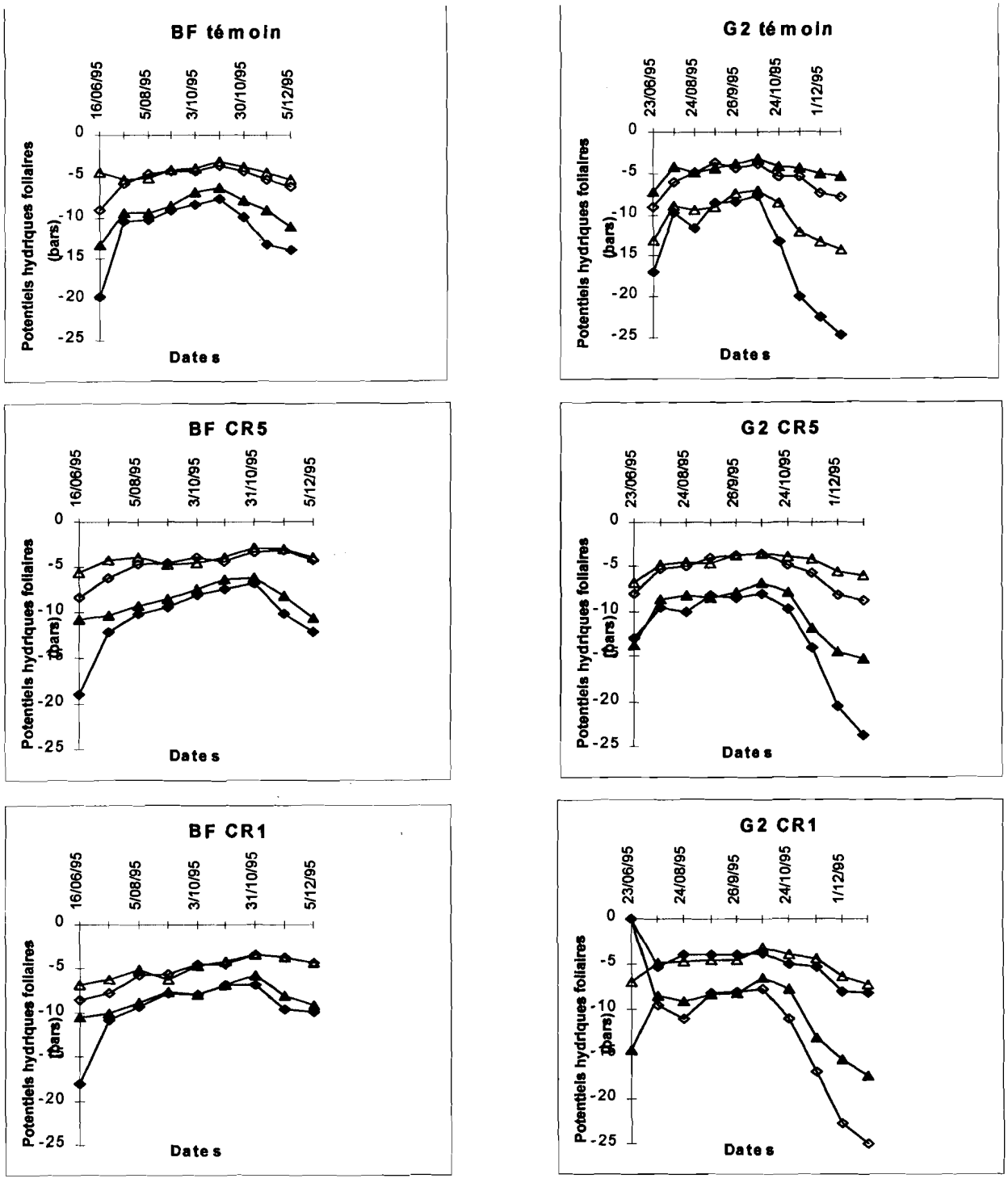
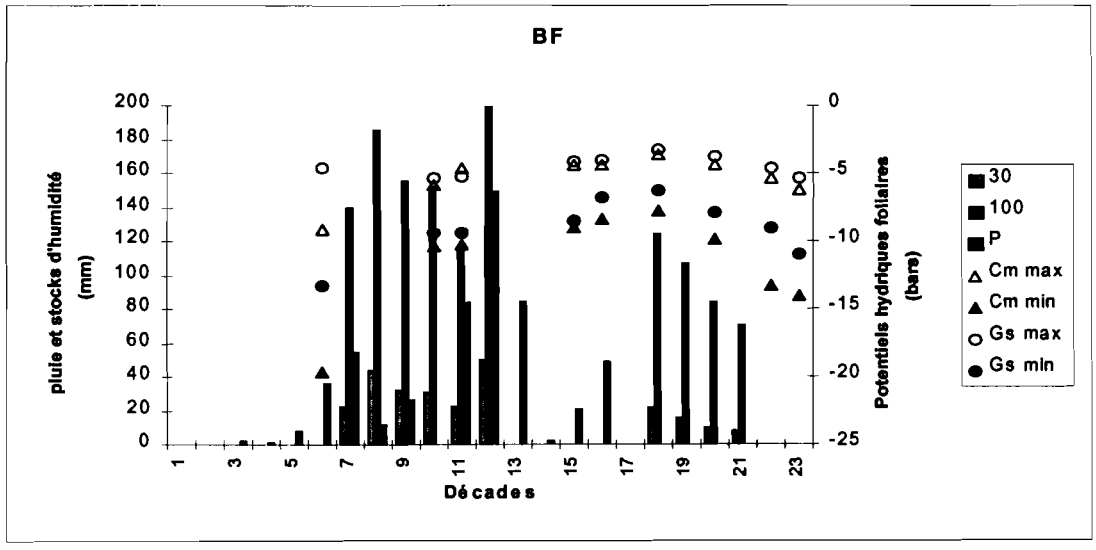


Figure 59 : Evolution sur les stations BF et G2, du potentiel hydrique foliaire journalier au cours de la saison des pluies 1995 pour tous les traitements.

En condition de stress hydrique (au début de la saison des pluies), *Combretum* abaisse son potentiel hydrique foliaire. Ceci doit lui permettre de maintenir un gradient de poténtiel suffisamment important du sol vers la feuille et améliorer donc l'absorption des ressources

du sol. Par contre, *Guiera* maintient un potentiel hydrique foliaire élevé par rapport à celui de *Combretum* en fermant partiellement ses stomates et en limitant donc ses pertes en eau par transpiration. Cette différence de comportement explique que la croissance de *Combretum* soit plus rapide en début de saison des pluies que celle de *Guiera*.



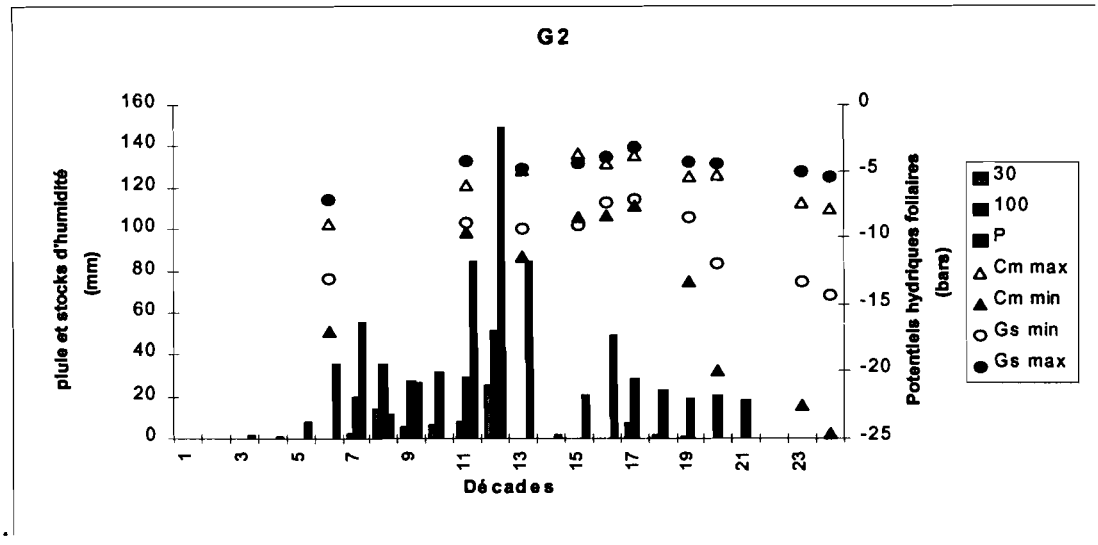


Figure 60 : Relations entre l'évolution des conditions hydriques des sols et celle du potentiel hydrique foliaire pour *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis* sur les stations BF et G2.

En fin de saison des pluies, les différences entre les deux arbustes augmentent considérablement sur la station G2, moins sur la station BF plus humide. *Combretum* souffre plus du stress hydrique que *Guiera*. Sa croissance ralentit plus fortement que celle de *Guiera*.

La confrontation des différents résultats obtenus ici, l'évolution des potentiels hydriques foliaires, la morphologie des feuilles (tableau 26, Ehrmann, in prep) et la production des arbustes (estimée à partir de la hauteur des arbustes après coupes) permettent d'émettre des hypothèses quant aux stratégies d'adaptation de ces deux arbustes face aux contraintes hydriques.

Tableau 26 : Evolution de divers paramètres pour les espèces *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis* sur site de brousse tigrée voisin du site d'étude (d'après Ehrman, en préparation). Δ ‰ est le ratio de discrimination du carbone (Farquhar *et al*, 1982).

	Combretum micranthum	*Guiera senegalensis*
Surface moyenne foliaire	4,9 cm^2	2,6 cm^2
Masse surfacique foliaire	90 g/cm^2	118 g/cm^2
Teneur en azote ‰ foliaire	27	22
Δ ‰	19,4	18,2

Combretum a la capacité d'abaisser son potentiel hydrique foliaire en tout début de saison des pluies, ce qui se traduit par une croissance plus rapide que celle de *Guiera*, comme le montre les résultats des traitements CR1, CR4 et CR5 (mesures de Juin et d'Août de chaque année). *Combretum* utilise mieux les ressources que *Guiera* durant cette première période de la saison des pluies. Ehrman (en prep.) montre que la teneur en azote des feuilles de *Combretum* est plus forte que celles de *Guiera* (tableau 26), ce qui traduit une meilleure productivité (Field, 1995). Cela rappelle alors la stratégie de *Water spenders* identifiée par Levitt (1980). Les résultats obtenus pour *Guiera* montrent que cette espèce cherche à diminuer le plus possible ses pertes en eau par transpiration, ce qui correspond assez bien avec la stratégie de *Water savers*. En fin de saison des pluies, lors de la phase de déstockage de l'humidité des sols, le *Combretum* est en condition de stress hydrique (potentiels hydriques très faibles) alors que *Guiera* continue de maintenir un potentiel élevé. En d'autres termes, la croissance de *Combretum* ralentit fortement alors que celle de *Guiera* continue comme le montrent les résultats d'octobre (93, 94 et 95). *Combretum* a déjà achevé son cycle de développement (floraison de Juin à fin Août ; Lassina, 1993) alors que *Guiera* continue son cycle. Sur la même zone, des *Guiera* en fleurs sont régulièrement observés en janvier-février. Ehrman (en préparation) a mesuré l'évolution

des potentiels hydriques foliaires et d'autres paramètres (surface foliaire, masse surfacique et pourcentage d'azote dans les feuilles) pour les deux mêmes espèces dans la même zone d'étude mais sur un site de brousse tigrée. Les résultats qu'elle obtient, sont présentés dans le tableau 32. *Guiera senegalensis* présente des feuilles plus petites que celles de *Combretum*, mais avec des masses surfaciques plus importantes. La morphologie des feuilles de *Guiera senegalensis* présente des signes d'adaptation à la sécheresse (Vitousec *et al.*, 1990 ; Damesin, 1996 ; Castro-Diez *et al.*, 1997). Les risques de perte en eau sont alors moindres pour *Guiera* que pour *Combretum*.

La capacité de *Guiera senegalensis* à maintenir un potentiel élevé sur les deux stations, supérieur à - 15 bars, par rapport à *Combretum* en condition de stress hydrique (début et fin de saison des pluies), signifie que son métabolisme est pratiquement constant quelque soit le milieu, ce qui renforce l'hypothèse d'une stratégie de *Water Savers*. Durant cette même étude, Boubakar (1995) a montré que la surface foliaire totale de *Guiera* était constante sur les deux stations, alors que celle de *Combretum*, très importante sur la station BF, se réduisait fortement en conditions plus sèches sur G2. Comme l'a monté Ehrman (en prep.), la diminution des ressources entraîne une réduction de la surface foliaire totale de *Combretum* pour limiter ses pertes en eau. Cela se traduit par une baisse de productivité. Un meilleur ratio de discrimination du carbone (tableau 26) pour *Guiera* indique une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau que *Combretum*. Cela implique, d'après Ehrman (in prep.), une plus faible croissance dans les milieux humides, mais un meilleur rapport de productivité en conditions sèches. Ehleringer et Cooper (1989) suggèrent, dans des conditions de sécheresse imprévisibles et fluctuantes, que les différences de WUE (*Water Use Efficiency*) entre les espèces contribuent directement et de façon prédictible à leur croissance et à leur survie à long terme. En conditions humides, *Combretum* a un avantage compétitif sur *Guiera* par sa croissance plus rapide. En conditions plus limitantes, *Guiera*, par sa stratégie de *Water Savers*, est moins sensibles que *Combretum* aux contraintes hydriques. Des espèces développant des stratégies de *Water spenders* peuvent être

amenées à adopter celle de *Water savers*, perdant ainsi leur potentiel de productivité et leur avantage compétitif.

5. conséquences des usages sur la régénération des systèmes post-culturaux.

La reconstitution de la végétation s'effectue à partir du potentiel induit par la végétation initiale qui, après avoir résisté au défrichement et au brûlis, s'exprime d'abord dans les champs puis dans les jachères et évolue en fonction de facteurs historiques, physiques et biotiques (Mitja et Puig, 1991). Ce potentiel est formé de trois composantes, définies par Alexandre (1982) : le potentiel végétatif formé des souches et des racines des individus présents avant le défrichement, le potentiel séminal édaphique qui correspond à la banque de graines du sol et le potentiel advectif provenant de l'apport de graines postérieur à la mise en culture. L'existence et l'expression de ces potentiels sont fonction de la diversité de l'environnement de ces jachères, du mode de culture, du type de défrichement et des contraintes exercées pendant la reconstitution de la végétation.

La mise en défens se traduit dans l'ensemble des cas par une dynamique réelle, marquée par le passage à des stades plus mâtures que celui correspondant au développement des espèces liées aux cultures dès la fin de la phase culturale. Ces transitions sont visibles par la diminution du nombre d'espèces, par l'installation et la mise en place de la dominance de grandes graminées annuelles et pérennes comme *Ctenium elegans, Aristida longiflora et Andropogon gayanus* qui représentent presque 50 % de la composition de la strate herbacée sur les stations les plus favorables. Sur les mêmes stations, Achard (*com verb.*) confirme en 1997 l'installation effective de la graminée pérenne *Andropogon gayanus* sur les stations concernées par cette étude. Les résultats de la typologie montraient que ces trois espèces représentaient au maximum 20 % de la composition floristique pour des stations, d'âge et de position topographique similaires. *Aristida mutabilis*, en particulier, s'installe progressivement sur les stations les plus dégradées. Sur le site de la mare d'Oursi au Burkina Faso, Grouzis (1991) a observé cette dominance progressive des graminées dans la composition floristique sur les mises en défens. L'installation progressive de ces graminées et l'amélioration conjointe des ressources hydriques et nutritionnelles sur les milieux les plus favorables rappellent le modèle successionnel de facilitation. Les conditions édaphiques

s'améliorant, les graminées plus compétitives pour l'exploitation des ressources que les espèces liées aux cultures, dominent la flore en l'absence de pressions qui se portent particulièrement sur ces espèces. Les graminées représentent non seulement une valeur fourragère, mais aussi une valeur marchande puisqu'elles sont la base de produits secondaires comme les nattes, les sekos et les chaumes. Il existe donc bien une dynamique successionnelle pour la strate herbacée mais elle est très discrète, limitée, voire stoppée prématurément par les activités anthropiques. Quant aux ligneux, à l'exception de la station BF, il n'y a pas d'installation de nouvelles espèces durant l'expérimentation. La grande majorité des arbustes recensés à la fin du suivi sont ceux déjà recensés au début. Ces systèmes restent bloqués avec une dominance de *Guiera senegalensis* dans tous les cas. La suppression de toutes formes de pression a pour seul effet principal d'augmenter la croissance des ligneux. Cette dominance peut s'exprimer sur de longues périodes comme l'ont observé Cisse *et al.* (1991) au Sahel malien (600 mm de pluie). Yossi *et al* .(1996) ont observé par contre une disparition progressive de *Guiera senegalensis*, dominant dans les stades jeunes, au profit de *Combretum glutinosum* en zone soudanienne au Mali (800 mm) indiquant la possibilité d'un seuil climatique pour les processus successionnels. Le nombre réduit de semenciers appartenant à d'autres espèces ligneuses à l'échelle du paysage, couplé aux difficultés de ces espèces à germer et à s'installer dans les conditions naturelles, limite donc la possibilité d'observer une dynamique au niveau de la strate ligneuse.

Toutes les stations de cette étude, qu'elles appartiennent au système "jachères" ou "friches" possèdent encore une certaine résilience, qui s'expriment dès lors que toute forme de contraintes ou de perturbations d'origine anthropique est supprimée. La mise en défens permet à ces systèmes d'atteindre un certain stade qui dépend de l'état initial de dégradation. Sur les milieux les plus favorables, une flore herbacée pérenne s'installe au bout de trois ans de mise en défens. Sur les milieux initialement les plus dégradés, les herbacées indicatrices de mauvaises conditions édaphiques comme *Eragrostis tremula* disparaissent au profit de nouvelles graminées comme *Aristida mutabilis*.

En condition naturelle d'exploitation des milieux post-culturaux, la dynamique successionnelle s'exprime très faiblement sur les milieux les plus favorables et est bloquée sur les milieux dégradés. Cinq ans de jachère ne permettent pas dans la plupart des cas à la leur résilience de s'exprimer pleinement. Les stress et les perturbations exercés sur ces écosystèmes ont en effet une action sélective sur la composition floristique. Les défrichements annuels n'éliminent pas les arbustes présents mais maintiennent la dominance de l'espèce la plus adaptée aux coupes et aux contraintes édapho-climatiques de la zone, *Guiera senegalensis*. Sur des conditions stationnelles plus humides, *Guiera* est en compétition avec d'autres espèces, en particulier avec *Combretum micranthum*. Cependant, ce dernier supporte moins bien les coupes répétées au cours de la même saison et est éliminé plus rapidement que *Guiera*. Le pâturage, issu de plus en plus d'un élevage "domestique" qui ne transhume pas (de Verdière, 1995), a un impact important sur les différents éléments de la structure et du fonctionnement des écosystèmes : il réduit fortement l'appareil foliaire des ligneux lors de la période de soudure, limitant ainsi leur croissance ; il réduit considérablement le développement des croûtes microphytiques qui jouent un rôle apparemment important sur l'activité biologique des sols ; il inhibe le développement des graminées comme le *Ctenium* (consommation et/ou piétinement) et favorisent les Cypéracées, dont *Fimbristilis hispidula*, espèce peu exigeante à cycle court (annexe 8).

De façon plus générale, la fréquence des défrichements, des sarclages, le caractère quasi permanent du pâturage, couplés aux fortes contraintes édapho-climatiques, ont conduit à la sélection de processus de régénération les mieux adaptés à ces formes de pressions, de stress et donc à une sélection d'espèces résistantes. Trabaud (1987) aboutit aux mêmes conclusions pour expliquer la dominance de *Quercus coccifera* en région méditerranéenne soumise à des feux fréquents. Ces systèmes doivent répondre aux propriétés suivantes : une grande résistance des ligneux aux coupes par, entre autres, la capacité de rejeter de souches ; des espèces herbacées à cycle phénologique court pour assurer le renouvellement des espèces annuelles et la capacité de se développer sur des sols dégradés physiquement et chimiquement. Les conditions d'humidité sur la plupart des sols favorisent les espèces ligneuses ayant adopter une stratégie de "*Water savers*" comme *Guiera senegalensis*. Par

contre, l'amélioration des conditions d'humidité peut permettre à des espèces plus exigeantes, comme *Combretum micranthum* qui fonctionne suivant une stratégie de "*Water spenders*", d'être compétitives. Malheureusement, ces dernières espèces sont plus sensibles au stress hydrique (forte diminution du potentiel hydrique foliaire) et aux perturbations.

La simplification des écosystèmes, due en grande partie à l'activité anthropique, ne leur permet plus que de fonctionner dans des limites étroites car ils ne sont plus porteurs des attributs de la complexité et voient ainsi leur capacité de résilience diminuer (Young et Solbrig, 1992). Au delà de ces limites (seuils), la capacité de résilience ne leur permet plus de résister aux perturbations et de revenir à l'état avant perturbation. Les écosystèmes risquent alors d'adopter de nouveaux équilibres (Godron et Forman, 1983, Forman et Godron, 1986; Friedel, 1991 et Laycock, 1991). L'expérience des coupes répétées au cours de la même saison montre l'élimination de *Guiera senegalensis* (annexe 8) qui joue un rôle important sur la régénération de ces milieux (Louppe, 1991). Cependant, aucune conséquence de la disparition des arbustes sur la strate herbacée et les conditions édaphiques n'a pu être mise en évidence dans cette expérimentation. Elle ne concerne effectivement que des parcelles de 100 m^2, entourée par un environnement peu touché et l'impact est alors certainement fortement diminué. Par contre, cette sélection est évidente au niveau du paysage agricole constitué de champs et de jachères couvertes exclusivement de thérophytes et de *Guiera senegalensis*. Les diversités α (à l'intérieur d'un habitat), β (entre habitats) et γ (au niveau du paysage) à l'intérieur de l'aire agricole reposent sur la même structure et pratiquement la même composition floristique dans la zone d'étude. La pauvreté floristique du paysage agricole de la zone d'étude est un fait marquant. La conséquence possible de l'appauvrissement de la végétation est, pour Gomez-Campo (1985), une plus forte susceptibilité à l'invasion d'espèces adaptées aux perturbations pratiquées. Cela peut conduire à un blocage successionnel (Quezel, 1985) comme il est observé ici, ou à modifier la trajectoire des communautés végétales. L'intensification des pratiques agricoles (extension des champs, diminution des temps de jachère), de l'élevage domestique et des coupes de bois énergie face à de telles situations de pauvreté floristique peuvent aboutir aux processus de désertification, au

franchissement de seuils vers des états de moins en moins productifs. Inverser la trajectoire des écosystèmes une fois qu'ils ont franchi des seuils de dégradation, nécessite l'intervention de l'homme (Friedel, 1991).

Réhabilitation des milieux post-culturaux du sud-ouest nigérien.

5ème Partie

5ème Partie : Réhabilitation des milieux post-culturaux du sud-ouest nigérien.

Les écosystèmes post-culturaux de la zone d'étude présentent dans l'ensemble une structure simplifiée, basée sur la dominance de thérophytes et de l'arbuste *Guiera senegalensis*. Cette végétation est adaptée aux conditions environnementales et aux formes de perturbations actuellement pratiquées (cf. quatrième partie et Grouzis, 1991). Cependant, le développement de cette végétation pendant les années de jachère pratiquées, ne permet pas dans la majorité des cas, la reconstitution de conditions favorables pour assurer la pérennité des systèmes agraires. Les stocks en matière organique, au bout de cinq ans de jachère, ne sont pas suffisants pour lever tout risque de dégradation physique des sols (cf. troisième partie), en particulier les risques d'encroûtement qui limitent les capacités d'infiltration (Peugeot, 1995) et donc, le développement de la végétation. Le développement de l'agriculture dans la zone d'étude est surtout marqué par l'extensification spatiale d'un système de culture à jachère courte qui n'a pas encore connu d'évolution technique majeure, sur l'ensemble des terres potentiellement cultivables, et souvent de moins bonnes qualités (Loireau, 1998). La diminution du temps de jachère entraîne une augmentation de la fréquence des perturbations (défrichements, culture), une diminution de l'espace et des ressources pastorales. L'intensification de ces usages peut conduire à une simplification plus poussée des milieux post-culturaux et une diminution de leur capacité de régénération (cf. quatrième partie). La multiplication des coupes au cours d'une même saison éliminent les arbustes. Une augmentation de la charge animale entraîne une forte diminution de la contribution des graminées comme *Ctenium elegans* par piétinement ou broutage, et une forte diminution de la production ligneuse par réduction de l'appareil photosynthétique.

La suppression de toute pression anthropique sur ces écosystèmes induit une véritable dynamique de régénération sur toutes les stations (cf. quatrième partie). Cependant, le stade atteint au bout des trois ans d'expérimentation sur chacune des stations dépend de son état initial. La dominance progressive des Poacées et l'installation de pérennes sur les milieux les

plus favorables marquent une réelle dynamique successionnelle au niveau de la strate herbacée. Elle s'accompagne d'une amélioration des états de surface du sol ; le recouvrement des croûtes d'érosion diminue alors que celui des croûtes microphytiques, considéré comme bon indicateur biologique de remise en culture par les agriculteurs locaux, et ceux de la litière et des termites augmentent. Cependant, deux faits majeurs ne permettent pas le recours systématique à la mise en défens des jachères. Le rôle de ces milieux comme source d'approvisionnement en bois de feu (Achard *et al.*, 1997 ; Loireau, in prep) et en fourrages est important, voire indispensable, comme le soulignent César et Coulibaly (1993). De plus, le contexte juridique au Niger permet difficilement de laisser une parcelle en jachère sans exploitation, le temps nécessaire pour reconstituer les conditions culturales. Le projet de code rural est très ambigu concernant les jachères car cette technique est considérée à la fois comme une technique possible de reconstitution du facteur de production sol, à la fois comme l'absence de mise en valeur des terres. Une personne qui ne cultive pas sa parcelle trois années de suite pourrait alors perdre son droit d'usufruit.. L'exploitation dans ce cas, n'entraîne pas forcément une mise en culture mais peut se limiter à une simple coupe des arbustes. Le défrichement marque le droit d'usufruit en montrant une intention de cultiver.

Pour Friedel (1991) ou Young et Solbrig (1992), le maintien des écosystèmes à un certain état d'équilibre "métastable", face à une pression croissante, nécessite un changement des techniques culturales et de gestion du milieu pour éviter de franchir un seuil de dégradation. Les essais agronomiques menés au Sahel montrent que la sécurisation et l'augmentation de la production agricole sont possibles, mais guère envisageables dans le contexte socio-économique actuel. De plus, Young et Solbrig (1992) se demandent s'il n'est pas dangereux d'augmenter artificiellement la production sur ces sols au delà de leur réelle capacité à produire. L'intensification de l'agriculture par l'utilisation d'intrants n'empêchent effectivement pas à ces sols de s'appauvrir en matière organique, et d'aboutir à des phénomènes d'encroûtement déjà débattus dans ce travail. Peltier (1993) propose alors d'intervenir durant la phase post-culturale pour reconstituer le plus rapidement possible la

végétation, la matière organique, afin de revenir à l'état du système avant la perturbation (figure 61).

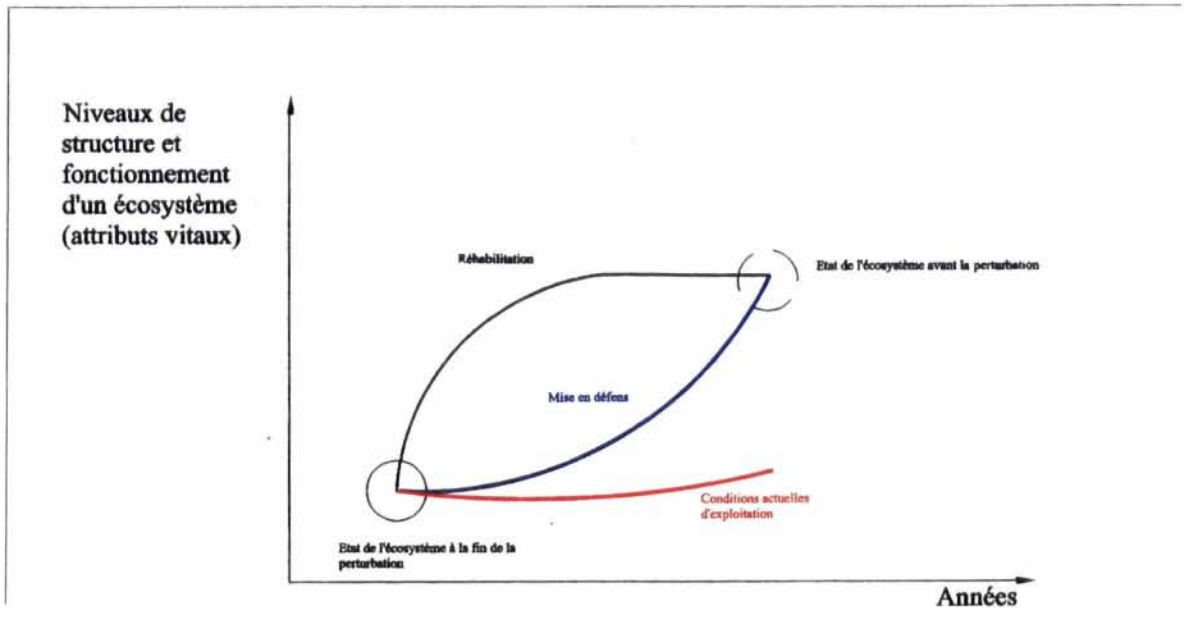


Figure 61 : Trajectoires possibles des écosystèmes perturbés lors de la phase post-culturale sous différentes contraintes.

Des essais de réhabilitation et de restauration, visant à amorcer et accélérer la régénération des milieux post-culturaux ont été réalisés sur les stations J (jupe sableuse) et G1 (glacis dégradé) du site de Banizoumbou. Comme la ressource hydrique est le premier facteur limitant du développement de la végétation sur la zone d'étude, l'objectif immédiat de ces essais est d'agir sur les états de surface du sol afin d'améliorer les conditions d'infiltration et donc, la ressource hydrique pour la végétation. Les objectifs attendus de ces essais en favorisant le développement de la végétation, sont d'améliorer la productivité, la structure et le fonctionnement de ces écosystèmes. Les trajectoires de ces écosystèmes, sous l'impulsion des opérations de réhabilitation, ont été évaluées par le suivi d'un certain nombre des attributs vitaux définis par Aronson *et al.* (1995) (cf. paragraphe 1.). Les traitements réalisés concernent des techniques de paillage, de scarification et des deux combinées, comme elles ont été déjà tentées avec une réussite certaine par Chase et Bouderesque (1989) dans la même région, mais sur les zones nues des brousses tigrées.

1. Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés.

Face aux situations de crises alimentaires que connaît régulièrement le Sahel, les développeurs cherchent à améliorer la production agricole. Ils tentent parallèlement d'améliorer la gestion des espaces en diminuant les risques d'érosion (cordons pierreux), en réhabilitant des parcelles dégradées (paillage, techniques du Zaï) et en améliorant l'utilisation des milieux post-culturaux pour des fins pastorales en particulier (Hoesfloot *et al.*, 1993). Les agriculteurs nigériens utilisent de façon traditionnelle les techniques de fumure ou de paillage afin d'améliorer les conditions culturales aux endroits dégradés de leurs champs. La litière laissée sur le sol, voire volontairement éparpillée, a pour fonctions de protéger le sol et de piéger le sable. En terme écologique, la restauration et la réhabilitation ont pour objectifs majeurs, au niveau des écosystèmes, à la fois de maintenir ou d'accroître la productivité primaire ou secondaire et d'améliorer la diversité biologique et la stabilité et, au niveau des paysages, de faciliter la réintégration quant ils ont été gravement fragmentés (Aronson *et al.*, 1993 et 1995).

La restauration est définie par la *Society for Ecological Restoration* comme la transformation intentionnelle d'un milieu pour y rétablir l'écosystème considéré comme indigène et historique, ce qui suppose alors un retour parfait ou presque, à l'"écosystème originel" (restauration *sensu stricto*). Aronson *et al.* (1995) limite le terme "restauration *sensu lato*" au rétablissement de la biodiversité, de la structure et des fonctions des écosystèmes présentant encore un niveau suffisant de résilience (dégradation non irréversible) pour que l'intervention de l'homme soit, si possible, limitée (par exemple, une simple diminution de la pression anthropique).

Quand la pression exercée sur un écosystème a été trop intense ou s'est maintenue trop longtemps, il est possible qu'il ne présente plus une capacité suffisante pour se régénérer et cela, malgré la diminution de la pression exercée. La dynamique est alors quasi nulle comme il a été observé sur les friches (classe 5 de la typologie régionale, cf. troisième partie) dans les conditions actuelles de la zone d'étude. Dans les cas où des milieux présentent une certaine

dynamique de régénération, les contraintes permanentes (pâturage, coupes de bois, ...) la limitent fortement.

La remise en culture au bout de cinq ans de jachère interrompt cette régénération et laisse, dans la majorité des cas, un écosystème à un état présentant encore certains risques de dégradation. L'intervention humaine est alors indispensable pour faire évoluer l'écosystème, soit en le replaçant sur une trajectoire favorable (réhabilitation), soit en le transformant pour un nouvel usage (réaffectation). La réhabilitation vise à réparer les fonctions et les propriétés dégradées ou bloquées de l'écosystème en le repositionnant sur une trajectoire favorable, qui sera peut être à définir.

La restauration et la réhabilitation ont pour objectif de recréer des écosystèmes autonomes (ou durables), caractérisés par une succession dans les communautés animales et végétales et par la capacité de réparer suite à des perturbations modérées, d'origines naturelles ou anthropiques. Ces objectifs impliquent un retour à un niveau de flux d'énergie et de cycles de nutriments, ainsi que le bon fonctionnement hydrique du sol au niveau de la rhizosphère de l'écosystème. Cependant, la restauration *sensu lato* et la réhabilitation ne permettent peut être que le retour à l'un des stades alternatifs stables possibles que peut présenter l'écosystème. Ces stades alternatifs stables ont pu être des stades atteints lors de la dégradation de l'écosystème originel. La distinction entre la restauration et la réhabilitation réside dans le fait que la restauration implique que l'écosystème possède encore une capacité de résilience suffisante pour se réparer de lui-même, alors que la réhabilitation s'adresse à des écosystèmes ne possédant plus cette capacité. Dans le cadre d'une réhabilitation, l'investissement peut être plus court dans le temps et se limiter au seul démarrage de la régénération.

La réaffectation concerne la transformation et l'assignation à un nouvel usage d'un écosystème. La réaffectation peut se limiter à une modification afin de privilégier un élément ou une fonction particulière de l'écosystème, susceptible d'intéresser les aménageurs. L'aménageur peut décider par exemple, que telle zone très dégradée sera affectée à la fonction d'impluvium pour alimenter les zones en aval. Les plantations d'arbres exogènes sont également des exemples de réaffectation qui peuvent nécessiter par contre un important

investissement de départ, ainsi que des apports permanents sous formes d'intrants et de travail afin de réaliser les objectifs de la réaffectation.

Aronson *et al* (1993 et 1995) ont défini, à partir des travaux d'Odum (1969), une liste d'attributs vitaux de l'écosystème. *Ce sont les caractéristiques ou attributs qui sont corrélés et qui peuvent servir d'indicateurs de la structure et du fonctionnement d'un écosystème. Ils peuvent donc être utilisés dans la formulation d'hypothèses et la conception d'expérimentations relatives à la restauration et à la réhabilitation.* Ces attributs vitaux, définis précisément par Aronson *et al* (1995), se réfèrent soit à la structure, soit au fonctionnement de l'écosystème.

La liste suivante distingue (en gras) les attributs vitaux de l'écosystème (AVE) utilisés dans la suite de ce travail pour évaluer l'impact des différents traitements de réhabilitation :

I. attributs liés à la structure.

1. richesse floristique en espèces végétales pérennes.

2. richesse floristique en espèces végétales annuelles.

3. recouvrement total de la végétation.

4. stock de graines viables dans le sol.

5. Phytomasse aérienne sur pied.

6. diversités alpha (nombre d'espèces dans une communauté) **et bêta des végétaux** (importance du remplacement des espèces ou des changements biotiques le long de gradients environnementaux ; cf. Whittaker, 1975) **et des animaux.**

7. spectre biologique (Raunkiaer, 1934).

8. présence et activité des espèces clés de voûtes (végétales et/ou animales). Il s'agit des espèces dont la présence, à une densité suffisante, est nécessaire au maintien de la structure et du fonctionnement de l'écosystème.

9. abondance relative de mésofaune détritivore.

II. attributs liés au fonctionnement.

1. productivité de la biomasse.

2. taux de matière organique du sol.

3. recouvrement et nature des états de surface du sol (cf. Casenave et Valentin, 1989).

4. coefficients d'infiltration des pluies.

5. réserve maximale en eau disponible.

6. coefficient d'efficacité des pluies.

7. capacité d'échanges cationiques.

8. durée de disponibilité en eau du sol.

9. efficacité d'utilisation de l'azote.

10. efficacité des cycles. Il mesure le ratio du total de l'énergie (ou, plus couramment, d'un élément tel que l'azote ou le carbone), qui est recyclé dans un écosystème par rapport à la quantité totale d'énergie (ou de l'élément) mobilisée par un ou plusieurs éléments de l'écosystème.

11. infectivité potentielle de certaines plantes "clé" ou "indicatrices" par les rhizobiums et les mycorhizes.

2. Méthodes.

2.1. Les techniques de réhabilitation.

Casenave et Valentin (1989) ont montré qu'au Sahel, les conditions d'infiltration (AVE. II.4.) , étaient dépendantes des états de surfaces du sol (AVE II.3.), ainsi, par conséquence, que la quantité d'eau disponible dans le sol (AVE II.5.) et sa durée de disponibilité pour les plantes (AVE II.8.). Hiernaux (1984) et Seghieri (1990, 1996) ont montré en zone aride que la quantité et la durée de la disponibilité des ressources hydriques influençaient non seulement la production végétale, mais aussi la composition floristique. **Pour les essais de techniques de réhabilitation visant à améliorer la production et la diversité végétale, il a alors été choisi de jouer principalement sur l'amélioration des états de surface du sol.**

L'évolution de l'impact des différentes techniques utilisées a été comparée à celle des parcelles témoins, seulement mises en défens (**traitement C** pour le terme anglais *control*). Les techniques utilisées sont :

* un travail superficiel du sol effectué à l'aide d'une iler, outil de sarclage formé d'une lame en croissant au bout d'un long manche. Le travail est perpendiculaire au sens de la pente (**traitement T** pour le terme anglais *tillage*). La profondeur du travail du sol est de dix centimètres environ. Il correspond à la technique du sarclage qu'effectuent les agriculteurs nigériens pour détruire les mauvaises herbes et améliorer les conditions d'infiltration. Il déstructure les croûtes qui se sont développées dans la parcelle et améliore ainsi les capacités d'infiltration des sols (Peugeot, 1995). Le terme sarclage est alors parfois utilisé dans la suite de cette thèse, non pour son action sur les mauvaises herbes, mais pour son action mécanique sur les croûtes. Ce travail du sol est normalement effectué dans cette expérimentation avant le début de la saison des pluies et avant l'apparition des premières vagues de germinations des herbacées. Cependant, en 1993, le sarclage a eu lieu tard (fin juin) et certaines herbacées avaient déjà germé. Les résultats de 1993, concernant la strate herbacée, seront en conséquence discutés avec précaution.

- un paillage (ou "*mulch*", **traitement M**), constitué de tiges de mil stérilisées par battage. Il couvre totalement le sol sur trois à quatre centimètres d'épaisseur. Cela correspond à une application de 12 tonnes de résidus de récolte à l'hectare. Le paillage prévient de l'effet "*splash*" des gouttes de pluie sur la surface des sols (Roose, 1991) et limite ainsi la formation potentielle de croûtes par déstructuration et réorganisation des agrégats en croûtes pelliculaires (Casenave et Valentin, 1989). De plus, le paillage attire la faune détritivore et en particulier, les termites comme l'avait constaté l'évêque Thevenoud au Burkina Faso (1938). Les termites, en creusant des galeries superficielles et souterraines, brisent les croûtes et améliorent les conditions physiques et chimiques des sols, telles que la stabilité structurale, la densité apparente, la porosité, les conditions d'infiltration et la quantité de matière organique (Lee et Wood, 1971; Brian, 1978, Elkins *et al.*, 1986; Miedema *et a.l*, 1994; Abbadie *et al.*, 1992 ; Peugeot 1995). Cependant, lorsque les

termites (du genre *Macroterme*) construisent des termitières "cathédrales", l'accumulation de matériaux fins augmente au contraire la capacité de ruissellement.

* un travail du sol suivi d'un paillage sur la même station (**traitement TM**, *Tillage + Mulch*) qui résulte de la combinaison des deux techniques précédentes.

2.2. Le protocole expérimental.

2.2.1. Sites expérimentaux et systèmes d'analyses.

Deux stations contrastées du point de vue de leur état de dégradation ont été choisies pour cette expérimentation. Ce sont les stations J et G1 qui ont déjà été localisées sur les classes de la typologie régionale dans la quatrième partie de ce travail. Sur les deux stations, divisées en système de blocs randomisés, les traitements de réhabilitation ont été menés sur des parcelles de 100 m², à raison de trois répétitions par traitement.

Les traitements ont été appliqués une première fois en 1993 et une deuxième fois avant le début de la saison des pluies de 1994. La dernière année de mesure, 1995, n'a donc pas vu l'application des différents traitements, ce qui permet de voir leur effet résiduel sur l'évolution des différents paramètres de suivi et définis ci-dessous.

2.2.2. Les paramètres suivis.

Les paramètres concernant les états de surface du sol (AVE II.3), la strate ligneuse et la strate herbacée ont été suivis selon le même protocole que celui décrit dans la quatrième partie. Le suivi des paramètres concernant le sol ont été rajoutés :

- **la densité apparente** des horizons superficiels des sols (0 - 10 cm de profondeur) a été déterminée suivant la méthode des cylindres de volume connu décrite par Blake (1965). Cinq répétitions par parcelle ont été effectuées en octobre 1995, correspondant à la fin du suivi. En février 1996, des fosses pédologiques, de deux mètres de profondeur ont été décrites sur les deux stations et pour les différents essais de réhabilitation. A cette occasion un profil de densité apparente le long de la fosse a été fait suivant la même méthode des cylindres. Trois répétitions ont été faites par horizon. La description des profils est présentée en annexe.

- **l'humidité du sol** (AVE II.5) a été suivie en utilisant des sondes à neutrons de type Nardeux Solo 25. Un tube d'accès a été installé sur chaque répétition pour chaque traitement, soit un nombre de trois tubes par traitement sur chacune des stations. Au total 24 tubes d'accès de 130 cm de profondeur ont été suivis à des intervalles de dix jours pendant les saisons des pluies 1994 et 1995, et à des intervalles mensuels pendant la saison sèche. L'humidité des sols a été mesurée par l'équipe de l'Institut des Radio Isotopes de Niamey. Les mesures n'ont pu malheureusement se faire du 16/08/1995 au 29/09/1995 pour des raisons techniques.
Les paramètres de calibration n'ont pas d'impact sur les résultats puisque seule la comparaison relative des conditions d'humidité entre les traitements est analysée ici. Cependant, comme l'humidité volumique des sols est présentée en $cm3.cm^{-3}$ de sol plutôt qu'en comptes neutroniques, les coefficients de calibrations obtenus par Cuenca *et al* (1997) sur une station proche sont utilisés. Comme les textures et les densités apparentes entre les deux sites jachère et celui de Cuenca *et al* (1997) sont similaires, l'humidité des sols, ici estimée, est proche de l'humidité réelle (Delabre *et al,* en prep.).

- **la texture et les taux d'azote et de carbone dans les sols** ont été déterminés à la fin du suivi (octobre 1995). Les échantillons de sol pour analyse ont été prélevés à la tarière, entre, 0-10 cm et 25-35 cm de profondeur. Les parcelles étant carrées, les prélèvements ont été effectués le long des diagonales, tous les deux mètres, aux deux profondeurs choisies. Cela représente dix prélèvements par horizon et par répétition. Ces dix prélèvements ont été ensuite mélangés et un échantillon de 200 g a été récolté par horizon et par répétition. Les analyses ont été menées au laboratoire de l'Ecole Normale Supérieure de Paris suivant les mêmes protocoles que ceux définis dans la troisième partie.

3. Résultats : les effets des techniques de réhabilitation.

3.1. L'évolution des états de surface du sol.

Durant les trois années d'expérimentation, seul le traitement M sur la station J présente en 1994 un taux de sol nu (points sans végétation) inférieur à 50 % (tableau 27). Globalement, la couverture de sol nu augmente sur les trois années à l'exception du traitement TM où il n'évolue pas significativement. En octobre 1995, ce sont les parcelles paillées, M et TM, qui présentent les taux de sol nu les moins importants, respectivement de 81,7 % et de 71,7 % sur la station J, 95 % et 84,7 % sur la station G1.

Tableau 27 : Evolution de la couverture du sol nu selon les traitements durant les trois années d'expérience. Le taux de sol nu (points sans végétation) résulte du suivi des lignes de points quadrats.

Stations / traitements	station J			station G1		
	10/93	10/94	10/95	10/93	10/94	10/95
C	56	75	97	72.5	69	97.5
T	62.7	88	91.7	81	93.7	97
M	68	21	81.7	77.3	80.7	95
TM	74.7	78.7	71.7	85	86.5	84.7

Au début de l'expérimentation, les croûtes d'érosion et les croûtes structurales ST3, caractérisées par une faible capacité d'infiltration, représentent 27,5 % de la couverture totale des états de surface sur la station J, 25 % sur la station G1 (tableau 28). L'évolution des états de surface du sol varie suivant les traitements mais elle est globalement similaire pour les deux stations (figures 62 et 63).

Tableau 28 : Recouvrement moyen des différents états de surface du sol sur les stations J et G1 au début de l'expérimentation (juin 1993).

	J	G1
Litière %	24.5	8.5
Termites %	3.5	12
Croûtes microphytiques %	14.5	12
ST2 %	26	35.5
ST3 %	15	0
Croûtes d'érosion %	12.5	25

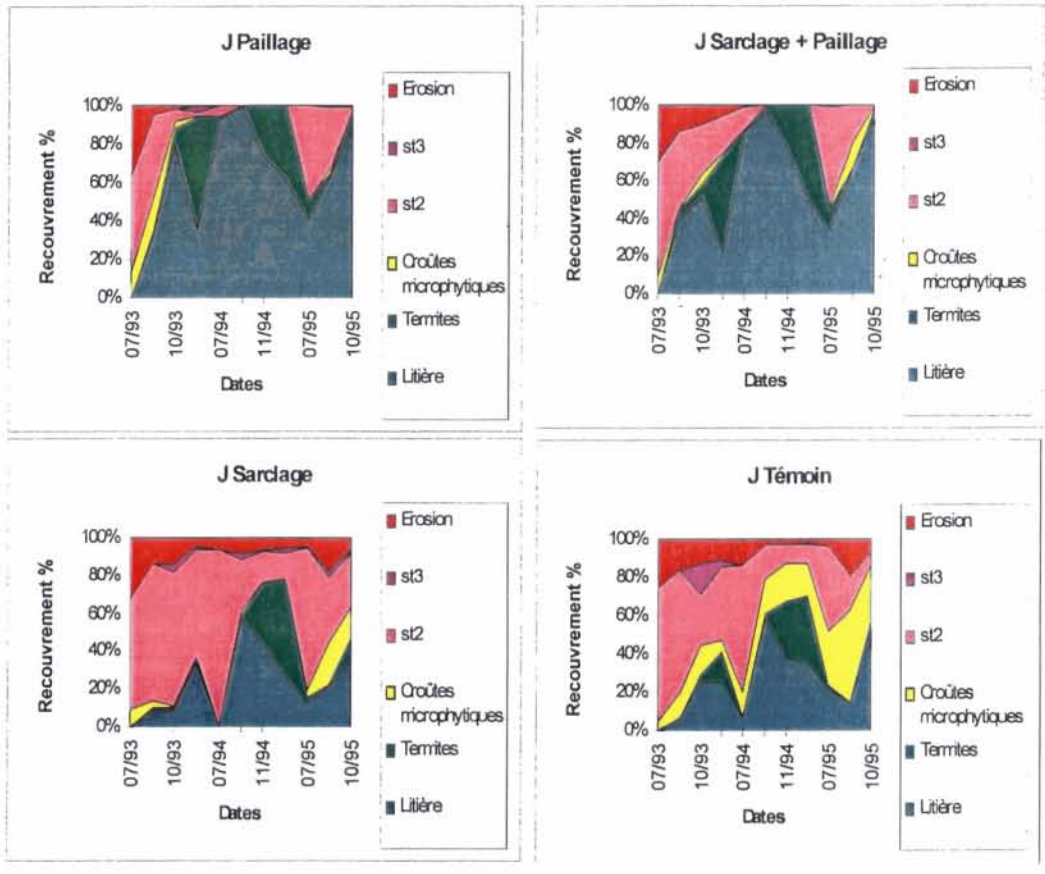


Figure 62 : Evolution des états de surface du sol suivant les traitements sur la station J (jupe sableuse).

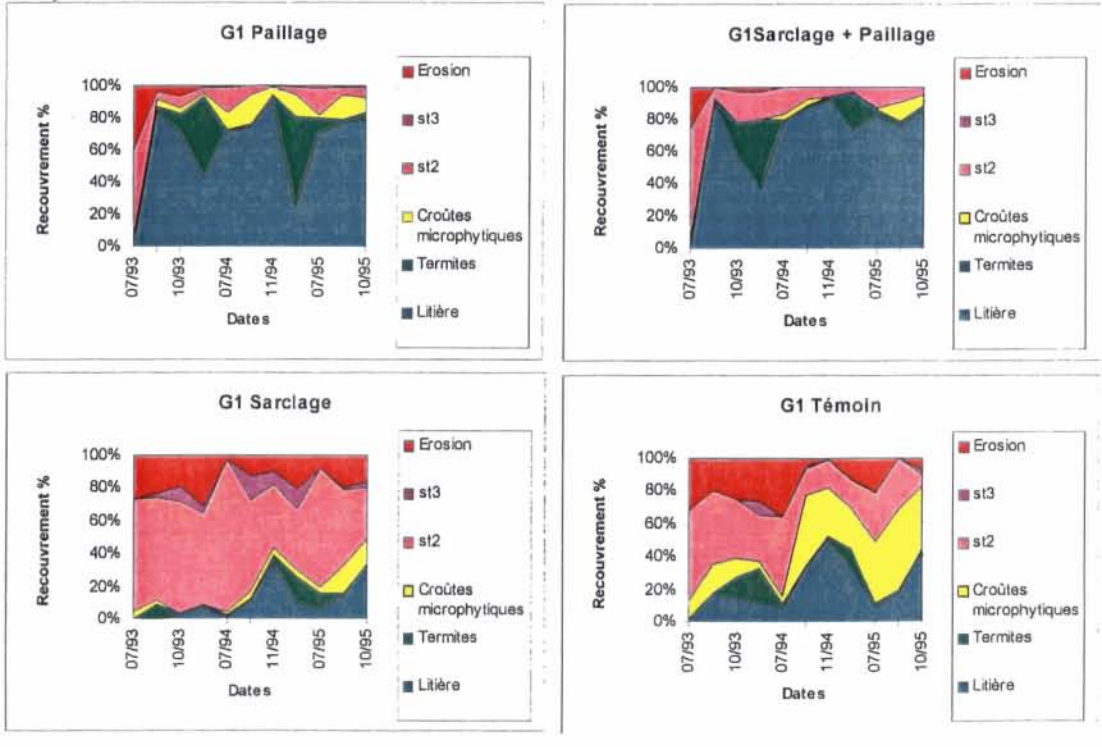


Figure 63 : Evolution des états de surface du sol suivant les traitements sur la station G1 (glacis dégradé).

* Parcelles témoins (C).

La composition des états de surface du sol est plus diversifiée que pour les autres traitements. Elle est caractérisée par une augmentation saisonnière du recouvrement de la litière et des placages de termites durant la saison sèche, et une augmentation des croûtes microphytiques durant la saison des pluies. Le développement de ces derniers états de surface du sol est plus important sur la station G1 que sur la station J. Les croûtes d'érosion et les croûtes structurales ST3 diminuent progressivement au cours des trois années d'expérimentation et représentent moins de 10 % en octobre 1995.

* Parcelles sarclées (T).

La première année, les croûtes structurales ST2 dominent l'ensemble des états de surface du sol. Cette dominance diminue progressivement au profit de la couverture de la litière, des placages de termites et des croûtes microphytiques. Les croûtes d'érosion diminuent, de 30 % à moins de 10 % sur la station J, de 27 % à 18 % sur G1. Elles disparaissent sous l'effet du travail superficiel du sol mais réapparaissent rapidement au cours de la saison des pluies comme l'a souligné Peugeot (1995). Les croûtes microphytiques ne se développent qu'une fois le travail du sol abandonné.

* Parcelles paillées (M et TM).

Le paillage artificiellement apporté les deux premières années masque les autres états de surface du sol. La troisième année, l'augmentation de la litière est due à l'accumulation de litière produite sur place. Le recouvrement de la litière diminue durant la saison sèche au profit des placages de termites. Les croûtes d'érosion et ST3 disparaissent totalement dès la première année. Les croûtes ST3, après avoir disparu les deux premières années, réapparaissent un peu en 1995. Un développement significatif des croûtes microphytiques est noté sur la station G1 la deuxième année.

Les conditions de surface du sol s'améliorent sur les parcelles témoins et encore plus rapidement, sur les parcelles paillées (M et TM). Un simple travail du sol en début de saison des pluies a un effet très éphémère sur les croûtes puisqu'elles se reforment au cours de la même saison.

3.2. La densité apparente.

Les densités apparentes superficielles (tableau 29) sont significativement différentes entre le groupe des parcelles paillées (M et TM) et le groupe des parcelles non paillées (T et C). Le premier groupe (M et TM) a une densité apparente plus faible que l'autre groupe. Les profils de densité apparente (0-200 cm de profondeur) établis en février 1996 sur des fosses pédologiques montrent que globalement, cette diminution de la densité apparente sous l'effet du traitement TM est générale sur l'ensemble du profil (figure 64).

Tableau 29 : Evolution de la densité apparente superficielle, 0-5 cm de profondeur, selon les traitements (mesure d'octobre 1995).

Station / traitement	J	G1
C	1.63	1.60
T	1.62	1.61
M	1.53	1.53
TM	1.52	1.55

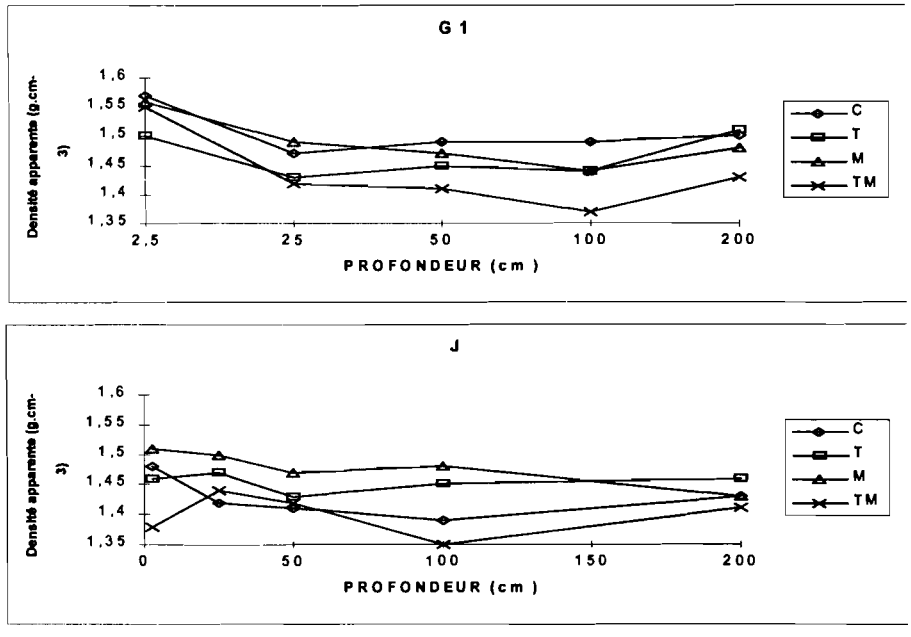


Figure 64 : Evolution de la densité apparente avec la profondeur suivant les traitements sur les stations G1 et J.

3.3. L'évolution de l'humidité des sols.

L'observation des profils d'humidité des sols durant la saison des pluies montre sur les deux stations une plus grande capacité d'infiltration pour les parcelles paillées (traitements M

et TM) que pour les autres parcelles dès la première année de suivi 1994 (figures 65 et 66). La zone humide est alors plus profonde (> 120 cm de profondeur) et l'eau disponible est plus importante. Les profils observés en fin de saison sèche sont secs et dépendent de la texture des sols. Les profils secs sont similaires pour tous les traitements mais différents suivant la station. Tous les traitements présentent donc au départ de l'expérimentation les mêmes conditions de texture et d'humidité des sols. Les différences hydrodynamiques des sols suivant les traitements sont fonction de la différence entre le profil observé à une date donnée et le profil minimum observé en fin de saison sèche.

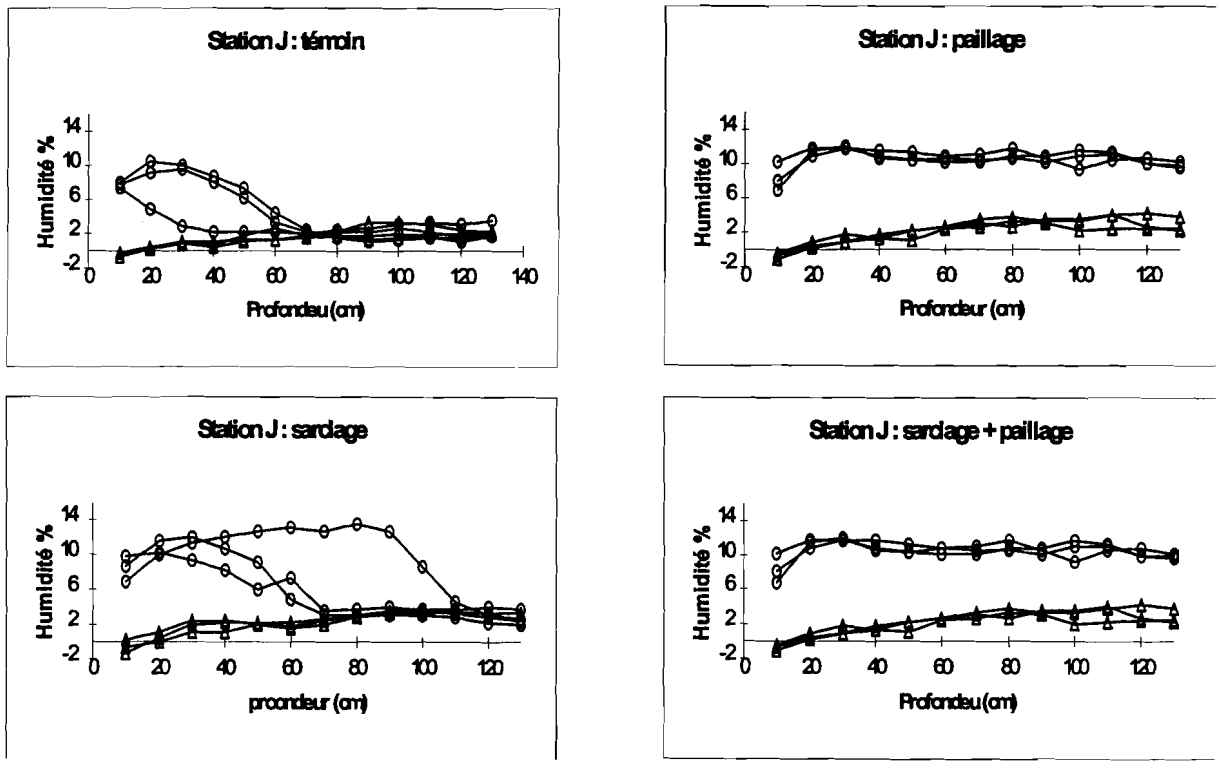


Figure 65 : Hydrodynamique des sols suivant les traitements sur la station J (3 répétitions). Les courbes marquées d'un triangle correspondent au profil sec, mesuré le 3/06/94 ; les courbes marquées d'un cercle correspondent aux mesures du 22/07/94, 1 jour après une pluie supérieure à 100 mm.

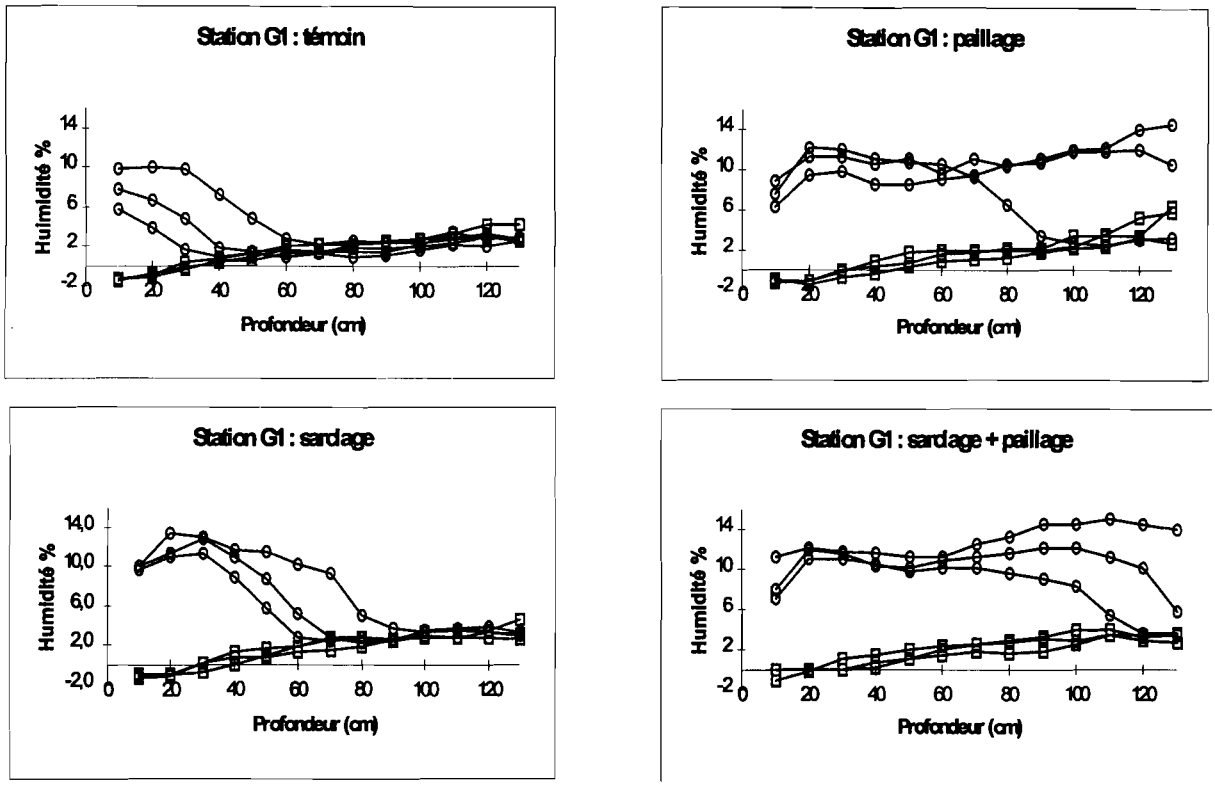


Figure 66 : Hydrodynamique des sols suivant les traitements sur la station G1 (3 répétitions). Les courbes marquées d'un carré correspondent au profil sec, mesuré le 3/06/94 ; les courbes marquées d'un cercle correspondent aux mesures du 22/07/94, 1 jour après une pluie supérieure à 100 mm.

* Hydrodynamique des sols.

La dynamique de l'eau dans les sols pour chaque traitement est illustrée ici par le profil observé au milieu de la saison des pluies (date du 22/07/1994 ; figures 65 et 66). Sur la station G1, les parcelles témoins ont la plus faible capacité d'infiltration, le front d'humectation atteignant seulement 60 cm de profondeur. Les horizons sous jacents sont secs (60 cm - 130 cm de profondeur) et l'eau présente n'est alors pas disponible pour les systèmes racinaires plus profonds. Seuls, les horizons superficiels sont humides avec une humidité volumique de 8 à 10 $cm^3.cm^{-3}$. Les parcelles travaillées (traitement T) présentent un front d'humectation un peu plus profond (environ 80 cm de profondeur) avec une humidité volumique plus importante (12 $cm^3.cm^{-3}$), proche de la capacité au champ. Une différence importante est notée pour les parcelles paillées (traitements M et TM). Le front d'humectation est plus profond (de 90 cm à 130 cm de profondeur) avec des humidités volumiques supérieures à 12 % $cm^3.cm^{-3}$. Cependant, la variabilité de l'humidité volumique en profondeur entre les répétitions est plus

importante pour ces deux traitements. Ce sont les techniques de paillage qui sont les plus efficientes sur la station G1.

Sur la station J, les observations concernant les traitements C et T sont proches de celles réalisées sur la station G1. Une plus forte capacité d'infiltration est notée sur les traitements paillés (M et TM) où le front d'humectation atteint systématiquement le fond du tube d'accès. La variabilité entre les répétitions est faible, voire nulle, pour ces deux derniers traitements. L'effet paillage est plus efficace sur la station J que sur la station G1.

* L'évolution des stocks d'eau des sols.

Le stock en eau S d'une tranche de sol est défini comme le volume d'eau contenu dans le volume de sol considéré. Il est calculé par l'intégrale de la teneur en eau volumique en fonction de la profondeur. Comme la teneur en eau volumique est mesurée ici tous les dix centimètres, le stock en eau est égal à la somme des teneurs en eau volumique des tranches de sol considéré.

Les herbacées annuelles développent leur système racinaire sur les trente premiers centimètres du sol, alors que les racines des arbustes exploitent l'ensemble du profil suivi ici (0-130 cm). Il est donc décidé de suivre particulièrement l'évolution des stocks d'humidité pour ces deux tranches de sol 0-30 cm et 0-130 cm de profondeur. La différence entre les traitements est significative quand elle excède l'erreur de mesure. L'erreur maximum de mesure a été calculée selon la méthode décrite par Vandervaere *et al* (1997). Elle est de 5 mm pour les horizons superficiels et de 15 mm pour les horizons sous-jacents.

Pour la station G1 (figure 67), une différence de stock est notée entre traitements pour les horizons superficiels. Cependant, cette différence est plus marquée pour la tranche 0-130 cm de profondeur, reflétant les capacités d'infiltration de chacun des traitements. Les stocks d'humidité sont croissants, des parcelles témoins aux parcelles travaillées, paillées et enfin aux parcelles TM. Le stock d'humidité sur les témoins augmente tout le long de la saison des pluies pour atteindre un maximum de 90 mm en fin de saison , alors qu'il atteint 160 mm dès les premières pluies importantes pour le traitement TM. Ainsi, les arbustes disposent d'eau en

profondeur plus rapidement. En 1995, l'effet du travail du sol n'est plus significatif, les traitements M et TM disposent des mêmes stocks d'humidité. Cependant, la prudence s'impose sur ce constat du fait de l'absence de mesures durant une grande partie de la saison des pluies 1995.

Sur la station J (figure 68), les effets des différents traitements ne sont distinguables dans les horizons superficiels, qu'au tout début de la saison des pluies. Ensuite, quelque soit le traitement, la tranche 0-30 cm est saturée. Pour la tranche 0-130 cm, les parcelles témoins ont des stocks significativement inférieurs aux autres traitements. Ces derniers ne présentent pas de différences. En 1995, l'effet du travail du sol n'est plus visible.

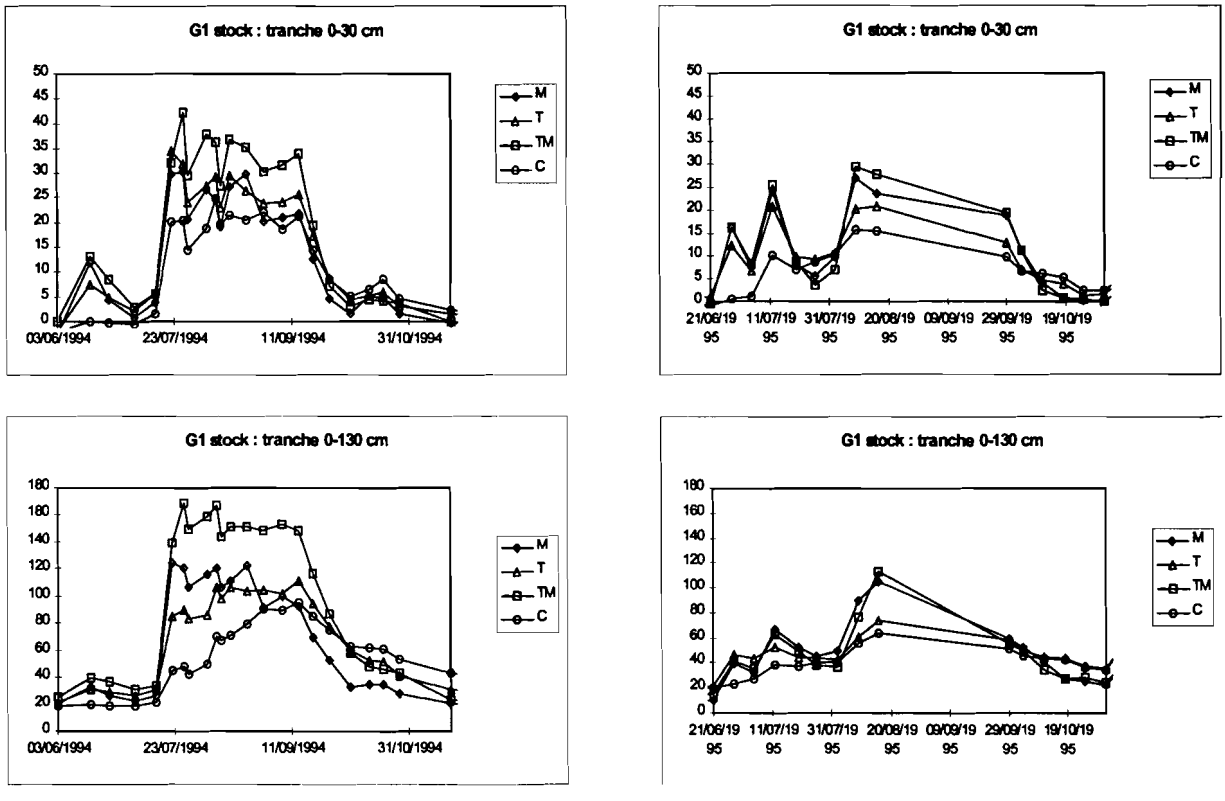


Figure 67 : Evolution des stocks hydriques sur les tranches 0-30 cm et 0-130 cm sur la station G1 au cours des saisons des pluies 1994 et 1995.

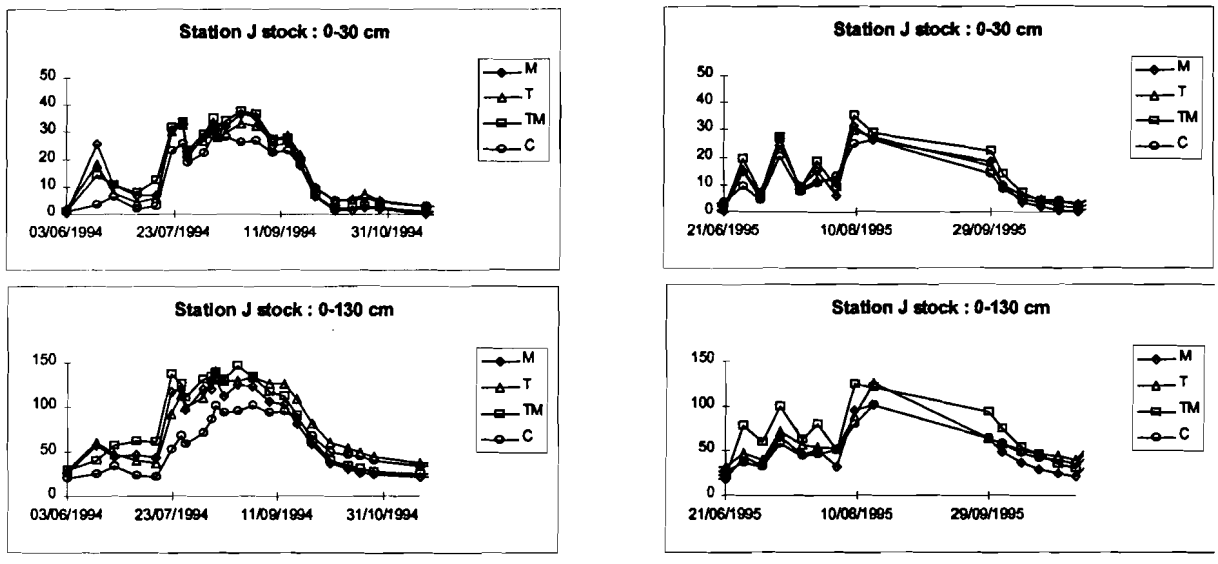


Figure 68 : Evolution des stocks hydriques sur les tranches 0-30 cm et 0-130 cm sur la station J au cours des saisons des pluies 1994 et 1995.

En conclusion, l'effet des différentes techniques de réhabilitation est plus visible sur la station G1. Le paillage se traduit par une nette amélioration des conditions d'infiltration, en surface et en profondeur, entraînant des stocks d'eau plus importants que les autres traitements et cela, de façon plus rapide. Sur la station J, toutes les techniques de réhabilitation augmentent les capacités d'infiltration par rapport au témoin en 1994. Cependant, l'effet des différents est atténué en 1995 où il est difficile de les distinguer. En général, effet positif du travail du sol sur les conditions d'infiltration disparaît assez rapidement.

3.4. La productivité des ligneux.

L'impact des techniques de réhabilitation sur les ligneux est appréhendé par l'analyse de l'augmentation annuelle du phytovolume moyen des arbustes (tableau 30 et figure 69).

Tableau 30 : Augmentation annuelle moyenne du phytovolume de 1993 à 1995 suivant les traitements sur les stations J et G1.

Stations	Station J	Station G1
traitement C	0.34	0.64
traitement T	1.09	0.54
traitement M	1.21	0.85
traitement TM	2.15	0.93

La mise en défens s'est déjà traduite par une augmentation de la production annuelle. Les techniques de réhabilitation augmentent encore la production annuelle durant l'expérimentation sur la station J, quelque soit le traitement. En effet, à durée de jachère égale, les productions atteintes se rapprochent de celles correspondant à l'évolution des milieux intermédiaires pour les traitements T et M, de celle des milieux très favorables pour le traitement TM (figure 69). Sur la station G1, Les techniques de paillage entraîne un fort accroissement de la productivité annuelle des arbustes qui se rapprochent de celles atteintes sur des milieux très favorables (tableau 36), en particulier, pour le traitement TM. La productivité observé sur les traitements T (travail du sol) est plus faible que sur une simple mise en défens. Cependant, malgré le très important gain de productivité des ligneux sur G1, la production atteinte à âge égal reste inférieure à celle atteinte sur des milieux intermédiaires (figure 69).

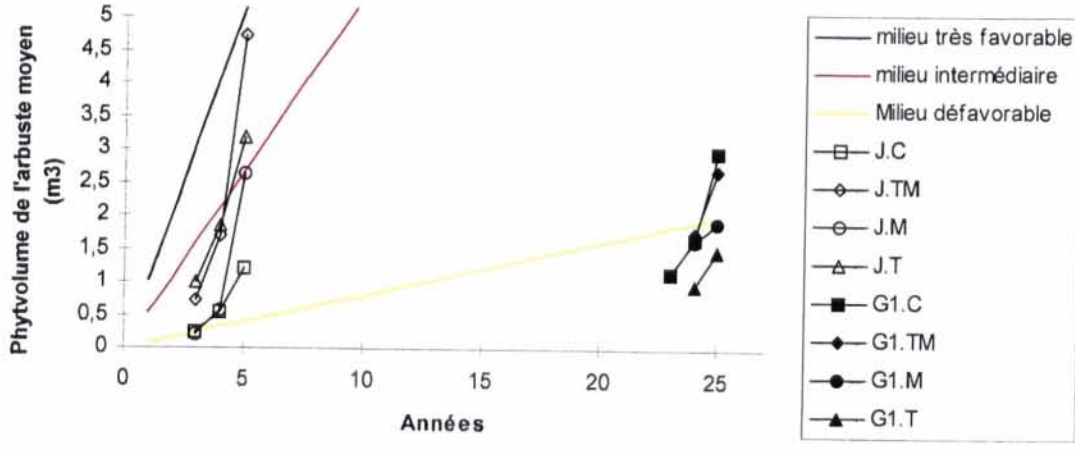


Figure 69 : Evolution du phytovolume de l'arbuste moyen suivant les traitements par rapport à la typologie régionale des milieux post-culturaux.

3.5. L'évolution de la strate herbacée.

3.5.1. Evolution de la biomasse herbacée.

En terme de production de biomasse (tableau 31), l'application tardive des traitements en 1993 a certainement gêné la croissance des plantules déjà présentes et l'installation d'autres

germinations sur la station J. Le maximum de production est atteint effectivement ici sur les parcelles témoins. Les traitements de réhabilitation présentent des résultats nettement inférieurs. Par contre, cette gêne n'apparaît pas sur la station G1, à l'exception du traitement TM (seulement une production de 318 kg/ha contre 933 kg/ha pour le témoin). Ce sont alors les traitements T et M qui présentent les plus grosses productions.

Tableau 31 : Evolution de la phytomasse épigée herbacée produite (kg de matière sèche par hectare).

Station / traitement	Station J			Station G1		
	10/93	10/94	10/95	10/93	10/94	10/95
C	846	937	573	933	1258	454
T	216	587	339	1218	785	598
M	444	1158	1070	1176	1305	1529
TM	339	1505	1268	318	986	1384

Dès la deuxième année de traitement, en 1994, l'ordre décroissant de production TM, M, C et T s'installe et se confirme en 1995 sur la station J. Les deux dernières années, la production de TM est trois fois supérieure à celle de T. Sur la station G1, seul le paillage présente une plus forte production en 1994 que celle obtenue sur les parcelles témoins. En 1995, tous les traitements de réhabilitation sont supérieurs à celle des témoins. Les parcelles paillées présentent une production significativement trois fois supérieure à celle des témoins.

L'évolution du coefficient de l'efficacité des pluies permet une comparaison plus facile entre les traitements (tableau 32).

Tableau 32 : Evolution des coefficients de l'efficacité des pluies (kg. mm^{-1} de pluie).

Station	Station G1		Station J	
année	1994	1995	1994	1995
traitement C	1.33	1.13	1.94	0.85
traitement T	0.83	0.79	1.21	1.11
traitement M	1.64	2.11	2.01	2.85
traitement TM	2.13	2.50	1.52	2.58

Ce coefficient correspond au ratio entre la production épigée herbacée et le total pluviométrique de l'année. Seuls les résultats des années 1994 et 1995 sont présentés dans le

tableau 40. Pour la station G1, le coefficient le plus bas est obtenu pour le traitement T sur les deux années. Pour la station J, c'est T en 1994 et C en 1995. En 1994, seuls les résultats extrêmes sont significativement différents (T et TM sur G1). En 1995, les différences sont beaucoup plus marquées et deviennent significatives entre le groupe des traitements paillages et les non paillés. Pour les traitements C et T sur les deux stations, les coefficients diminuent d'une année à l'autre et de façon significative pour le traitement C sur la station J. Par contre, pour les traitements paillés (M et TM), les coefficients augmentent en moyenne, de 1,7 à 2,3 sur G1, de 1,7 à 2,7 sur J. Il y a donc un effet résiduel positif des traitements paillés sur l'efficacité de l'utilisation de la pluie.

3.5.2. Evolution de la diversité et de la composition floristique.

*** Richesse floristique**

Sur les deux stations G1 et J (tableau 33), la strate herbacée est composée uniquement d'espèces annuelles. Sur les parcelles témoins de la station G1, le nombre d'espèces augmente (de 12 à 15), alors qu'il diminue sur la station J (de 14 à 8). Le traitement paillage (M) entraîne une augmentation du nombre d'espèces sur les deux stations : de 14 à 16 sur G1 ; de 11 à 16 sur J. Le nombre d'espèces n'évolue pas sur la station J (19 espèces) et diminue sur G1 (de 19 à 16). Le travail du sol est marqué par l'enrichissement d'une espèce sur G1 et une diminution de 5 espèces sur J.

A l'exception du traitement paillage seul (M) qui provoque une augmentation de la richesse floristique, il n'y a pas d'évolution claire pour les autres traitements. Les parcelles paillées (M et TM) sont globalement plus riches que les témoins et les parcelles sarclées (T).

*** Diversité floristique.**

La diversité floristique (tableau 33), appréciée par la réciproque de l'indice de Simpson, diminue sur les parcelles témoins des deux stations, mais pas de façon significative. Par contre, elle augmente globalement sur les essais de paillage (traitements M et TM), de façon significative sur les essais paillage (M) de la station J (de 2,71 à 4,27). Le travail du sol (traitement T) entraîne une diminution significative de la diversité sur les deux stations.

Tableau 33 : Evolution de la composition floristique sur les stations G1 et J de 1993 à 1994 (ce : *Ctenium elegans*, al : *Aristida longiflora* et an : *Andropogon gayanus*).

Station G1 / Traitements	Témoin (C)			Paillage (M)			Sarclage + Paillage (TM)			Sarclage (T)		
Dates	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95
annuelles (nombre)	12	14	15	14	13	16	19	19	16	14	16	15
pérennes (nombre)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diversité	3,69	4,07	3,26	4,71	4,50	4,19	5,29	8,62	5,90	5,47	6,25	3,63
Poaceae %	52,6	41,0	39,6	60,1	67,3	62,7	42,4	61,0	58,2	47,8	34,8	51,8
Fabacées %	46,7	45,4	51,6	35,9	27,3	29,7	3,1	6,7	17,8	5,0	36,8	43,9
Cypéracées %	0,4	5,5	3,8	1,7	1,4	0,1	11,5	3,0	1,0	29,8	5,7	0,2
ce + al + an %	10,1	3,4	8,3	23,2	21,3	30,5	5,6	17,5	32,2	0,3	7,2	22,3
Zornia glochidiata %	46,7	44,7	51,6	34,2	27,1	29,5	3,1	6,5	17,8	5,0	32,5	43,9
Mitracarpus scaber %	0,0	5,3	2,0	0,0	3,2	4,2	37,4	12,8	6,3	9,3	16,1	1,3
Jacquemontia tamnifolia %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	4,9	3,0	2,5	0,0	0,0
C3 %	47,0	50,0	53,9	36,0	30,3	34,8	42,9	20,3	31,6	14,3	51,1	45,5
C4 %	53,0	47,7	43,5	62,3	68,7	64,0	54,7	65,7	61,7	81,8	40,9	52,2
Station J	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95
annuelles (nombre)	13	6	8	11	14	16	19	14	19	21	15	16
pérennes (nombre)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diversité	2,73	1,74	2,29	2,71	2,93	4,27	4,83	4,72	5,03	7,84	3,34	2,89
Poaceae %	33,6	24,1	35,0	32,5	36,2	57,4	39,4	41,4	40,6	65,8	35,9	35,6
Fabacées %	57,1	74,1	62,3	56,6	53,6	37,5	1,3	37,5	36,8	13,3	48,5	53,1
Cypéracées %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,5	0,6	0,0	5,8	1,4	0,0
ce + al + an %	19,0	15,0	20,0	22,2	20,3	26,0	5,0	17,2	19,9	17,7	18,9	23,9
Zornia glochidiata %	56,2	74,1	62,3	55,5	53,6	37,5	0,9	36,7	36,8	12,6	48,5	53,1
Mitracarpus scaber %	0,0	0,9	1,0	0,2	0,0	0,1	30,9	9,7	5,9	5,4	3,0	2,8
Jacquemontia tamnifolia %	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,7	0,2	6,5	7,5	2,3	0,0	0,7
C3 %	64,5	75,0	63,4	64,7	54,9	39,1	33,0	46,8	46,6	21,4	53,9	59,9
C4 %	34,5	25,0	35,0	32,5	38,9	57,5	66,6	43,2	40,6	73,3	39,1	35,7

Le paillage (traitements M et TM) entraîne une augmentation de la diversité floristique, alors qu'elle diminue sur les autres essais (traitements C et T).

*** Composition floristique.**

L'évolution de la composition floristique (tableau 33) évolue suivant les traitements et montre des différences significatives en 1993 et 1994, correspondant aux années d'application des traitements T, M et TM. Ces différences reposent sur la contribution de *Zornia glochidiata*, de *Mitracarpus scaber* et des Cypéracées. Le travail du sol (traitements TM et T) a éliminé en 1993 le *Zornia glochidiata* qui apparaît avec les premières vagues de germinations. Sur ces essais, la contribution de *Zornia* est en moyenne sur les deux stations de

5,4 % contre 51,4 % sur les témoins et 44,8 % sur les parcelles seulement paillées. Le travail du sol (M et TM) a par contre favorisé en 1993 le développement de *Mitracarpus* (en moyenne 20,8 % de contribution sur les deux stations contre 0 % sur les autres essais) *et des* Cypéracées (en moyenne 18,4 % de contribution sur les deux stations contre 0 % sur les autres essais). *Mitracarpus scaber* (Rubiaceae) et les Cyperaceae sont donc apparemment liées au travail du sol.

Sur la station J, le travail du sol (traitement T) a favorisé de façon significative le développement des Poaceae : 65,8 % sur T contre 33,6 % sur les témoins, 32,5 % sur le traitement M et 39,4 % sur TM. Une analyse plus fine montre que le développement de *Eragrostis tremula* est plus important sur le traitement T que les autres.

En 1995, les traitements de réhabilitation n'ont pas été appliqués ce qui ne crée pas d'artefact comme le développement favorisé des Rubiaceae ou des Cyperaceae par un travail du sol. Sur les parcelles témoins et les parcelles T, *Zornia glochidiata* reste l'espèce dominante de la strate herbacée (respectivement 51,6 % et 43,9 % sur G1 ; 62,3 % et 53,1 % sur J). Les témoins des deux stations et les parcelles T de la station J sont marquées par la dominance des Fabaceae et des plantes en C3. Par contre, sur la station G1, les Poaceae dominent la composition floristique du traitement T, bien que *Zornia* reste l'espèce dominante. Sur les parcelles paillées, la strate herbacée est dominée par les Poaceae et les plantes en C4, de façon spectaculaire sur la station G1. Sur les essais paillage sur G1, *Ctenium elegans* (en moyenne sur les deux essais 31,4 %) , *Schizachyrium exile* (18,1 %) et *Zornia* (23,7 %) dominent la strate herbacée. Sur la station J, les essais de paillage présentent toujours la dominance de *Zornia* (37,1 %), suivi d'un groupe de trois Poaceae : *Ctenium* (22,9 %), *Aristida mutabilis* (10,7 %) et *Eragrostis tremula* (4,8 %)

En 1995, les plantes développant un mécanisme de photosynthèse de type C4 dominent sur les deux stations les traitements paillés (M et TM) et le traitement T sur G1, alors que ce sont les plantes en C3, dont *Zornia glochidiata,* qui dominent les parcelles témoins et sarclées. Cependant, *Zornia* contribue encore à une hauteur de 44 % sur les parcelles sarclées de la station G1. Cette dominance des plantes en C4 explique alors la meilleure efficience de l'utilisation de la pluie sur les parcelles paillées (tableau 38).

3.5. Evolution des conditions édaphiques.

3.5.1. Taux de carbone et d'azote.

Les teneurs en azote et en carbone des classes 1 et 5 de la typologie régionale (cf. 3ème partie) sont présentées comme points de référence sur la figure 70 pour guider l'analyse des résultats obtenus suivant les traitements. En surface, tous les essais montrent une amélioration des taux, à l'exception du traitement T. L'amélioration la plus forte des taux est due au traitement TM sur la station J, et au traitement M sur G1. Le rapport C/N est compris entre 10 et 12 pour l'ensemble des points. A trente centimètres de profondeur, on assiste par contre à une baisse des teneurs en azote par rapport aux points de référence. Le rapport C/N est compris entre 12 et 15 pour les traitements C et TM de la station G1, et supérieur à 15 pour les autres points.

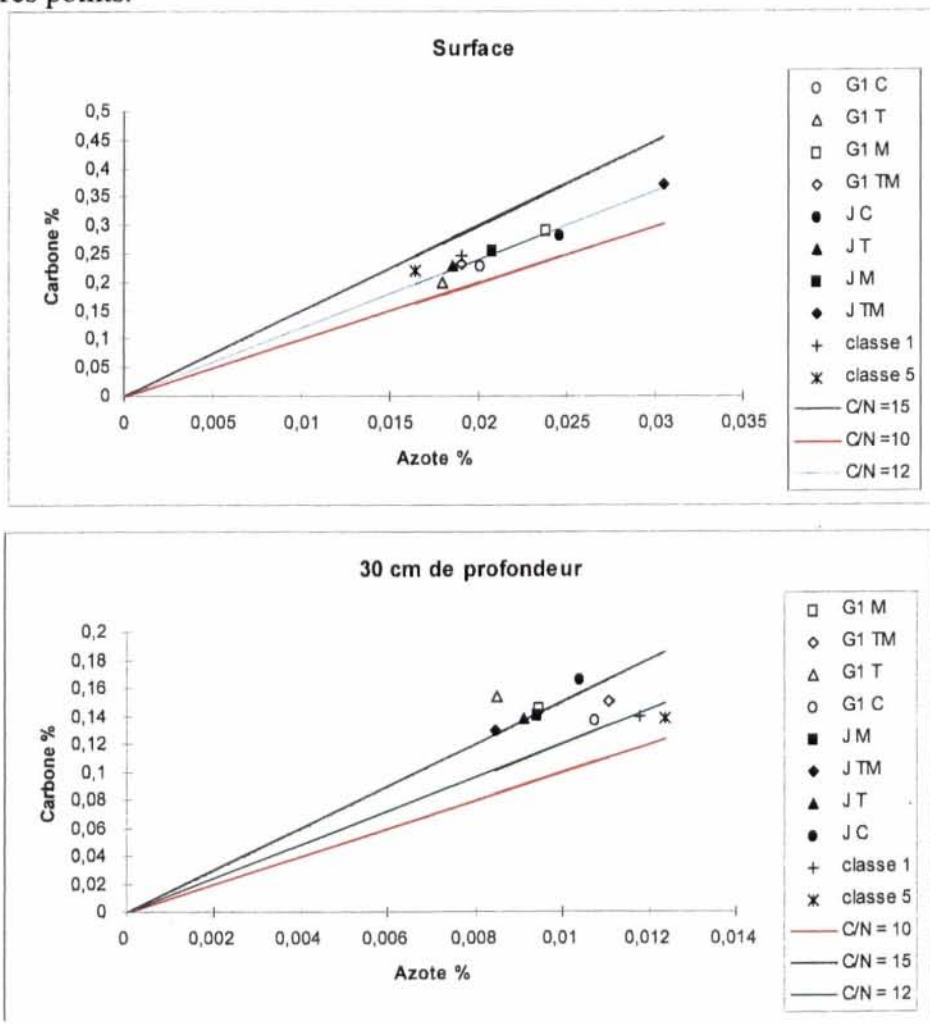


Figure 70 : Evolution des teneurs en azote et en carbone en surface et à 30 cm de profondeur suivant les traitements par rapport aux résultats obtenus pour la typologie régionale.

3.5.2. Sensibilité des sols à la dégradation physique.

La granulométrie de surface évolue peu en général suivant les traitements (figure 71). Le contenu en argiles et en limons fins est de 6 % environ pour la station J. Il est de 7.5 % environ pour G1 sur les traitements T, C et M. Par contre, le traitement TM sur G1 présente une texture superficielle plus grossière, le contenu est inférieur à 6 %. Chase et Bouderesque (1987, 1989) ont montré que le paillage est un piège pour les particules fines, mais également pour les particules grossières. Pour l'ensemble des traitements, la texture est plus grossière que celles des classes 1 et 5 servant de références.

Le report des résultats des essais de la réhabilitation sur la classification de Piéri (1989) montre que l'appartenance à des domaines différents de sensibilité à la dégradation physique des sols est essentiellement due à l'augmentation de la richesse en matière organique, mais également à l'augmentation conjointe en éléments plus grossiers en surface comme l'illustre le cas de TM sur G1 (figure 71).

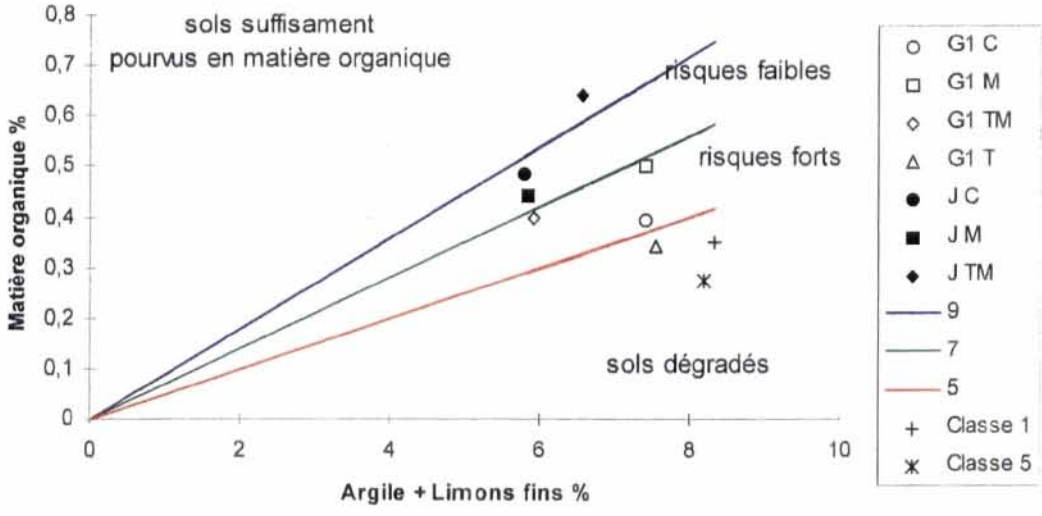


Figure 71 : Evolution de la sensibilité à la dégradation physique des sols suivants les traitements (modifiée d'après Piéri, 1989).

4. Synthèse et discussions.

L'aridité édaphique (Floret et Pontannier, 1982 et 1984), due à la dégradation des caractéristiques physiques des sols, renforce la contrainte climatique de ces régions

sahéliennes pour la végétation (Seiny-Boukar *et al*, 1992). Le tableau 34 montre que l'effet des traitements basés sur le paillage (M et TM) est largement positif. Le paillage apporté artificiellement attire les termites comme le montre le suivi des états de surface du sol en février 1994 en particulier. Les termites perforent les croûtes présentes en surface et créent une macro-porosité sous jacente, favorisant ainsi l'infiltration des eaux de pluie. Les résultats sont similaires à ceux obtenus par Chase et Bouderesque sur une brousse tigrée (1987, 1989). Payne *et al* (1991) montrent que l'amélioration de l'infiltration est bien due à la macro-porosité créée par les termites, et non par le paillage lui-même (Rajot et Léonard, 1997). Les stocks hydriques des sols se constituent plus vite sur les traitements paillés que sur les autres essais. Les plantes sur ces parcelles paillées disposent alors d'eau plus longtemps, limitant l'aridité édaphique. Cette amélioration des conditions d'humidité dans les sols se traduit globalement par une augmentation de la production herbacée et ligneuse. De plus, ces conditions favorisent l'émergence des graminées qui développent un mécanisme photosynthétique en C4. Ces dernières, plus exigeantes que les plantes en C3 quant aux conditions de sol, présentent un coefficient d'efficience de l'utilisation de l'eau plus important (Lüttge, 1997) en conditions non limitantes. Les plantes en C4 sont plus compétitives que les plantes en C3. *Zornia glochidiata* n'est plus l'espèce mono-dominante. La diversité est plus importante sur les parcelles paillées.

Par contre, l'augmentation de la quantité d'eau infiltrée ne se traduit pas par une augmentation du stock disponible en eau pour les plantes au début de la saison des pluies suivantes. Le profil sec mesuré au début de la saison des pluies de 1994 est identique à celui de 1995. Ces résultats confirment ceux déjà obtenus par Peugeot (1995) et Payne *et al* (1990) qui montrent qu'il n'y a effectivement pas de conservation de l'humidité durant la saison sèche, quelque soit le traitement appliqué à la jachère (paillage, mise à nu de la jachère pour limiter l'évapotranspiration ou mise en défens).

Tableau 34 : Evolution des attributs vitaux par traitements comparée à celle sur les témoins (0 = pas d'effet, 1 = effet positif et -1 = effet négatif).

Attributs vitaux / traitement	T	M	TM
1.1 Richesse floristique en pérennes.	0	0	0
1.2 richesse floristique en annuelles.	1	1	1
1.3. Recouvrement total de la végétation.	1	1	1
1.5. Phytomasse aérienne sur pied.	0	1	1
1.6. Diversité Alpha	1	1	1
1.6. bis. Diversité Bêta	-1	1	1
1.9. Abondance de la faune détritivore (placages de termites)	-1	1	1
2.1. Productivité de la biomasse.	1	1	1
2.2. Matière organique du sol.	-1	1	1
2.3. Etats de surface du sol.	-1	1	1
2.4. Coefficients d'infiltration des pluies.	0	1	1
2.5. Réserve maximale en eau disponible	0	1	1
2.6 Coefficient d'efficacité des pluies.	-1	1	1
2.8. Durée de disponibilité en eau du sol.	0	1	1
Total	-1	13	13

Le paillage (traitements M et TM) et l'activité des termites qu'il induit, améliorent la richesse des horizons superficiels en matière organique, suffisamment pour que les sols deviennent moins sensibles à la dégradation physique. De plus, les résultats de TM sur G1 montrent que la stabilité structurale des horizons superficiels est non seulement due à l'amélioration des teneurs en matière organique mais qu'elle est également due à un enrichissement en particules grossières (sables) piégées par le paillage, comme l'ont montré Chase et Bouderesque (1989). Cependant, les travaux de Feller (Feller *et al*, 1981 ; Feller et Ganry, 1982 et Feller *et al*, 1993) montrent, en fonction de la texture de sols, l'importance des différents types de matière organique, distingués par fractionnement granulométrique, sur les variations globale des stocks en matière organique et sur les propriétés physico-chimiques des sols. Sur des sols sableux, c'est la fraction "débris végétaux" (20-2000 µm) qui participe le plus aux variations globales des stocks et aux processus de minéralisation (carbone et azote). Cette fraction non stable (durée de vie entre 0 et 10 ans ; Feller *et al*, 1993) est importante

pour la minéralisation, pour l'activité biologique des sols et la fourniture d'éléments nutritifs. Les travaux d'Abbadie *et al* (1992), de Blondel (1971) montrent que les plantes utilisent préférentiellement l'azote provenant de cette fraction débris végétaux. La fraction organique stabilisée (organo-limoneuse 2-20 mm et organo-argileuse 0-2 µm), associée au squelette minéral du sol, se décompose lentement (turn-over > 40 ans) et participe principalement au maintien de la stabilité structurale. Le paillage augmente non seulement la fraction grossière des stocks de matière organique, mais également la fraction plus fine inférieure à 50 µm. Elle améliore donc l'alimentation nutritionnelle des plantes, mais également la stabilité des sols comme semblent le montrer les résultats de l'expérimentation présente. Le paillage est donc une bonne technique de réhabilitation.

Le sarclage déstructure les croûtes présentes à la surface du sol et améliore ainsi immédiatement ses capacités d'infiltration. Cependant, son effet est très éphémère (Peugeot, 1995). Lors d'essais de simulations de pluies sur des sols sableux sarclés, Lamachère (1991) a montré qu'au delà de 100 mm de pluies cumulées, la surface du sol commence à se restructurer en croûtes, limitant l'infiltration. Au delà de 200 mm de pluies tombées, l'effet du sarclage n'existe plus. Les résultats obtenus dans ce travail montre bien que les croûtes, en particulier celles d'érosion, se reforment au cours de la saison des pluies, d'autant plus que le sol est riche en éléments fins (argiles + limons fins). A la fin des saisons 1993 et 1994 où les traitements ont été appliqués, les croûtes Erosion et ST3, représentent plus de 25 % de la surface totale sur la station G1. L'aridité édaphique créée par la réapparition de ces croûtes entraîne une baisse de la production végétale. Les parcelles sarclées présentent des faibles teneurs en matière organique et des sols dégradés à la fin de l'expérimentation car il y a peu d'accumulation de litière. La végétation qui se développe sur ces parcelles puise dans les ressources existantes, plus qu'elle n'en restitue. Le travail superficiel du sol est donc une mauvaise technique de réhabilitation.

La recherche d'une accélération de la remontée biologique est alors effectivement atteinte par l'utilisation de la technique du paillage. Les conditions édaphiques sont

améliorées. La production végétale est fortement augmentée. La succession végétale est accélérée et se traduit par l'installation des graminées, qui sont sur ces essais principalement, des plantes en C4. Ces dernières ont une meilleure capacité d'utilisation des ressources que les plantes en C3. Elles sont alors plus compétitives pour les ressources que les plantes en C3. Ces milieux restaurés ou réhabilités présentent une meilleure régénération que les parcelles témoins.

Les formations post-culturales du sud-ouest nigérien.

Conclusion générale

1. Utilisations des propriétés des écosystèmes savanes à des fins agricoles.

Les écosystèmes sahéliens appartiennent au domaine des savanes. Ces formations végétales, par définition, sont dominées par un couvert herbacé à dominance graminéenne sur lequel se développe une strate ligneuse éparse (Bourlière et Hadley, 1983 ; Sarmiento, 1984 ; Frost *et al.*, 1985). Le fonctionnement et la structure sont déterminés par quatre principaux facteurs qui sont les conditions hydriques des sols, les ressources nutritionnelles de ces sols, le feu qui parcourt régulièrement ces formations et l'herbivorie. A ces quatre déterminants, s'ajoute l'homme qui modifie, principalement par l'intermédiaire du feu, de l'activité pastorale et de plus en plus par l'activité agricole (utilisation des terres), la structure de ces formations, ainsi que leur fonctionnement. Ces savanes sont considérées comme des écosystèmes non équilibrés, maintenus par la permanence de contraintes et de perturbations d'origine édapho-climatiques et anthropiques (Young et Solbrig, 1993). Ils ont développé des mécanismes qui leur permettent de faire face aux grandes variations temporelles des conditions climatiques, mais aussi des mécanismes leur permettant de maintenir leur résilience (Walker et Noy-Meir, 1982). La résilience des écosystèmes sahéliens, et des savanes en général, reposent sur la structure de la végétation qu'ils développent, sur les caractères physiologiques des éléments de cette végétation (Grouzis, 1991 ; Solbrig *et a.l*, 1996 ; Lüttge, 1997) et sur les interactions entre les différents éléments de ces écosystèmes (Mordelet *et al.*, 1993). La régénération de ces écosystèmes s'exprime, en particulier, par une dynamique successionnelle, se traduisant par un remplacement d'espèces végétales et une évolution des cycles bio-géochimiques (Odum, 1969).

Connel et Slatyer (1977) définissent la résilience comme l'aptitude d'un écosystème à revenir à sa trajectoire antérieure de succession progressive après disparition des perturbations qui l'en avaient dévié. Une autre définition de la résilience est donnée par Walker et Noy-Meir (1982) : la capacité d'un système à absorber une perturbation sans changer de façon qualitative son comportement. Cette résilience définit un domaine d'attraction, avec ses limites

correspondant à une certaine gamme de perturbation. Tout changement de nature, d'intensité et de fréquence des perturbations peut conduire ces systèmes à franchir ces limites, appelés généralement seuils, et se situer alors dans un autre domaine d'attraction définissant un nouvel état d'équilibre (Godron, 1984 ; Friedel, 1991 ; Laycock, 1991 ; Aronson *et al.*, 1993 , 1995). Au Sahel, la conjonction des sécheresses successives des années 70 et 80 avec l'augmentation très importante de l'emprise agricole et d'autres formes de pressions (pastorales, sylvicoles) sur cet espace et l'absence d'une évolution des techniques agricoles ont conduit, dans de nombreux cas, les systèmes à adopter effectivement de nouveaux états, moins productifs et plus simplifiés. Ce phénomène est plus connu sous le terme de dégradation des terres (CCD, 1995). Ce processus peut être réversible par l'intervention de l'homme (Friedel, 1991 ; Laycock, 1991), soit en adoptant de nouvelles techniques pour répondre à la diminution des ressources (Young et Solbrig, 1993), soit en restaurant ou en réhabilitant ces systèmes considérés dégradés (Aronson *et al.*, 1993 , 1995).

Les agriculteurs sahéliens utilisent de façon traditionnelle la résilience pour régénérer les facteurs de productions dégradés pendant la phase culturale, en particulier les propriétés physico-chimiques des sols. La résilience est, dans ce cas, déclenchée par l'arrêt de la culture et la mise en jachère. Elle se traduit par la mise en jeu de processus successionnels. L'objectif est de revenir au stade de productivité antérieur à la perturbation (ici, la culture). Dans le cas des formations sahéliennes, cette phase post-culturale doit durer suffisamment longtemps (Guillemin, 1956) pour qu'une végétation pérenne s'installe (herbacées et ligneuses), induisant une accumulation de matière organique et une amélioration des autres facteurs édaphiques de production (Piéri, 1989). Sur les sols sableux, Feller *et al.* (1993) estiment qu'au bout de cinq ans de jachère, une remontée significative de la matière organique est enregistrée. Elle est effective au bout de dix ans (Piéri, 1989). La durée nécessaire pour qu'une jachère soit efficace, dépend de son environnement physique et humain, des antécédents culturaux et de l'état de dégradation de la parcelle (Mitja, 1990). Cependant, la complexité de la jachère en Afrique de l'ouest repose sur le fait qu'elle doit remplir simultanément diverses

fonctions agronomiques, socio-culturelles, et fournir des ressources en fourrages, en bois énergie et autres produits secondaires.

2. Contraintes climatiques et anthropiques.

Sur le degré carré de Niamey (13° et 14 ° nord, 2° et 3° est), le climat est de type sahélien, caractérisé par l'alternance d'une longue saison sèche (7 à 8 mois) et d'une saison des pluies. Cette alternance se reflète sur les périodes d'activité de la végétation naturelle ; elle est active seulement en saison des pluies. L'eau est le principal facteur limitant sur cette zone pour la production végétale. La moyenne pluviométrique sur Niamey est de 563 mm avec un coefficient de variation de 24 %. La distribution des pluies au début de la saison humide a une grande influence sur la composition et la production de la strate herbacée dans ces zones semi-arides (Hiernaux, 1984 ; Seghieri, 1990). Aux importantes variabilités interannuelles et intra annuelles, s'ajoute également une importante variabilité spatiale des pluies (Taupin *et al.*, 1993). Ces pluies sont d'origine convective, avec une période de précipitations très intense, de 40 à 100 mm/h, voire 150 à 200 mm/h. Ces pluies tombent sur des sols sableux, pauvres en matière organique (0,3 à 0,5 %) leur conférant une très faible stabilité structurale et ayant subi une forte dessiccation pendant la saison sèche. L'impact de ces pluies sur ces sols fragiles a pour effet la réorganisation des horizons superficiels sous formes de croûtes, malgré les très faibles quantités d'éléments fins ; les argiles et les limons fins représentent 5 à 7 % de la texture totale. Ces croûtes superficielles, en fonction de leur nature, conditionnent la capacité d'infiltration de ces sols (Casenave et Valentin, 1989 ; 1992), et par conséquence la ressource hydrique pour la végétation. Les conditions climatiques (pluies) et les conditions édaphiques constituent sur la zone d'étude des contraintes très fortes pour le développement de la végétation.

La présence humaine sur la zone d'étude est très ancienne (néolithique). L'ethnie dominante actuelle, les Djermas, s'est installée au 18ème - 19ème dans le nord de la zone d'étude. La population était regroupée en villages, sur des sites présentant une position de défense à cause des guerres avec les touaregs, et qui présentaient également de bonnes

capacités de production, en particulier par la présence d'une nappe d'eau haut perchée (cas du Dallol Bosso à l'est de la zone d'étude). L'arrivée des colonisateurs a mis fin aux guerres ethniques et a permis alors à la population de se disperser sur l'ensemble du territoire et de conquérir des terres vierges. Ce mouvement de population a entraîné une diminution de la cohésion de la société Djerma et une multiplication des concessions. La faible densité humaine et la performance des systèmes agraires limitait l'emprise agricole sur l'espace. Cette emprise agricole représentait par exemple 12 % de la superficie totale du site de Banizoumbou en 1950 (Leduc et Loireau, 1997). Le système de culture itinérante à jachère courte, inférieure à 5 ans, dominait à la même époque sur ce site (86 % des jachères). Les jachères longues étaient apparemment plus rares. A la même époque, dans le Zarma Ganda, plus anciennement et plus densément peuplé que le site de Banizoumbou, Ada et Rockström (1993) notaient que la durée moyenne des jachères était supérieure à 15 ans environ en 1950, contre 25 ans au début du siècle. Depuis, la durée moyenne n'a pas cessé de diminuer. Loireau (en prep.) a noté par contre, sur le site de Banizoumbou, une diminution de la proportion des jachères courtes, de 86 % en 1950 à 40 % en 1967 au profit de jachères longues supérieures à dix ans (de 0 % à 50 % en 1967). A partir de la fin des années 60, ils ont enregistré une diminution de la durée de jachères. Les jachères inférieures à 5 ans représentent actuellement, de nouveau, plus de 80 % des jachères. Sur le degré carré de Niamey, la typologie des systèmes agro-pastoraux proposée dans cette étude, montre que la durée moyenne des jachères échantillonnées est effectivement très courte (inférieure à 5 ans). A l'exception des zones situées le long du fleuve, où la culture irriguée est alors possible, toutes les autres zones à culture pluviale traditionnelle présentent des signes chroniques de pénurie alimentaire dus aux risques climatiques et à une diminution de la fertilité des terres (projet Energie II, 1991). Seul le Liptako échappait à la fin des années 90 à ces signes de crise de fertilité. La région du Liptako, plus humide que le reste de la zone d'étude, est caractérisée par la présence d'un vaste plateau à la végétation dense et par la dominance des Peuls, qui sont traditionnellement des agro-pasteurs. La forte intégration agriculture/élevage, le nombre important de troupeaux sédentaires ou transhumants (Yamba, 1993) et la grande quantité de pâturages permet une possibilité de transfert de fertilité des aires de pâtures vers les systèmes de culture à jachères

courtes. Jouve et David (1985) montrent sur la région de Maradi (Niger) que cette possibilité de transfert offerte par la complémentarité agriculture/élevage permettait de maintenir le niveau de la fertilité. L'augmentation de la population et l'absence d'une évolution des techniques a entraîné une surconsommation de l'espace (Piéri, 1989). Cela a conduit dans un premier temps aux défrichements des brousses libres, et dans un second temps, à une diminution de la durée de jachères et parallèlement, à une diminution des aires de pâturage. La complémentarité jachère courte et transfert de fertilité par le bétail n'est apparemment plus à même de maintenir un niveau de fertilité suffisant pour assurer la pérennité des systèmes agro-pastoraux.

Il est possible d'augmenter les performances de ces systèmes agraires en améliorant les techniques agricoles et en utilisant des intrants comme l'ont montré les travaux de Hoogmoed et Klaij (1991), Christianson et Vlek (1991) et Bationo et Mokwunye (1991). Cependant, l'utilisation de ces techniques est délicate et les marges de manoeuvre très faibles. De plus, le contexte socio-économique du Niger, rendu très difficile à la suite de la baisse des cours de l'uranium et par une très forte instabilité politique, ne permet pas l'extension de ces techniques à l'ensemble des exploitations. La jachère conserve alors toute sa place comme technique de restauration des conditions culturales dans les systèmes agraires du sud-ouest nigérien. En vue d'améliorer la gestion des jachères dans le cadre d'une agriculture durable, le présent travail se focalise sur les processus écologiques mis en jeux lors de cette phase post-culturale.

3. Etude phyto-écologique régionale des milieux post-culturaux.

L'étude régionale synchronique des jachères, réalisée sur un échantillonnage de 72 stations, montre dans l'ensemble que ce sont des écosystèmes très simplifiés, basés sur la quasi monodominance de l'espèce ligneuse *Guiera senegalensis* et d'un cortège de thérophytes peu diversifié. *Guiera senegalensis* est une espèce qui rejette très bien de souches, indicatrice d'une activité agricole (Aubreville, 1938 ; Bille, 1977 ; Louppe, 1991). Les graminées pérennes, comme *Andropogon gayanus*, sont très peu présentes dans la flore des milieux post-

culturaux. La présence et la dominance d'un groupe de trois espèces à tous les stades de la phase jachère, *Zornia glochidiata* (Fabaceae), *Eragrostis tremula* (Poaceae) et *Mitracarpus scaber*, masquent une réelle succession. Les deux dernières espèces sont liées aux pratiques agricoles (sarclage) et toutes les trois sont considérées par les agriculteurs comme indicatrices de mauvaises conditions édaphiques. La présence des grandes graminées du genre *Aristida, Ctenium* et *Andropogon* au bout de quatre à cinq ans de jachères, semble pourtant indiquer une éventuelle transition vers un stade successionnel plus mâture. Le vieillissement des jachères (supérieures à cinq ans d'âge) ne confirme pas du tout cette tendance. Il y a au contraire la nette installation de la dominance de *Zornia glochidiata* (plante en C3), qui est une Fabaceae ayant la possibilité de fixer de l'azote. Parallèlement à cette absence de succession végétale, aucune évolution claire des états de surface du sol est observée. Seul le développement des croûtes microphytiques, considérées comme bon indicateur pour la remise en culture par les agriculteurs, est clairement défini les cinq premières de jachère. Certaines de ces croûtes microphytiques ont effectivement la capacité de fixer de l'azote (West, 1990).

La dynamique post-culturale montre une augmentation des paramètres de production les cinq premières années. Cela concerne les ligneux principalement. Au delà de cinq ans de jachères, tous les paramètres chutent. L'analyse de ces mêmes paramètres de production en fonction de la situation géomorphologique, montre que les cordons dunaires et les bas-fonds présentent de plus fortes productions que les autres situations (plateau, jupe et glacis). En fait, la distribution des classes d'âge de jachère en fonction de la géomorphologie, fait apparaître que les jachères courtes sont présentes sur toutes les situations, alors que les jachères longues sont surtout présentes sur les plateaux, les jupes et les glacis qui présentent en moyenne les productions les plus faibles. Ces trois dernières situations ont des recouvrements supérieurs à 25 % de croûtes d'érosion et de type ST3, caractérisant les plus mauvaises conditions d'infiltration, alors que sur les dunes et les bas-fonds, ces mêmes croûtes ne représente que 15 % de la couverture totale. Il y a une correspondance entre les vieilles jachères et les situations dégradées peu productives, qui crée alors l'artefact montrant la chute des productions au delà de cinq ans de jachère. Il est vraiment très difficile actuellement de trouver des vieilles jachères sur des sites jugés favorables pour la production végétale dans la zone d'étude.

Pour lever l'ambiguïté vieilles jachères/état dégradé, une typologie régionale des milieux post-culturaux a été réalisée dans le cadre de ce travail. Elle est basée sur l'analyse de la structure de ces milieux. Cinq classes sont distinguées en fonction de la durée de la jachère et de leur structure. L'utilisation du filtré créé par la typologie éclaircit les résultats concernant les sols.

La première classe comprend les stades les plus jeunes sur milieu indifférencié. La strate herbacée domine sur ces milieux. L'arrêt des pratiques culturales entraînent trois conséquences. La première est un fort développement des messicoles comme *Mitracarpus scaber, Eragrostis tremula,...* Les plantes en C3 sont plus représentées que les C4. La deuxième conséquence est l'encroûtement des surfaces des sols ; les croûtes d'érosion et de type ST3 représentent 26 % de la couverture totale de la surface des sols. Les teneurs en matière organique (0,4 %) ont diminué pendant la phase culturale, ce qui confère aux sols une certaine sensibilité à la dégradation physique. Les derniers sarclages ont effet pulvérisé la structure des horizons superficiels. L'arrêt cultural par la mise en jachère s'est traduit alors par une réorganisation de ces horizons sous formes de croûtes. La troisième conséquence est la reprise d'une activité biologique assez importante dans les sols. En surface, il existe un certain équilibre entre les processus de nitrification et d'ammonification, ce qui limite alors les risques de pertes d'azote par lessivage ou volatilisation. C'est le stade pionnier dans la succession post-culturale.

La deuxième classe correspond à des jachères de quatre à cinq ans sur les cordons dunaires ou dans les bas-fonds. Ce sont les milieux où la production végétale est la plus forte, elle est assurée essentiellement par la strate arbustive. La strate herbacée est très diversifiée, mais ce sont les Poacées qui dominent ces milieux. *Eragrostis tremula* représente près de 23 % de la flore, mais les grandes graminées des genres *Aristida, Ctenium* et *Andropogon* représentent déjà près de 20 % de la flore. Les plantes en C4, plus compétitives que les plantes en C3 vis à vis des ressources, dominent ces milieux. Au bout de quatre ans de jachère, ces sols, plus sableux que les autres classes, ont retrouvé une bonne stabilité structurale superficielle. Ils sont alors peu sensibles à la dégradation physique. Les processus de nitrification et

d'ammonification s'équilibrent, limitant les pertes en azote. Les conditions édaphiques présentent ici une dynamique certaine, se traduisant, entre autres, par une accumulation de matière organique. Ces milieux où la régénération est la plus rapide, sont les moins sensibles aux perturbations. Ils atteignent au bout de quatre à cinq ans de jachère des stades plus mâtures que ceux de la classe 1. Cinq ans de jachères sur ces milieux semblent cependant être la durée minimum à respecter.

La troisième classe est constituée de jachères de cinq ans en moyenne, situées dans les bas-fonds et les bas de pente. La production végétale est moins forte que la précédente, mais reste dominée par la production ligneuse. La strate herbacée est moins diversifiée que les deux classes précédentes. Les Poacées dominent la strate herbacée (46 % de la flore), en particulier *Aristida longiflora*. La contribution des messicoles *Eragrostis tremula* et *Mitracarpus scaber* est moins importante que dans les classes précédentes. Ces milieux semblent avoir atteint un stade plus mâture que ceux de la classe 1. Cependant, la résilience n'a pas rempli totalement son rôle puisque ces sols, à texture plus fine que ceux de la classe deux, présentent encore des risques de dégradation physique. Les processus d'ammonification et de nitrification s'équilibrent, limitant ainsi les risques de perte en azote. Cinq ans de jachère sur ces milieux ne semblent pas être suffisants.

La quatrième classe correspond à des jachères plus âgées que celles des classes précédentes (entre 6 à dix ans). La production végétale est moins forte et est constituée essentiellement par la strate herbacée. Bien que cette dernière strate soit encore diversifiée et que les Poacées soient les plus représentées, ce sont la Fabacée *Zornia glochidiata,* les messicoles *Eragrostis tremula* et *Mitracarpus scaber* qui dominent ces milieux, représentant respectivement 16 %, 9,5 % et 9,5 % de la flore totale. Elles indiquent alors que les conditions édaphiques sont mauvaises , comme le confirment la couverture de 32 % des croûtes d'érosion et de type ST3, les risques forts de dégradation physique et du dysfonctionnement majeur au niveau de la minéralisation de l'azote. La nitrification domine largement en surface, augmentant ainsi les probabilités de pertes en azote par lessivage ou volatilisation. Dans cette classe, les conditions

édaphiques ne présentent pas de dynamique au cours de la phase post-culturale ; il semble qu'il n'y ait pas d'accumulation de matière organique. Ce sont des systèmes qui fonctionnent principalement en terme de flux. Une remise en culture après seulement cinq ans de jachère ne peut que conduire à la dégradation, la régénération étant très faible sur de tels milieux.

La cinquième classe présente les plus vieilles jachère, situées sur les stations les plus dégradées. La production est très faible, dominée par la strate herbacée. La Fabacée *Zornia glochidiata* est monodominante sur ces milieux (42 % de la flore). *Mitracarpus scaber* est la deuxième espèce la plus représentée (11 %). Les plantes en C3 dominent largement ces milieux (65 % de la flore). Les conditions édaphiques sont effectivement très mauvaises. Les croûtes d'érosion et de type ST3 représentent le tiers de la couverture superficielle de sols, ce qui confirme leur état dégradé selon la classification de Piéri (1989). Ce sont les sols qui quantitativement et proportionnellement nitrifient le plus. Une nitrification dominante dans les horizons superficiels et une forte érosion, mettant à nu parfois les racines des arbustes, expliquent les très faibles productions et régénérations de ces milieux. La régénération est si faible qu'une impression de blocage successionnel apparaît sur ces milieux, basée sur la dominance de petits individus de *Guiera senegalensis* et de *Zornia glochidiata*. Ces milieux fonctionnent en terme de flux, limitant au maximum les possibilités d'accumulation de carbone et d'azote. Dans ces conditions, des légumineuses comme *Zornia glochidiata*, capables de fixer de l'azote pour leur propre développement, ont un avantage compétitif certain par rapport à d'autres espèces, et aux plantes en C4 en particulier.

Il est remarquable de noter la relation positive entre la participation au recouvrement de *Zornia glochidiata* et la minéralisation de l'azote dans les horizons superficiels, dominée par la nitrification. La relation est par contre négative avec le recouvrement des graminées. Abbadie *et al* (1996) expliquent les fortes productions des savanes humides par un blocage des processus de nitrification (économie d'azote) lié à la présence d'espèce, comme les graminées du genre *Hyparrhenia*.

*** Résilience des systèmes post-culturaux du sud -ouest sahélien nigérien.**

L'étude régionale fait apparaître dans l'ensemble des systèmes post-culturaux simplifiés, basés sur une strate ligneuse monospécifique (*Guiera senegalensis*) et une strate herbacée composée de thérophytes, à tous les stades post-culturaux. Cette absence de succession post-culturale, caractérisée par la dominance sur de longues périodes d'une ou deux espèces ligneuses rejetant de souches, est reporté dans d'autres régions aux conditions édapho-climatiques contraignantes. Telahigue *et al* (1987) ont étudié des stades bloqués à *Ranterium suaveolens* Desf. en Tunisie (200 mm de pluie) et Cissé *et al* (1991) ont enregistré au Mali une dominance de la strate ligneuse par *Guiera senegalensis* et *Combretum glutinosum* sur des périodes de 30 ans. Par contre, ces derniers auteurs enregistrent l'installation progressive de graminées pérennes. Dès que les conditions climatiques s'améliorent, une dynamique successionnelle a lieu et conduit à une succession de formes biologiques et à des stades de plus en plus complexes (Aweto, 1981 ; Donfack, 1991 ; Yossi, 1991). Il semble qu'il existe des seuils climatiques au dessous desquels les processus successionnels, concernant en particulier les ligneux, sont très lents, voire non observables à l'échelle d'une génération.

Bradshaw (1984) et Barnaud (1997) ont proposé des schémas d'évolution des écosystèmes en analysant de façon conjointe leur structure et leur fonctionnement. La figure 77 est inspirée de leurs travaux et présente la trajectoire des différentes classes de la typologie régionale, suite à l'arrêt de la perturbation engendrée par la mise en culture. En abscisse, la phytomasse totale épigée, considérée comme attribut vital de l'écosystème se reportant à sa structure par Aronson *et al.* (1996), a été choisie comme indice de structure. Le ratio matière organique sur teneur en argiles et en limons fins, définissant la stabilité structurale des sols Piéri (1992), indique la résistance des sols à la dégradation physique et en particulier, aux phénomènes d'encroûtement, régissant les conditions d'infiltration des sols (Casenave et Valentin, 1989). Ce ratio a donc été choisi pour suivre l'évolution du fonctionnement des écosystèmes. La figure 72 présente l'évolution des milieux post-culturaux en fonction de leurs capacités de régénération, groupées en trois classes : très bonne, moyenne et mauvaise. La

classe 1 de la typologie régionale, jachères récentes sur milieu indifférencié, est choisie comme point de départ de chaque trajectoire.

Pour la première classe, correspondant aux milieux très favorables, tout risque de dégradation est levé pour une faible phytomasse (environ 2.500 kg : ha). Cela indique un très bon fonctionnement de ces écosystèmes et une forte résilience. Les contraintes permanentes issues du pâturage et des autres activités anthropiques, ne semblent pas interférer sur leur régénération. Ces milieux (classe 2 de la typologie régionale) sont marqués par une plus grande diversification de la strate herbacée (diversité = 5,04) et de la strate ligneuse que les autres classes; *Guiera senegalensis* ne représentent que 71 % des ligneux recensés.

Par contre, pour la deuxième classe correspondant aux conditions moyennes, les risques de dégradations sont levés plus tardivement, pour une phytomasse de 7.500 kg / ha environ. Le fonctionnement de ces écosystèmes, en fait leur résilience, sont moins performants que celui de la classe précédente. Aronson *et al.* (1996) suggèrent que, dans une phase donnée de dégradation, l'accroissement de la résistance des écosystèmes coïncide avec une réduction de la résilience. Sur ces milieux intermédiaires (classe 3 de la typologie régionale), la diversification est plus faible que précédemment ; la strate herbacée est caractérisée par une diversité égale à 3,82 et *Guiera senegalensis* représente plus de 87 % de la strate ligneuse. La faible dynamique successionnelle sur ces milieux est l'expression d'une plus grande résistance, due à une résilience moins performante. Cela conduit à l'impression de blocage successionnel au stade *Guiera* et à une strate herbacée composée essentiellement d'annuelles.

La troisième classe, composée des milieux les plus dégradés sur les plans structurels et fonctionnels (classes 4 et 5 de la typologie régionale), présente une évolution négative correspondant à une dégradation du fonctionnement essentiellement. Le recouvrement très faible de la végétation ne peut pas limiter les processus d'érosion, qui s'auto-entretiennent, voire s'accélèrent. La quasi absence de résilience de ces milieux dans les conditions actuelles et le constat de la stabilité de ces systèmes à un stade bloqué *Guiera / Zornia* semble indiquer effectivement une résistance de l'écosystème de plus en plus forte.

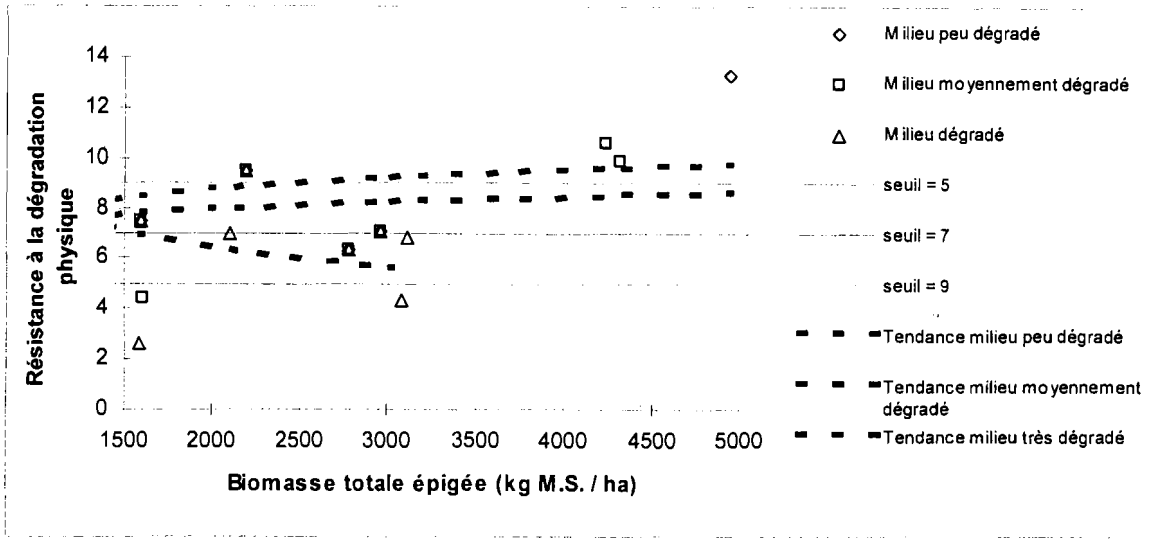


Figure 72 : Représentation des différentes trajectoires des milieux post-culturaux dans le sud-ouest sahélien nigérien. La résistance à la dégradation physique des sols est défini comme le rapport matière organique sur la teneur en argile et limons fins. Les seuils de résistance 5, 7 et 9 ont été définis par Piéri (1992). Les courbes pleines, calculées à partir des résultats obtenus par classes de la typologie régionale, représentent l'évolution des milieux post-culturaux en fonction de leur capacité de régénération (très bonne, moyenne et mauvaise).

*** Conséquences agronomiques.**

La typologie régionale fait apparaître deux principaux groupes de gestion des terres :

- un groupe, appartenant à une réelle rotation culturale où la durée moyenne de la jachère est inférieure à cinq ans. Ce groupe est situé sur les situations les plus favorables et les moins dégradés. Une certaine dynamique de la végétation et des sols existe, mais exceptés pour les milieux les plus favorables (classe 2), ne permet pas à la résilience de remplir totalement sa fonction dans ce laps de temps. Les pratiques actuelles sont globalement dommageables pour ces systèmes,

- un deuxième groupe où les conditions trop dégradées et la régénération trop faible ne permettent pas une culture rentable.

4. Impacts des usages sur la régénération des milieux post-culturaux.

4.1. Impact des usages actuels. Essais de mise en défens.

Les perturbations peuvent être génératrices de nouveaux "équilibres" en favorisant les mécanismes les plus performants pour faire face à ces perturbations (Holling, 1978 ; Trabaud,

1987) et conduire également à des blocages. L'absence de perturbations peut induire la relance de la dynamique successionnelle (Connel et Slatyer, 1977). Sur le site de Banizoumbou, sept stations, représentatives de chaque classe de la typologie régionale, ont été mises en défens pour suivre l'évolution de la végétation et des états de surface du sol en l'absence de toute activité anthropique. La diversité et la densité de la strate ligneuse évolue peu d'année en année sur les stations mis en défens. Quelques individus du genre *Boscia* s'installent. Les variations saisonnières du nombre d'individus touchent uniquement la population de *Guiera senegalensis*. De nombreux marcottes se sont développés en 1994, année très pluvieuse sur Banizoumbou (650 à 700 mm), mais un grand nombre d'entre elles meurent pendant la saison sèche suivante. La mise en défens agit donc peu sur la structure de la strate ligneuse. Par contre, elle a pour effet d'augmenter la vitesse de croissance des ligneux. Elle est multipliée jusqu'à dix fois sur les stations les plus dégradées, par rapport aux résultats de la typologie régionale. Par contre, le développement de la strate ligneuse se fait au détriment de la strate herbacée, comme l'avaient déjà remarqué Renard *et al.* (1991) sur une jachère mis en défens depuis dix ans dans la même région. Au cours de l'expérience, les recouvrements et les productions de la strate herbacée diminuent. La richesse et la diversité floristique diminuent elles aussi. Les espèces messicoles comme *Eragrostis tremula*, *Cassia mimosoides*, *Jacquemontia tamnifolia* disparaissent sur l'ensemble des stations. Sur les stations les plus favorables (cordons dunaires), les graminées du genre *Digitaria* et *Aristida mutabilis*, indicatrices d'une transition entre les stades pionniers et des stades plus mâtures, disparaissent progressivement, alors que ces mêmes espèces s'installent sur les stations les plus dégradées. Ces espèces sont remplacées par des graminées plus grandes comme *Ctenium elegans*, *Aristida longiflora* et *Andropogon gayanus* qui représentent près de 50 % de la flore totale à la fin du suivi sur les cordons dunaires. Les états de surface du sol s'améliorent. Les croûtes d'érosion et de type ST3 disparaissent progressivement au profit des croûtes microphytiques. L'accumulation de litière sur ces stations attire les termites. Sur la station située sur la jupe, les placages de termites représentent jusqu'à 25 % de la couverture superficielle des sols. Ces derniers perforent les croûtes superficielles, créent des galeries souterraines améliorant ainsi les conditions d'infiltration (Lee et Wood, 1971 ; Chase et Bouderesque, 1987, 1989 ; Payne

et al., 1991 ; Miedema *et al*, 1994 ; Peugeot, 1995 ; Rajot et Léonard, 1997). De plus, une augmentation des teneurs en matière organique des sols est liée à l'activité des termites (Lee et wood, 1971 ; Brian, 1978 ; Elkins *et al.* 1986 ; Abbadie et *al.*, 1992). La mise en défens conduit à une réelle succession de la végétation et à une amélioration des conditions de surface des sols, et ceci quelque soit l'état de dégradation des milieux. Tous les milieux, même les plus dégradés (classe 5 de la typologie régionale) présentent donc une certaine résilience qui s'exprime réellement une fois toute activité anthropique supprimée.

4.2. Impacts de l'intensification des usages actuels.

Frost *et al.* (1985) formulent l'hypothèse que tout changement de l'intensité et de la fréquence des perturbations conduisent une modification marquée de la structure des écosystèmes. Les modifications seront variables suivant la période où les perturbations seront appliquées. Des essais de coupes rases des arbustes pratiquées au début de la saison des pluies, à la fin de la saison des pluies et en pleine saison sèche ont été tentés sur les mêmes sept stations. Ces coupes affectent peu la régénération des arbustes, même si elles sont pratiquées deux années de suite. Les réponses en termes de hauteur et de recouvrement ne varient pas significativement d'une année à l'autre au sein de chaque traitement. La production atteinte en fin de saison des pluies est la plus forte pour les essais de coupe de saison sèche (coupe traditionnelle " conservatrice"). Les arbustes sont, à cette période, en phase de repos végétatif, alors que les autres coupes affectent les arbustes soit en période de débourrage (début de saison des pluies), soit en phase de croissance (fin de saison des pluies). La période où la perturbation est appliquée affecte donc la réponse des arbustes, et la structure de l'écosystème. La multiplication des coupes au cours d'une même saison des pluies entraînent rapidement l'élimination des arbustes. Seuls les arbustes situés sur les milieux les plus favorables (bas-fonds) arrivent à supporter deux coupes successives. Cependant, la réponse en terme de recouvrement montre des signes d'épuisement des souches face à ces deux coupes. Trois coupes successives sont fatales pour les arbustes quelque soient les conditions stationnelles.

La seconde pression sur les milieux post-culturaux est le pâturage. Une simulation d'une charge de 1,6 UBT/ha/an , ce qui représente cinq fois la charge que Loireau (1998) a estimé sur le site de Banizoumbou, a été tentée au début et au milieu de la saison des pluies. Les essais montrent qu'au moment où les arbustes débourrent et avant qu'apparaissent les premières germinations (période de soudure : juin), les animaux se nourrissent des nouvelles feuilles des arbustes. La surface foliaire est alors fortement réduite par rapport à celle des arbustes non pâturés. La différence est définitive pour le reste de la saison. Le pâturage durant cette période de soudure diminue la capacité photosynthétique des arbustes et par conséquent, leur capacité à exploiter les ressources hydriques des sols. Il est probable alors qu'une compétition herbes/arbres pour ces ressources ait lieu, limitant ainsi la productivité des ligneux dans les conditions naturelles. La suppression du pâturage lèverait cette compétition entre les deux strates, ce qui expliquerait, dans le cadre d'une mise en défens, le développement des ligneux au détriment de la couverture herbacée.
Les autres conséquences du pâturage sont la diminution de la contribution des graminées à la flore par broutage ou piétinement, et l'augmentation de celle des cypéracées du genre *Fimbristillis*. Le piétinement diminue fortement le développement des croûtes microphytiques.

Les perturbations, principalement les coupes, ont une action sélective sur la strate ligneuse. Les enquêtes auprès des agriculteurs ont révélé que l'aire d'expansion du *Combretum micranthum* était auparavant beaucoup plus vaste que celle observée aujourd'hui. Le *Combretum* est présent maintenant seulement sur les stations les plus humides de la zone d'étude. Les mêmes essais de coupes que précédemment montrent que la réponse de *Combretum* à une coupe annuelle est significativement plus importante que celle de *Guiera*, surtout au début de la saison des pluies. La vitesse de croissance de *Combretum* ralentit plus fortement à la fin de la saison des pluies, que celle de *Guiera*. Un suivi du potentiel hydrique foliaire révèle que ces deux espèces ont un comportement différent vis à vis des contraintes hydriques. Quand la contrainte hydrique est forte, pendant les phases de stockage et de déstockage hydrique des sols, le *Combretum* abaisse son potentiel hydrique jusqu'à -25 bars,

alors que *Guiera* le maintient à - 15 bars. La croissance plus importante de *Combretum* jointe à une capacité d'abaisser son potentiel hydrique foliaire et à un cycle phénologique plus court que celui de *Guiera,* rappelle la stratégie de *Water spenders* décrite par Levitt (1980). Le *Guiera* adopte une stratégie de *Water savers*, se traduisant alors par une productivité plus faible. En conditions humides, la stratégie de *Water savers* donne un avantage compétitif à Combretum sur la stratégie *Water spenders* (*Guiera*). Cet avantage est par contre perdu sur des stations plus sèches.

La multiplication des coupes provoquent par contre une diminution de la réponse de *Combretum*, plus forte que celle de Guiera. *Combretum* est plus rapidement éliminé que *Guiera. Guiera senegalensis,* moins sensible que *Combretum micranthum* aux contraintes hydriques et aux perturbations engendrées par les défrichements, finit par dominer l'ensemble des jachères, et donc le paysage de la zone cultivée .

5. Réhabilitation des milieux post-culturaux.

Dans les conditions actuelles d'exploitation des milieux post-culturaux, seule la résilience des milieux situés sur les dunes et les bas-fonds permet d'atteindre un stade jugé satisfaisant en quatre à cinq années de jachères. Sur les autres milieux, une telle période est insuffisante pour lever les risques de dégradation physique de sols. La mise en défens accélère leur résilience, voire les relance sur les milieux les plus dégradés. Cependant, la mise en défens est très difficile à mettre en oeuvre sur la zone d'étude. Peltier (1993), Hoefsloot *et al.* (1993) proposent alors d'accélérer la régénération des systèmes post-culturaux par l'utilisation de techniques de réhabilitation ou de restauration. Aronson *et al.* (1993, 1995) propose une définition de ces notions et des objectifs visés. Les objectifs sont de recréer des écosystèmes autonomes (ou durables) caractérisés par une succession des communautés animales et végétales et par la capacité de cicatriser face à des perturbations modérées, d'origine anthropique ou non. Ils impliquent un retour aux précédent niveaux des flux d'énergie et des cycles des nutriments, ainsi que le bon fonctionnement hydrique du sol au niveau de la rhizosphère de l'écosystème. Dans le cadre de la réhabilitation, la régénération est amorcée, alors que la restauration implique que l'écosystème possède encore une résilience suffisante

pour se réparer de lui même. Les capacités d'infiltration des sols sahéliens sont sous la dépendance de leurs conditions d'encroûtement de surface. Des essais visant à améliorer les conditions de surface, et par conséquent le développement de la végétation ont été réalisés. Les techniques utilisées concernent : un travail du sol superficiel visant à briser les éventuelles croûtes (traitement T) ; un paillage (12 tonnes par hectare) dans le but d'attirer les termites qui vont perforer les croûtes et favoriser l'infiltration par la création de galeries souterraines (traitement M), les deux techniques précédentes couplées (traitement TM). Les résultats montrent que l'effet du paillage (M et TM) est largement positif. Les croûtes d'érosion disparaissent très rapidement. Les capacités d'infiltration sont alors nettement améliorées par rapport aux autres essais (Traitement T et témoins) ce qui augmente la quantité et la durée de disponibilité des ressources hydriques pour la végétation. Cette plus grande disponibilité entraîne une augmentation des productions ligneuses et herbacées. Elle accélère également le remplacement des espèces messicoles par des graminées (plantes en C4 essentiellement), plus performantes que les précédentes. Les coefficients d'efficience de l'utilisation de l'eau sont deux fois supérieurs à ceux des autres essais (2 à 2,5 pour les essais paillés contre moins de 1 pour les essais travail du sol et les témoins). Pendant le suivi de l'expérimentation, les teneurs en matière organique ont effectivement augmenté sur les parcelles paillées. Les sols, dégradés au départ, présentent à la fin, peu ou pas de risques de dégradation physique. Ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par Chase et Bouderesque (1987, 1989). Les essais de travail du sol sont par contre non satisfaisants. L'effet du travail du sol est très éphémère. Les croûtes se reforment au bout de 100 mm de pluie cumulée (Lamachère, 1994 ; Peugeot, 1995). Les productions herbacées et ligneuses sont plus faibles. Aucune amélioration des conditions édaphiques n'est enregistrée sur ces essais travail du sol.

La figure 73 utilise comme base de réflexion la figure 72 et présente l'évolution des stations J et G1 sous l'impact des traitements de réhabilitation.

Le travail du sol a bien un effet dégradant par rapport aux autres essais sur la station G1. Par contre, malgré l'amélioration des éléments structurels observée antérieurement, l'effet d'une simple mise en défens apparaît ici atténué puisque l'évolution de l'écosystème reste sur la trajectoire moyenne des systèmes dégradés. Le paillage (traitements M et TM) entraîne une

amélioration de la résilience qui s'approche de la trajectoire des milieux intermédiaires, grâce à une augmentation de la résistance à la dégradation physique des sols.

La position initiale de la station J, par rapport à la typologie régionale, était ambiguë. Il avait alors été choisi dans la troisième partie de mener l'analyse de l'évolution des éléments de la station J par rapport à celle des milieux dégradés, afin de ne pas surestimer ses propriétés. La résilience enregistrée sur la mise en défens de cette station se situe sur la trajectoire des milieux intermédiaires, justifiant le mode de gestion adoptée par l'agriculteur propriétaire de cette parcelle. L'effet d'un paillage (traitement M) sur la résilience voit son effet atténué ici. Une nette augmentation de la phytomasse épigée totale est effectivement enregistré par rapport au témoin, mais apparemment aux dépends de la résistance à la dégradation physique des sols. C'est le traitement travail du sol + paillage (TM) qui est le plus performant puisqu'il est capable de mettre le système J sur la trajectoire des milieux les plus résilients, par une amélioration conjointe des éléments structurels et des éléments fonctionnels.

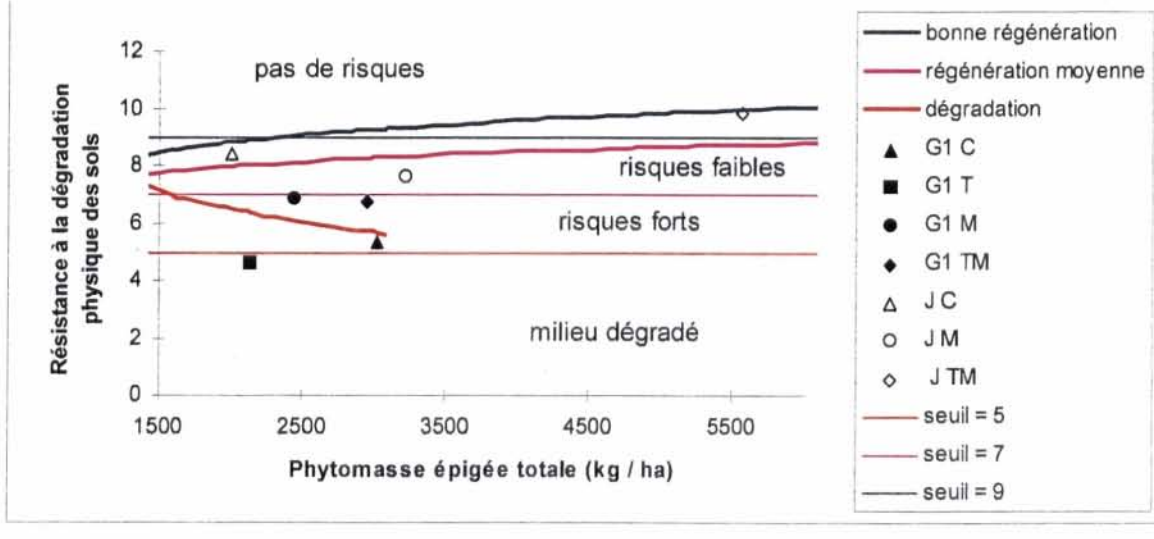


Figure 73 : Représentation des différentes trajectoires des milieux post-culturaux dans le sud-ouest sahélien nigérien et situation des essais de réhabilitation sur les stations G1 et J par rapport à ces trajectoires. Les essais concernent une mise en défens (C), un travail superficiel du sol (T), un paillage (M) et les deux dernières techniques combinées (TM). La résistance à la dégradation physique des sols est défini comme le rapport matière organique sur la teneur en argile et limons fins. Les seuils de résistance 5, 7 et 9 ont été définis par Piéri (1992). Les courbes pleines, calculées à partir des résultats obtenus par classes de la typologie régionale, représentent l'évolution des milieux post-culturaux en fonction de leur capacité de régénération (très bonne, moyenne et mauvaise).

6. Ecosystème / Paysage.

Les techniques de paillage, très efficaces dans le cadre de projet de réhabilitation, nécessitent une importante quantité de matériaux. Ici, 12 tonnes par hectare sont utilisées, ce qui reste relativement modeste par rapport à d'autres essais menés sur la station ICRISAT, près de Niamey. Les chercheurs appliquaient 2 tonnes de fumier par hectare, ce qui représente environ 20 tonnes de matière sèches (Bationo, *com verb.*). Des jachères situées sur des positions favorables produisent, lors d'une année pluviométrique moyenne, environ 1,7 tonnes par hectare. La moyenne sur l'ensemble des jachères est proche d'une tonne par hectare. Les rendements agricoles se situent en moyenne à deux quintaux de grains par hectare, ce qui représente environ une tonne de matière sèche par hectare. Ces simples calculs montrent que l'accélération de la remontée biologique sur un hectare de jachère nécessite une matière sèche produite ailleurs sur douze hectares environ. Le paillage est une technique de réhabilitation efficace, mais nécessite que soit abordé le **problème de gestion des ressources.** Premièrement, à titre d'exemple, sur le site de Banizoumbou en 1992, 65 % de la superficie totale est sous l'emprise agricole dont les deux tiers sont occupés par des champs (Leduc et Loireau, 1997). Il n'existe déjà donc pas de matériel nécessaire pour étendre la technique du paillage à l'ensemble des jachères. Deuxièmement, les agriculteurs préfèrent utiliser les tiges de mil pour réhabiliter les parties dégradées de leurs champs, plutôt que leurs jachères. Troisièmement, ces tiges de mil sont également un complément indispensable d'alimentation des animaux en saison sèche. Sur les jachères, l'utilisation de la litière produite pour accélérer la régénération des jachères réduirait forcément la disponibilité de fourrage pour les animaux .

Mise à part la disponibilité de matériaux, se pose également le problème de l'impact de la réhabilitation d'un écosystème sur le paysage. Forman et Godron (1986) définisse un paysage comme l'assemblage d'écosystèmes interagissant d'une manière qui détermine des mosaïques qui se répètent et qui sont reconnaissables. Il existe donc au niveau d'un paysage des relations très fortes entre les unités qui sont, par exemple le long d'une toposéquence, la dépendance des unités aval vis à vis des unités situées en amont du fait de la circulation d'éléments liquides et solides par ruissellement, entre autres. Ces dépendances entre zones

sources et zones de captage existent également au niveau d'un écosystème comme le montre les travaux de d'Herbès *et al.* (1997) en brousse tigrée et ceux de Tongway et de Ludwig (1990, 1995 et 1996) sur les pâturages australiens. La brousse tigrée se présente sous la forme de l'alternance de bandes de végétation, alimentées en partie sur le plan hydrique, par les eaux de ruissellement issues des bandes nues avals servant d'impluvium. Jusqu'à un passé récent, l'office forestier du Niger a cherché à revégétaliser ces bandes nues par la plantation d'espèces ligneuses avec l'utilisation de la technique de captage d'eau de ruissellement en demi-lune. L'eau captée par ses demi-lunes est autant d'eau perdue pour alimenter les bandes de végétation. Des essais menés sur le site brousse tigrée de Banizoumbou ont montré que l'arrêt du ruissellement provoquait un stress hydrique important sur la bande de végétation aval, voire la sénescence de certains ligneux. La restauration d'une partie de l'écosystème s'accompagne de la dégradation de l'autre partie de ce même écosystème, car l'homme est intervenu sur son fonctionnement sans le connaître. Ce constat peut s'appliquer également au paysage. En réhabilitant une unité du paysage, il est alors possible de couper les relations avec les autres unités, ce qui conduit à la fragmentation du paysage (Aronson *et al.*, 1995). Ces mêmes auteurs définissent *la fragmentation comme la rupture de certaines relations (ou toutes) de connexité qui participent, en particulier, au maintien de la trajectoire naturelle des divers écosystèmes qui constituent le paysage. Les conséquences de la fragmentation se répercutent à tous les niveaux intra et intercommunautaires.* Le problème n'est pas seulement de réhabiliter des écosystèmes, mais aussi d'essayer de réintégrer des paysages fragmentés. La réintégration des écosystèmes dans un paysage est la série d'opérations qui vise à rétablir les relations et autres caractéristiques permettant aux divers écosystèmes soit de retrouver leur trajectoire naturelle, soit de suivre une trajectoire imposée par les aménageurs et les utilisateurs. Des parties du paysage peuvent être alors "sacrifiées" comme les parties hautes des bassins versant en région aride de Tunisie servant d'impluvium pour alimenter les parties basses en éléments liquides et solides. Elle favorise l'interactivité des écosystèmes, chacun d'entre eux contribuant dès lors, plus ou moins étroitement, au maintien de la trajectoire (naturelle ou imposée) de tous (ou partie) des autres. Pour remplir les objectifs de la réhabilitation, une approche paysagère et une concertation entre tous les usagers d'un même

paysage sont indispensables. Les différents acteurs du développement doivent aboutir à une démarche commune sur la gestion durable des ressources et de l'espace. Les perspectives de cette étude sur les milieux post-culturaux sont nombreuses. Dans l'immédiat, son apport sur le niveau des ressources et sur le fonctionnement des jachères est utilisé en partie dans le cadre du travail de Maud Loireau (1998) et de Jean-Marc d'Herbès qui établisse, à l'échelle d'une petite région, un bilan entre les ressources et les usages sur le site de Banizoumbou, à travers la conception d'un système d'informations en environnement. Cette recherche est intégrée dans le programme ROSELT (Réseau d'Observatoires de Suivi Ecologique à Long Terme). Leur étude permet la spatialisation des données récoltées. Elle permettrait également de pouvoir simuler l'impact de l'intensification des usages ou, au contraire, l'impact de projets de réhabilitation sur les paysages. Il serait également important d'éclaircir de nombreux points sur le fonctionnement et l'évolution de ces écosystèmes, et en particulier pour n'en citer que quelques unes :

- voir si certaines graminées de la zone d'étude ont un comportement similaire à celui de l'*Hyparrhenia* dans les savanes de Lampto qui bloque les processus de nitrification et améliore les processus d'économie de la ressource en azote (Abbadie *et al.*, 1996) ;

- continuer à suivre l'évolution des différents traitements appliqués au cours de cette étude. Y-a-t'il un repeuplement ligneux après les coupes répétées plusieurs fois au cours de la même saison ? Si oui, s'agit il de germination ou alors de rejets ? Si non, qu'elle est l'évolution de la strate herbacée et des états de surface du sol en absence d'un couvert ligneux ? Quelle est l'évolution des parcelles mises en défens, des parcelles soumises aux traitements de réhabilitation ? Est ce que les tendances observées se confirment ou pas ?

Références bibliographiques

Abbadie, L., Lepage, M. & Le Roux, X. 1992. Soil fauna at the forest-savanna boundary : role of termite mounds in nutrients cycling. In : PROCTOR J. (Ed), The nature and dynamics of forest-savanna Boundaries.

Abbadie, L., Mariotti, A. & Menaut, J.C. 1992. Independence of savanna grasses from soil organic matter for their nitrogen supply. Ecology 73, 608-613.

Abbadie, L., Lepage, M. et Menaut, J.C. 1996. Paradoxes d'une savane africaine. La recherche n° 297, mai 1996.

Achard, F., Konieczka, N., Montagne, P. & Banoin, M. 1996. Ressources ligneuses des jachères du sud-ouest du Niger. *In La jachère, lieu de production.* EDS. Floret, C. Atelier " Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'ouest. Bobo Dioulassa, Burkina Faso, pp. 43-48.

Ada, L. et Rockström, J. 1993. Diagnostic sur le système agraire du Zarmaganda central (Niger). Mémoire de fins d'études. Institut National agronomique Paris Grignon. 82 p.

Adedeji, F.O. 1984. Nutrient cycles and successional changes following shifting cultivation practice in moist semi-deciduous forests in Nigeria. *Forest Ecology and Management*, 9, 2: 87-99.

Alexandre, D.Y. 1989. *Dynamique de la régénération naturelle en forêt dense de Côte d'Ivoire.* Etudes et Thèses, ORSTOM, Paris.

Ambouta, J.M.K. 1984. Contribution à l'édaphologie de la brousse tigrée de l'ouest nigérien. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université Nancy I. 116 p.

Ambouta, J.M.K. 1994. *Etude des facteurs de formation d'une croûte d'érosion et de ses relations avec les propriétés internes d'un sol sableux fin au Sahel.* Ph. D. Univ. Laval, Quebec.

Aronson, J., Floret, C., Le Floc'h, E., Ovalle, C. & Pontanier, R. 1995. *In L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait?* Eds R.Pontanier, A. M'Hiri, N. Akrimi, J. Aronson & E. Le Floc'h. John Libbey Eurotext, Paris, pp. 11-29.

Aronson, J., Floret, C., Le Floc'h, E., Ovalle, C. & Pontanier, R. 1993. Restoration and rehabilitation of degraded ecosystmes in Arid and Semi-Arid lands. II. Case studies in southern Tunisia, central Chile and Northern Cameroon. *Restoration Ecology*, 1: 168-187.

Aubreville, A. 1936. Bulletin du comité d'études historiques et scientifiques de l'Afrique Occidentale Française. Tome XIX. Gouvernement Général de l'Afrique Occidentale Française. Paris V.

Aweto, A.O. 1981. Secondary succession and soil fertility restoration in south western Nigeria; 1- Succession. *Journal of Ecology*, 69,2: 601-607.

Barnaud, G. 1997. *Evaluation du patrimoine naturel : contexte scientifique et méthodes.* Bureau permanent du CNPN 20 mars 1997 (Evaluation pour la conservation).

Barrière, O. et Barrière, C. 1996. Le Foncier Environnement. Fondements juridico-institutionnels pour une gestion conservatrice de l'environnement au Sahel. FAO. Col. Etudes Legislatives.

Bationo, A. & Mokwunye, A.U. 1991. Alleviating soil fertility constraints to increased crop production in West Africa : The experience in the Sahel. *Fertilizer Research* 29 : 95 - 115.

Baumer, M. 1987. Agroforesterie et Désertification. ICRAF-CTA. Wageningen, Pays-Bas. 260 p.

Berhaut, J. 1967. *Flore du Sénégal.* 2e édition. Editions CLAIRAFRIQUE. 485 p.

Belsky, A.J., Amundson, R.G., Duxbury, J.M., Rika, S.J., Ali, A.R. & Mwonga, S.M. 1989. The effects of trees on their physical, chemical and biological environment in a semi arid savanna in Kenya. J. Apl. Ecol. 26, 1005-1024.

Belsky, A.J. 1995. Spatial and temporal landscape patterns in arid and semi-arid African savannas. In : *Mosaic landscapes and Ecological processes.* Hansson, L., Fahrig, L. & Merriam, G. Eds. London.

Bille, J.C. 1977. Etude de la production primaire nette d'un écosystème sahélien. *Trav. Doc. ORSTOM*, Paris, 65. 82 p.

Blondel, J. & Aronson, J. 1995. Biodiversity and ecosystem function in the mediterranean bassin: human and non-human determinants. *Mediterranean-type Ecosystems: the function of biodiversity*, eds. G.W. Davis & D.M. Richardson. Ecological Studies, 109 : 43-119. Springer Verlag, Berlin.

Boulet, R. 1968. Etude pédologique de la Haute Volta, Région Centre Nord, ORSTOM, Dakar, Multigr., 351 p.

Boulier, F. et Jouve, P. 1990. *Evolution des systèmes de production shéliens et leur adaptation à la sècheresse.* Edit. R3S- CORAF 6 CILSS et CIRAD, Montpellier. 144 p.

Bouroche, J.M. & Aporta, G. 1978. L'analyse des Données. Coll. Que sais-je? Presses Universitaires de France.

Boureima, K. 1992. *Dynamique saisonnière de la strate ligneuse le long d'un gradient successionnel dans les jachères du Sahel nigérien (leur importance dans l'espace Agro-sylvo-pastoral).* Mémoire de fin d'études. Faculté d'agronomie de Niamey. Univ. Abdou Moumouni de Niamey. 35 p.

Bourlière, F. (Ed). 1983. *Tropical savannas.* Ecosystems of the world vol. 13. Elsevier, Amsterdam.

Bourlière, F. et Hadley, M.. 1983. In : F. Bourlière (Ed) *Tropical savannas.* Ecosystems of the world vol. 13. Elsevier, Amsterdam.

Bradshaw, A.D. 1984. Ecological principles and land reclamation practice, Landscape and urban planning, 11, 35-48.

Breman, H. & Cissé, A.M. 1977. Dynamics of Sahelian pastures in relation to drought and grazing. *Œcologia (Berlin)*, 28: 301-315.

Breman, H & de Ridder, N. 1991. *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens.* ACCT-CTA-KARTHALA, Wageningen. 486 p.

Brian, M.V. 1978. *Production ecology of ants and termites.* International Biological Programme 13. Cambridge University Press, Cambridge.

Brouwer, J. & Bouma, J. 1997. *La variabilité du sol et de la croissance des cultures au Sahel : points saillants de la recherche (1990-95) au centre sahélien de l'ICRISAT.* Bulletin d'information n° 49. ICRISAT. 42 p.

Bruin, B., de, F.W.T. Penning de Vries, L.W. Van Broekhoven,N. Vetregt & S.C. Van de Geijn. 1989. Net nitrogen mineralization, nitrification and CO2 production in alterning moisture conditions in an unfertilized low-humus sandy soil from the Sahel. *Plant Soil* 113 : 69-78.

Bui, E.N., Mazzulo, J.M. & Wilding, L.P. 1989. Using quartz grain size and shape analysis to distinguish between aeolian and fluvial deposits in the Dallol Bosso of Niger (West Africa). Earth Surf. Landforms, 14 : 157-166.

CABO, IB, DAN/LUW, IER, *Exploitation otimale des éléments nutritifs en élevage.* Projet de coopération scientifique, production soudano-sahélienne (PPS), Bamako, 1991. pp. 271-290.

Casenave, A. & Valentin, C. 1989. *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration.* ORSTOM, Collection Didactiques, Paris.

Casenave, A. & Valentin, C. 1992. A runoff capability classification system based on surface features criteria in semiarid areas of West Africa. *J. Hydrol.*, 130 : 231 - 249.

Castell, J.F. 1994. *L'eau dans la plante et la production. Aspects écophysiologiques.* INA-PG. Paris

Castro-Diez, P., Villar-Salvador, P., Pérez-Rontomé, C. Maestro-Martinez, M. & Montserrat-Marti, G. 1997. Leaf morphology and leaf chemical composition in three Quercus (Fagaceae) species along a rainfall gradient in NE Spain. Trees, 11 : 127-134.

CCD , 1995. Convention des nations unies sur la lutte contre la désertification dans les pays gravement touchés par la sècheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique. INTERNET : http://www.iisd.ca/linkages /desert/dex ooof.html

Cesar, J. & Coulibaly, C. 1993. Conséquence de l'accroissement démographique sur la qualité de la jachère dans le nord de la Côte d'Ivoire. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 415-434. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

Charreau, C.L. et R. Nicou. 1971. L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest africaine et ses incidences agronomiques. *L'agronomie tropicale* 26 (5) : pp 565-631.

Chase, R. et Bouderesque, E. 1987. Methods to stimulate plant regrowth on Bare Sahelian forest soils in the region of Niamey, Niger. Agriculture, Ecosystems and Environment, 18 (1987) 211-221.

Chase, R. & Bouderesque, E. 1989. A study of methods for the revegtation of barren crusted Sahelian forest soils. Soil, Crop, and water Management Systems for rainfed agriculture in the Sudano-Sahelian Zone : proceedings of an International Workshop, 7-11 Jan 1987. ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger. Patancheru, A.P. 502324, India : ICRISAT.

Chen, Y, Tarchitzky, J., Brouwer, J., Morin, J. & Banin, A. 1980. Scanning electron microscope observation of soil crusts and their formation. Soil Sciences n° 130 : 49-55.

Christianson, C.B. & Vlek, P.L.J. 1991. Alleviating soil fertility constraints to food pproduction in West-Africa: efficiency of nitrogen fertilizers applied to food crops. *Fertilizers Research,* 29 : 21-33.

Cissé, M.I., Hiernaux, P. & Diarra, L. 1993. Intégration agro-pastorale au Sahel: dynamique et potentiel fourrager des jachères. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 405-413. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

Claude, J., Grouzis, M & Milleville, P. 1991. Un espace sahélien. La mare d'Oursi. Burkina Faso. Edit. ORSTOM. 241 p.

Clements, F.E.. 1916. Plant succession : an analysis of the development of vegetation. *Carnegie Inst. Washington. Publ.*, 242, pp.1-512.

Clements, F.E.. 1936. Nature and structure of the climax. *J. Ecol.*, 24, pp. 252-284.

Connel, J.H. et Slatyer, R.O.. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *Am. Nat.*, 111, pp. 1119-1144.

Cornet , A. 1996. Désertification et projets de lutte : réflexions préliminaires. Notes de réflexion interne ORSTOM. 18 p.

Courault, D., d'Herbès, J.M. & Valentin, C. 1990. *Le bassin versant de Sama dey. Premières observations pédologiques et phyto-écologiques. Programme Hapex-Sahel.* ORSTOM, Paris.

Courel, M.F. 1984. Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites. Thèse de doctorat ès lettres et sciences humaines. Université de Paris I. 407 p.

Cruziat, P. et Tyree, M.T. 1990. La montée de la sève dans les arbres. *La Recherche* n° 220. Avril 1990.

Cruziat, P. 1994. *Physiologie végétale : les relations plante - eau.* Ecole Centrale Paris.

Cuenca, R.H., Brouwer, J., Chanzy, A., Droogers, P., Galle, S., Gaez, S.R., Sicot, M., Stricker, H., Angullo-Jaramillo, R., Boyle, S.A., Bromley, J., Chebhouni, A.G., Cooper, J.D., Dixon, A.J., Fies, J-C., & Vauclin, M. 1997. Soil measurements during HAPEX-Sahel Intensive Observation Period. Journal of hydrology.

Damesin. 1996. Relations hydriques, photosynthèse et efficacité d'utilisation de l'eau chez deux chênes méditerranéens caducs et sempervirents cooccurents. Thèse de doctorat, Université de Paris Sud.

d'Herbès, J.M., Ambouta, J.M.K. et Peltier, R. 1997 Eds. Fonctionnement et Gestion des Ecosystèmes Forestiers Contrastés Sahéliens. John Libbey Eurotext. Paris.

d'Herbès, J.M. et Valentin, C. 1997. Land surface conditions of the Niamey region : ecological and hydrological implications. *Journal of Hydrology* 188-189 : 18-42.

d'Herbès, J.M., Delabre, E. & Loireau, M. 1995. Bases écologiques pour une spatialisation des données recueillies dans le cadre de l'expérience Hapex-Sahel. *Hydrologie et météorologie de méso-échelle dans Hapex-Sahel : dispositifs de mesures au sol et premiers résultats,* ed. T. Lebel:181-206.ORSTOM éditions, Paris.

d'Herbès, J.M. 1993. Appauvrissement structural dans les zones de cultures au Sahel nigérien. Dans : C. Floret & G. Serpantié (Eds), *La jachère en Afrique de l'ouest*, 467-468. Collection Colloques et Séminaires. ORSTOM, Paris.

d'Herbès, J.M., Diaz, J. & Azocar, P. 1988. Réponses de la végétation à la variabilité des précipitations dans la zone aride méditerranéenne du Chili. In *Times scales and water stress*, eds. F. Di Castri, C. Floret, S. Rambal & J. Roy: 423-439. IUBS, Paris.

Daget, Ph. & Poissonet, J. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies, *Ann. agron.*, 22 (1), 5-41.

De Angelis, D.L. et J.C. Waterhouse. 1987. Equilibrium and nonequilibrium concepts in ecological models. *Ecological monographs* 57 : pp 1-21.

De Miranda, E.E. 1980. Essai sur les déséquilibres écologiques et agricoles en zone tropicale semi-aride. Le cas de la région de Maradi au Niger. Thèse, Univ. Languedoc, Montpellier.

Delabre, E., Abbadie, L., d'Herbès, J.M. (in prep.). Post-cultivation soil dynamic in South Western Niger. Consequences for management. For *Soil and Tillage Research.*

Delbaere, E.1994. Identification de la structure des écosystèmes forestiers contractés sahéliens par télédétection aérienne et satellitaire. Facteurs déterminant ces structures. Mémoire de fins d'études ISTOM, Cergy-Pontoise. 75 p.

Diatta, M. & Matti, F. 1993. Dynamique de la végétation ligneuse sur d'anciennes terres de culture sur cuirasses au Sénégal. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 307-318. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

Diop, A.T. 1993. Les jachères dans l'alimentation des animaux domestiques au Sénégal. Importance et modes d'utilisation. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 451-460. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

Donfack, P. 1993. Dynamique de la végétation après abondon de la culture au Nord Cameroun. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 319-330. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

Dupré, G. & Guillaud, D. 1988. L'agriculture de l'Aribinda (Burkina Faso) de 1875 à 1983. Cah. Sci. Hum. 24 (1) : 51-71.

Egler, F.E.. 1954. Vegetation science concepts. 1° Initial florsitic comosition, a factor in old field vegetation development. *Vegetatio*, 4, pp. 412-417.

Ehleringer, J.R & Cooper, T.A. 1988. Correlations between carbon isotope ratio and microhabitat in desert plants. Oecologia, 76 : 562-566.

Elkins, N.Z., Sabol, G.V., Ward, T.J. & Whitford, W.G. 1986. The influence of subterranean termites on the hydrological characteristics of a Chihuahuan desert ecosystem. Oecologia 68 : 521-528.

Ehrman, M. Réponse différentielle au gradient de ressources hydriques de deux espèces cogénériques et cooccurantes sur une bande de végétation d'une brousse tigrée nigérienne. In prep.

Farquhar, G.D., O'Leary, M.H. & Berry J.A. 1982. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. Austrralian Journal of Plant Physiology, 9 : 121-137.

Feller, C., F. Ganry & M. Cheval. 1981. Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agro-système tropical. I & II. *L'agriculture tropicale* 36(1) : 9-25.

Feller, C. & F. Ganry. 1982. Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agro-système tropical. I & II. *L'agriculture tropicale* 37(3) : 262-269.

Feller, C., P. Lavelle, A. Albrecht et B. Nicolardot. 1993. La jachère et le fonctionnement des sols tropicaux. Rôle de l'activité biologique et des matières organiques. Quelques éléments de reflexion. In : C. Floret et G. Serpantié (Eds) *La Jachère en Afrique de l'ouest.* Colloques et Séminaires. ORSTOM, Paris.

Field, C.B. 1991. Ecological scaling of carbon gain to stress and ressource availability. In : *Response of plants to multiple stresses.* Mooney, H.A., Pell, E.J. & Chu, E. (Eds). Academic Press : 35-65.

Floret, C. & Pontanier, R.1982. L'aridité en Tunisie présaharienne. Climat, sol, végétation et aménagement. Paris, *Trav. et Doc.* Technique n°1, 96 p + ann.

Floret, C. & Pontanier, R.1984. Aridité climatique, Aridité édaphique. Bull. Soc.Bot.Fr., 131, Actual. Bot., 1984 (2/3/4) : 265-275.

Floret, C. & Pontanier, R.1993. *La Jachère en Afrique de l'ouest.* Colloques et Séminaires. ORSTOM.

Floret, C., Pontanier, R. & Serpantié, G., eds. 1993. *La Jachère en Afrique Tropicale.* Man & the Biosphere Series, 16.

Floret, C. 1997. *La jachère, lieu de production.* Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'ouest. Projet 7 ACP RPR 269.

Forman, R.T.T. & Godron, M. 1986. Lanscape ecology. John Wiley & Sons, New York.

Fournier, A. 1990. Phénologie, croissance et production végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'ouest, variations selon un gradient de sécheresse. Thèse d'Etat. Université de Paris VI, Paris.

Friedel, M.H. 1991. Range condition assesment and the concept of thresholds : A viewpoint. Journal of range managment 44(5) : pp 422-426.

Frost, P., Menaut, J.C., Walker, B., Medina, E., Solbrig, O.T. & Swift, M. 1986. Responses of Savannas to Stresses and Disturbances. A proposal for a collaborative programm of research. *Biology International Special Issue* , 10, IUBS, Paris.

Gado, B. 1980. Le Zarmatarey. Contribution à l'histoire des populations d'entre Niger et Dallol Mawri. Etudes nigériennes n° 45. Paris.

Gaston, A. 1981. La végétation du Tchad (nord-est et sud-est du lac Tchad), évolutions récentes sous les influences climatiques et humaines. Thèse doctorat d'état, Sciences naturelles. Université Paris XII, Paris.

Gavaud, M. 1965. Etude pédologique du Niger occidental. Rapprt général, ORSTOM, Dakar-Hann, 513 p.

Glodstein, G., Sarmiento, G. & Meizer, F. 1986. Patrones diaros y estacionales en las relaciones hidricas de arboles siepreverdes de la savvana tropical. Oecol. Plant. 7 (2) : 107-119.

Godron, M. & Poissonet, J. 1972. Quatre thèmes complémentaires pour la cartographie de la végétation et du milieu. *Bull. Soc. Languedoc. Géographie* 6, 3 : 329-256.

Godron, M. 1984. Ecologie de la végétation terrestre. Ed. Masson. 186 p.

Godron, M. et Forman, R.T.T. 1983. Lanscape modification and changing ecological characteristcs. P 12-18. *In*: H.A. Mooney and M. Godron (eds). Disturbance and ecosystems : components of response. Springer Verlag, New York.

Gomez-Campo, C.. 1985. The conservation of Mediterranean plants : principles and problems. In : Gomez-Campo (ed) Plant conservation in the Medtierranean aera. Junk, Dordrecht : 3-8.

Goutorbe, J.P., Lebel, T., Tinga, A., Bessemoulin, P., Brouwer J., Dolman, A.J., Gash, J.H.C., Hoepffner, M., Kabat, P., Kerr, Y.A., Monteny, B., Prince, S., Said, F., Sellers, P., Wallace, J.S., 1994. HAPEX-Sahel: a large-scale study of land-atmosphere interactions in the semi-arid tropics. *Ann. Geophysicae*, 12: 53-64.

Goyal, M.R., Nelson, G.L. & Carpentier, T.C. 1979. Mechanical properties of soil crust. Am. Soc. of Agr. Eng. paper, n°79-1547.

Greigert , J. 1966. Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemeden (Afrique occidentale). BRGM, 208 p.

Griffiths, J.F. 1972. Climates of Africa. World Survey of Climatology, Vol. 10. Elsevier Publisher Comp., Amsterdam. 599 p.

Grouzis, M. 1988. *Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso)*. Collections Etudes et Thèses, ORSTOM, Paris.

Grouzis, M & Sicot, M. 1980. A method for the phenological study of browse populations in the Sahel : the influence of some ecological factors. In : *Browse in Africa, the current state of knowledge*, Le Houerou éd., International Symposium, Addis-Abeba, 1980 : 233-240.

Guillemin, R. 1956. Evolution de l'agriculture autochtone dans les savanes de l'Oubangui. 2ème partie : l'agriculture oubanguienne à ses origines. *Agronomie Tropicale*, 11, 2 : 143-176.

Guyot, L., Becker, Y., Leveque, L., Barralis, G. et Grandjouan, G.. 1960. Sur la présence dans les terres cultivées et incultes de semences dormantes des espèces adventices. *Bull. Serv. Carte. Phytogéog.* , 5, pp. 197-254.

Hall, J.B. & Okali, D.U.U. 1979. Structural and floristic analysis of woody fallow vegetation near Ibadan, Nigeria. *Journal of Ecology*, 67: 321-346.

Haywood, M. 1981. *Evolution de l'utilisation des terres et de la végétation dans la zone soudano-sahélienne du projet CIPEA au Mali.* Documents et travaux 3. CIPEA/ILCA, Addis-Ababa.

Heil, J. 1992. Soil properties influencing hydraulic sealing of surface on alfisols in the Sahel. Report Texas A&M University.

Hien, V., Sedogo, M.P. & Lompo, F., 1993. Etude des effets des jachères de courte durée sur la production et évolution des sols dans différents systèmes de culture au Burkina Faso. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 221-232. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM éditions, Paris.

Hiernaux, P., 1984. Distribution des pluies et production herbacée au Sahel: une méthode empirique pour caractériser la distribution des précipitations journalières et ses effets sur la production herbacée. Premiers résultats acquis dans le Sahel Malien. CIPEA, Bamako, mimeographed.

Hoepffner, M., Lebel, T. & Monteny, B. 1996. Interactions Surface Continentale / Atmosphère : L'Expérience HAPEX-Sahel. Colloques et Séminaires. ORSTOM. Montpellier.

Hoefsloot, H., F. Van der Pol et L. Roeleveld. 1993. Jachères améliorées. Options pour le développement des systèmes de production en Afrique de l'ouest. *Royal Tropical Institute*. Bull. 333.

Holling, C.S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systemics*. 4 : pp 1-23.

Holling, C.S. 1978. *Adaptative environmental assesment and management*. John Wiley, New York.

Hoogmoed, W.B. & Klaij, M.C. 1991. Soil management for crop production in the west African Sahel. I. Soil and climate parameters. *Soil & Tillage Research*, 16 : 85 - 103.

Huntley, B.J. & Walker, B.H (Eds). 1982. *Ecology of tropical savannas*. Ecological Studies 42. Springer-Verlag, Berlin.

Isichei, A.O. 1980. Nirogen fixation by blue green algal soil crusts in Nigerian savanna. In : *Nitrogen Cycling in West African Ecosystems*. Rosswall, T. Ed.

Jean, S. 1975. *Les jachères en Afrique tropicale. Interprétation technique et foncière*. Institut d'éthnologie - Musée de l'Homme, Paris.

Jouve, P. et David, D. 1985. Diversité spatiale et évolution des modes d'association de l'agriculture et de l'élevage dans la région de Maradi au Niger (zone sahélienne). Cah. Rech. Dév., n° 7 : 54-64.

Khan, F.. 1982. *La reconstitution de la forêt tropicale après culture traditionnelle* (*sud-ouest de la Côte d'Ivoire*). Mémoire ORSTOM 97. ORSTOM, Paris.

Kennard, D.G. & Walker, B.H. 1973. Relationships between tree canopy cover and *Panicum maximum* in the vicinity of Fort Victoria. Rhod. J. Agric. Res. 11, 145-153.

Knoop, W.T. & B.H. Walker. 1985. Interactions of woody and herbaceous vegetation in a southern African savanna. *Journal of Ecology* 73(1) : 235-253.

Kok de, R. 1993. An architectural annalysis of *Guiera senegalensis*, a pioneer species in the Sahelian Tigerbush. Agr. Univ. Wageningen.

Lamachère, J.M. 1991. Aptitude au ruissellement et à l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. In : Soil Water balance in the Sudano-Sahelian Zone, Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991, IAHS Publ. n° 199 : 109-119.

Lamachère, J.M. 1994. Variabilité spatio-temporelle des états de surface en zone sahélienne et soudanienne (Burkina Faso) : effet sur le ruisssellement et sa modélisation. X° journées hydrologiques de l'ORSTOM, 13 et 14 Septembre 1994, Montpellier, France.

Lamotte, M. 1992.Etude pédologique en vue d'un suivi hydraulique sur le bassin versant de Sama-Dey (Niger). Rapport de mission, ORSTOM.

Lassina, O. 1993. Etude des relations pluviométrie-phénologie-production dans la zone sud-ouest du Sahel nigérien. Mémoire de fin d'études. Univ. Abdou Moumouni, Niamey, Niger.

Laycock, W.A. 1991. Stable states and thresolds of range condition on North American rangelands : A viewpoint. Journal of range managment 44(5) :pp 427-433.

Leduc, C. & Loireau, M. 1997. Fluctuations piézométriques et évolution du couvert végétal en zone sahélienne (sud-ouest du Niger). IAHS Publications n° 240.

Lee, V.E. & Wood, T.G. 1971. Termites and soils. Academic Press, London and New York.

Le Houerou, H.N.. 1968. La désertisation du Sahara septentrional et des steppes limitrophes. Colloque d'Hammamet. Ann. Alg. de Géographie. 3(6) : 2-27.

Leonard, J. & Rajot, J.L. 1997. Restoration of infiltration properties of crusted soils by mulching. In soil fertility management in West African land use systems. Proc. Regional Workshop, 4-8 March 1997, Niamey, Niger.

Lepart, J. et Escarre, J.. 1983. La succession végétale, mécanismes et modèles : analyse bibliographique. *Bull. Ecol.*, t.14, 3, pp. 133-178.

Leroux. 1983. *Le climat de l'Afrique tropicale.* Ed. Champion, Paris.

Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol. II, Water, radiation, salt and other stresses. Academic Press, New York, 2-311.

Loireau, M. 1998. Espaces - Ressources - Usages : Spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques au Sahel nigérien. Thèse Université montpellier III Paul Valéry. 411 p.

Louppe, D. 1991. *Guiera senegalensis*, espèce agroforestière ? *Bois et Forêts des Tropiques*, 228: 41-47.

Lüttge, U. 1997. *Physiological ecology of tropical plants.* Springer-Verlag. Berlin. p 383.

Madjarian, G. 1991. *L'intervention de la propriété, de la terre sacrée à la société marchande.* L'Harmattan, Paris.

Matlon,P.J. 1985. On farm testing of cultivars in farmers' field in Africa. Ouagadougou, ICRISAT. 18 p.

Margalef, R. 1974. *Ecologia.* Ed. Omega. Barcelona. 951 p.

Mémento du Forestier. 1989. Centre Technique Forestier Tropical. Ministère de la Coppération et du Développement. 1269 p.

Menaut, J.C. & Podaire, A. 1990. *Analyse de la dynamique des savanes d'Afrique de l'ouest : mécanismes sous-jacents et spatialisation des processus.* Projet SALT, Programme Français Géosphère-Biosphère, Paris.

Menaut, J.C., Gignoux, J., Prado, C. & Clobert, J., 1990. Tree community dynamics in humid Savanna of the Côte d'Ivoire: modelling the effects of fire and competition with grass and neighbours. *Journal of Biogeography*, 17: 471-481.

Menaut, J.C., Saint, G. & Valentin, C. 1993. SALT. Les Savannes à Long Terme (Programme Géosphère-Biosphère). Analyse de la dynamique des savannes d'Afrique de l'Ouest : mécanismes sous-jacents et spatialisation des processus. In *La jachère en Afrique de l'ouest.* Floret, C. & Serpantié, G (Eds). Col. Colloques et Sminaires ORSTOM. Paris.

Menaut, J.C., Flouzat, G. & Valentin, C. 1995. Modelisation, Cartographie et Télédétection : Programme SALT (CNRS-ORSTOM-CNES). In Les Dossiers de l'Environnement de l'INRA 8. Ecosystèmes & Changements Globaux. Paris. 196 p.

Merlier, H. 1967. Evolution d'une jachère naturelle bisannuelle intervenant dans une rotation quiquennale type : sa comparaison avec une jachère continue naturelle. Dans : *Colloque sur la fertilité des sols tropicaux*, 1803-1822. Tananarive (Madagascar), 19-25 novembre 1967. IRAT, Paris.

Miedema, R., Brouwer, J., Geiger, S.C. & Vandenbeldt, R.J. 1994. Variabilityn in the growth of *Acacia albida* near Niamey, Niger, West Africa : micromorphological aspects of termite activity. In *Soil micromorphology : studies in management and genesis : proceedings of the IX International working meeting on soil micromorphologyu*, July 1992. Developments in Soil Science 22 (Ring-voase, A.J. & Humphreys, G.S. eds). Amsterdam, les pays bas : pp 411-419.

Miège, J. Bodard, M. & Carrère, P. 1966. *Evolution floristique des végétations de jachère en fonction des méthodes culturales à Darou (Sénégal)*. Trav. Fac. Sci. Univ. Dakar, IRHO, Série scientifique 14, Paris.

Mitja, D. & Hkadik, A. 1989. Aspects de la reconstitution de la jachère dans deux jachères en zone forestière africaine humide (Makokou, Gabon). *Acta Œcologica, Œcologia generalis*, 10, 1: 75-94.

Mitja, D. 1990. Influence de la culture itinérante sur la végétation d'une savane humide de Côte d'Ivoire (Booro-Borotou; Touba). Thèse Doctorat. Université de Paris VI, Paris.

Mitja, D. et Puig, H.. 1993. Essartage, culture itinérante et reconstitution de la végétation dans les jachères en savane humide de Côte d'Ivoire (Booro-Borotou, Touba). Dans : C. Floret et G. Serpantié (Eds), *la jachère en Afrique de l'ouest*, 377-392. Collection Coloques et Séminaires. ORSTOM, Paris.

Mordelet, P., Abbadie, L & Menaut, J.C. 1993. Effects of tree clumps on soil characteristics of a humid savanna of West Africa (Lamto, Côte d'Ivoire). Plant Soil 153 : 103-111.

Morel, R. & Quentin, P., 1964. Les jachères et la régénération du sol en climat soudano-guinéen d'Afrique Centrale. *Agronomie Tropicale*, 19, 2: 105-133.

Moss, A.J. 1991. Rain-impact soil crust. I. Formation on a granite (derived soil, and part II to IV. Aust. J. Soil. Res., vol. 29 : pp 271-330.

Namur, C., Guillaumet, J.L. 1978. Observations sur les premiers stades de la reconstitution de la forêt dense humide (sud ouest de la Côte d'Ivoire). - 3. Grands traits de la reconstitution dans le sud-ouest ivoirien. *Cahiers ORSTOM, Série Biologie,* 13, 3: 211-221.

Noble, I.R. & R.O. Slatyer. 1980. The use of vital attributes to predict successionnal changes in plant communities subject to recurrent disturbances. *Vegetatio* 43 : 5-22.

Noy-Meir, I.. 1973. Desert Ecosystems : Environment and producers. Ann. Review of Ecology and systematics 4 : 25-51.

Noy-Meir, I.. 1975. Stability of grazing systems : an application of predator-preybgraphs. *Journal of Ecology* 63 : pp 459-481.

Noy-Meir, I.. 1985. Desert Ecosytem Structure and Function. *In* : Ecosystems of the world Vol 12 A. Hot deserts and Arid Shrublands "Evenari", Noy-Meir and Goodall, D.W. (Eds)

Nye, P.H. et D.J. Greenland. 1960. *The soil under shifting cultivation.* Technical communication 51. Commonwealth Agricultural Bureau, Harpenden.

Odum, E.P.. 1969. The strategy of ecosystem dévelopment. *Science*, 164, pp. 262-270.

Ouadba, J.M. 1993. Note sur les caractéristiques de la végétation ligneuse et herbacée d'une jachère protégée en zone soudanienne dégradée. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 331-340. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

Ouedraogo, J. 1985. *Contribution à l'étude du dynamisme des formations naturelles du Burkina : reconstitution des jachères dans la zone de Kaibo, Niaogho.* Mémoire fin d'Etude. IDR-ORSTOM, Ouagadougou.

Payne, W.A., Wendt, C.W. & Lascano, R.J. 1990. Root zone water balances of three low-input millet fields in Niger, West Africa. Agron. J., 82 : 813-819.

Payne, W.A., Lascano, R.J. & Wendt, C.W. 1991. Annual soil water balance of cropped and fallowed millet fields in Niger. Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991). IAHS Publ. n°199 : 401-411.

Peltier, R. 1993. Les jachères à composante ligneuse. Caractérisation, productivité, gestion. Dans : C. Floret & G. Serpantié (Eds), *La jachère en Afrique de l'ouest*, 68-87. Collection Colloques et Séminaires. ORSTOM, Paris.

Peltre-Wurtz, J. et B. Steck. 1979. *Influence d'une société de développement sur le milieu paysan. coton et cultures attelées dans la région de Bagoué (Nord Côte d'Ivoire).* Petit-Bassan, ORSTOM, Paris. 428 p.

Peugeot, C. 1995. Influence de l'encroûtement superficiel du sol sur le fonctionnement hydrologique d'un versant sahélien (Niger). Expérimentations *in-situ* et modélisation. Thèse Univ. Grenoble I. 305 p.

Pieri, C. 1989. *Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara.* Ministère de la Coopération/CIRAD-IRAT, Paris. 428 p.

Piéri, C. 1992. *Fertility of soils. A future for farming in the West African savannah.* Springer Verlag Ed, Berlin. 348 p.

P.N.U.D. 1986. Synthèse des ressources en eau du département de Tillabéri. PNUD-DCTD, Ner 86001, Niamey, Niger. 22 p.

Poncet, Y. Cartes Ethnodémographiques du Niger, Niamey. IRSH, En n° 32.

Poupon, H; 1980. Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal. Travaux et Documents de l'ORSTOM. Paris. 351 p.

Projet, ENERGIE II. 1991. Schéma directeur d'approvisionnement en bois de la ville de Niamey. Energie domestique. CIRAD-Forêt-SEED. 128 p.

Quezel, P. 1985. Definition of the Mediterranean region and origin of its flora. In : Gomez-Campo (ed) Plant conservation in the Medtierranean aera. Junk, Dordrecht : 9-24.

Rabiou, M. 1992. Dynamique de la strate herbacée le long d'un gradient successionnel dans les jachères du Sahel nigérien. Mémoire de fin d'études. Fac. d'agronomie, Univ. Abdou Moumouni de Niamey. 44 p.

Radji, G. 1991. Etude des régimes pluviométriques du Niger : caractéristiques des distributions mensuelles et variations observées au cours des 40 dernières années. Mémopire de dins d'études d'ingénieur d'application en hydrologie. Centre Régional de Formation et d'Application en Agrométéorologie et Hydrologie Opérationnelle, Niamey, 53 p + annexes.

Renard, C., Boudouresque, E., Schmelzer, G. & Bationo, A. 1993. Evoltion d'une jachère sur une période de 8 ans à Sadoré (Niger). Composition botanique et régénération forestière. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 297-306. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

Roose, E. 1991. Rôle des jachères sur l'entretien de la fertilité des sols tropicaux. Communication à l'Atelier ORSTOM-CNRS-UNESCO sur la jachère en Afrique de l'ouest. Montpellier (France), 3-5 décembre 1991.

Roose, E. 1993. Capacité des jachères à restaurer la fertilité des sols pauvres en zone soudano-sahélienne d'Afrique occidentale. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 297-306. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

Roussel, B., 1994. Usages, perception et gestion des jachères: comparaison entre une région sèche et une région humide de l'Afrique de l'Ouest. *Journal d'Agric. Trad. et de Bota. Appl.*, Nouvelle Série, 36, 1 : 29-45.

Rouw, H., de, 1991. Rice, weeds and shifting cultivation in a tropical rain forest. A study of vegetation dynamics. Paris. 263 p.

Rouw, H., de, 1993. Influence du raccourcissement de la jachère sur les enherbements et la conduite des sytèmes de culture en zone forestière. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 257-266. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

Roux, F. 1987. Les lignes de grains de COPT 81 : environnement, précipitations, cinématique et thermodynamique. Thèse d'Etat, Univ. Paris VII, 1987, 368 p.

Ruthenberg, H.. 1980. *Farming systems in the tropics* . 3e Ed. Oxford Science Publications. Oxford.

Sarmiento, G.. 1984. *The ecology of neotropical savannas*. Harvard University Press, Cambridge.

Sarmiento, G. 1992. A conceptual model relating environnemenatl factors and vegetation formations in the lowlands of tropical South America. In Furley, P.A., Procter, J. and Ratter, J.A. (Eds) : *Biodiversityand Savanna Ecosystem Processes : A global Perspective*. Springer, Heidelberg.

Schneider, J.L. 1991. Les principaux évenements hydroclimatologiques survenus en Afrique sahélo-saharienne depuis 1200 A.D. C.R. Acad. Sci. Paris, t.312, série II, pp93-96.

Schultz, E.1991. A neolithic revolution in the Sahara ? Background to the ressources of human alimentation during the Holocene of the central and southern Sahara. Abstract 5, Cinquième Colloque Mega-Tchad - L'homme et le milieu végétal, 1991, Paris.

Sebillote, M.. 1985. La jachère.2léments pour une théorie. In : *A travers champs, Agronomes et géographes,* 175-229. Colection Colloques et Séminaires. ORSTOM. Paris.

Seghieri, J. 1990. Dynamique saisonnière d'une savane soudano-sahélienne au Nord-Cameroun. Thèse Doctorat. USTL, Montpellier.

Seghieri, J. 1996. Rythmes saisonniers d'une savane soudano-sahélienne en relation avec l'hydrodynamique du sol. Ecologie, t. 27(2) : 67-78.

Seghieri, J., 1994. Development of an herbaceous cover in a Sudano-Sahelian savanna in North Cameroon in relation to available soil water. *Vegetatio*, 114:175-184.

Séré de Rivières, E. 1965. *Histoire du Niger.* Mondes d'Outre Mer. Berger-Levrault Eds. Paris. p 297.

Serpantié, G., 1993. Rôle et signification de la jachère dans les systèmes de production agricole en Afrique de l'Ouest. Problématique de son remplacement. In *La Jachère en Afrique Tropicale*, eds. C. Floret, R. Pontanier & G.Serpantié: 55-84. Man & the Biosphere Series, 16.

Seybou, H. 1993. Enquête sur les systèmes de culture : cas du terroir de Banizoumbou. Mémoire de fins d'études. Univ. Abdou Moumouni, Niamey, Niger.

Seiny- Boukar, L. C. Floret & R. Pontanier. 1992. Degradation of savanna soils and reduction of water available for the vegetation : the case of nothern Cameroon vertisols. *Canadian Journal of Soil Sciences* 72 : 481-488.

Skarpe, C. 1992. Dynamics of savanna ecosystems. *Journal of vegetation Science* 3 : 293-300.

Sidikou, A.H. 1974. Sédentarité et mobilité entre Niger et Zgaret. Etudes nigériennes, 34. 250 p.

Sidikou, A.H. 1987. Une région sahélienne en crise : le Zarmaganda (République du Niger). UNESCO, sous programme IV 41.

Silva, J.F.. 1987. Responses of savannas to stress and disturbance : species dynamics. In : B.H. Walker (ed) *Determinants of tropical savannas.* IUBS, Paris, pp. 141-156.

Solbrig, O.T. 1993. Ecological constraints to savanna land use. In *The World's Savannas. Economic driving forces, ecological constraints and policy options for sustainable land use,* eds. M.D Young and O.T Solbrig: 21-48. Man & the Biosphere Series, 12.

Solbrig, O.T., Medina, E. & Silva, J.F. 1996. Biodiversity and tropical savanna properties : a global viaw. In : *Functionnal Roles of Biodiversity : A Global Perspective.* Mooney, H.A., Cushman, J.H., Medina, E., Sala, O.E. & Schulze, E.D. Eds. SCOPE. pp185-207.

Tanner, C.B. & M.L. Jackson. 1947. Nomographs of sedimentation times of soil particles under gravity or centrifugal acceleration.

Taupin J.D., Lebel, T., Cazenave, F., Gréard, M., Kong, J., Lecocq, J., Adamson, M., d'Amato, N., Ben Mohamed, A. 1993. *EPSAT-Niger. Vers une estimation des précipitations par satellite au Sahel.* ORSTOM, Niamey, mimeographed.

Telahigue, T., Floret, C. & Le FLoc'h, E. 1987. Succession post-culturale en zone aride tuinisienne. *Acta, Œcologica/ Œcologia Plantarum,* 8, 22, 1: 45-58.

Telahigue, T., Floret, C. et Le Floc'h, E.. 1987. Succession post-culturale en zone aride de Tunisie. *Acta Oecologica, Oecologia Plantarum* 8(22)(1) : pp. 45-58.

Thevenoud. 1938. Dans la boucle du Niger. Editions Grands Lacs.

Tongway, D et Hindley, N. 1995. Manual : Assesment of soil condition of tropical grasslands. CSIRO Australia. Canberra.

Trabaud, L.. 1980. Impact biologique et écologique des feux de végétation sur l'organisation, la structure et l'évolution de la végétation des zones de garrigues du Bas-Langudoc. *Thèse d'Etat. U.S.TL.*, Montpellier, 228 p.

Trabaud, L.V. 1987. Dynamics after fire of slerophyllous communities in the Mediterranean Basin. Ecol Med 13 : pp 25-37.

UNESCO. 1986. Histoire Générale de l'Afrique. I Méthodologie et Préhistoire Africaine; Directeur Ki-Zerbo J.

Valentin, C. 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols en région subdésertique (Agadez-Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie en eau. Thèse 3e cycle, Université Paris VII. ORSTOM. ORSTOM, Paris, *Etudes et thèses*, 1985, 259 p.

Valentin, C. 1994. Sécheresse et érosion au Sahel. Sécheresse n°3, vol. 5 : 191-198.

Van der Pol, F. 1992. L'épuisement des terres, une source de revenus pour les paysans du Mali-sud. In : *Savannes d'Afrique, terres fertiles ?* 403-418. Coll. Focal Coop. Ministère de la Coopération, Paris.

Vandervaere, J.P., Peugeot, C., Vauclin, M. Angulo Jaramillo, R. & Lebel, T. 1997. Estimating hydraulic conductivity of crusted soils using disk infiltrometers and micro-tensiometers. J. of Hydrol., n° spécial HAPEX-Sahel.

Verdière de, P. 1995. Etude comparée de trois systèmes agro-pastoraux dans la région de Filingué - Niger -. Les conséquences de la sédentarisation et de l'élevage pastoral au Sahel. Thèse INAPG. Univ. Hohenheim (Allemagne).

Verhoef, A. 1995. Surface energy balance of shrub vegetation in the Sahel. Thesis Landbouwuniversiteit Wageningen. 246 p.

Vitousec, P.M, Field, C.B. & Matson, P.A. 1990. Variation in $\delta^{13}C$ in Havaiian *Metrosideros polymorpha* : a case of internal resistance? Oecologia, 84 : 362-370.

Von Maydell, H.J. 1983. Arbres et arbustes du Sahel. Leurs caractéristiques et leurs utilisations. GTZ Ed. 531 p.

Walker, B.H. et Noy-Meir, I.. 1982. Aspects of the stability and resilience of savanna ecosystems. In : B.J. Huntley et B.H. Walker (Eds), *Ecology of Tropical Savannas*, 555-590. Ecological Studies 42. Springer-Verlag, Berlin.

Walker, B.H.. 1980. Ecology and management of savanna ecosystems in South-Central Africa. In : D.R. Harris (Ed) *Human ecology in savnna environments.* Academic Press, New York. pp 339-352.

Walker, B.H. 1981. Is succession a viable concept in african savanna ecosystems ? *In* : D.C. West, H.H. Shugart & D.B. Botkin (Eds), Forest succession : Concepts and Application, 431-447. springer Verlag, New York.

Walter, H & Breckle, S-W. 1984. Ökologoie der Erde. Bd 2. Spezielle Ökologie der tropischen und subtropischen Zonen. G. Fischer, Stuggart.

West, N.E. 1990. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions. *Advances in ecological research* Vol 20 : pp 179 -213.

West, L.T., Chiang, S.C. & Norton, L.D. 1992. The morphology of surface crusts. Advances in Soil Science. Soil Crusting, Chemical and Physical processes. Sumner, M.E., Steward, B.A. (Eds), Lewis Publishers : 73-91.

Westoby, M., B. Walker et I. Noy-Meyer. 1989. Range management on the basis of a model which does not seek to establish equilibrium. *Journal of arid environments* 17 : pp 235-239.

White, P.S.. 1979. Pattern, process, and natural disturbance in vegetation. *Bot. Rev.*, 45, pp. 229-299.

Whittaker, R.H.. 1975. *Communities and ecosystems*. 2nd ed., MacMillan, 385 p.

Wiens, J.A.. 1977. On competition and variable environments. *American Science.* 65 : pp 590-597.

Wiens, J.A.. 1984. On understanding a non-equilibrium world : myth and reality in community patterns and processes. In : R. Strong, Jr., D. Simberloff, L.G. Abele and A.B. Thisle (Eds) *Ecological communities : conceptual issues and evidence.* Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Wilding, L.P. & Daniels, R. 1990. Soil-Geomorphic relationships in the vicinity of Niamey, Niger. TropSoils Bulletin N°. 89-01. Soil Mangement CRSP, North Carolina State University, Raleigh, NC.

Wong, M.T.F., Wild, A., Mokwunye, A.U. 1991. Overcoming soil nutrient constraints to crop production in West Africa: importance of fertilizers and priorities in soil fertility research. *Fertilizer Research*, 29: 45-54.

Yamba, B. 1993. Ressources ligneuses et problèmes d'aménagements forestier dans la zone agricole du Niger. Thèse Univ. Bordeaux III. p 391.

Yossi, H. & Floret, C. 1991. Dynamique temporelle et spatiale des ligneux dans une savanne de la zone soudanienne au Mali. Communication au IVe Congrès International des Terres de Parcours. Montpellier 22-26 avril 1991.

Yossi, H & Dembele, F. 1993. Dynamique de la végétation post-cultural en zone soudanienne au Mali: évolution de la composition floristique et de la strate ligneuse. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 341-350. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

Yossi, H., Dembele, F. & Karembe, M. 1997. Dynamique de la végétation ligneuse post-culturale en zone soudanienne au Mali. Conséquences sur l'amélioration et la gestion de la jachère. *In La jachère, lieu de production.* EDS. Floret, C. Atelier " Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'ouest. Bobo Dioulassa, Burkina Faso : 19-32.

Young, A. 1976. *Tropical soils and soil survey.* Cambridge University Press, Cambridge.

Young, A. 1989. *Agroforestery for Soil Conservation.* CAB International, Wallingford and ICRAF, Nairobi.

Young, M.D. et Solbrig, O.T.. 1993. *The world's savannas. Economic driving forces, ecological constraints and policy options for sustainable land use.* Man and the biosphere series, vol.12.

Zoungrana, I., 1993. Les jachères nord-soudaniennes du Burkina Faso. In *La jachère en Afrique de l'Ouest*, eds. C. Floret & G. Serpantié: 351-366. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organisation schématique de l'étude des réponses des écosystèmes à l'abandon cultural au Sahel nigérien. 6

Figure 2 : Déterminants de l'utilisation des terres de savanes (d'après Young et Solbrig, 1993). 11

Figure 3 : Présentation schématique de l'évolution d'un écosystème le long d'un gradient d'états d'équilibre, partant de l'écosystème préexistant à un écosystème très dégradé. La structure et le fonctionnement de l'écosystème sont évalués à partir de la liste d'attributs vitaux définis par Aronson et *al* (1995). La résilience est symbolisée par des flèches pleines ; la réhabilitation ou la dégradation par passage d'un seul est symbolisé par un slash. 18

Figure 4 : Relations entre la longueur de la phase de jachère et la productivité des sols en culture itinérante (d'après Guillemin, 1956). 28

Figure 5 : Situation géographique du site expérimental de Banizoumbou au Niger. 31

Figure 6 : Moyenne des pluviométries mensuelles de 1943 à 1995 à Niamey, Niger (D.M.N, 1992 et EPSAT, 1995). 32

Figure 7 : Régime pluviométrique annuel de 1905 à 1995 à Niamey, Niger (D.M.N, 1992 et EPSAT, 1995). 33

Figure 8 : Principaux paramètres climatiques enregistrés à la station de Niamey, Niger (D.M.N., 1992). En trait plein, ce sont les moyennes mensuelles, et en trait pointillé, ce sont les moyennes annuelles. 36

Figure 9 : Evolution mensuel du rapport P/ETP à Niamey, Niger. 37

Figure 10 : Carte géologique du Niger occidental (d'après, PNUD, 1986). 38

Figure 11 : Profils stratigraphiques et géomorphologiques de l'ouest nigérien (d'après Wilding et Daniels, 1989), correspondant aux plateaux et aux vallées sèches (figure 11A), aux systèmes de terrassses (figure 11B) et au Dallol (figure 11C). lfs = limono-sableux fin, sl = sablo-limoneux, fs =sableux fin. 40

Figure 12 : Seuils des teneurs en matière organique pour le maintien de la stabilité structurale (d'après Piéri, 1992). 44

Figure 13 : Evolution depuis le 19ème siècle dans le Zarmaganda de la population, de la disponibilité en terres, des rendements en mil (kg de grains / ha) et de la durée de la jachère (d'après Ada et Rockström, 1993). 53
Figure 14 : carte des terroirs sur le site de Banizoumbou (Loireau, 1997). 54
Figure 15 : Evolution des superficies sous l'emprise agricole sur le site de Banizoumbou (Leduc et Loireau, 1997). 56
Figure 16 : Evolution de l'affectation (brousses, jachères et cultures) à partir d'un échantillonnage de 348 parcelles enquêtés sur le site de Banizoumbou (Loireau, 1998). 57
Figure 17 : Evolution des classes d'âge de jachère (Loireau, 1998). En bleu, ce sont les jachères de 0 à 5 ans, en bordeaux, les jachères de 5 à 10 ans et en noir, les jachères supérieures à 10 ans. 58
Figure 18 : Typologie des relations des systèmes agro-pastoraux et des principales unités géographiques sur le degré carré de Niamey. 61
Figure 19 : Echantillonnage réalisé pour la construction d'une typologie régionale des milieux post-culturaux sur le degré carré de Niamey (72 relevés). Les unités des axes sont exprimés en degré décimal. 69
Figure 20 : Distribution des classes d'âge de jachères en fonction de la topographie. 76
Figure 21 : Evolution de la hauteur moyenne des arbustes et de la population ligneuse distribuée par classes de hauteur au cours de la phase post-culturale. 79
Figure 22 : Evolution du phytovolume apparent de l'arbuste moyen au cours de la phase post-culturale. 79
Figure 23 : Evolution du diamètre moyen des tiges et de la population de tiges distribuée par classes de diamètre au cours de la phase post-culturale. 80
Figure 24 : Evolution de la hauteur (h) des arbustes (figure 24a), du phytovolume apparent de l'arbuste moyen (figure 24b) et du diamètre des tiges (figure 24c) en fonction de la topographie (dm = diamètre de la tige moyenne). 81
Figure 25: Evolution du nombre d'espèces herbacées et de l'indice de diversité en fonction de la durée de la jachère. 82
Figure 26 : Dynamique saisonnière de la strate herbacée d'une jachère de 7 ans (Rabiou, 1992). 84

Figure 27 : Evolution de la phytomasse herbacée épigée et du phytovolume arbustif total en fonction de la durée de la jachère..... 86
Figure 28 : Evolution de la texture en fonction des horizons..... 89
Figure 29 : Evolution des teneurs en carbone et en azote en fonction des horizons..... 89
Figure 30 : Evolution du rapport C/N en fonction des horizons..... 90
Figure 31 : Situation des stations échantillonnées en fonction de la classification de Piéri (1989). Les courbes 9, 7 et 5 représentent des seuils de sensibilité à la dégradation physique (cf. deuxième partie, paragraphe 1.3.2.)..... 90
Figure 32 : Evolution de l'activité biologique et du coefficient de minéralisation en fonction des horizons..... 91
Figure 33 : Nitrate et ammonium accumulé à 12 jours d'incubations en fonction des horizons. Les résultats présentés sont la moyenne de tous les échantillons analysés..... 91
Figure 34 : Phytomasse arbustive en fonction de la phytomasse herbacée selon les classes issues de la typologie. Le point carré noir est un point de la classe deux ; ses coordonnées sont spécifiées entre parenthèse..... 95
Figure 35 : Présentation des classes de la typologie en fonction de leur capacité de régénération..... 100
Figure 36 : Présentation des classes de la typologie régionale en fonction de la classification de Piéri..... 101
Figure 37 : Relation entre l'activité biologique à la surface des sols et le recouvrement des croûtes microphytiques..... 102
Figure 38 : Proportion de nitrates et d'ammonium par rapport à l'azote total accumulé à 0 et 12 jours d'incubation en fonction des classes de la typologie régionale..... 103
Figure 39 : Relations entre l'azote total accumulé après douze jours d'incubation et la participation à la composition floristique herbacée des graminées et du *Zornia glochidiata*..... 104
Figure 40 : Présentation schématique de la démarche proposée pour évaluer les impacts de la suppression ou de l'augmentation des perturbations sur les systèmes post-culturaux, et sur leurs composantes arbustives..... 112

Figure 41 : Localisation géographique des sept stations expérimentales sur la carte géomorphologique du site de Banizoumbou. La station Dn est constituée en fait par trois stations juxtaposées : D1, D2 et D3. 113

Figure 42 : Valeurs du potentiel hydrique dans les différentes parties du système sol-plante-atmosphère et correspondances approximatives entre ces valeurs et les humidités relatives : courbe 1, sol humide, faible évaporation ; courbe 2, sol humide, forte évaporation ; courbe 3, sol sec, faible évaporation ; courbe 4, sol sec, forte évaporation (Cruiziat, 1980). 121

Figure 43 : Pluviométrie décadaire pour les années 1993, 1994 et 1995 sur le site de Banizoumbou et ETP Penman (moyenne décadaire). Le total pluviométrique pour chaque année est donnée dans la légende..... 126

Figure 44 : Situation des stations expérimentales sur la typologie régionale des milieux post-culturaux. 127

Figure 45 : Evolution comparée du phytovolume de l'arbuste moyen sur les parcelles témoins de 1993 à 1995 rapportée à la typologie régionale des milieux post-culturaux. Les points présentés correspondent au mesure de juin 1993, octobre 1993, octobre 1994 et octobre 1995..... 129

Figure 46 : Evolution de la densité arbustive totale et de la distribution de la population par classes de hauteur sur les stations D2 et BF. 131

Figure 47 : Evolution du recouvrement ligneux sur les parcelles témoins. 133

Figure 48 : Relations entre la pluviométrie de l'année et les variations moyennes des recouvrements herbacées et ligneux calculées sur l'ensemble des stations. 135

Figure 49 : Evolution des états de surface du sol sur les parcelles témoins des stations D1, D2 et D3..... 141

Figure 50 : Evolution des états de surface du sol sur les parcelles témoins des stations J, G1 et G2. 142

Figure 51: Proportions de *Guiera senegalensis* et de *Combretum micranthum* (en gras) au niveau de chaque parcelle expérimentale mesurée sur la station BF (bas-fond). La pente est orientée de A vers F. Les parcelles ombrées sont équipées de tubes neutroniques pour le suivi de l'humidité volumique du sol..... 146

Figure 52 : Evolution de l'humidité volumique sur les tranches 0-30 cm et 0-100 cm au cours de la saison des pluies 1995 sur la station BF. Chaque courbe se réfère à une parcelle de la station (voir figure 51). 147

Figure 53 : Evolution des réponses en croissance de Combretum micranthum (Cm) et de Guiera senegalensis (Gs) face à une coupes annuelle (traitements CR1, CR4 et CR5). 148

Figure 54 : Evolution des réponses en croissance de *Combretum micranthum* et de *Guiera senegalensis*. 150

Figure 55 : Evolution de la croissance en hauteur de *Combretum* et de *Guiera senegalensis* sur les parcelles témoins (cm). 150

Figure 56 : Evolution des populations Combretum micranthum et Guiera senegalensis de juillet 1993 à octobre 1995 sous l'effet des traitements CR1, CR2, CR4 et CR5. 151

Figure 57 : Evolution des courbes journalières du potentiel hydrique foliaire de *Guiera senegalensis* et de *Combretum micranthum* au cours de la saison des pluies 1995 sur la station BF (bars). 152

Figure 58 : Evolution des courbes journalières du potentiel hydrique foliaire de *Guiera senegalensis* et de *Combretum micranthum* au cours de la saison des pluies 1995 sur la station G2 (bars). 152

Figure 59 : Evolution sur les stations BF et G2, du potentiel hydrique foliaire journalier au cours de la saison des pluies 1995 pour tous les traitements. 154

Figure 60 : Relations entre l'évolution des conditions hydriques des sols et celle du potentiel hydrique foliaire pour *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis* sur les stations BF et G2. 155

Figure 61 : Trajectoires possibles des écosystèmes perturbés lors de la phase post-culturale sous différentes contraintes. 166

Figure 62 : Evolution des états de surface du sol suivant les traitements sur la station J (jupe sableuse). 175

Figure 63 : Evolution des états de surface du sol suivant les traitements sur la station G1 (glacis dégradé). 175

Figure 64 : Evolution de la densité apparente avec la profondeur suivant les traitements sur les stations G1 et J. 177

Figure 65 : Hydrodynamique des sols suivant les traitements sur la station J (3 répétitions). Les courbes marquées d'un triangle correspondent au profil sec, mesuré le 3/06/94 ; les courbes marquées d'un cercle correspondent aux mesures du 22/07/94, 1 jour après une pluie supérieure à 100 mm. 178

Figure 66 : Hydrodynamique des sols suivant les traitements sur la station G1 (3 répétitions). Les courbes marquées d'un carré correspondent au profil sec, mesuré le 3/06/94 ; les courbes marquées d'un cercle correspondent aux mesures du 22/07/94, 1 jour après une pluie supérieure à 100 mm. 179

Figure 67 : Evolution des stocks hydriques sur les tranches 0-30 cm et 0-130 cm sur la station G1 au cours des saisons des pluies 1994 et 1995. 181

Figure 68 : Evolution des stocks hydriques sur les tranches 0-30 cm et 0-130 cm sur la station J au cours des saisons des pluies 1994 et 1995. 182

Figure 69 : Evolution du phytovolume de l'arbuste moyen suivant les traitements par rapport à la typologie régionale des milieux post-culturaux..... 183

Figure 70 : Evolution des teneurs en azote et en carbone en surface et à 30 cm de profondeur suivant les traitements par rapport aux résultats obtenus pour la typologie régionale. 188

Figure 71 : Evolution de la sensibilité à la dégradation physique des sols suivants les traitements (modifiée d'après Piéri, 1989). 189

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Evolution de la proportion brousse, jachères et champs de 1950 à 1995 sur le site de Banizoumbou (d'après Loireau, 1998) 57

Tableau 2 : Evolution de la proportion de jachères en fonction de leur durée sur le site de Banizoumbou (d'après Loireau, 1998) 58

Tableau 3 : Légende de la typologie des systèmes agro-pastoraux du degré carré de Niamey 61

Tableau 4 : Calendrier cultural de la campagne hivernale 1992 (Seybou, 1993) 65

Tableau 5 : Taux d'infiltration moyen (Ki) des différents états de surface du sol utilisées dans cette étude selon Casenave et Valentin (1989). ERO : croûte d'érosion (micro-horizon mince, dur et argileux); ST1 : croûtes de désagrégation à un seul micro-horizon; ST2 : croûtes structurales à deux micro-horizons, ST3 : croûtes structurales à trois micro-horizons, DEC : croûtes de décantation et TW : termites et vers de terre. 73

Tableau 6 : Résultats de l'échantillonnage en fonction de l'âge d'abandon cultural et de la géomorphologie 77

Tableau 7 : Evolution de la composition floristique (CSPi) en fonction de la durée de la jachère.. 85

Tableau 8 : Evolution des états de surface du sol en fonction de la durée de la jachère 87

Tableau 9 : Evolution des états de surface du sol en fonction de la topographie 88

Tableau 10 : Evolution des relations (coefficient de régression : r^2) entre les paramètres du sol et le recouvrement des croûtes microphytiques 92

Tableau 11 : Description des principaux paramètres structurels des classes de la typologie (Position géomorphologique, 1 = plateau, 2 = jupe sableuse, = glacis, 4 = bas-fond et 5 = dune) 94

Tableau 13 : Evolution des différents paramètres pour l'horizon de surface en fonction des classes de la typologie. 98

Tableau 14 :Liaisons entre les paramètres édaphiques et la durée de la jachère à l'intérieur de chaque classe de la typologie régionale. Le point d'interrogation indique un nombre insuffisant de données pour calculer un coefficient de corrélation. 104

Tableau 15 : Caractérisation des sept stations et de leur historique..... 115
Tableau 16 : Dates d'application des différents traitements de coupes rases de 1993 à 1995. 117
Tableau 17: Evolution de la densité arbustive par hectare et par espèces..... 128
Tableau 18 : Evolutions comparées des vitesses moyennes de croissance annuelle du phytovolume de l'arbuste moyen (Y) sous conditions naturelles d'exploitation et de mise en défens de 1993-1995. X est en année. Pour D2' et BF', seuls les arbustes présents au début de l'expérimentation sont ici pris en compte pour le calcul de la croissance annuelle du phytovolume..... 132
Tableau 19 : Augmentation moyenne annuelle du recouvrement de la strate ligneuse..... 133
Tableau 20 : Evolution des recouvrements (%) de la strate herbacée sur chacune des stations pour les trois années d'études..... 134
Tableau 21 : Evolution des phytomasses épigées de la strate herbacée sur chacune des stations pour les trois années d'étude (kg de matière sèche par hectare)..... 136
Tableau 22 : Evolution du nombre d'espèces recensées par station au cours de l'expérimentation..... 136
Tableau 23 : Evolution de la réciproque de la diversité floristique de la strate herbacée sur les trois années (réciproque de l'indice de Simpson)..... 137
Tableau 24 : Composition floristique des parcelles témoins à la fin de l'expérimentation et variations de la contribution spécifique présence de 1993 à 1995 pour chaque espèce..... 139
Tableau 25 : Evolution des différences significatives entre les potentiels hydriques minimum mesurés pour *Guiera senegalensis* et *Combretum micranthum* suivant les traitements CR1 (coupe au début de la saison des pluies), CR5 (coupe au milieu de la saison sèche) et les témoins, au cours de la saison des pluies 1995 sur les stations BF et G2 (1 = différent, 0 = égal)..... 153
Tableau 26 : Evolution de divers paramètres pour les espèces *Combretum micranthum* et *Guiera senegalensis* sur site de brousse tigrée voisin du site d'étude (d'après Ehrman, en préparation). Δ ‰ est le ratio de discrimination du carbone (Farquhar *et al*, 1982)..... 156

Tableau 27 : Evolution de la couverture du sol nu selon les traitements durant les trois années d'expérience. Le taux de sol nu (points sans végétation) résulte du suivi des lignes de points quadrats..... 174

Tableau 28 : Recouvrement moyen des différents états de surface du sol sur les stations J et G1 au début de l'expérimentation (juin 1993)..... 174

Tableau 29 : Evolution de la densité apparente superficielle, 0-5 cm de profondeur, selon les traitements (mesure d'octobre 1995)..... 177

Tableau 30 : Augmentation annuelle moyenne du phytovolume de 1993 à 1995 suivant les traitements sur les stations J et G1..... 182

Tableau 31 : Evolution de la phytomasse épigée herbacée produite (kg de matière sèche par hectare)..... 184

Tableau 32 : Evolution des coefficients de l'efficacité des pluies (kg. mm^{-1} de pluie)..... 184

Tableau 33 : Evolution de la composition floristique sur les stations G1 et J de 1993 à 1994 (ce : *Ctenium elegans*, al : *Aristida longiflora* et an : *Andropogon gayanus*)..... 186

Tableau 34 : Evolution des attributs vitaux par traitements comparée à celle sur les témoins (0 = pas d'effet, 1 = effet positif et -1 = effet négatif)..... 191

Annexes

Annexe 1 : Liste floristique des espèces citées dans ce mémoire

Espèces herbacées

Caesalpiniaceae
Cassia mimosoïdes L.
Caryophyllaceae
Polycarpea spp
Commelinaceae
Commelina forskalaei Vahl.
Convolvulaceae
Evolvolus alsinoides (L.) L.
Ipomea vagans Bak.
Jacquemontia tamnifolia (L.)
Merremia pinnata (Hochst.) Hallier
Cucurbitaceae
Citrillus lanatus (Thunb.) Mats et Nakai
cucumis melo L. var. agrestis Naud
Cyperaceae
Cyperus amabilis Vahl.
Cyperus esculentus L.
Fimbristillis hispidula (Vahl.) Kunth.
Dioscoreaceae
Dioscorea spp
Fabaceae
Alysicarpus ovalifolius (Schum. et Thonn.) J. Léon.
Crotalaria macrocalyx benth.
Indigofera spp
Tephrosia uniflora Pers.
Tephrosia linearis (Willd.)
Sesbania spp
Voandzeia subterranea (L.) DC.
Zornia glochidiata Reich. ex DC.
Malvaceae
Hisbiscus asper Hook. F.
Hisbiscus cannabinus L.
Hisbicus esculentus L.
Sida ovata Forsk.
Molluginaceae
Mollugo nudicaulis Lam.
Pedaliaceae
Ceratotheca sesamoïdes Endl.
Sesamum alatum Thon.
Poaceae
Andropogon gayanus Kunth.
Aristida adscensionis *L.*
Aristida longiflora Shum. et Thonn.
Aristida mutabilis Trin. et Rupr.

Brachiaria distichophylla (Trin.) Stapf.
Brachiaria ramosa (L.) Stapf.
Cenchrus biflorus Roxb.
Ctenium elegans Kunth.
Dactyloctenium aegyptium (L.) Willd.
Digitaria gayana (Kunth) Stapf ex A. Chev.
Digitaria horizontalis Willd.
Diheteropogon hagerupii Hitchc.
Eragrostis tremula Hochst. ex Steud.
Eragrostis pilosa (L.) P. Beauv.
Panicum anabaptistum steud.
Oryza glaberrima Steud.
Pennisetum pedicellatum Trin
Pennisetum americanum
Schizachyrium exile (Hochst.) Pilger..
Schoenefeldia gracilis Kunth.
Sorghum bicolor
Sporobolus spp

Rubiaceae
Borreria radiata D.C.
Borreria stachydea (DC.) Hutch. et Dalz.
Mitracarpus scaber Zucc.

Scrophulariaceae
Striga hermontica (Del.) Benth.

Sterculiaceae
Waltheria indica L.

Tiliaceae
Corchorus tridens L.

Espèces ligneuses

Annonaceae
Annona senegalensis Pers.

Anacardiaceae
Sclerocarya birrea (A. Rich.) Hochst.

Cappararidaceae
Boscia angustifolia A. Rich.
Boscia senegalensis (Pers.) Lam.

Caesalpiniaceae
Piliostigma reticulatum (DC.) Hoch.
Cassia occidentalis L.

Combretaceae
Combretum micranthum G. Don.
Combretum glutinosum Perr.
Combretum nigricans Lepr.
Guiera senegalensis J.F. Gmel.

Mimosaceae
Acacia albida Del

Acacia ataxacantha DC.
Acacia nilotica (L) Willd. ex Del. var. adansonii
Prosopis africana (Guill. et Perr.) Taub.

Palmae

Elais guineensis Jacq.
Hyphaene thebaica (L.) Mart.

Sterculiaceae

Cola nitida (Vent.) Sch. et Endl.

Tiliaceae

Grewia bicolor Juss.

Zygophyllaceae

Balanites aegyptiaca (L.) Del.

Annexe 2 : Description des six principales sous-régions géographiques du degré carré (d'Herbès et valentin, 1997).

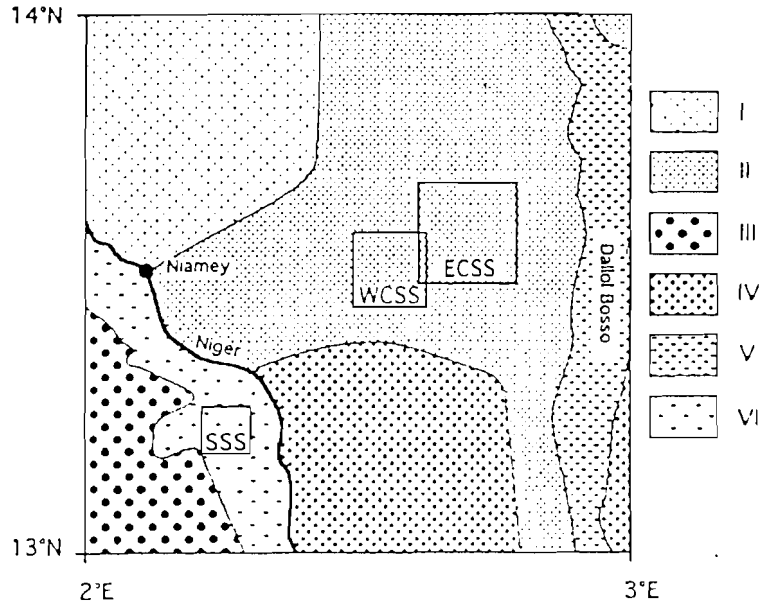
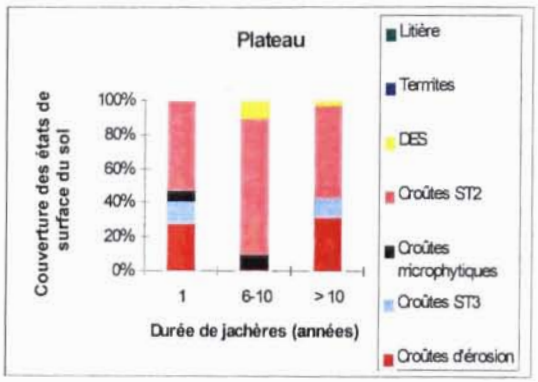


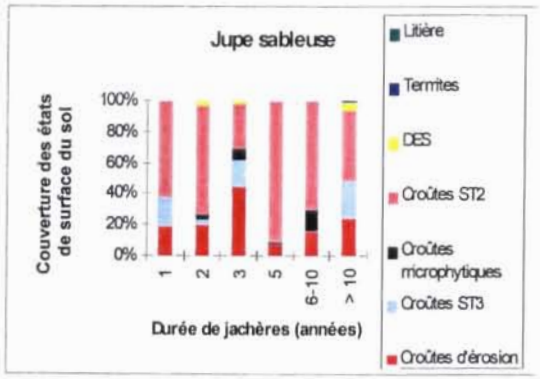
Figure 1 : Grandes caractéristiques des six principales sous -régions géographiques du degré carré de Niamey .

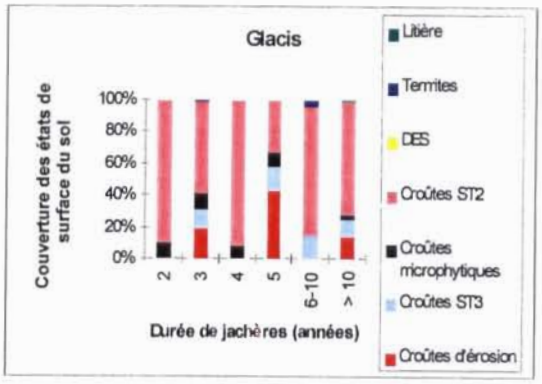
Tableau 1 : Descriptifs des principales sous -régions géographiques du degré carré de Niamey.

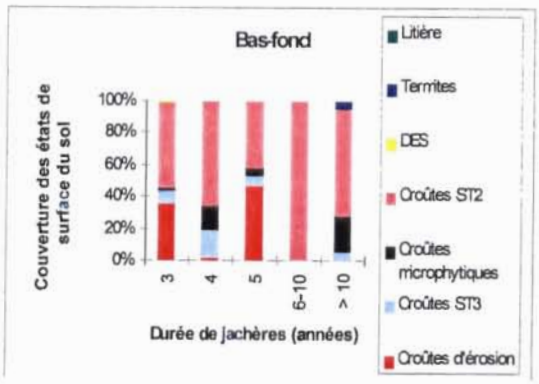
Unité	Principales caractéristiques	Surface (%)
I	Faible densité de plateaux	17,5
II	Plateaux disséqués avec talus et couverts de brousses tigrées, vallées sèches cultivées en mil	41,1
III	Important plateau présentant des plages de sols nus plus ou moins circulaires (brousse mouchetée) et quelques brousses tigrées.	7,8
IV	Plateaux sans talus couverts de brousses tigrées, vallées sèches étroites.	13,1
V	Dallol Bosso, large vallée intensément cultivée du fait d'une nappe haut perchée.	12,6
VI	Dépôts d'alluvions et de sables de la vallée du fleuve Niger, culture pluviale du mil et riz irrigué.	7,9

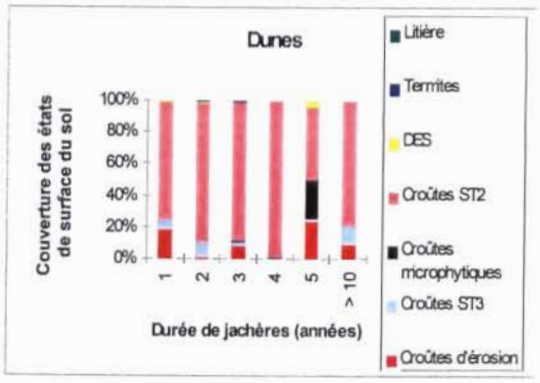
Annexe 3 : Evolution des états de surface du sol durant la phase post-culturale pour chaque situation géomorphologique.











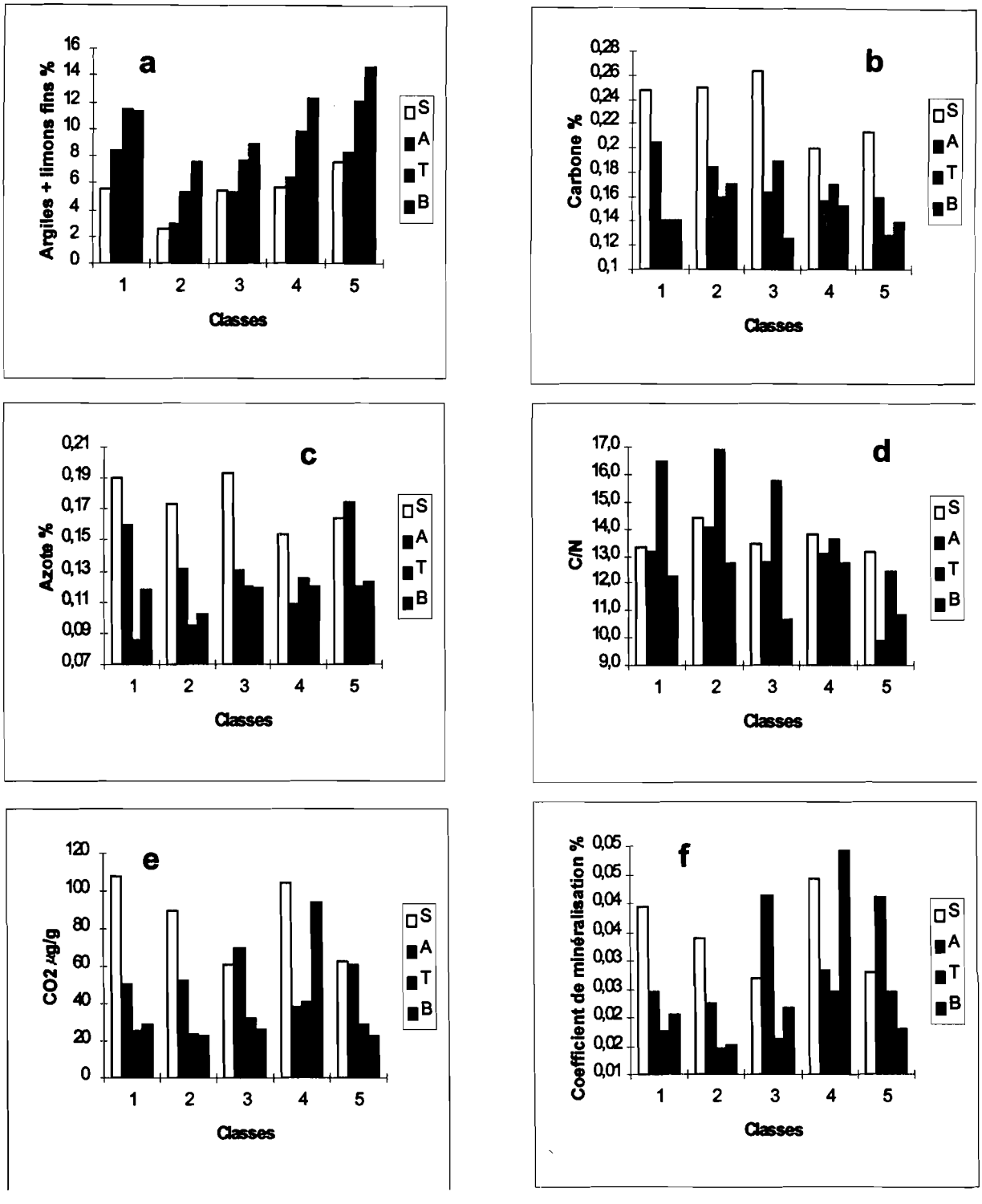


Figure 2 : Présentation des différents paramètres pour les horizons S, A, T et B en fonction des classes de la typologie régionale.

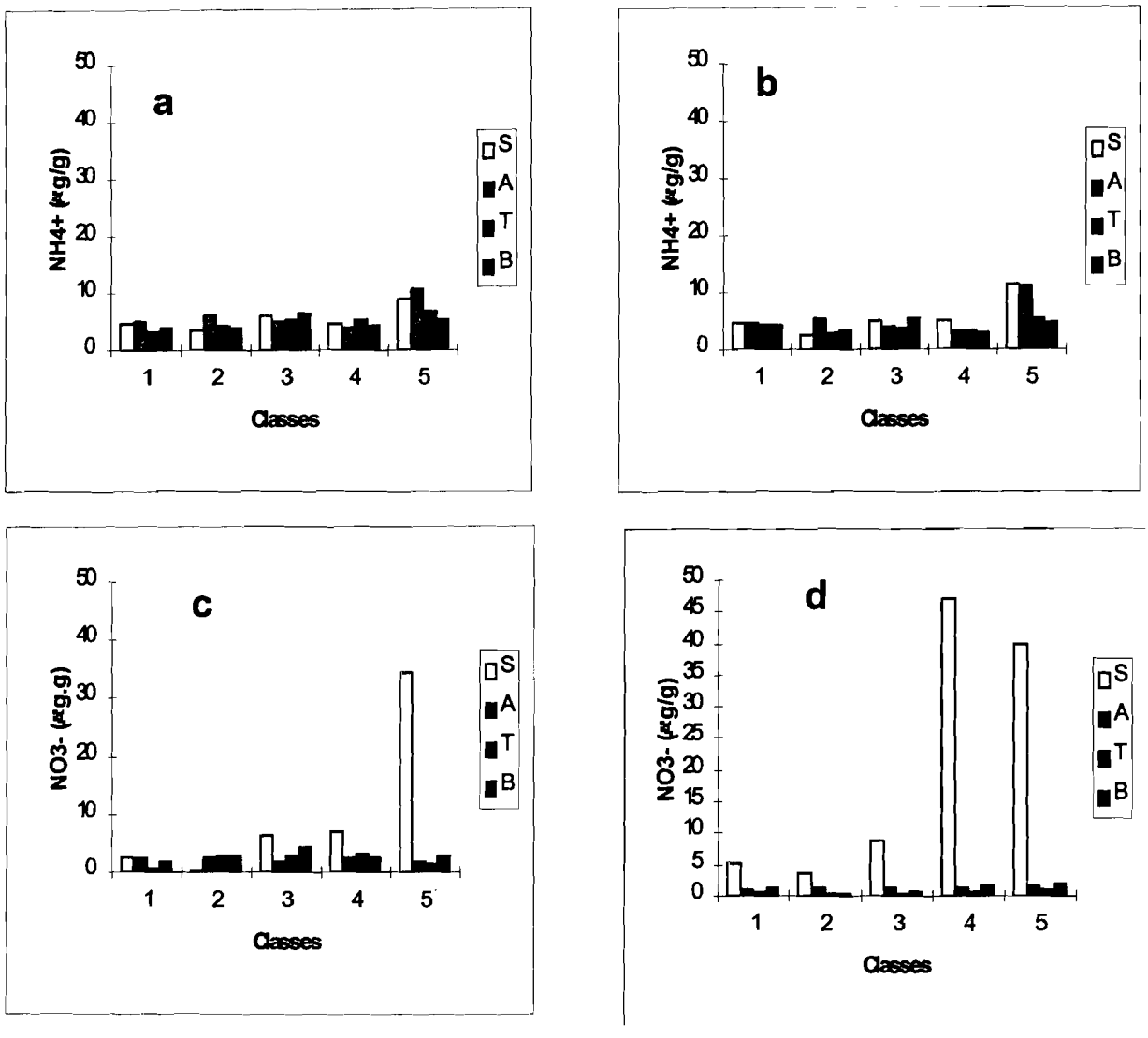


Figure 3 : Accumulation à 0 et 12 jours d'incubation d'azote sous formes de nitrates et d'ammonium par horizons en fonction des classes de la typologie régionale.

Annexe 6 : Plans d'expérimentation des stations jachères du site de Banizoumbou.

Témoins : C
Essais coupes :
- CR1 : Coupe en juillet
- CR2 : Coupes en juillet et en août
- CR3 : Coupes en juillet, en août et en octobre
- CR4 : Coupe en octobre
- CR5 : Coupe en février

Essais Réhabilitation :
- M : Paillage
- TM : Paillage + travail du sol
- T : Travail du sol

Essais pâturage : Pâ.

Figure 4 : Station D1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3				C	C	C	C	C		
4				C	C	C	C	C		
5								Pâ	Pâ	
6								Pâ	Pâ	
7	CR2	CR1	CR3		CR4	CR5				
8										
9	CR3			CR1	CR5			CR4	CR2	
10										
11	CR1		CR2	CR3		CR4	CR5			

Figure 5 : Station D2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		CR1				CR2				
3	CR5			CR3			CR4			
4		C	C	C	C					
5		C	C	C	C					
6		CR2			CR4		CR1			
7				CR3		CR5				
8				CR5			CR4			
9						CR1		CR2	CR3	

Figure 6 : Station D3

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1			C	C	C	C	C			
2			C	C	C	C	C			
3		CR1	CR4	M	T	CR2	TM	CR5	CR3	
4		T	CR5	TM	CR2	CR4	CR3	M	CR1	

Figure 7 : Station J

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A		CR1		CR5	CR2		TM		
B	CR4			M		T		CR3	
C	T		CR5		TM		CR1		
D	CR4		M		CR2			CR3	
E	Pâ	Pâ	C	C	C	C	C		
F	Pâ	Pâ	C	C	C	C	C		
G	T		TM		M	CR5		CR1	
H	CR4				CR2			CR3	

Figure 8 : Station BF

	1	2	3	4	5
A					
B	C	C	C	C	C
C	C	C	C	C	C
D	CR1	CR3	CR5	CR2	CR4
E	CR2	CR1	CR3	CR4	CR5
F	CR3	CR2	CR4	CR5	CR1

Figure 9 : Station G1

	A	B	C	D	E	F
1			C	C	C	C
2			C	C	C	C
3		CR3	CR1	CR5	CR4	CR2
4		CR2	CR5	CR3	CR1	CR4
5	CR4	CR5		CR1	CR2	CR3
6		TM		M		T
7			TM	T	M	
8			T	TM		M

Figure 10 : Station G2

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2					M	CR2	TM
3					CR2	CR3	M
4	Pâ	Pâ	C	C	T	TM	CR4
5	Pâ	Pâ	C	C	CR4	M	CR5
6			C	C	CR3	CR1	T
7			C	C	TM	T	CR3
8			C	C	CR1	CR5	CR2
9					CR5	CR4	CR1
10							

Annexe 7 : Evolution de la composition floristique de 1993 à 1995 sur les stations G1 (glacis dégradé) et J (jupe sableuse) suivant les traitements de réhabiltation.

Tableau 2 : Station G1

Traitements	C			M			TM			T		
Dates	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95
Cassia mimosoides	0,31		0,33	1,43							2,50	
Commelina forskalei						0,13						
Ipomea vagans				0,35		0,91	1,38	0,90	7,53			0,27
Alysicarpus ovalifolius												
Zornia glochidiata	46,71	44,71	51,61	34,22	27,07	29,55	3,10	6,55	17,82	4,99	32,46	43,91
Borreria stachydea							1,03					
Mitracarpus scaber		5,32	1,97		3,24	4,17	37,41	12,84	6,27	9,26	16,10	1,35
Blepharis linariifolia						1,16						
Polycarpea spp		1,24		0,52			0,51			3,20	0,36	0,20
Evolvulus alsinoides										1,09		
Cyperus amabilis		1,39	1,64		1,36		10,56	1,25		20,62	4,73	0,20
Fimbristillis hispidula	0,39	4,11	2,17	1,69		0,14	0,90	1,79	1,03	9,17	0,95	
Andropogon gayanus												
Aristida longiflora							0,39					
Aristida mutabilis	5,82	13,76	9,38	12,71	9,51	3,49	6,68	10,90	0,48	1,90	8,55	6,20
Brachiaria distichophylla	0,92			0,51	0,13	0,44			0,95			0,20
Borreria radiata		0,77		0,35				0,18			0,18	
Cenchrus biflorus	0,31		0,33			0,14	3,21	4,85	5,53		4,41	0,27
Ctenium elegans	10,07	3,39	8,26	23,19	21,31	30,52	5,17	17,51	32,18	0,27	7,23	22,30
Dactyloctenium aegyptium	4,77											
Digitaria gayana						0,47			0,12			2,41
Digitaria horizontalis	0,31		0,33									
Eragrostis tremula	7,97	3,79	1,64	10,09	5,83	4,63	10,62	3,94	3,51	32,69	7,83	2,23
Eragrostis pilosa				0,17			2,53			1,70		
Microchloa indica			1,09									
Panicum anabaptistum			0,66									
Pennisetum pedicellatum		2,69			0,25		1,03	2,15	2,30			
Schizachyrium exile	16,33	12,96	14,58	11,94	29,93	23,02	12,72	20,24	13,13	10,71	4,63	16,51
Schoenefeldia gracilis	6,09	3,64	3,36	1,16	0,38			1,28		0,48	2,00	1,67
Ceratotheca sesamoides							0,34	1,61	2,50			
Jacquemontia tamnifolia							0,92	4,92	3,04	2,46		
Merremia pinnata		1,54	2,63		0,49	0,70	0,57	3,08	0,62		2,50	
Citrillus lanatus												
Cucumis melo					0,25							
Crotalaria macrocalyx		0,70		1,68	0,25	0,14		0,18			4,34	
Tephrosia linearis												
Waltheria indica						0,40		0,36			1,25	1,67

Tableau 3 : Station J

Traitements	C			M			TM			T		
Dates	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95	oct-93	oct-94	oct-95
Cassia mimosoides	7,43			8,66	0,56	0,12		0,44	0,23	0,65	2,34	0,27
Commelina forskalei							0,31			1,90		
Ipomea vagans					0,71	1,39			3,19	0,66		0,27
Alysicarpus ovalifolius							0,43					
Zornia glochidiata	56,18	74,10	62,33	55,46	53,63	37,46	0,88	36,65	36,83	12,60	48,50	53,12
Borreria stachydea	0,91			0,43			0,43		0,50	0,22		3,42
Mitracarpus scaber		0,88	1,05	0,19		0,11	30,94	9,67	5,89	5,40	3,03	2,80
Polycarpea spp	0,94				1,09		0,31			1,63	1,75	
Evolvulus alsinoides												0,14
Cyperus amabilis							21,48	0,59		4,59	0,20	
Fimbristillis hispidula							5,00			1,25	1,23	
Andropogon gayanus	0,32											
Aristida longiflora												
Aristida mutabilis	1,56	4,87	2,82	2,30	6,48	12,06	4,15	4,34	9,32	9,65	0,20	2,51
Brachiaria distichophylla	1,47		1,11			5,30	0,66		4,56	1,16	0,34	1,30
Borreria radiata						0,11			0,50			0,14
Cenchrus biflorus	0,32				0,59	1,03			0,13	0,65		
Ctenium elegans	18,68	14,97	19,96	22,16	20,28	25,96	5,01	17,24	19,87	17,71	18,86	23,87
Dactyloctenium aegyptium	0,29			1,44		0,12	4,07			2,82		
Digitaria gayana	0,29						1,14			6,19		
Digitaria horizontalis	1,29			0,23					1,07	2,49		
Eragrostis tremula	9,37	4,30	5,13	6,36	7,36	7,72	23,80	17,77	1,94	24,17	15,97	4,02
Panicum anabaptistum												
Pennisetum pedicellatum								0,61				1,04
Schizachyrium exile			5,94		1,45	5,07	0,31	1,44	3,16	0,97	0,54	2,73
Schoenefeldia gracilis							0,22					
Ceratotheca sesamoides		0,88			1,60	0,11	0,43	1,27				
Jacquemontia tamnifolia					2,93	0,69	0,22	6,53	7,48	2,33		0,66
Merremia pinnata			1,67	1,62	2,86	2,18	0,00	1,51	3,68	2,32	2,38	3,22
Citrillus lanatus											0,34	
Cucumis melo					0,24						2,72	
Crotalaria macrocalyx	0,94			1,16				0,89		0,65		
Tephrosia linearis												
Hisbiscus asper					0,22				0,39			
Striga hermontica									0,13			
Waltheria indica							0,22		0,11		1,60	0,49

Annexe 8 : Effets des modes de défrichement sur la régénération des arbustes.

Les différents traitements concernant les défrichements, sont constitués d'une seule coupe rase annuelle effectuée au début de la saison des pluies **(CR1 : juin)**, en fin de saison des pluies **(CR4 : octobre)** et au milieu de la saison sèche **(CR5 : février)**. Des essais de coupes répétées plusieurs fois au cours de la même saison sont également menés, il s'agit du traitement **CR2 (coupes au début et au milieu de la saison des pluies : juin et août)** et de **CR3 (début, milieu et fin de la saison des pluies : juin, août et octobre).**

1. Evolution de la densité arbustive face aux coupes de défrichement.

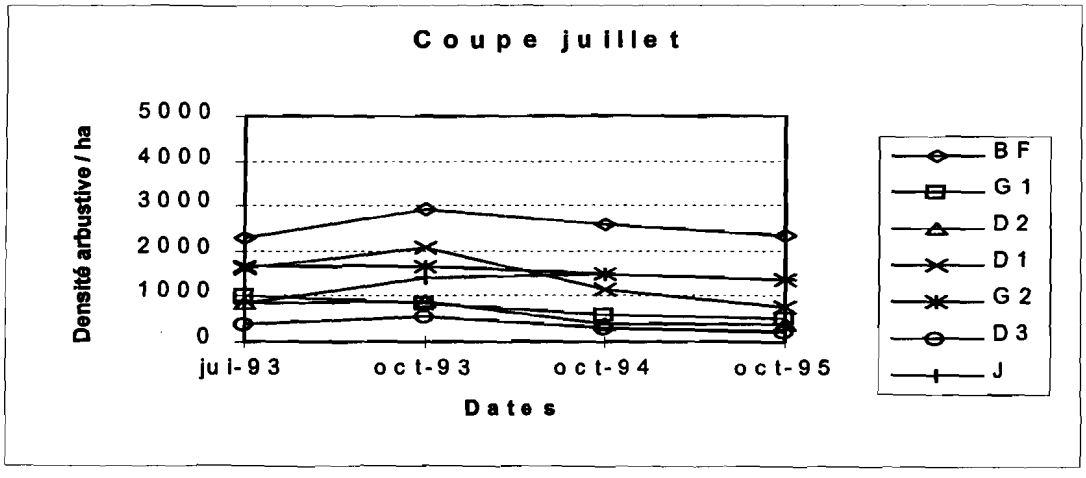
Une seule coupe rase annuelle (CR1, CR4 et CR5) ne détruit pas la strate ligneuse (figure 11), quelque soit la période où elle a été pratiquée. Les souches restent actives et des rejets sont émis pendant la saison des pluies suivant la coupe. Contrairement aux coupes CR4 et CR5 qui n'affectent pas le peuplement ligneux, il semble que la coupe de juillet (CR1) provoque la mortalité d'un certain nombre de souches. Globalement sur toutes les stations, la densité arbustive a en effet diminué de 23 % suite à ce traitement, répété trois années de suite (tableau 4).

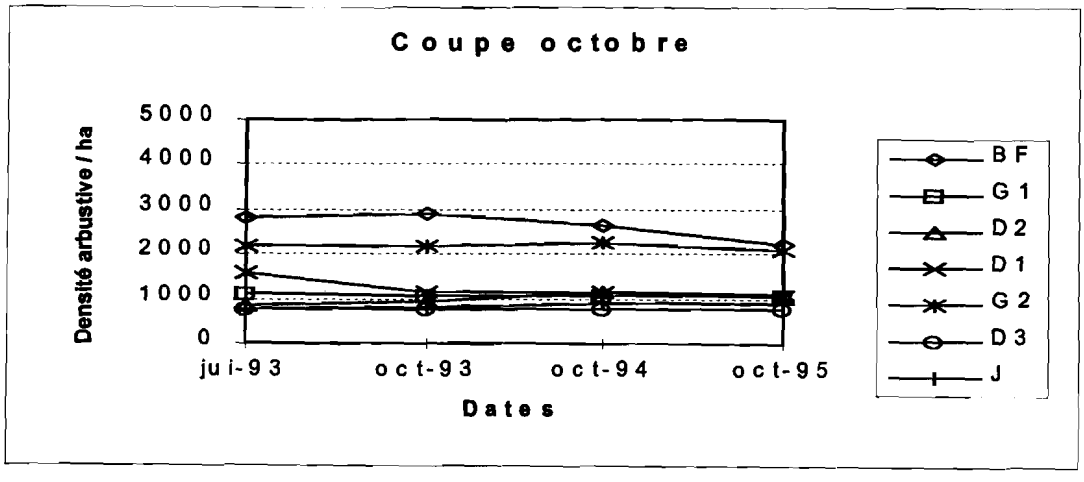
Tableau 4 : Evolution de la densité arbustive suivant les différents traitements de coupes.

		Coupe annuelle			Coupes répétées	
	Stations	CR1	CR4	CR5	CR2	CR3
07/93	BF	2300	2830	3900	2730	2200
	D1	2600	1570	1100	1530	970
	D2	830	870	600	1030	2500
	D3	400	750	550	750	900
	G1	1033	1100	870	1470	900
	G2	1670	2170	1670	100	1700
	J	833	767	1000	967	1100
10/95	BF	2330	2230	4200	2230	70
	D1	770	1070	1130	0	0
	D2	370	100	830	0	0
	D3	200	750	500	0	0
	G1	500	1070	100	0	0
	G2	1370	2100	1770	0	70
	J	1367	900	1133	0	0
Variation 93-95		- 23 %	- 2 %	+ 10 %	- 88 %	- 99 %

Par contre, la multiplication de coupes au cours d'une même saison entraîne une mortalité rapide des souches (figure 12 et tableau 4). Dès la deuxième saison des pluies, aucun rejet n'apparaît sur la plupart des stations pour les coupes CR2 et CR3. Les rares individus observés les deux dernières années sont issus de germinations, aucune ancienne

souche n'a été observée à proximité de ces jeunes plants . Le seuil de résistance de *Guiera senegalensis* face au défrichement répété, est donc rapidement atteint dans la plupart des cas. Seuls les arbustes de la station BF se régénèrent malgré deux coupes annuelles au cours des trois années d'expérimentation (CR2). Trois coupes successives provoquent la mortalité des arbustes ; aucun rejet n'est observé sur la plupart des stations dès la première année d'expérimentation, et seulement à partir de la deuxième année sur la station BF.





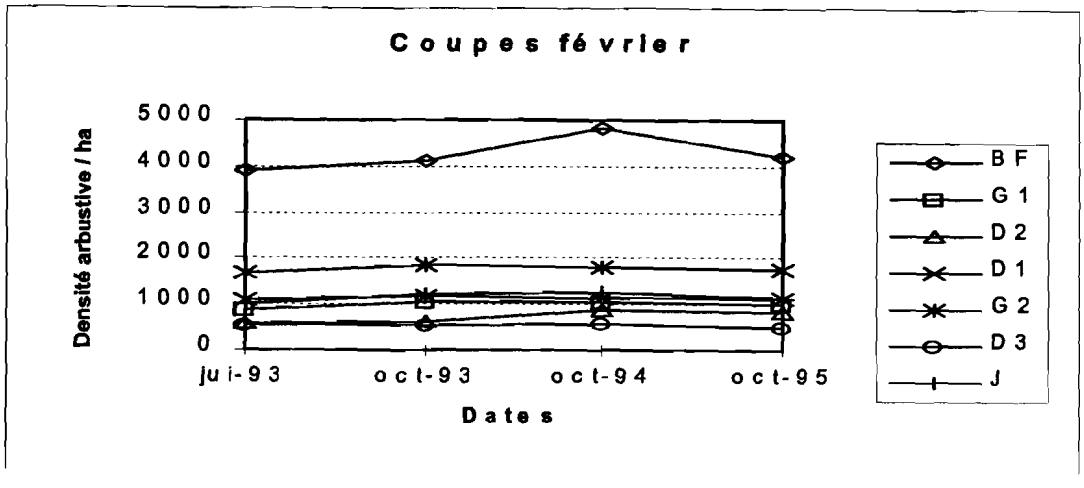
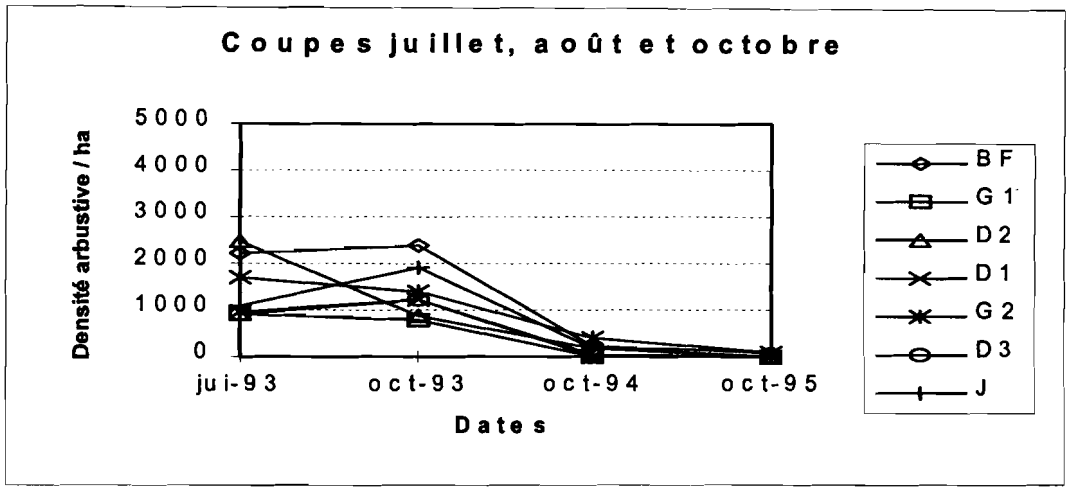


Figure 11 : Evolution de la densité arbustive sur les sept stations expérimentales après des coupes annuelles effectuées à différentes périodes.



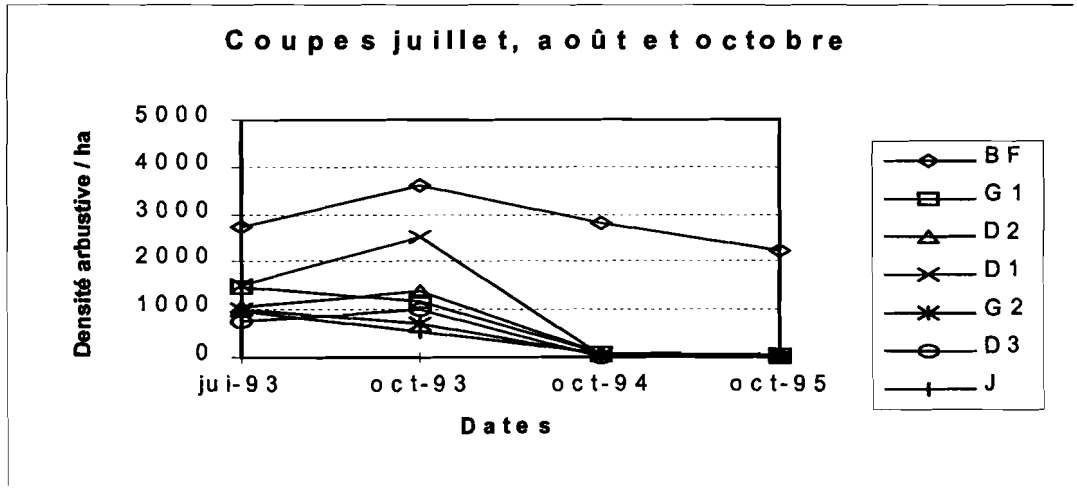


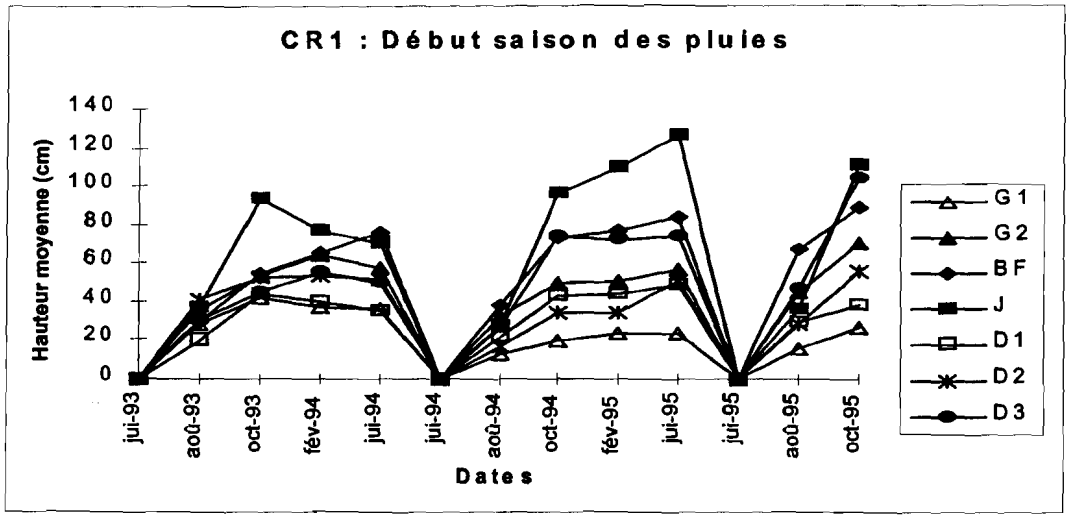
Figure 12 : Evolution de la densité arbustive sur les sept stations expérimentales après des coupes répétées plusieurs fois au cours de la saison des pluies.

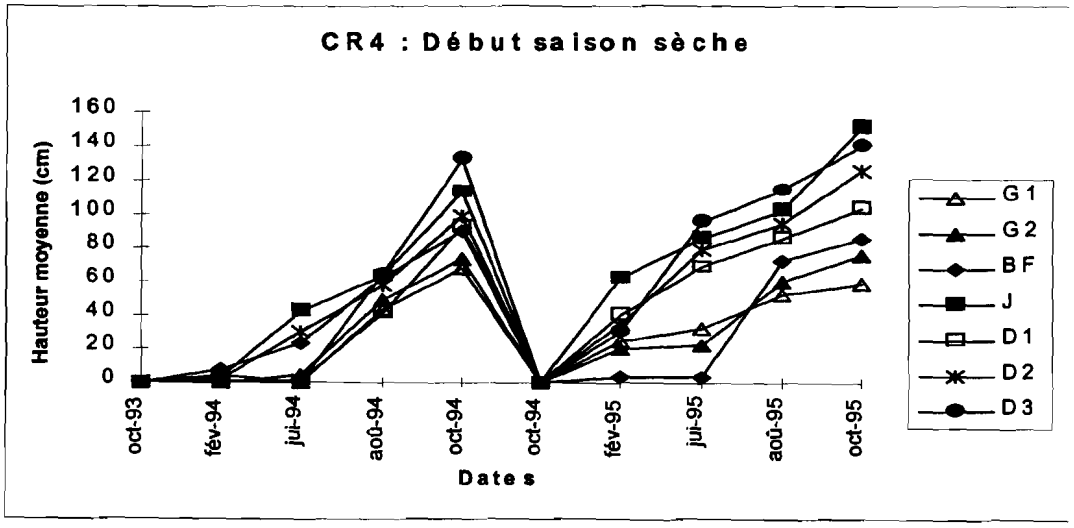
Les coupes répétées au cours d'une même saison ont donc le même résultat quelque soit la station (sauf BF, traitement CR2), c'est à dire la mortalité de tous les arbustes concernés par ces traitements. Les résultats ultérieurs ne traitent que de la comparaison des coupes annuelles CR1 (début saison de pluies), CR4 (fin saison des pluies), CR5 (milieu saison sèche) sur l'ensemble des stations et CR2 (début et milieu saison des pluies) sur la station BF.

2. Comparaison interannuelle des traitements.

En terme de hauteur moyenne des arbustes (figures 13 et 14), il n'apparaît pas de différences significatives entre années au sein de chaque traitement, et ce, malgré les variations pluviométriques. Seule la station BF se démarque du lot puisqu'elle présente des différences interannuelles pour les traitements CR1 (juillet), CR5 (février) et CR2 (juillet et

août). Pour les deux premiers traitements, la hauteur moyenne a augmenté, passant de 55 cm en 1993 à 88 cm en 1995 pour CR1, de 103 cm en 1994 à 128 cm en 1995 pour CR5. Inversement, le traitement CR2 a induit une variation importante de la hauteur moyenne : 42 cm en 1993, 56 cm en 1994 et 20 cm en 1995. Bien que ce dernier traitement n'élimine pas les arbustes, il semble qu'il y ait un épuisement progressif des souches.





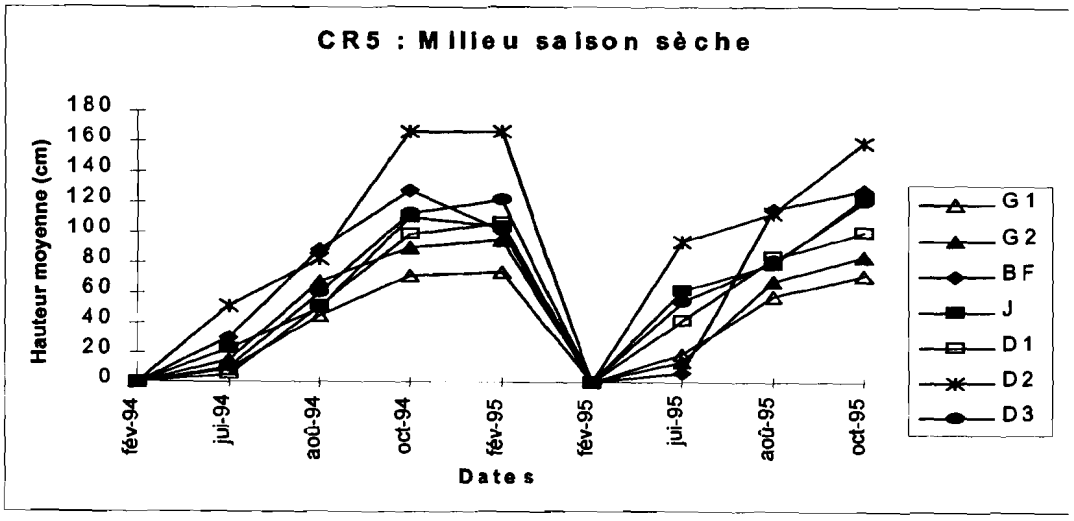
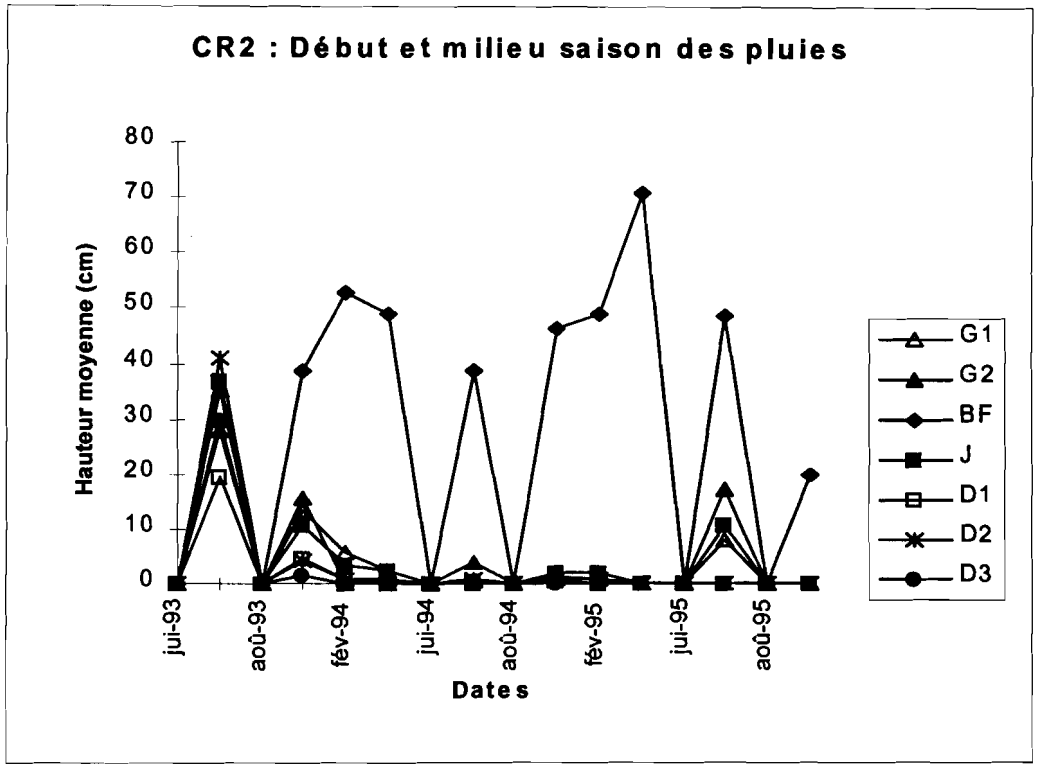


Figure 13 : Evolution des réponses des ligneux face à une coupe annuelle (hauteur en cm).



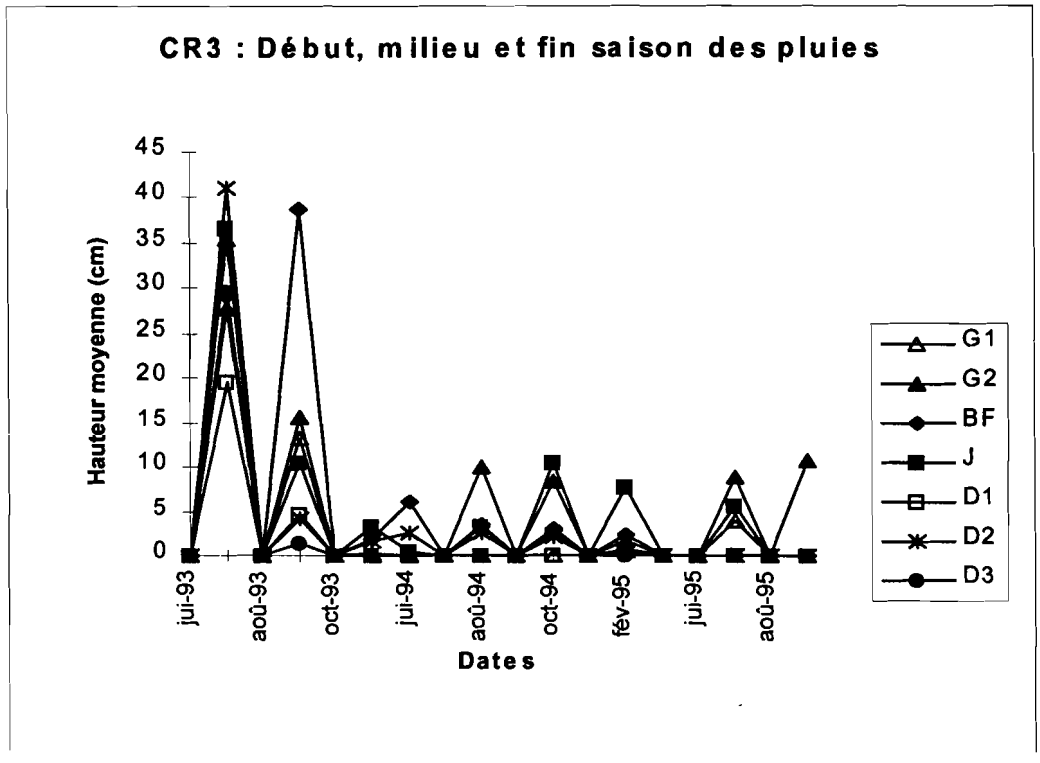


Figure 14 : Evolution des réponses des ligneux face à plusieurs coupes annuelles (hauteur en cm).

3. Comparaison des traitements.

La signification de la différence des réponses aux trois traitements a été calculée pour les dates d'octobre 1994 et octobre 1995 (tableau 5).

Tableau 5 : Evolution de la hauteur moyenne des arbustes après les traitements CR1, CR4 et CR5 en 10/94 et en 10/95. En gras, apparaissent les résultats significativement différents à p = 0.05 .

	CR1	CR4	CR5	CR1	CR4	CR5
Dates de coupe	juillet	octobre	février	juillet	octobre	février
Stations	10/94	10/94	10/94	10/95	10/95	10/95
BF	73	90	**128**	88	72	**127**
J	96	114	110	111	**159**	122
G1	**20**	68	71	**25**	61	72
G2	**49**	73	89	70	74	84
D1	**44**	93	99	**43**	103	101
D2	**34**	**99**	**166**	**55**	125	159
D3	75	132	113	105	156	120

Pour 1994, les trois traitements sont significativement différents à l'exception des stations J et D3. La réponse moyenne au traitement CR4 (coupe fin saison des pluies) est la plus forte sur ces deux stations, alors que pour les autres stations, les maximums ont été notés pour CR5. La réponse la plus faible est notée pour le traitement CR1 (début saison des pluies) dans tous les cas. Il existe toujours des différences entre traitements en 1995, en particulier entre la coupe CR1 et les autres traitements. La coupe CR1 intervient juste après la reprise d'une activité photosynthétique des arbustes (débourrage), créant un retard de croissance par rapport aux essais CR4 et CR5 qui ne sont pas touchés à ce moment là. De plus, comme il a été vu dans le paragraphe précédent, une coupe au début de la saison des pluies provoque la mortalité d'un certain nombre de souches. Dans le cadre de la recherche d'une production en bois, la coupe au début de la saison des pluies est à déconseiller.

La réponse à la coupe CR5 est supérieure à celle de CR4. Le cycle de développement de *Guiera senegalensis* chevauche la saison des pluies ; il n'est pas encore bouclé en fin de saison des pluies. La coupe CR4 intervient donc à une période où les arbustes ne sont pas encore en repos végétatif. La perturbation provoque une réponse immédiate des arbustes et des rejets sont alors observés en pleine saison sèche (février 1994 et 1995). L'allocation de ressources pour créer de nouvelles tiges doit fatiguer la souche, surtout en période de stress hydrique (phase de déstockage dans les sols). La coupe CR5 est pratiquée en février (saison sèche) alors que la plupart des arbustes ont bouclé leur cycle et sont donc en repos végétatif. Cette perturbation n'entraîne pas une réponse immédiate des arbustes en condition de contraintes très fortes. Les réponses au traitement CR4 en 1994 et en 1995 sont significativement différentes. La moyenne des réponses en février 95 est plus forte que celle de février 94 ; la saison des pluies 93 s'est terminé mi septembre alors que celle de 94 était non seulement quantitativement plus importante mais s'est terminée également plus tard (mi octobre). La réponse à CR4 semble donc liée à la pluviométrie de l'année de la

perturbation. Ces différences interannuelles n'existent pas pour le traitement CR5 durant l'expérimentation. La réponse semble moins dépendante de la pluviométrie de l'année précédente.

En terme de production ligneuse ou de gestion agro-forestière (maintien volontaire des souches), il semble alors préférable de respecter les pratiques des agriculteurs qui coupent les arbustes en saison sèche, avant le débourrage, les arbustes étant en phase de repos végétatif. Par contre, la deuxième coupe que certains d'entre eux pratiquent est à proscrire si l'on veut maintenir les arbustes.

4. Les effets stationnels.

Une seule coupe annuelle ne conduit donc pas à l'élimination des arbustes, cependant l'intensité de la réponse dépend des conditions stationnelles. Les réponses entre stations sont effectivement significativement différentes à chaque période de mesure (tableau 5). Les différences peuvent être effectivement très importantes comme le montre l'exemple de la coupe CR1 en Juin 1995 entre les stations G1 (25 cm) et J (111 cm).

La station BF présente systématiquement les plus forts recouvrements suite à ces perturbations (figures 15 et 16). Pour les traitements CR4 et CR5, ce sont effectivement les stations les plus humides BF et D2 qui présentent les croissances les plus importantes. Pour la coupe CR1, BF est suivie de la station située sur la jupe (J). La station D2 (dépression sur dune) répond faiblement, une des répétitions s'est marquée par une absence totale de rejets dès le début de l'expérimentation. Une des explications possibles est la submersion des parcelles pendant plusieurs jours lors de la saison des pluies, qui pourrait asphyxier les souches.

La très forte diminution du recouvrement arbustif, suite au traitement CR2 (2 coupes en saison des pluies, figure 16) sur BF, confirme l'épuisement des souches déjà noté précédemment. L'effet d'élimination des arbustes de ce traitement semble être seulement retardé sur cette station.

Une coupe annuelle, sans dessouchage, ne détruit pas la strate ligneuse et provoque une émission de rejets. *Guiera senegalensis* supporte très bien ce traitement. Cette coupe est la moins préjudiciable si elle est pratiquée au moment où les arbustes sont en repos végétatif, soit au milieu de la saison sèche, avant le débourrage. Par contre, la multiplication de coupes entraîne l'épuisement des souches sur les stations les plus favorables, et une mortalité rapide des ligneux dans la majorité des cas.

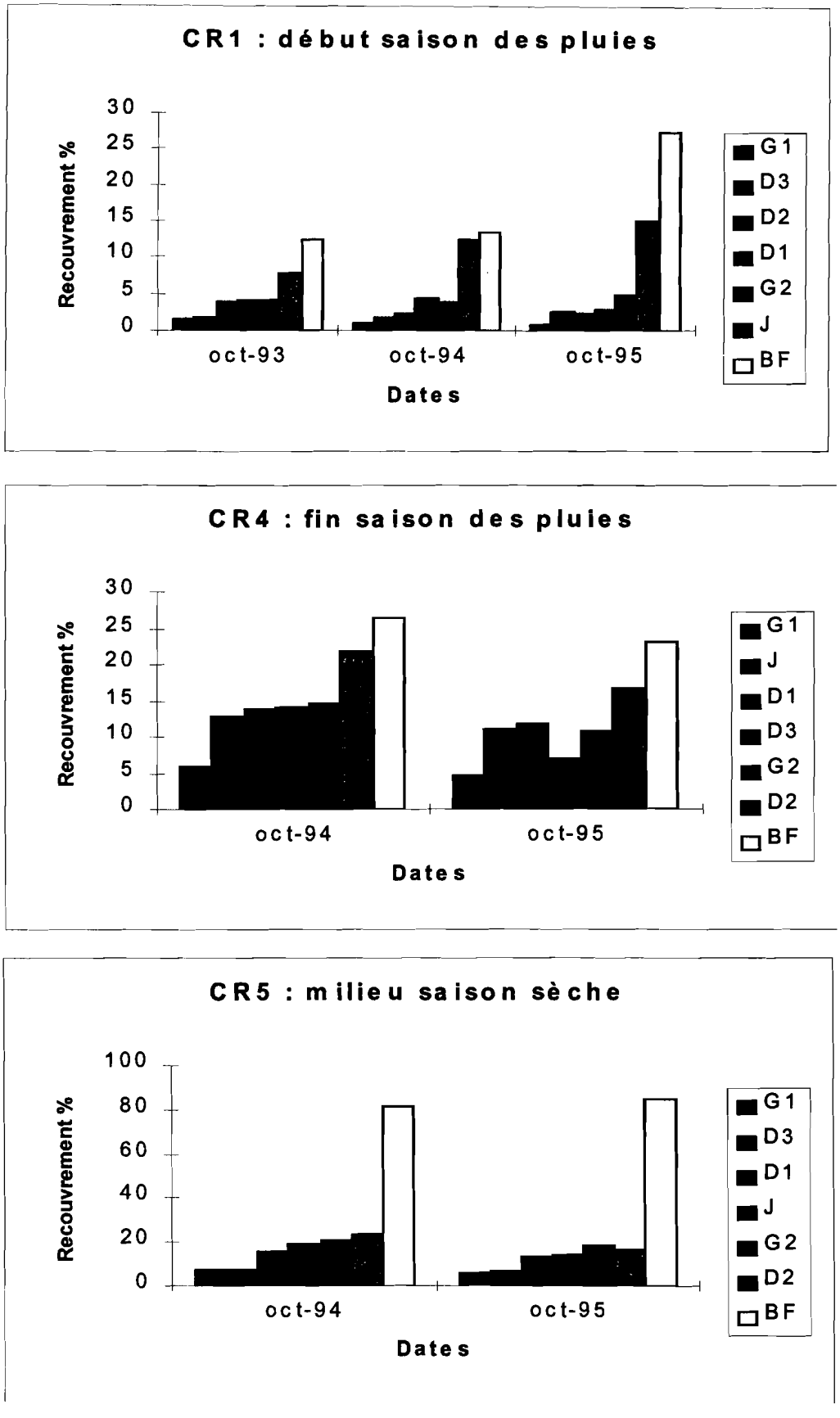
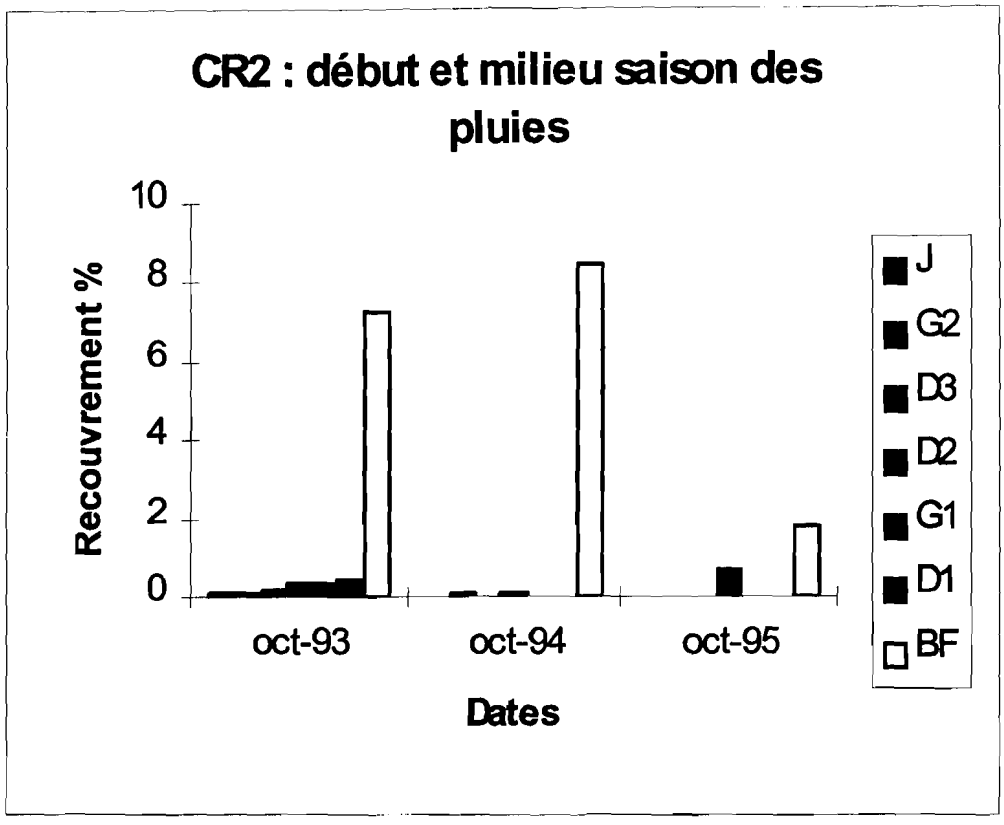


Figure 15 : Evolution du recouvrement des ligneux après une coupe annuelle.



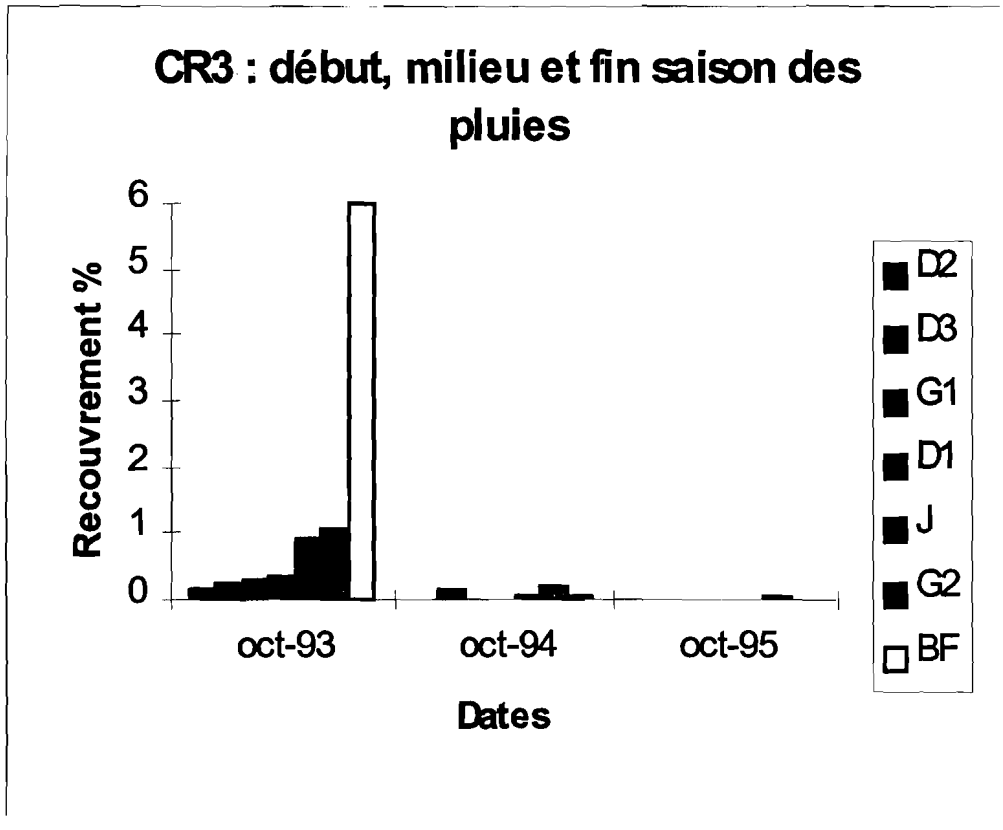


Figure 16 : Evolution du recouvrement des ligneux après des coupes répétées au cours de la saison des pluies.

Annexe 9 : Conséquences d'un pâturage intensif sur la végétation et les états de surface du sol.

La charge animale pour cette expérimentation a été multipliée par cinq par rapport à l'estimation de Loireau (in prep). Elle a été amenée à 1,6 UBT/ha/an. L'impact des animaux (pâturage et piétinement) est estimé à partir de l'évolution des ligneux, de la strate herbacée et des états de surface du sol. Ces différents paramètres ont été mesurés avant l'introduction des animaux dans les parcelles expérimentales (Entrée) et après leur sortie (Sortie). Les résultats présentés concernent la station D1. Les animaux ont été introduits dans les parcelles expérimentales, une fois au début de la saison des pluies (1er essai), au moment des premières germination herbacées, et une deuxième fois au milieu de la saison des pluies (2ème essai).

1. Les ligneux.

Le taux de foliaison des arbustes est utilisé ici pour évaluer l'impact de ce pâturage intensif. Il est comparé avec celui des arbustes des parcelles témoins (tableau 6). Comme les animaux ne restent qu'une dizaine de jours maximum sur les parcelles, les résultats obtenus à leur sortie sont comparés avec les mêmes résultats obtenus précédemment sur les témoins.

Tableau 6 : Evolution du taux de foliaison au cours de la saison des pluies 1996 pour les parcelles témoins et les essais pâturage intensif à l'entrée et à la sortie des animaux sur la parcelle expérimentale.

Périodes de mesures	Témoin essai juin	Entrée essai juin	Sortie essai juin	Entrée essai août	Sortie essai août	Témoin essai août
Moyenne %	19.1	17.2	15.1	25.9	20.6	41.9

Avant le premier essai, il n'existe pas de différences significatives entre les arbustes des parcelles témoins et ceux de la parcelle expérimentale. A la fin du premier essai, une différence apparaît (à $p = 0.05$). Avant la deuxième période de pâturage, les arbustes pâturés ont reproduit un appareil foliaire. Cependant, il est significativement très inférieur à celui développé par les arbustes témoins en Août. L'écart se creuse fortement à la fin de la deuxième période de pâturage. Les arbustes témoins ont un appareil foliaire deux fois supérieur à celui des arbustes pâturés.

2. Les herbacées

Lors du premier essai, les herbacées commençaient seulement à germer ; le pâturage a eu donc surtout touché les arbustes. Par contre, au deuxième essai, le pâturage se traduit par une diminution du recouvrement de la strate herbacée (tableau 7). Le même tableau présente la contribution des deux grandes familles, les Poacées et les Cypéracées, qui constituent l'essentiel de la flore présente sur cette station D1. Analysés globalement, les résultats ne présentent pas de différences significatives entre les parcelles pâturées et les témoins. Par contre, une analyse spécifique montre que la contribution spécifique présence de *Fimbristilis*

hispidula à la diversité est significativement supérieure sur les parcelles pâturées (p =0.05). Sa contribution sur les témoins est de 19 % alors qu'elle est de 29 % à la sortie du deuxième essai. Si on utilise la contribution spécifique contact, cette différence augmente, 48 % sur les parcelles pâturées contre seulement 9 % sur les témoins. Il existe également une différence pour le *Ctenium elegans* ; sa contribution spécifique contact est de 14 % sur les parcelles pâturées contre 33 % sur les témoins.

Tableau 7 : Evolution des moyennes du recouvrement et de la contribution des Poacées et des Cypéracées à la diversité de la strate herbacée pour les témoins et les essais de pâturage.

	Témoin 1 essai juin	Témoin 2 essai juin	Entrée essai juin	Sortie essai juin	Entrée essai août	Sortie essai août	Témoin 1 essai août	Témoin 2 essai août
Recouvrement de la végétation %	2	3	0	4	16	8	20	12
Contribution des Poacées %	0.96	0.99	0	0.88	0.63	0.57	0.65	0.64
Contribution des Cypéracées %	0.03	0.01	0	0	0.26	0.32	0.27	0.28

3. Les états de surface du sol.

Cet essai de pâturage intensif conduit de façon significative (p = 0.1) à une augmentation du recouvrement de la litière et surtout à une diminution du développement des croûtes microphytiques, due au piétinement des animaux (tableau 8). L'absence de piétinement sur les témoins se traduit effectivement par une forte augmentation des croûtes microphytiques.

Tableau 8 : Evolution du recouvrement des états de surface sur les témoins et sur les essais de pâturage.

	Témoin 1 essai juin	Témoin 2 essai juin	Entrée essai juin	Sortie essai juin	Entrée essai août	Sortie essai août	Témoin 1 essai août	Témoin 2 essai août
Litière %	23	25	23	72	38	50	16	20
ST2 %	72	53	64	24	55	40	69	54
ST3 %	0	0	1	0	0	0	0	8
ERO %	0	18	6.5	0	1.5	3	3	6
Termites %	3	4	4	0.5	0	1.5	3	0
Croûtes microphytiques %	2	0	1.5	3.5	6	6	9	12